



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BETONARME
BİNALARDA YAPISAL DERZLERDEN OLUŞAN SORUNLARIN
DÜZENLENMESİNİN, ÜLKEMİZ YAPI STOKU GELECEĞİNE KATKISININ
İRDELENMESİ**

Halil Emre ARITAN

Yüksek Lisans

**KONYA
Ocak 2023**

2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BETONARME
BİNALARDA YAPISAL DERZLERDEN OLUŞAN SORUNLARIN
DÜZENLENMESİNİN, ÜLKEMİZ YAPI STOKU GELECEĞİNE KATKISININ
İRDELENMESİ

Halil Emre ARITAN

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü EĞitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans

Tez DanıŐmanı: Prof. Dr. Hüsnü CAN

Konya
Ocak 2023

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dâhilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ayertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

23 Ocak 2023

Halil Emre ARITAN

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Prof. Dr. Hüsnü CAN danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez/proje çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez/proje çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin/projemin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

23 Ocak 2023

Halil Emre ARITAN

Güneş'e

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışma sürecimde engin bilgi ve deneyimlerini paylaşan, kıymetli zamanını ayıran saygıdeğer hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Hüsnu CAN' a ve lisansüstü eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli aileme teşekkür ederim.

23 Ocak 2023

Halil Emre ARITAN

ÖZET

Halil Emre ARITAN

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Binalarda Yapısal Derzlerden Oluşan Sorunların Düzenlenmesinin, Ülkemiz Yapı Stoku Geleceğine Katkısının İrdelenmesi

Yüksek Lisans

Konya, 2023

Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibariyle bir deprem ülkesidir. Mevcut yapılarımız sık sık depreme maruz kalmaktadır. Maruz kalınan bu etkiler, binaların henüz kullanım ömrünü tamamlamadan kullanılamaz hale gelmesine ve büyük can kayıplarına sebep olmaktadır. Taşıyıcı sistem tasarlanırken özellikle burulma düzensizliğinden kaçınılmalıdır. Betonarme binaların taşıyıcı sistemi, deprem etkileri altında fazla bağıllık (hiperstatik) davranışının etkin olabileceği şekilde tasarlanmalıdır. Söz konusu davranış geçerli olduğunda, deprem etkileri altında bazı taşıyıcı sistem elemanları dayanımlarının ötesinde kuvvetlere maruz kalmayıp diğer taşıyıcı sistem elemanlarca deprem yükleri paylaşılacaktır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 madde 3A.3.2 (a) ile belirlenen şartlar dâhilinde yapısal derzler yapılmadan taşıyıcı sistemlerin tasarlanması tavsiye edilmiştir.

2018 deprem yönetmeliği yürürlüğe girene dek ağırlık ve rijitlik merkezleri yakın, düzenli olarak tasarlanmış yapılar sırf uzunlukları sebebiyle derzlerle ayrılarak inşa edilebilmekteydi. 2018 deprem yönetmeliğinin getirmiş olduğu yenilikle, oluşturulacak yeni statik projelerin, düzensizliklerin, yapım ve güçlendirme maliyetinin azaltıldığı projeler olacağının gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede yurdumuz yeni yapı stoku özellikle depreme karşı daha dayanıklı yapılardan oluşacağının ortaya konulması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında 10 katlı betonarme bir binanın derzli ve derzsiz hallerinin deprem performansı, TBDY 2018 kuralları ve hesap esasları dikkate alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem kullanılarak incelenmiştir.

Derzli ve derzsiz durumlarına göre deprem etkileri altında davranışları ve hasarları incelenmiştir. Yapım ve güçlendirme maliyetleri her bir durum için karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

TBDY 2018, yapısal derzler, düzenli yapılar.

ABSTRACT

Halil Emre ARITAN

Examination On The Contribution Of Our Country's Building Stock Future By The Regulation Of Structural Joint Problems In Reinforced Concrete Buildings According To 2018 Turkish Building Earthquake Code

Master's Thesis

Konya, 2023

Turkey is an earthquake country due to its geographical location. Our existing structures are frequently exposed to earthquakes. These exposures cause buildings to become unusable before they reach the end of their useful life and cause great loss of life. Torsional irregularity should be avoided when designing the structural system. The structural system of reinforced concrete buildings should be designed in such a way that hyperstatic behavior can be effective under earthquake effects. When the behavior in question is valid, some structural system elements will not be exposed to forces beyond their strength under earthquake effects and earthquake loads will be shared by other structural system elements. It is recommended to design structural systems without making structural joints within the conditions determined by the Turkish Building Earthquake Code 2018 article 3A.3.2 (a).

Until the 2018 earthquake regulation came into force, structures designed with close centers of gravity and stiffness and regularly designed could be constructed by separating them with joints just because of their length. With the innovation brought by the 2018 earthquake regulation, it is aimed to show that new static projects will be projects where irregularities, construction and reinforcement costs are reduced. In this way, it is aimed to reveal that the new building stock of our country will consist of structures that are more resistant to earthquakes.

In this thesis, the seismic performance of a 10-storey reinforced concrete building with and without joints was investigated using nonlinear calculation method in the time history analysis in accordance with TBDY 2018 rules and calculation principles. Behaviors and damages under the effects of earthquakes according to their jointed and jointless conditions were investigated.

According to the jointed and jointless conditions of the building, its behavior under the effects of earthquakes and its damages were investigated. Construction and seismic retrofit costs of the building were compared for each case.

Keywords

Turkish Building Earthquake Code 2018, structural joints, regular buildings.

İÇİNDEKİLER

BİLDİRİM	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. ÜLKEMİZDE UYGULANMIŞ ESKİ DEPREM YÖNETMELİKLERİNDE DEPREM DERZLERİ, BURULMA VE ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP, LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Eski Deprem Yönetmelikleri.....	3
2.2. Literatür Taraması	9
3. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE ANALİZİ	15
3.1. Giriş.....	15
3.2. Betonarme Sistem Davranışı	15
3.2.1. Beton.....	16
3.2.2. Donatı Çeliği.....	17
3.3. Süneklik.....	18
3.4. Doğrusal Olmayan Davranış Şekilleri.....	19
3.4.1. Plastik Mafsal Kavramı	19
3.4.2. Yığılı Plastik Davranış Şekli	20
3.4.3. Yayılı Plastik Davranış Şekli.....	20
3.5. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	20
3.5.1. Tek Modlu İtme Hesap Yöntemi	21
3.5.2. Çok Modlu İtme Hesap Yöntemi.....	22
3.5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	22
4. DEPREM YER HAREKETLERİ VE BİNA DEPREM PERFORMANSLARI.....	23
4.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	23

4.1.1. DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi	23
4.1.2. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi	23
4.1.3. DD-3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi	23
4.1.4. DD-4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi	23
4.2. Harita Spektral İvme Katsayıları	23
4.3. Tasarım Spektral İvme Katsayıları	24
4.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	25
4.5. Bina Kullanım Sınıfları	26
4.6. Deprem Tasarım Sınıfları	27
4.7. Bina Yükseklik Sınıfları	28
4.8. Düzensiz Binalar	28
4.8.1. Burulma Düzensizliği	29
4.9. Fazla Bağlılık, Hiperstatik Davranış	30
4.10. Bina Performans Düzeyleri	30
4.10.1. Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi	30
4.10.2. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	30
4.10.3. Kontrollü Hasar Performans Düzeyi	30
4.10.4. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi	30
4.11. Bina Performans Hedefi	31
5. ZAMAN TANIM ALANINDA DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENMESİ	32
5.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	32
5.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	32
6. 10 KATLI BETONARME BİR BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE DERZLİ VE DERZSİZ OLARAK DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ	34
6.1. Giriş	34
6.2. Binaya Ait Yapısal Bilgiler	34
6.3. Binaya Ait Sismik Değerler	41
6.4. Bina Modelinin Oluşturulması ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz İçin Tasarım	43
6.5. Deprem Kayıtlarının Seçimi	44
6.6. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	45
6.7. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	48
6.8. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49

6.8.1. Kolonlar İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi.....	50
6.8.2. Perdeler İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi.....	52
6.8.3. Kirişler İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi.....	53
6.8.4. Binaların Deplasman Değerleri	56
6.8.5. Ortalama Görelî Kat Ötelemesi Oranı	58
6.8.6. Performans Düzeyinin Belirlenmesi.....	59
7. GÜÇLENDİRME VE PERFORMANS ANALİZİ	61
7.1. Güçlendirme Yöntemi	61
7.2. Kolonların Sarılması.....	61
7.3. Düşeyde Tüm Kat Kolonlarında Devam Eden Betonarme Sargı Mantolama.....	62
7.4. Mantolama, Güçlendirme Uygulaması.....	62
7.4.1. Güçlendirme Sonrası Kolonlar	62
7.4.2. Mantolamada Kullanılan Malzeme Özellikleri	67
7.5. Güçlendirilmiş Tasarımların Modellemeleri ve Performans Çalışmaları	68
7.6. Güçlendirilmiş Tasarımların Analiz Sonuçları Değerlendirmesi.....	69
7.6.1. Kolonlarda Hasar İncelemesi.....	69
7.6.2. Betonarme Perdelerde Hasar İncelemesi	70
7.6.3. Kirişlerde Hasar İncelemesi.....	71
7.6.4. Güçlendirilmiş Binaların Deplasman Değerleri	72
7.6.5. Güçlendirilmiş Binaların Ortalama Görelî Kat Ötelemesi Oranı	74
7.7. Bloklarda Burulma Düzensizliğinin İyileştirilmesi.....	76
7.7.1. Betonarme Perde İle Güçlendirilmiş Blokların Ortalama Görelî Kat Ötelemesi Oranı	77
8. MALİYET ANALİZİ.....	79
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
9.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	83
9.2. Öneriler.....	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	89

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Donatı çeliği için gerilme ve şekil değiştirme değerleri	18
Tablo 2. Beklenen malzeme dayanımları	21
Tablo 3. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	24
Tablo 4. 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları	25
Tablo 5. Bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları	27
Tablo 6. Deprem tasarım sınıfları	27
Tablo 7. Bina yükseklik sınıfları	28
Tablo 8. Performans hedefleri	31
Tablo 9. Kolon-kiriş boyut ve donatıları	41
Tablo 10. Perde boyut ve donatıları	41
Tablo 11. Deprem ivme kayıtları	45
Tablo 12. Derzsiz tasarım yer değiştirme değerleri	56
Tablo 13. Blok 1 yer değiştirme değerleri	57
Tablo 14. Blok 2 yer değiştirme değerleri	57
Tablo 15. Güçlendirilmiş derzsiz tasarım yer değiştirme değerleri	72
Tablo 16. Güçlendirilmiş Blok 1 yer değiştirme değerleri	73
Tablo 17. Güçlendirilmiş Blok 2 yer değiştirme değerleri	74
Tablo 18. Derzsiz bina yapım maliyeti	79
Tablo 19. Derzli bina yapım maliyeti	80
Tablo 20. Derzsiz bina güçlendirme maliyeti	80
Tablo 21. Derzli bina güçlendirme maliyeti	81
Tablo 22. Derzli bina betonarme perde ilaveli güçlendirme maliyeti	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi	16
Şekil 2. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	17
Şekil 3. Basit eğilme etkisinde betonarme kesit eğilme momenti eğrilik bağıntısı	19
Şekil 4. Yatay elastik tasarım spektrumu	26
Şekil 5. Burulma düzensizliği	29
Şekil 6. Derzsiz tasarım kat planı (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)	36
Şekil 7. Binanın 3 boyutlu modeli (derzsiz)	37
Şekil 8. Derzli tasarım kat planı (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)	38
Şekil 9. Blok 1 (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)	39
Şekil 10. Blok 2 (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)	40
Şekil 11. Yatay elastik tasarım spektrumu	42
Şekil 12. Bina konumuna en yakın diri fay sistemi	43
Şekil 13. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi	46
Şekil 14. Hedef ve seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar.....	46
Şekil 15. Hedef ve seçilen deprem kayıtlarına ait ölçeklendirilmiş spektrumlar.....	47
Şekil 16. Ölçekli deprem kayıtlarının bileşke yatay spektrumu, tasarım spektrumu ve 1,3 tasarım spektrumu eğrisi	47
Şekil 17. Düşey, hareketli ve deprem yüklerinin işlenmesi	49
Şekil 18. 22 adet analiz sonucunda kolon hasar bölgeleri (derzsiz)	50
Şekil 19. Denali depremi kolon hasar bölgeleri (derzsiz)	51
Şekil 20. 22 adet analiz sonucunda kolon hasar bölgeleri (derzli).....	51
Şekil 21. Denali depremi kolon hasar bölgeleri (derzli)	52
Şekil 22. 22 adet analiz sonucunda perde hasar bölgeleri (derzsiz).....	52
Şekil 23. Denali depremi sonucunda perde hasar bölgeleri (derzli)	53
Şekil 24. 22 adet analiz sonucunda kiriş hasar bölgeleri (derzsiz)	54
Şekil 25. Denali deprem kayıtları etkisi altında kiriş hasar bölgeleri (derzsiz)	54
Şekil 26. 22 adet analiz sonucunda kiriş hasar bölgeleri (derzli).....	55
Şekil 27. Denali deprem kayıtları etkisi altında kiriş hasar bölgeleri (derzli)	55
Şekil 28. Derzsiz bina ve blok 1 ortalama görelî kat ötelemeleri	59
Şekil 29. Derzsiz bina ve blok 2 ortalama görelî kat ötelemeleri	59
Şekil 30. Kolon sargılama çizimi	63

Şekil 31. Kolon sargılama düşey donatı katlar arası sürekliliği.....	63
Şekil 32. Derzsiz tasarım güçlendirilmiş kat planı.....	64
Şekil 33. Derzli tasarım güçlendirilmiş kat planı.....	65
Şekil 34. Blok 1 güçlendirilmiş kat planı.....	66
Şekil 35. Blok 2 güçlendirilmiş kat planı.....	66
Şekil 36. Mantolama donatı detayı.....	68
Şekil 37. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait kolon hasar bölgeleri.....	69
Şekil 38. Güçlendirilmiş derzli binaya ait kolon hasar bölgeleri.....	70
Şekil 39. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait betonarme perde hasar bölgeleri.....	70
Şekil 40. Güçlendirilmiş derzli binaya ait betonarme perde hasar bölgeleri.....	71
Şekil 41. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait kirişler için hasar bölgeleri.....	71
Şekil 42. Güçlendirilmiş derzli binaya ait kirişler için hasar bölgeleri.....	72
Şekil 43. Güçlendirilmiş derzsiz bina ve blok 1 ortalama görelî kat ötelemeleri.....	75
Şekil 44. Güçlendirilmiş derzsiz bina ve blok 2 ortalama görelî kat ötelemeleri.....	75
Şekil 45. Blok 1 (betonarme perde ilavesi ile) güçlendirilmiş kat planı.....	76
Şekil 46. Blok 2 (betonarme perde ilavesi ile) güçlendirilmiş kat planı.....	77
Şekil 47. Blok 1 ortalama görelî kat ötelemeleri.....	78
Şekil 48. Blok 2 ortalama görelî kat ötelemeleri.....	78

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
α	Deprem derzi boşluklarının hesabında kullanılan katsayı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
ϵ_c	Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s değiştirmesi	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil
ϵ_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
f_c	Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	Sargılı beton dayanımı
f_{ce}	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_s	Donatı çeliğindeki gerilim
f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{ye}	Donatı çeliğinin ortalama (beklenen) akma dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
H_N	Bina toplam yüksekliği
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
$\Delta i^{(X)}_{max}$	Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta i^{(X)}_{min}$	Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta i^{(X)}_{ort}$	Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
V_{s30}	En üst 30m zemin için ortalama kayma dalgası hızı
F_s	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{de}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi

S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_p	Binanın hakim doğal titreşim periyodu
HN	Bina toplam yüksekliği
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
f_{ctk}	Betonun karakteristik aksenal çekme dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{yd}	Donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
E_s	Donatı çeliği elastisite modülü

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DD-1	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
DD-3	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3
DD-4	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
ESMD	European Strong Motion Database
KH	Kontrollü Hasar
OPENSEES	Open System for Earthquake Engineering Simulation
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research
ŞGDT	Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım
SH	Sınırlı Hasar

1. GİRİŞ

Ülkemiz coğrafi konumu sebebiyle deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yıllar boyu büyük depremlere maruz kalan insanımız can ve mal kayıpları yüzünden büyük mağduriyetler yaşamıştır. Maddi kayıplar büyük çoğunlukla üst yapıyı kapsamaktadır. Yapılar henüz ekonomik ömrünü tamamlamadan sırf yanlış tasarımlanmaları ve uygunsuz imalatlar sebebiyle ülke ekonomisine büyük zararlar vermektedir. Depremlerin yapılarda ne gibi hasarlar verdiği buna karşılık yapıların tasarımında deprem hareketine karşı güvenli tarafta kalmamızı sağlayan prensipler, sayısallaştırılarak yönetmeliklerle kurallara dönüştürülmüştür. Ekonomik ve diğer yandan güvenli çözümler sunan İnşaat Mühendislerinin dayanağı standartlar ve yönetmelikler olmuştur.

Ülkemizde oluşturulan statik projelerin, TS 500 6.3.4 maddesi gereği kamuda proje onay makamlarınca 2018 deprem yönetmeliği yayınlanana kadar, deprem derzi konulması istenmekteydi. 2018 deprem yönetmeliği 3A.3.2 maddesi (a) Burulma düzensizliğinin önlenmesi, taşıyıcı sistem elemanlarının dengeli düzenlenmesi vb. nedenler dışında, salt bina veya bina bloklarının plandaki uzunlukları yüzünden taşıyıcı sistemin yapısal derzlerle birbirinden bağımsız bloklara ayrılmasından olabildiğince kaçınılmalıdır fıkrası ile yapısal derzlerden kaçınılması tavsiyesi sonrasında onay makamlarınca yeni oluşturulan projelerde deprem yönetmeliği tavsiyesine uyularak proje onayları bu şekilde gerçekleştirilmeye başlamıştır.

Bu tezde, ülkemizde 2018 deprem yönetmeliğinin uygulamaya konulmasıyla ve yönetmeliğin getirdiği yenilikle, derzlerden kaçınılması gerektiği yaptırımıyla, uygulamada derzlerin getirdiği hem imalatta hem de deprem hasarları noktasında ve sonrasında güçlendirme maliyetleri düşünülerek, 2018 deprem yönetmeliğinin olumlu etkisini göstermek amaçlanmıştır. Çalışmada 2018 deprem yönetmeliğinin binaları salt plandaki uzunlukları sebebiyle yapısal derzlerle ayrılmasından kaçınılması kuralının uygulamada ne gibi faydalar sağlayacağını statik proje yapan inşaat mühendislerine göstermek ve farkındalık yaratmak hedeflenmiştir.

Teze konu bina, Kocaeli ili Gebze ilçesinde yapılmak üzere tasarlanmış, ağırlık ve rijitlik merkezleri çok yakın, taşıyıcı sistemi çerçeve, kolon ve perdelerden oluşan 10 katlı bir bina seçilmiştir. 2007 deprem yönetmeliği yürürlükte iken inşası düşünülmüş

bir yapıdır. Kullanım amacı konut olan binanın 2018 yönetmeliği kurallarınca derz uygulanmadan yapımı sonucu elde edilecek kazanımlar irdelenmiştir. STA4CAD programı kullanılarak, derzli ve derzsiz halde yapısal analiz modellemesi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu binanın 2018 deprem yönetmeliği kurallarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle deprem performansı belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak deprem ivmeleri binanın konumu, tasarımda kullanılan deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, yerel zemin koşulları dikkate alınarak PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) Ground Motion Database veritabanından seçilmiştir. Seçilen 11 deprem kaydı tasarım spektrumuna uygun olacak şekilde STA4CAD programı uzantısı olan, Berkeley Kaliforniya Üniversitesi Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde (PEER) geliştirilmiş olan analizlerin de yapıldığı OPENSEES programıyla ölçeklenerek binaya etkitilecek şekilde ölçekleme işlemleri yapılmıştır.

11adet deprem ivme kaydı takımı binanın derzli ve derzsiz modellerine iki yönlü olarak aynı anda etki ettirilecek şekilde, sonra ivme kayıtları 90^0 döndürülerek toplamda 22 adet analiz oluşturulacak şekilde uygulanmıştır. Tüm deprem ivme kayıtları birbirine dik yatay doğrultuda olacak şekilde binaya etkitilmiştir. Yapılan analizler sonucunda derzsiz ve derzli olarak deplasman değerleri, görelî kat öteleme oranları, yapı performansları, eleman bazında oluşan hasarlar kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen hasar bulguları dikkate alınarak derzli ve derzsiz modellemelerin yapım ve güçlendirme maliyetleri karşılaştırılmıştır.

2. ÜLKEMİZDE UYGULANMIŞ ESKİ DEPREM YÖNETMELİKLERİNDE DEPREM DERZLERİ, BURULMA VE ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP, LİTERATÜR TARAMASI.

2.1. Eski Deprem Yönetmelikleri

Deprem kuşağı üzerinde bulunan yurdumuzda binaların depreme karşı koyabilmesi, can ve mal güvenliğinin sağlanması amacıyla 1940 yılından günümüze dek 10 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yurdumuzda yayınlanan ilk deprem yönetmeliği, 7,9 büyüklüğünde gerçekleşen ve yüzyılın en büyük depremlerinden biri olan 29 Aralık 1939 Erzincan Depreminin sonrasın, 1937 yılında İtalyan Hükümetince uygulamaya başlanılan, bizde de İtalya'dan alınıp tercüme edilerek 1940 yılında yürürlüğe giren Zelzele mıntıklarında yapılacak inşaata ait İtalyan yapı Talimatnamesidir.

Ülkemizde yayımlanmış olan deprem yönetmelikleri;

1940-Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi.

1944-Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi.

1947-Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği, 1949 yılında düzenlemeler yapılarak yeniden yayımlanmıştır.

1953-Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği.

1961-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği.

1968-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği.

1975-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği.

1998-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği.

2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği.

2018-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.

Yayımlanan ilk yönetmeliklerde sel, toprak kayması hatta yangın hasarlarına karşı kurallar geliştirilmiş olsa da ilerleyen süreçte yönetmeliklerin odaklandığı esas konu deprem olmuştur.

Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesinde (1940) deprem derzlerine ait çalışma bulunmamaktadır. Muvazenet Hesapları başlığı altında betonarme ve elik binaların yapımına değinilmiştir.

Ülkemizde uygulana gelen yönetmeliklerde ilk olarak Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesinde (1944) deprem derzlerine değinilmeye başlanmıştır. Madde 13 zelzele derzleri (antisismik) derzler başlığı altında; betonarme ve elik yapıların en çok 50,00m, tuğla, adi moloz, ahşap iskeletli binalar maksimum 40,00m, adi moloz, kerpiç, ahşap yapıların en çok 12,00m uzunluklarını aşan (Madde 14) binalar için derz şartı getirilmiştir. Oluşturulacak derzlerin genişliğini inşaat türüne göre tespit edilmekle beraber, 5,00cm den az olması kuralı koyulmuştur. Karkas binalarda çift kolon oluşturulmalıdır. Tuğla veya kagir yapılan binalar bitişik çift duvarla inşa edilir denilmiştir.

Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliğinde (1947) Madde 14 yapı derzleri başlığı altında; Kısmen veya tamamen bitişik yapılan farklı zamanlarda veya aynı anda fakat farklı sistemle inşa edilenlerin hesapları ayrı ayrı incelenecektir. Blokların aralarında en az 3,00cm boşluk olacak şekilde derzler oluşturulacaktır. İnşa yöntemi, yüksekliği ve yapım zamanı aynı olan bitişik yapılar dilatasyon bırakılmadan tek parça olarak yapılabilir denilmiştir. 1949 yılında düzenleme yapılarak yayımlanan yönetmelikte 3,00cm derz aralığı şartı 5cm olacak şekilde değiştirilerek yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte aynı zamanda, aynı yükseklik ve aynı inşaat sisteminde inşa edilen yapılarda deprem derzlerinin uygulanmasından kaçınılmıştır. Bu yönüyle güncel son yönetmeliğimizin önerisiyle aynı yönde hareket edilmiştir.

Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğinde (1953) Madde 22 projelerde nazara alınacak esaslar başlığı altında ilk kez burulma etkisinden ve simetriklikten bahsedilmiştir. Yapılarda deprem etkileri sonucunda meydana gelebilecek burulmalar mümkün olduğu kadar azaltılmak istenmiştir. Bu amaçla mimari ve statik projelerin düzenlenmesinde, taşıyıcı elemanların eksenlere göre simetrik olmasına dikkat edilmelidir denilmiştir. Simetriklikten kastedilenin, sadece şekil bakımından değil kitle ve rijitlik bakımından olması istenmiştir. Tasarımın geometrisi yatayda elden geldiği kadarıyla basit olarak yapılmalıdır. Bunun sağlanması için planın kare ya da

dikdörtgen şeklinde olması önerilmiştir. Bu şartlar koyularak ilk kez binalarda oluşabilecek burulma etkisi dikkate alınmıştır.

Dilatasyon derzleri açısından da yine aynı madde başlığı altında, 3cm boşluk bırakılarak uygun boyutlarla bloklara ayrılması şart koşulan binalar şunlardır: farklı zamanlarda ya da aynı zamanda fakat değişik yapı sistemleri ile veya farklı özelliklerde olan zeminler üzerine birbirlerine kısmen veya tamamen bitişik olarak yapılan dikdörtgen şeklindeki binalar ya da planları L, U, E, H veya T şeklinde olan binalar. Bırakılması istenen derzlerin temele kadar devam ettirilmesi istenmiştir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte (1961) 8. Bölüm Madde 29 proje, hesap esasları başlığı altında Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği (1953) Madde 22 aynen belirtilerek burulma etkisi ve derz kuralları devam ettirilmiştir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte (1968) 6. Bölüm deprem afetinden korunma başlığı altında Madde 8 de öncelikle betonarme yapı tanımlanarak ardından yapı planları mümkün olduğu kadar sade ve mümkün olduğunca dikdörtgen ya da kare olmalıdır denilerek betonarme binalarda burulmaya karşı tedbir alınmıştır. Aynı maddede derzler başlığı altında: sıcaklık değişimi, rötre, yükseklik farkı ve zemin şartları göz önüne alınarak oluşturulan derzler 6,00m yüksekliğe kadar 3,00cm genişlikte derz bırakılacaktır. 6,00m'den sonraki her 3,00m için 1,00cm artırılacaktır, yükseklik farkı ve zemin koşulları baz alınarak bırakılan derzler hariç, diğer nedenlerle temellerde derz bırakılmayabilir denilmektedir. Burulma etkisi, aynı başlığın (d) alt maddesinde: betonarme karkas yapılarda, kolon ve perdelerin rijitlik merkezi mümkün olduğu kadar yapının kitle merkezine yaklaştırılmalıdır denilmiştir. Burada olumsuzluğun önüne geçilmesi amaçlanmıştır. 8. Bölüm depreme dayanıklı binalar için hesap esasları başlığı Madde 16 a.7 yatay burulma momenti alt başlığında herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki kaçıklığın o kattaki en büyük bina boyutunun %5'inden büyük olduğu hallerde kesme kuvvetlerinde burulma kaynaklı artışların dikkate alınması zorunluluğu getirilmiştir.

1975-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Kısım 3 Deprem Afetinden Korunma, Bölüm 6 Betonarme Yapılar 6.4 Derzler başlığı 6.4.1 alt başlığında; Deprem etkisinden kaynaklanan yatay yer değiştirmeler güvenilir bir

hesapla belirlenmedikçe ve özel önlemler alınmadıkça sıcaklık değişimi, rötre, yükseklik farkı ve zemin şartları düşünülerek oluşturulan derzler 6,00m yüksekliğe dek en az 3,00cm olacak, 6,00m'den sonraki her 3,00m için 1,00 cm artırılabilecektir denilmektedir. 6.4.2 alt başlığında ise; farklı yüksekli ve zemin şartlarına bağlı olarak düzenlenen derzlerin dışında, diğer sebeplerle temellerde derz yapılmayabilir denilerek 1968 yönetmeliğindeki şartlar aynen devam ettirilmiştir.

Burulma etkisi: Bölüm 13 depreme dayanıklı yapılar için hesap ilkeleri 13.6 yatay burulma momenti alt başlığında binalar, her iki doğrultuda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında hesapla bulunan eksantrikliğe, yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük bina boyutunun %5'i eklenerek bulunacak burulma momentlerine göre irdelenecektir şartı koyulmuştur. Ayrıca Bölüm 6 betonarme yapılar 6.6.5.4 alt başlığında bant pencerelerin oluşturulması durumunda kolonlarda kısa kolon etkisinin azaltılması adına kısa kolonun kolon sarılma bölgesinde etriye aralığından az olmamak üzere tüm boyunca tamamen etriyelerle sarılmalıdır. Kısa kolonun bulunduğu katta, kesme kuvveti dağılımında periyot ve burulma hesabında kısa kolonda oluşan rijitlik artışı hesaba katılması şartı getirilmiştir. 6.6.5.5 alt başlığında binanın deprem etkileri altındaki tepkisel davranışına etki edecek dolgu duvarların, hakim periyoda ve burulma momentine etkileri göz önüne alınmalıdır. Bu sebeple bu duvarlar mümkün olduğunca ilave etkiler oluşturmayacak şekilde planda uygun şekilde düzenlenmesi şartı getirilmiştir.

Bölüm 13 depreme dayanıklı yapılar için hesap ilkeleri, 13.3.3 maddesinde: düzensiz taşıyıcı sistemli ya da yüksekliği temel üst kotundan ölçülen 75,00m'den uzun yapıların deprem hesapları güvenilir ve kabul görmüş dinamik hesap yöntemiyle belirlenmelidir. Yapılacak bu analizde hem binanın hem de zeminin dinamik özellikleri titizlikle hesaba dahil edilir. Yüksek binalar için yapılacak hesaplamaların doğrusal olmayan, zaman tanım alanında analiz yöntemi ile gerçekleştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Bu yöntem için daha önce olmuş depremlerden elde edilen, idealleştirilmiş spektrumlara göre mod süperpozisyonu yöntemi, depreme davranışın zamana göre değişimini veren titreşim denklemlerinin integrasyonu v.b. yöntemler ya da model deneylerinin kullanılması koşulu vardır.

1998-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Bölüm6 depreme dayanıklı binalar için hesap kuralları ana başlığı altında 6.10.3.3'de derzlerin deprem sırasında blokların tüm doğrultularda birbirlerinden bağımsız hareket edecek şekilde oluşturulması istenmiştir. 6.10.3.2 oluşturulacak en küçük derz aralığı: 6,00m yüksekliğe kadar en az 30mm olacak ve sonraki her 3m yükseklik için bu değer minimum 10mm artırılarak düzenlenecektir. Şartları koyulmuş olup 6.10.3.2'ye göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalardan elde edilen yer değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamı ile α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır denilmektedir. α katsayısının tespiti 6.10.3.1 (a) bitişik binaların veya bina bloklarının döşeme seviyeleri tüm katlarda aynı seviyede olması halinde α değeri $R / 4$ alınacaktır. Bu kural herhangi bir blok kat döşemelerinde uymuyorsa, döşeme seviyelerinde farklılık varsa ki bu uygunsuzluk çok az katta dahi olsa istisnasız binanın bütününde $\alpha = R / 2$ değeri olacaktır maddeleriyle tarif edilmiştir.

Burulma düzensizliği için: 6.2.1 bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin genel ilkeler başlığı altında 6.2.1.3 maddesinde binaların dizaynı ve inşası düzensiz yapı oluşturmayacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Taşıyıcı sistem planda simetrik veya simetriğe yakın tasarlanmalı, A1 türü burulma düzensizliğinin oluşmasına mümkün olduğunca fırsat verilmemelidir. Perde vb. rijit yapı elemanlarının planda, binanın burulma rijitliğini arttıracak biçimde yerleştirilmesine önem verilmelidir denilmektedir. Planda (A1, A2, A3 ve A4) ve düşey doğrultuda düzensizlik (B1, B2 ve B3) durumları ilk kez bu yönetmelikte belirlenmiştir. A1 türü burulma düzensizliği bulunan binalar için hesap yöntemleri ve uyulması gereken kurallar yönetmelikte izah edilmiştir.

Yönetmelikte zaman tanım alanında hesap yöntemleri 6.9 tüm binaların ve bina türü yapıların deprem analizi için kullanılabilir denilmektedir. 6.9.1 önceden gerçekleşmiş kayıtlı depremler veya yapay yollarla üretilen deprem yer hareketleri bazı durumlarda bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için kullanılabilir. 6.9.2 deprem hesaplarının zaman tanım alanında yapılması durumunda, (a) ve (b) maddelerindeki şartları taşıyan üçten az olmayan kaydedilmiş veya benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılacaktır. Tasarıma esas kullanılacak büyüklükler, deprem ivmelerinden elde edilen büyüklüklerin en elverişsizleri olmalıdır denilmiştir.

2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte Bölüm2 depreme dayanıklı binalar için hesap kuralları ana başlığı alt maddelerinde: 2.10.3.2 oluşturulacak en az derz boşluğu, aralık 6,00m yüksekliğe kadar minimum 30mm olmalı ve 6,00m'den sonraki her 3,00m'lik yükseklik için boşluğa en az 10mm ilave edilecektir. 2.10.3.3 deprem hareketiyle birlikte blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak hareket etmesi sağlanmalı ve bunu sağlayacak şekilde bloklar arasındaki derzler düzenlenecektir denilerek şartlar belirlenmiştir. 2.10.3.1'den daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için yan blok veya bloklardan elde edilen deplasman değerlerinin karelerinin toplamının karekökü ile α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. α katsayısının tespiti 2.10.3.1 (a) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda α değeri için $R / 4$ değeri alınacaktır. (b) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, herhangi bir katta dahi olsa, aynı seviyede olmamaları halinde binanın tümü için α değeri $R / 2$ olarak alınacaktır şeklinde iki madde ile tarif edilmiştir.

Burulma düzensizliği için: 2.2.1 bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin genel ilkeler başlığı 2.3.1'de tanımlanan düzensiz bina ne tasarlanacak ne de inşa edilecektir. Taşıyıcı sistem planda simetrik veya olabildiğince simetrik tasarlanmalıdır. Burulma düzensizliğinden (A1 türü) olabildiğince kaçınılmalıdır. Binaların tasarımında ve yapımında burulmanın getireceği olumsuz etkilerden kaçınmak adına yani binanın burulma rijitliğinin artırılması amacıyla, perde vb. rijit taşıyıcı sistem elemanları planda özenle yerleştirilmelidir. 1998 yönetmeliği ile aynı kurallar devam ettirilmiştir. Yine A1 türü burulma düzensizliği bulunan binalar için hesap yöntemleri ve uyulması gereken kurallar yönetmelikte izah edilmiştir.

Zaman tanım alanında hesap yöntemleri için 2.9 her türden binalar için deprem hesaplamalarında kullanılabilir yöntem denilmektedir. Bu yapıların hesaplarında deprem kayıtları için yapay yollarla üretilen, önceden yaşanmış depremlere ait kayıtlar ya da benzeştirilmiş deprem yer ivmeleri kullanılabilir. Yer hareketleri 2.9.1 (a), (b) ve (c) maddelerindeki tüm şartları taşımalıdır. Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç deprem kaydı kullanılması halinde sonuçların maksimumu değerlendirilecektir. En az yedi deprem ivme takımı kullanılması halinde

ise binaya etkitilen kayıtlara ait performans sonuçlarının ortalaması değerlendirmeye esas alınması şartı getirilmiştir.

2.2. Literatür Taraması

Can (2020) yüksek lisans ders notlarında, taşıyıcı sistemin düzenli ve simetrik olarak düzenlenmelidir. Planda düzenli ve simetrik olarak düzenlenmiş olan taşıyıcı sistemde, döşemelerdeki yayılı kütlelerden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına en uygun biçimde aktarılması sağlanır. Simetrik şekilde sistemin düzenlenmesi ile kütle, rijitlik ve dayanım bakımlarından oluşabilecek dış merkezliklerin de önüne geçilebilmektedir. Bu sayede öngörülebilir bir deprem davranışı gerçekleştirilebilmektedir. Taşıyıcı sistem düşey doğrultuda da düzenli bir şekilde oluşturulmalıdır denilmektedir. Burulma düzensizliği bulunan taşıyıcı sistemlerde deprem etkileri altında ötelenmelere ek olarak düşey eksen etrafında da burulmalar ortaya çıkar. Sonuç olarak taşıyıcı sistem elemanlarında düzenli olmayan ilave yer değiştirmeler ve iç kuvvetler oluşur denilmektedir.

Ayar (2019) çalışmasında binalarda deprem kuvvetlerinin farklı yönlerden etkitilmesi sonucunda oluşacak kritik etki açılarını tespit ederek davranışları irdelemiştir. Düzenli ve düzensiz binaların modellemeleri oluşturulmuş bu yapılarda perde elemanları farklı şekillerde yerleştirilerek dört farklı modelde iki farklı hesap yöntemiyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Deprem etkisinin olduğu kritik doğrultular binalar için tespit edilmiştir. Binalarda uygun olmayan deprem doğrultuları oluşabileceği ve asal eksenler dışında etkiyen deprem yüklerinin daha olumsuz sonuçlar doğurabileceği görülmüştür.

Gerçek bir bina üzerinde analizler gerçekleştirilerek bu yapı için kritik deprem etki açısı tespit edilmiştir. Burulma katsayısı yönetmelik sınırı olan 1,2'den fazla değerde olan binalarda deprem kuvvetlerinin kritik açı doğrultusunda etkimesiyle elde edilen olumsuzlukların hasarların yönetmelikte öngörülen hasarlardan daha fazla oluşabileceği gösterilmiştir.

Kaya ve Özsoy (2019) çalışmalarında çerçeve sistem ve perdelerle oluşturulmuş yapıların yapısal davranışına perdelerin boyut ve planda yerleşiminin etkisi araştırılmıştır. 10 farklı şekilde planda perdelerin yerleştirildiği ve farklı boyutlarda dizayn edilen perdelerle modellemeler oluşturulmuş ve eşdeğer deprem yükü

yöntemiyle analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarında kesme kuvvetleri, yatay yerdeğiştirmeler, görelı kat ötelenmesi ve periyot değerleri karşılaştırılmıştır. Planda x ve y yönlerinde eşit perde yerleştirilen modellerde deprem güvenliği açısından, depremin olumsuz etkilerine karşı (deplasmanlar, görelı kat ötelenmeleri, kat kesme kuvvetleri) daha olumlu sonuçlar alınmıştır. Planda x ve y doğrultularında perde yerleştirilmesinin binanın asal eksenleri doğrultusunda birbirine yakın periyotlara sahip olması sonucunu doğurduğu tespit edilmiştir. Perde elemanlarının kesme alanlarının yeterli olması ile birlikte uygun yerleştirilmesinin yapı davranışında büyük önem arz ettiği analiz sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Aktan ve Kıracı (2010) alışmalarında perde elemanların tasarımıda uygun dağıtılmasının deprem yüklerinin karşılanmasındaki önemi irdelenmiştir. Farklı şekillerde dizayn edilen planlar arasındaki yapısal davranış incelenmiştir. Deprem etkilerine karşı koyabilme noktasında binaların rijitliği, dayanım yetkinliği ve süneklik kriterleri incelenmiştir. 8 farklı modelleme (ereveli ve perde çerçeveli planlar) oluşturulmuş olup analizleri gerçekleştirilmiştir. Perde ereve tipi yapıların deplasman, görelı öteleme ve burulma değerleri açısından daha uygun sonuçlar verdiği görölmüştür. Deprem etkilerine ve yıkıcı hasarlara karşı tasarım aşamasında betonarme perdelerin kullanılmasının ve uygun yerleştirilmesinin önemi sonuçlarla gösterilmiştir.

Akıllı (2005) alışmasında burulma düzensizliği katsayısı farklı; 4, 8 ve 12 katlı toplam 30 farklı yapı modeli oluşturmuştur. SAP2000 analiz programıyla zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Burulma düzensizliği katsayısının artmasıyla yapı oluşan yapı performansının azalması gösterilmiştir. Bu amaçla kolonlardaki kesit tesirleri ve modellerin burulma momentleri ile her iki doğrultuda; taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri incelenmiştir. 1998 yönetmeliğindeki dinamik analiz şartı için $\eta_{bi} > 2,00$ değeri 1,70-1,80 değerlerine kadar azaltılması önerilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde artırılmış ek dış merkezlik uygulanması için sınır şartı olan $\eta_{bi} < 1,20$ değeri 1,35~1,40 değerlerine yükseltilmesi tavsiye edilmiştir.

Kumbasar (1993) alışmasında Deprem sırasında çekiçleme etkisi altındaki kat ve toplam yükseklikleri eşit bina bloklarında oluşan hasarlar için çalışma yapmıştır. Modellemeler kayma erevesi olarak dizayn edilmiştir. ekileme etkisi altında etkileşim aralığının sıfırdan büyük olması durumu için katsayısı sıfır olan bir yay

kullanmıştır. Çalışmada farklı kütle oranlarına sahip binalar analiz edilmiştir. Çarpışma sorununun kütleleri birbirinden farklı binalarda daha büyük hasarlar oluşturduğu tespit edilmiştir. Derzlerle ayrılmış binalarda şekil değiştirebilme özelliği fazla olan malzemelerin derzleri doldurmak için kullanılması önerilmiştir. Bu sayede bloklar arasındaki çekiçleme etkilerinin büyük oranda azalabileceği ispatlanmıştır.

Karabulut vd. (2018) yaptıkları çalışmada 6 ve 4 katlı betonarme iki binanın İzmit depremi deprem kayıtları kullanılarak 3 farklı derz aralığı (2, 5 ve 6cm) ile derz mesafelerine göre zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılarak yer değiştirme değerlerine göre binalarda çekiçleme etkisi incelenmiştir. 2cm derz boşluğunun yeterli olmadığı çekiçleme olduğu, 6cm derz boşluklu tasarım analizi sonucunda maksimum yer değiştirmelerin olduğu zaman aralıklarında dahi çekiçlemenin oluşmadığı gösterilmiştir. Seçilen modelleme için yönetmelik şartlarına göre minimum derz boşluğu olan 5cm için analiz tekrar yapılmış ve yönetmelik şartları altında modellemede yer değiştirme değerleri incelemesi sonucunda çekiçleme oluşmadığı tespit edilmiştir. Olası depremlerde yönetmelik şartlarına uygun derz mesafelerinin binaların hasar dereceleri yönünden önemi gösterilmiştir.

Hasgül (2011) yaptığı çalışmada betonarme binalarda doğrusal olmayan analizde plastik mafsallarda oluşacak en elverişsiz şekil değiştirmeler ve bunları oluşturan kritik deprem yüklerinin yönü araştırılmıştır. Araştırma yapılması için 17 adet betonarme bina modellemesi oluşturulmuş, binaların farklı deprem doğrultuları için statik analizleri yapılarak taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik kesitlerdeki oluşan davranışlar (yer değiştirme, dönme, birim boy değişmesi, görelî kat ötelemesi, vb.) incelenmiştir. Analiz sonuçlarında deprem yükleri doğrultuları ve deprem ivme kayıtları özellikleri yanında binaların geometrilerinin de büyük önem arz ettiği gösterilmiştir.

Hamsici (2018) çalışmasında 2018 Deprem yönetmeliği ile deprem yer hareketi spektrum hesabının diğer adıyla davranış spektrumu hesabının yapılmasında söz konusu yapının konumu ve üzerinde bulunduğu zemin özelliklerinin dikkate alınması gerekliliği bu çalışmada incelenmiştir. 4 farklı ilde bulunan 4 farklı zemin özelliğine sahip 4,7 ve 10 katlı binalar oluşturulmuş, 2018 ve 2007 deprem yönetmelikleri esaslarına göre analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre maksimum görelî kat ötelenmeleri ve taban kesme kuvvetleri kıyaslanmıştır. Taban kesme kuvveti 2018 deprem

yönetmeliğine göre elde edilen değerlerin 2007 deprem yönetmeliğine göre, yapının kat sayısı arttıkça daha düşük değerler verdiği, kat ötelenmelerinde ise güncel yönetmeliği göre yapılan analiz sonuçlarının bir önceki 2007 yönetmeliği şartlarında analiz edilenlere göre, zemin özellikleri kötüleştikçe daha büyük değerler elde edilmiştir.

Mollaioli ve Bruno (2008) yaptıkları çalışmada tek serbestlik dereceli (SDOF) ve çok serbestlik dereceli (MDOF) sistemlerde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemiyle, dünya çapında en önemli 43 depreme ait toplamda 868 gerçek deprem ivme kayıtlarıyla analiz yapmışlardır. Analiz sonuçları deprem kayıtlarının deprem büyüklüğü, kayıt istasyonunun yapıya olan uzaklığı, binanın bulunduğu zemin özellikleri değişkenlerinin etkileri karşılaştırılmıştır. Özellikle, deprem büyüklüğünün, faya mesafesinin, yerel zemin-saha koşullarının, sünekliğin ve hiperstatik davranışın etkileri ölçülmüştür. Yeni veya güçlendirilmiş yapılar için maksimum elastik olmayan yer değiştirmenin maksimum elastik yer değiştirmeye oranı için basitleştirilmiş denklem oluşturulmuştur.

Kayhan ve Demir (2016) çalışmalarında 2007 deprem yönetmeliği koşullarına uygun deprem kayıtları kullanılmıştır. Düzlem çerçeveler için elde edilen görelî ötelenme değerleri incelenmiştir. İki boyutlu betonarme 3, 5 ve 7 katlı çerçeveler modellenmiştir. 2007 deprem yönetmeliği deprem kayıtlarının seçilmesi kurallarına uygun farklı ivme kayıtlarıyla gerçekleştirilen analizlerden farklı ötelenme değerleri elde edildiği kanıtlanmıştır. Her çeşit zemin sınıfları ve betonarme taşıyıcı sistemler için farklı değerlerin elde edileceği ifade edilmiştir.

Fahjan (2008) çalışmasında zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak yapılacak analizlerde deprem ivme kayıtlarının seçilmesi kriterleri olarak kayıtların deprem büyüklüğü, bina konumunun zemin özelliği, faya olan mesafe ve kayıtların içeriğinin önemini anlatmıştır. Kayıtların ölçeklendirilmesinin öneminden bahsetmiştir. Hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirmenin yöntemi gösterilmiştir. Birden çok deprem kaydı kullanılması durumunda ya kayıtların ayrı ayrı ölçeklenmesi yolu izleneceği ya da en uyumlu kayıtların ortalamasının kullanılabilceği belirtilmiştir. Gerçek deprem kayıtlarını seçimi ve ölçeklenmesi yöntemi tarif edilmiştir. İki adet uygulama yapmış, zemin tipleri için tanımlanan tasarım ivme spektrumuna en uygun 10 adet yaşanmış deprem kaydı seçilmiştir. Zemin türü, deprem bölgesi ve bina önem

katsayısı farklı iki örnekte deprem kayıtlarının ölçeklenmesi ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Koçer vd. (2018) çalışmalarında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde tanımlanan spektral ivme değerleri ile bina doğal periyotlarının tespitine ve elde edilen değerlerin kıyaslanmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Her iki yönetmelik şartlarına göre tanımlanan spektral ivme değerleri ile zemin hâkim periyotları dört farklı deprem riski taşıyan bölgeden seçilmiş iller ve farklı zeminler için elde edilmiştir. Güncel yönetmeliğe göre elde edilen ivme değerleri 2007 deprem yönetmeliğine göre elde edilen ivme değerlerine göre %28 ila %175 artış göstermiştir. Zayıf zemin gruplarında 2018 yönetmeliğinin 2007'ye göre daha güvenli tarafta kaldığını sonucuna ulaşılmıştır. Zemin hâkim periyotları açısından incelendiğinde 2018 deprem yönetmeliğinde elde edilen değerlerin bölgelere göre değiştiği tespit edilmiştir. 2007 deprem yönetmeliğinde ise zemin hâkim periyotları deprem bölgelerine göre farklılık göstermemektedir. Zemin özelliklerine göre değişmekte olduğu periyot değerlerinin zemin zayıfladıkça arttığı sonucuna varılmıştır.

Fahjan vd. (2011) yaptıkları çalışmada 12 katlı betonarme bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere 2007 deprem yönetmeliği şartlarına ve yapının zemin sınıfına uygun 10 adet gerçek deprem kayıtları seçilerek yapının hedef tasarım ivme spektrumuyla eşleştirilerek analiz yapılmıştır. 2007 deprem yönetmeliğinde zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan analizlerde üç deprem kaydı kullanılması halinde sonuçların en büyükleri alınmalıdır. En az yedi deprem kaydı etkitildiğinde sonuçların ortalaması tasarım için kullanılacaktır. 10 deprem kaydından rastgele 3'ü için analizler (doğrusal ve doğrusal olmayan) gerçekleştirilmiş, diğer 7'si için de tekrar analiz gerçekleştirilmiştir. Kıyaslamalar ayrı ayrı olmak üzere, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi için kıyaslanmıştır. 7 yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması ile spektral analiz sonuçları birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. 3 deprem kaydı kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları spektral analiz sonuçlarına uzak kalmıştır.

Özmen (2011) çalışmasında, Ülkemizdeki betonarme yapıların depreme karşı dayanım ve hasarlarının tespiti ve tasarım hatalarının (yumuşak kat, kapalı çıkma vb.) deprem performansı üzerindeki etkisi deprem etkisi altında deplasmanlarını temel alarak

değerlendirmiştir. Modellemelerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu analizlerde farklı zeminler için 264 gerçek deprem ivme kaydı seçilerek uygulanmıştır. Yer değiştirme talep kapasite, düzensizlik etkileri sonuçları, dayanım değerlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Çeri (2012) çalışmasında 23 katlı betonarme bir binanın 2007 deprem yönetmeliği esaslarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizle performans incelemesini yapmıştır. Söz konusu yönetmeliğe göre modelleme ve deprem kayıtlarının seçimi, ölçeklenmesini gerçekleştirmiştir. Planda bina çekirdek bölgesi iki asansör perdelerinden oluşacak şekilde modellenmiştir. Bina kolon ve kirişlerinde oluşan hasarların incelenmesine ek olarak orta dikmeli çubuk model, analiz süresini kısaltma amaçlı ve çok katmanlı kabuk model olarak dizayn edilen yani gerçek davranışı daha çok yansıtan perdelerde oluşan hasarlar kıyaslanmış ve yapıda oluşan görelî kat ötelenmeleri incelenmiştir.

Turan (2022) çalışmasında konut amaçlı kullanılan 1975 deprem yönetmeliğine göre inşa edilmiş 5 katlı betonarme karkas mevcut bir binanın deprem performansını Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 esaslarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak belirleyip ardından güçlendirme çalışması yaparak ardından maliyet analizi yapmıştır. 2018 deprem yönetmeliği kurallarına göre binanın bulunduğu bölgeye uygun deprem kayıtlarını seçilip ölçekleme işlemi ardından zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analiz yapılmıştır. Binanın analizleri sonucunda yapının yönetmelikçe belirtilen performans şartlarını sağlamadığı tespit edilmiş ardından betonarme perde eklenerek ikinci olarak ise çelik çapraz ekleme yöntemleriyle güçlendirme yapılmıştır. Güçlendirme maliyetleri çıkartılarak karşılaştırılmış, perde eklenerek yapılan güçlendirmenin daha ucuz bir güçlendirme olduğu sonucuna varılmıştır.

3. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE ANALİZİ

3.1. Giriş

Yapı tasarımında genel tercih, yapıların doğrusal davranış göstermesi göz önünde bulundurularak yapılan çalıőmalardır. Doğrusal olmayan davranış tercihi genellikle yönetmeliklerin koyduğu sınırlandırmalar ya da tasarımcı mühendislerce geliően bilgisayar analiz programlarının çözümlene imkanı ve beton teknolojisindeki ulaőılan dayanım kalitesi sonucu başvuru olan yöntemdir. Binaya etkiyen yükler iőletme yükü sınırını aőarak taşıma gücüne yaklaőtıkça taşıyıcı sistem doğrusal elastik sınırı geçerek taşıyıcı elemanlarda oluşan deđiőiklikler kabul edilebilir sınırları aőmaktadır. Halbuki halen sistem kullanılabilir durumda ve etkiyen yükleri belirli bir oranda karőılabayabilir kapasitede olabilir. Doğrusal olmayan yöntem kullanılarak betonarme yapının doğrusal elastik davranış limitini aőtıktan sonra da taşıma kapasitesi belirlenmiő olup yapıların daha küçük kesitlerle sonuç olarak ekonomik tasarımına imkan sağlanmış olur.

Doğrusal hesap yönteminde yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri, deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre belirlenmiő kapasite sınırlarıyla karőılaőtırma yapılarak doğrusal davrandığı kabul edilen yapının dayanımı belirlenir. Bu analiz yönteminde yapı malzemesinin gerilme Şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri) doğrusal elastik olarak alınmakta ve yerdeđiőtirmelerin çok küçük olduğu öngörülmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yönteminde deprem yüklerinin ve diğer taşıyıcı sisteme etki eden kuvvetlerin artması ve taşıma gücü sınırına yaklaőmasıyla sistem elemanlarında oluşan Şekil değiştirme ve gerilmelerle yapı doğrusal-elastik davranıştan uzaklaőtır. Deplasman ve Şekil değiştirmeler ihmal edilebilecek durumda olmamasından dolayı doğrusal olmayan hesabın kullanılması, daha kapsamlı inceleme zorunluluğu doğer. Yapı sisteminde doğrusal elastik ötesi kapasiteler değerlendirilmek suretiyle taşıyıcı sistem davranışı daha detaylı incelenmektedir.

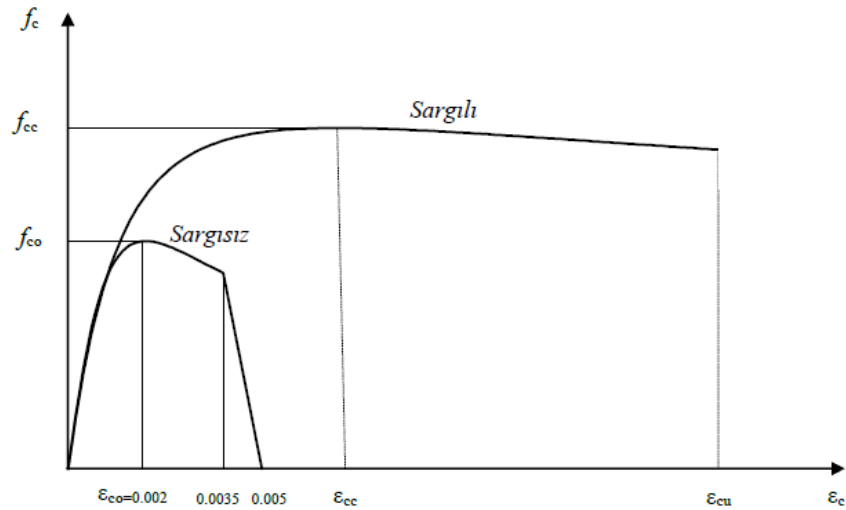
3.2. Betonarme Sistem Davranışı

Biri gevrek malzeme olan beton ile diğerü sünek malzeme olan donatı çeliğinin birlikte oluőturdıkları kompozit yapısal forma betonarme denilmektedir. Beton malzeme basınç dayanımı yüksek olmakla beraber çekme dayanımı yetersiz zayıf bir malzemedir. Bu olumsuz yönü çekme dayanımı yüksek olan çelik malzemeyle birleőerek giderilmiő

olmaktadır. Diğer bir deyişle yapı malzemesi olma özelliğine kavuşmaktadır. Korozyon, aşırı ısı yangın ve burkulma gibi dış etkilere dayanıksız olan çelik malzeme, beton malzeme ile sarılarak çeliğin eksileri bertaraf edilmiş olmaktadır. Beton ve çelik sisteminin beraber çalışmasını sağlayan faktör, her iki malzemenin sıcaklık genleşme katsayılarının birbirine yakın olmasıdır.

3.2.1. Beton

Beton malzeme çimento, su ve agreganın belirli oranlarla karıştırılmasıyla elde edilir. Betona dayanım ve farklı özellikler kazandırmak için kimyasal veya mineral katkı maddeleri de eklenmektedir. Yarı gevrek malzeme beton, düşük yükler altında doğrusal elastik malzeme davranışı gösterir, etkiyen yüklerin artmasıyla beton doğrusal olmayan davranış modeline geçer ve deformasyonlar çatlaklar başlar. Çatlakların büyümesiyle beton kırılır ve taşıma kapasitesi azalır. Bu süreç her beton kalitesi için farklı seyretmektedir. Yönetmeliklerde kırılma sınırı için, güvenli tarafta kalma adına betonun asıl davranışından az olacak şekilde belirli bir sınır belirlenmiştir. Bu sınır, tasarım için yol gösterici olmakta ve söz konusu değerlere göre hesaplar yapılmaktadır. Şekil 1’de TBDY 2018’de doğrusal olmayan yöntemde kullanılmak üzere sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.

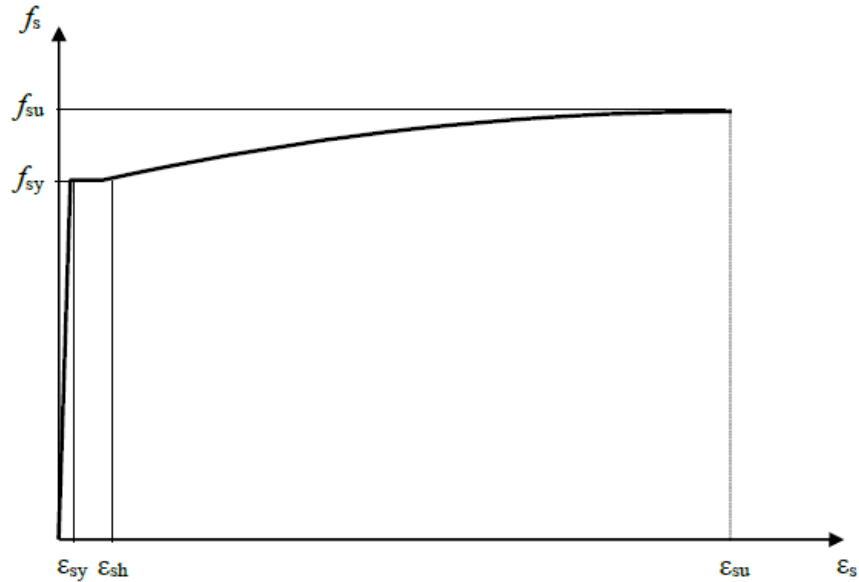


Şekil 1. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi
(Kaynak: TBDY 2018)

Şekil 1’de görüldüğü üzere sünek olan donatı çeliğinin betonu sarması ile elde edilen sargılı betonun davranışı, sargılı betonun sargısız betona göre kopma şekil değiştirmesini artırmakta, daha çok şekil değiştirmekte yani daha çok sünek olmasını sağlamaktadır. Bu durum sargılı betonda göçme gerilme değerinin artmasını sağlar.

3.2.2. Donatı Çeliği

Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatının enkesiti genellikle daireseldir, bu form betonla olan temas yüzeyinin artmasını sağlamaktadır. Uzun yıllardır nervürlü olarak üretilen donatılar beton ile çelik arasındaki aderansın artmasını sağlar. Donatı çeliğinin sünek olması sayesinde yüklemeler altında büyük şekil değiştirme kapasitesine ulaşabilmektedir. Yüklemeler altında sınır değerlerine bağlı olarak lineer davranış gösteren donatı çeliği, bu sınırlar aşıldıkça akma dayanımına ulaşana kadar elastik özelliğini korur. Akma dayanımı aşıldıktan sonra donatı çeliğinde plastik, kalıcı şekil değiştirmeler oluşmaya başlar. Donatı türüne bağlı olarak çekme dayanımı sınırına kadar yük almaya devam edebilir. Şekil 2’de TBDY-2018 doğrusal olmayan yöntemle değerlendirme yapmak için kullanılmak üzere donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.



Şekil 2. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisi

(Kaynak: TBDY 2018)

Tablo 1’de çeşitli donatı çeliklerine ait gerilme ve şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Donatı çeliği için gerilme ve şekil değiştirme değerleri

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 - 1.35

(Kaynak: TBDY 2018)

3.3. Süneklik

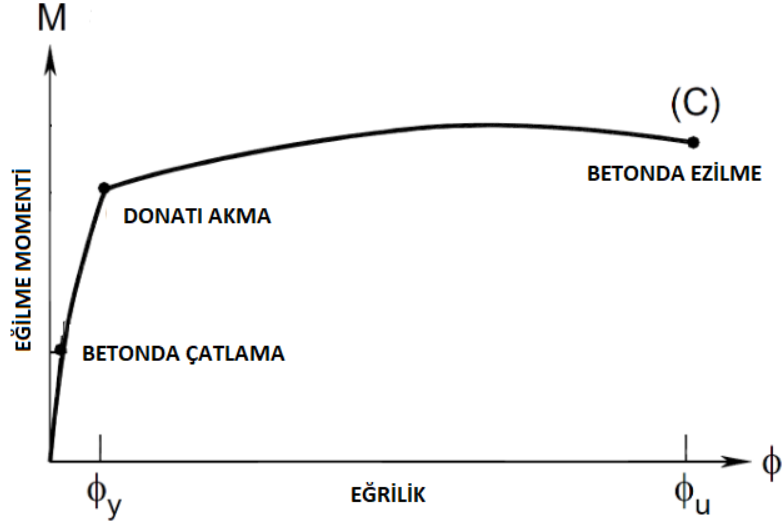
Bir kesitin, yapı elamanının ya da taşıyıcı sistemin dış etkiler yüklemeler altında önemli bir değişim olmaksızın, elastik limitin üstünde şekil değiştirme dolayısıyla yerdeğiştirme yapabilme özelliğinin ölçüsüne süneklik denilir. Matematiksel tanımlaması elastiklik sınır ve güç tükenme durumu dikkate alınarak yapılabilir (Celep ve Kumbasar, 2000). Yeterli derecede süneklik tasarımda, yapının elastik sınırın ötesinde şekildeğiştirme kapasitesini arttırarak daha fazla dış etkiyi karşılayabilmesi için büyük önem arz eder. Süneklik, malzeme açısından şekil değiştirme sünekliği, kesit açısında normal kuvvet altında kesitin uzama sünekliği, taşıyıcı sistem bazında yatay kuvvet etkisine ise yer değiştirme sünekliği olarak tanımlanabilir. Tasarımcı yapıda malzeme, eleman boyutları ve taşıyıcı sistem geometrisini süneklik değerlerini karşılayabilecek şekilde seçmelidir. Yeterli süneklik sağlanarak betonarme elemanlarda gevrek güç tükenmesinin önüne geçilmelidir.

Gevrek davranışın engellenmesi için deprem yönetmeliği, yapı elamanları boyutlandırılması, donatı düzenlemesi ve taşıyıcı sistemin oluşturulması hakkında esaslar sunmaktadır. Eleman bazında ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması, yeterli bindirme boyu oluşturulması, sistem bazında düzensizliklerin engellenmesi, yüksek binalarda farklı hesap yöntemlerinin uygulanması, kesme dayanımlarının eğilme dayanımlarından yüksek olmasının sağlanması vb. bu esaslara örnektir.

3.4. Doğrusal Olmayan Davranış Şekilleri

3.4.1. Plastik Mafsal Kavramı

Betonarme kesitin moment eğilme ilişkisi incelediğinde Şekil 3'te görüldüğü üzere, betonda çatlama gerçekleşene dek doğrusal elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu kısımda moment küçük değerlerdedir. Gerilmelerin artmasıyla çekme bölgesinde betonun çatlama, beton ve donatıda doğrusal olmayan davranış başlar. Bununla birlikte moment eğrilik değişimi doğrusal davranıştan çıkmıştır. Donatı akması gerçekleştikten sonra eğri yataya yakın şekil alır. Bu kısımda elastik ötesi olan plastik davranış etkindir. Eğri son noktaya eriştiğinde kesitte güç tükenmesi oluşur. Betonarme elemanlarda kolon ve kiriş eğilme momenti eleman ekseninde değişiklik gösterir. Bazı kesitlerde moment küçük olabilir ve çekme bölgesi çatlak hasarı vermeyebilir. Betonarme elemanların mesnet bölgelerine yakın kısımlarda eğilme momenti diğer kısımlara nazaran daha büyük olmaktadır. Bu kısımlarda eğilme momenti büyük olduğundan elastik ötesi davranış olan plastik dönmeler etkili olur. Plastik dönmelerin yoğunlaştığı bu kısımlar normal mafsallardan farklı olarak plastik mafsallardır. Plastik mafsalların diğerlerinden farkı, kesit dönmesinin eğilme momentinin eğilme dayanımı momentine ulaşmasıyla oluşmasıdır (Celep ve Kumbasar, 2000).



Şekil 3. Basit eğilme etkisinde betonarme kesit eğilme momenti eğrilik bağıntısı

(Kaynak: Celep ve Kumbasar, 2000)

3.4.2. Yığılı Plastik Davranış Şekli

Betonarme elamanda akma sınırından sonra oluşan nonlinear davranışı ifade için oluşturulan matematiksel varsayım modelidir. Kolon ve kirişlerde betonarme elemanların uç noktasında plastik deformasyonların toplandığı düşünülerek oluşturulan modeldir. Binalara etkiyen yükler sonucu oluşan plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsallarda biriktiği varsayılır. Modellemede uç bölgeler dışında kalan yapı elemanının diğer kısımlarının doğrusal elastik davrandığı varsayılmaktadır. Yığılı plastik davranış şekli bu kabullere istinaden oluşturulmuş davranış türüdür.

2018 yönetmeliği gereği doğrusal olmayan davranış altında sonlu eleman olarak modellenen kolon, kiriş ve yönetmelik şartlarını sağlayan perdelerde bu davranış hesaplarda kullanılabilir. Modelde iç kuvvetlerin plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı şekilde dağıldığı varsayılmaktadır. Perdelerde bu yöntemin kullanılabilmesi için 2018 yönetmeliği 4.5.3.8 perdeler plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranı 0,5'i geçmeyecektir (TBDY 2018).

3.4.3. Yayılı Plastik Davranış Şekli

Plastik şekil değiştirmelerin yığılı plastik davranışta olduğu gibi sınırlı bölgelerde toplanmadığı, sonlu boydaki uç bölgeler veya taşıyıcı elemanın uzunluğunca şekil değiştirmelerin sürekli şekilde hesaba katıldığı davranış şeklidir. Yöntem betonarme elemanın tamamında ve de kesitlerinde doğrusal olmayan davranışın incelenmesine imkan vermektedir. Eleman kesitlerinin ve donatısının yeterince lifciklere (fiber) bölünerek modelleme gerçekleştirilir. Bu sayede büyük boyutlu ya da değişik şekillerdeki (C, U, L, T) perdelerde enkesit türlü kısımlara ayrılarak analiz gerçekleştirilebilmektedir. Düşeyde de perde boyunca yine sonlu boydaki kısımlar dikkate alınarak iki boyutlu sonlu eleman kümesi tasarlanabilir (TBDY 2018).

3.5. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesinde: Analizi yapılacak bina her zaman 3 boyutlu olacak şekilde modellenmelidir. Deprem etkisi iki yatay doğrultu dikkate alınmalıdır. Doğrusal sönüme ait oran aksi bir durum belirtilmediği sürece, %5 olarak alınmaktadır. Eksenel kuvvetlerden dolayı taşıyıcı sistemde oluşan şekil

değiştirmeler sonucu ikinci merteye etkileri göz önüne alınacaktır. Mevcut binalarda Şekil değiştirmeye göre hesaplarda malzemelerden alınan sonuç değerler kullanılacaktır. Yeni yapılacak binalarda Şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesi ve tasarımında Tablo 2’de verilen beklenen (ortalama) beton ve donatı dayanımları kullanılacaktır (TBDY 2018).

Tablo 2. Beklenen malzeme dayanımları

Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

(Kaynak: TBDY 2018)

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri, itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olmak üzere iki ana başlıkta toplanır.

3.5.1. Tek Modlu İtme Hesap Yöntemi

Tek modlu itme yöntemi, doğrusal mod birleştirme yönteminin tek modlu olarak doğrusal olmayan artımsal uygulanması yöntemidir. $BYS < 5$ sınıfına giren ve aşağıdaki Şartları sağlayan binalarda doğrusal olmayan hesapta tek modlu itme yöntemleri uygulanabilir:

Herhangi bir katında ek dış merkezlik etkisi göz ardı edilerek, doğrusal elastik davranışa göre hesaplanıp elde edilen burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ olması gerekliliği.

Söz konusu deprem doğrultusunda, doğrusal elastik yöntemle hesaplanan hakim titreşim modundaki taban kesme kuvveti etkin kütesinin, var ise rijit perde elemanlarla çevrelenmiş olan bodrum katların kütleleri hariç toplam bina kütesine oranı en az 0.70 değerini sağlaması Şartı.

Yöntem sabit tek modlu itme yöntemi ve değişken tek modlu itme yöntemi olarak iki farklı Şekilde hesaplanabilir. Sabit tek modlu itme yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, bina zati ağırlığı ve hareketli yükler altında hesaplandığı aşamadan sonra birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod Şekli ile orantılı olarak

etki ettirilirler. Değişken tek modlu itme yönteminde ise, deprem dışı yüklemeler, ilk adımdan sonraki her itme adımdan sonra sistemde oluşan değişikliklere, plastik mafsallar, yerdeğiştirmeler sonucu oluşan her yeni duruma göre yeniden hesaplanan mod şekilleri ile sonraki adımın hesabı yapılır (TBDY 2018).

3.5.2. Çok Modlu İtme Hesap Yöntemi

Çok modlu itme yöntemi bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 2$ olan çok yüksek binalar için kullanılabilir (TBDY 2018). Çok katlı yapıların deprem performansı sonuçlarının daha gerçekçi belirlenmesi amacıyla yüksek mod etkilerinin dikkate alındığı yöntemdir.

3.5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Şekil değiştirme esaslı performans değerlendirme amacıyla kullanılan bu yöntem: deprem yer hareketlerinin, incelenecek binaya uyumlu seçilerek ve ölçeklendirilerek oluşturulan deprem etkilerinin, binanın taşıyıcı sisteminin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımına adım adım doğrudan integrasyonudur. Bu hesap işlemleri, deprem hareketlerinin matematiksel hale getirilmesi karmaşık diferansiyel denklem takımlarından oluştuğu ve yapıya ait rijitlik matrisi her adım için değişiklik gösterdiği için analizler bilgisayar programlarıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, tüm bina türlerinin deprem hesabında kullanılabilir. $BYS=1$ yüksek binalar için bu yöntemin kullanımı zorunludur (TBDY 2018).

4. DEPREM YER HAREKETLERİ VE BİNA DEPREM PERFORMANSLARI

4.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

2018 deprem yönetmeliği depremlerin tekrar etme periyotlarına göre dört farklı deprem yer hareketi düzeyi belirlemiştir.

4.1.1. DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

Beklenen en büyük deprem yer hareketidir. Tekrarlanma periyodu 2475 yılda bir kez olduğu, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok nadir deprem yer hareketidir.

4.1.2. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

Standart tasarım deprem yer hareketi olarak varsayılır. Tekrarlanma periyodu 475 yılda bir seyrek deprem yer hareketidir. Spektral büyüklüklerin aşılma olasılığı 50 yılda %10'dur.

4.1.3. DD-3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

Büyüklüğü fazla olmayan tekrarlanma periyodu 72 yılda bir sık deprem hareketi olarak adlandırılan bu deprem yer hareketinin olma olasılığı 50 yılda %50'dir.

4.1.4. DD-4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68, tekrarlanma periyodu 43 yıl olduğu çok sık, servis deprem yer hareketidir (TBDY 2018) .

4.2. Harita Spektral İvme Katsayıları

Spektral ivme katsayıları boyutsuz olup deprem yer hareketi düzeyleri için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır. Harita spektral ivme katsayıları birbirine dik iki düşey doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamalarıdır. Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(Vs)_{30} = 760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmeleri'nin yerçekimi ivmesine

bölünmesi ile elde edilir. Kısa periyotlu S_s ve 1.0 saniye periyotlu S_1 olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanmıştır (TBDY 2018).

4.3. Tasarım Spektral İvme Katsayıları

Boyutsuz olan tasarım spektral ivme katsayıları, harita spektral ivme katsayılarının yerel zemin etki katsayılarına (F_s ve F_1) çarpımı ile Denklem 1’de görüleceği şekilde elde edilirler.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Yerel zemin etki katsayıları değerleri, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 3 ve Tablo 4’de görülmektedir (TBDY 2018).

Tablo 3. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
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
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

(Kaynak: TBDY 2018)

Tablo 4. 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	$S_I \leq 0.10$ 0.60	$S_I = 0.20$	$S_I = 0.30$	$S_I = 0.40$	$S_I = 0.50$	$S_I \geq$
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
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

(Kaynak: TBDY 2018)

4.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, her bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatı olup yerçekimi ivmesi (g) cinsinden Denklem 2'ye göre hesaplanmaktadır.

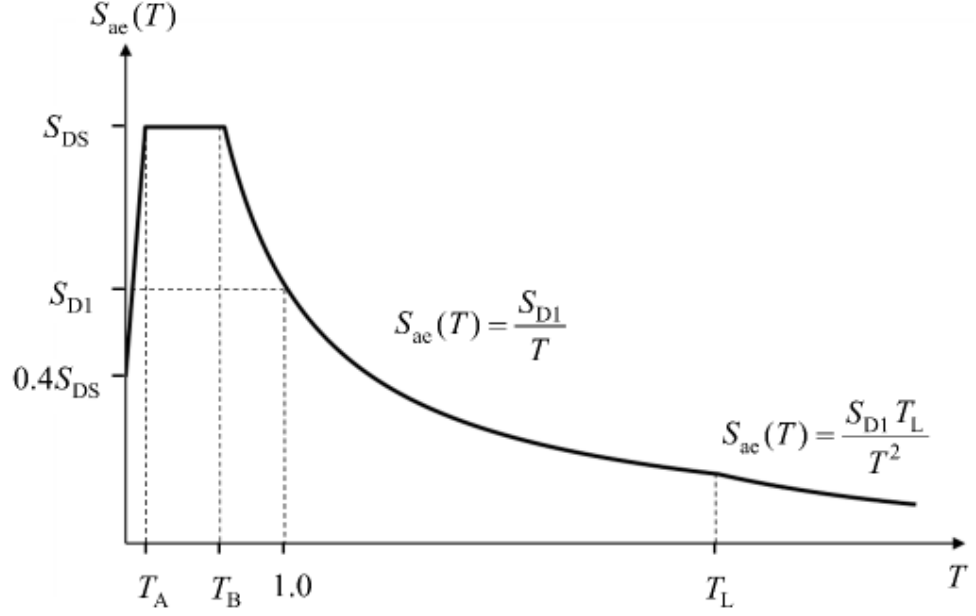
$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (2)$$

Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin, köşe periyotları T_A ve T_B Denklem 3'te tanımlanmıştır (TBDY 2018).

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3)$$

T_L Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu 6s olarak tanımlanmıştır.

İvme katsayıları ve periyod değerlerinin yatay elastik spektrum üzerinde gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



4.5. Bina Kullanım Sınıfları

Yönetmelikte binalar kullanım amaçlarına göre kullanım yoğunluğu, depremden hemen sonra kullanım gerekliliği, tarihi, kültürel, dini ve siyasi önemi, sağlık ve eğitim gerekliliği vb. gereklilikler doğrultusunda Tablo 5'te görüldüğü üzere sınıflandırılmışlardır. Binalar, çeşitli önem derecelerine göre de deprem hesaplarında kullanılmak üzere farklı bina önem katsayılarına tabi tutulurlar (TBDY 2018).

Tablo 5. Bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>)
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar. a)Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b)Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c)Müzeler d)Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	1.5
BKS=2	Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb. Diğer binalar	1.2
BKS=3	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar. (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

(Kaynak: TBDY 2018)

4.6. Deprem Tasarım Sınıfları

Binaların deprem tasarım sınıfı, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve BKS bina kullanım sınıfı değerine göre Tablo 6'dan belirlenmektedir.

Tablo 6. Deprem tasarım sınıfları

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	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

(Kaynak: TBDY 2018)

4.7. Bina Yükseklik Sınıfları

2018 deprem yönetmeliğine göre deprem etkisi altında tasarlanan binalar yükseklikleri sekiz sınıfa ayrılmıştır. Bina yüksekliği H_N bina tabanından (bodrumlu binalarda bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinden itibaren, bodrumsuz binlarda temel üst kotundan itibaren) ölçülen yüksekliktir. Bina yükseklik sınıfları (BKS) bu yüksekliklere ve deprem tasarım sınıflarına göre seçilir. Bina yükseklik sınıflarına ait değerler Tablo 7’de verilmiştir (TBDY 2018).

Bina Yükseklik Sınıfı BKS=1 olan binalar, yüksek bina sınıfına girer. Yüksek binaların tasarım esasları ve mevcut yüksek binalar için performans hedeflerinin belirlenmesi diğer sınıflandırmadaki binalardan farklılık göstermektedir.

Tablo 7. Bina yükseklik sınıfları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına 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	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	$42 < H_N \leq 56$
BYS=5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	$28 < H_N \leq 42$
BYS=6	$10.5 < H_N \leq 17,5$	$17.5 < H_N \leq 28$	$17.5 < H_N \leq 28$
BYS=7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10.5 < H_N \leq 17,5$	$10.5 < H_N \leq 17,5$
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	$H_N \leq 10,5$

(Kaynak: TBDY 2018)

4.8. Düzensiz Binalar

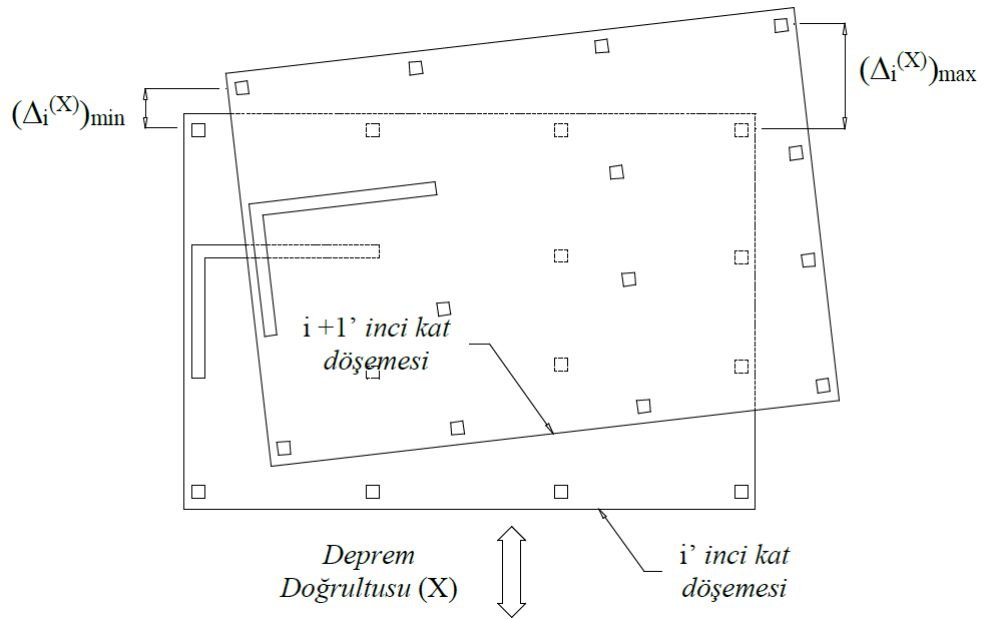
2018 deprem yönetmeliğinde, deprem etkilerine karşı oluşabilecek olumsuzluklar göz önüne alınarak binaların tasarım ve yapım süreçlerinde kaçınılması gereken düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere 2 ana başlıkta tanımlanmıştır.

Planda düzensizlikler, A1 burulma düzensizliği, A2 döşeme süreksizliği ve A3 planda çıkıntılar bulunması alt başlıklarıyla tanımlanmıştır.

Düseyde düzensizlik durumları; B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat), B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) ve B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği alt başlıklarında incelenir.

4.8.1. Burulma Düzensizliği

Burulma düzensizliğinin oluşmasında taşıyıcı sistemin simetriklikten uzak, planda taşıyıcıların özellikle perdelerin düzensiz yerleştirilmesi ana etkindir. Burulma düzensizliği Şekil 5'te görüldüğü üzere, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreceli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreceli ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır (TBDY 2018). Bu düzensizlik ağırlık ve rijitlik merkezlerinin çakışmaması, düzensizlik oluşturacak şekilde birbirinden uzak olması sebebiyle oluşur. Burulma düzensizliği 2018 deprem yönetmeliğine göre deprem etkisi altında binaların dayanıma göre tasarımı hesap esaslarından doğrusal hesap yönteminin seçilmesinde doğrudan etkindir.



Şekil 5. Burulma düzensizliği

(Kaynak: TBDY 2018)

Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\max} / (\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$

$$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{\max} + (\Delta_i^{(X)})_{\min}]$$

4.9. Fazla Bağlılık, Hiperstatik Davranış

Statik y¼kler altındaki fazla bağlılık (hiperstatiklik) davranışın deprem y¼kleri etkisinde de devam etmesi, deprem durumunda taşıyıcı sistem elemanlarının bazılarında dayanım azalması ya da elemanın dayanımı kalmadığı durumda sistem yedek elemanlarını devreye alarak taşıyıcı sistemi dayanım noktasında yedeklemesi gerekmektedir. Deprem etkileri altında taşıyıcı sistemin kararlı davranışı sağlanmalıdır. Bu davranışın devam ettirilebilmesi için yönetmelikte “Burulma düzensizliğinin önlenmesi, taşıyıcı sistem elemanlarının dengeli düzenlenmesi vb. nedenler dışında, salt bina veya bina bloklarının plandaki uzunlukları yüzünden taşıyıcı sistemin yapısal derzlerle birbirinden bağımsız bloklara ayrılmasından olabildiğince kaçınılmalıdır” denilmektedir. Tasarım yapılırken binanın yapısal derzlerle bloklara ayrılması, depremde çarpışarak çekiçleme riski sonucu hasar oluşturacağı göz önünde tutulmalıdır (TBDY 2018).

4.10. Bina Performans Düzeyleri

4.10.1. Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi

Taşıyıcı sistem elemanlarında hiç hasar oluşmaması veya hasar oluşsa dahi gözardı edilebilecek seviyede oluşması durumudur.

4.10.2. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın sınırlı kalması, sınırlı hasar oluşması durumudur.

4.10.3. Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan, onarılabilecek seviyede hasar oluşması durumudur.

4.10.4. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Taşıyıcı sistem elemanlarında büyük düzeyde ağır hasarların meydana geldiği, sistemin kısmen veya tamamen göçmesinin önlendiği performans düzeyidir.

4.11. Bina Performans Hedefi

Belirlenen yer hareket düzeyi, deprem tasarım sınıfı türlerine göre yeni yapılacak ya da mevcut binalar için sağlanması gereken performans hedefleri talep edilmesi durumunda ise ileri performans hedefleri 2018 deprem yönetmeliği Tablo 3.4’te verilmiştir. Binalar önemine ve isteğe bağlı olarak daha güvenli olmaları adına ileri performans hedefleri de seçilebilir. Yüksek binalar haricinde $BYS \geq 2$, mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretilmiş betonarme ve çelik binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Performans hedefleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

(Kaynak: TBDY 2018)

5. ZAMAN TANIM ALANINDA DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENMESİ

5.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Yer hareketi seçimine yönelik uygulama, ilgili sahadaki sismolojik ve jeofiziksel parametrelerini temsil eden deprem kayıtlarını bir araya getirmektir. Kayıtlar benzer parametrelere, büyüklük, kaynak konum mesafesi, zemin sınıfı, fay mekanizması değerlerine göre seçilir. Deprem merkez üssü uzaklığı tasarım ve analiz için yaygın kullanılan bir kriterdir. Binanın bulunduğu zemin koşulları ivme kayıtlarının seçilmesinde önemli bir faktördür. Zemin türüne göre seçilecek deprem kayıtları, tepki spektrumun şeklini ve genliğini etkilediği için ivme kayıtları (Vs30) en üst otuz metreye ait kayma dalgası hızı değeri ile belirlenir (Zengin 2016).

2018 deprem yönetmeliğinde binaların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi ile ilgili, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır denilmektedir. Bina konumu itibariyle tasarıma esas deprem yer hareketine uyumlu gerçekleşmiş deprem kayıtları var ise öncelikle bu kayıtlar kullanılmalıdır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle yapılacak analizlerde binaya etki ettirilecek deprem kayıt takımlarının sayısı 11'den az olmayacaktır. Seçilen deprem kayıtları için aynı depremden en fazla 3 adet seçilebilir (2018 TBDY).

5.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında yapılacak analizler için seçilen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi, yönetmeliğe göre basit ölçeklendirilme yöntemiyle yapılmalıdır. Yöntem, seçilen kayıtların genliklerinin tasarım spektrumu ile uyumlu olacak şekilde sabit bir katsayı ile çarpılması işlemidir.

Öncelikle üç boyutlu analiz için deprem kayıt takımlarının yatay bileşenlerinden oluşturulan spektrumlardaki değerlerin kareleri alınarak toplanır ardından karekökü alınarak deprem kayıtlarının bileşke yatay spektrumu elde edilir. Ardından yapının periyodu tespit edilerek bu periyodun 0,2 ve 1,5 katlarına karşılık gelen değerler

bulunur. $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları aralığındaki genlik değerleri, yapı için tanımlanmış olan tasarım spektrumunun 1.3 katı alınarak bulunan genlik değerlerinden daha küçük olmayacak şekilde ölçeklendirme işlemleri gerçekleştirilir (2018 TBDY).

6.10 KATLI BETONARME BİR BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE DERZLİ VE DERZSİZ OLARAK DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

6.1. Giriş

Söz konusu bina konut amaçlı Kocaeli İli Gebze İlçesinde yapılmak üzere tasarlanmış 10 katlı, taşıyıcı sistemi betonarme karkas ve perdeli bir yapıdır. Binanın mimari projesi 2+1 ve 3+1 dairelerle neredeyse simetrik şekilde derzsiz oluşturulmuş, bu mimariye göre tasarlanan statik projede binanın ağırlık ve rijitlik merkezleri çok yakın durumdadır. 2007 yönetmeliğine göre derzle ayrılması zaruri olan yapının, bloklara ayrılması sonrası yine aynı şekilde ağırlık ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılması adına her bir blokta taşıyıcıların yerleri değiştirilmesi mimari olarak kullanım ve kullanıcıya arz noktasında problemler yaratacağı, hatta oluşturulan projelerde tasarım noktasında düzensizliklerin dikkate alınmadığı bir gerçektir. 2018 deprem yönetmeliği öncesi derz uygulanmaması noktasında bir kural olmaması sebebiyle geçmişte simetrik ve planda düzenli binalarda, derzlerle bloklara ayrılarak deprem etkileri altında ne gibi olumsuzluklar oluştuğu bu çalışmada gösterilecektir. Teze konu binanın derzli ve derzsiz olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle her iki durum için deprem performans seviyeleri karşılaştırılacaktır.

6.2. Binaya Ait Yapısal Bilgiler

Bina kat yükseklikleri tüm katlarda aynı olup 3,0 metredir. Binanın toplam yüksekliği 30metredir. X yönünde 17 aks olup toplam uzunluk 51,90m'dir. Aks açıklıkları sırasıyla: 3,45m, 3,05m, 3,25m, 2,90m, 5,90m, 4,10m, 2,40m, 0,35m, 2,05m, 1,60m, 4,10m, 5,90m, 2,90m, 3,25m, 3,05m, 3,45m'dir. Y yönünde 9 aks olup toplam uzunluk 19,65m, aks açıklıkları ise 1,65m,1,35m, 2,65m, 3,20m, 1,90m, 0,80m, 3,50m, 1,55m, 1,35m, 0,5m, 1,20m'dir. Çerçeve kolonları birbirine bağlayan tüm kirişler bütün katlarda 25/60cm boyutlarındadır. Döşemelerin tamamı binanın tüm katlarında 15cm olarak dizayn edilmiştir.

Belirtilen aks sistemine konumlanan kolonlar 50/65, 45/65, 40/50, 30/105, 30/100, 30/85, 30/80 ve 30/50cm boyutlu dikdörtgen kesitlerden oluşturulmuştur. Perdeler 25/160, 25/175, 25/210, 25/315, 25/370, 25/375, 25/435, 30/370 ve 30/375cm ebatlarda

tasarlanmıştır. Tüm katlarda düşey taşıyıcılar aynı boyutlarda devam ettirilmiştir. Kat planı Şekil 6'da, bina modellemesi Şekil 7'de verilmiştir. Derzle ayrılmış durumda ilave kolon boyutları yine tüm katlarda 30/85 ve 30/105cm kesitlerdedir. Derzle ayrılmış durum Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Bina konumunun zemin sınıfı ZD orta sıkı, sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarından oluşmaktadır. Zemin taşıma gücü gerilmesi $30t/m^2$, zemin yatak katsayısı $4500t/m^3$, beton sınıfı C30 ve donatı çeliği sınıfı B420C'dir.

Diğer Bilgiler:

Bina kullanım sınıfı BKS=3 (TBDY 2018 Tablo 3.1),

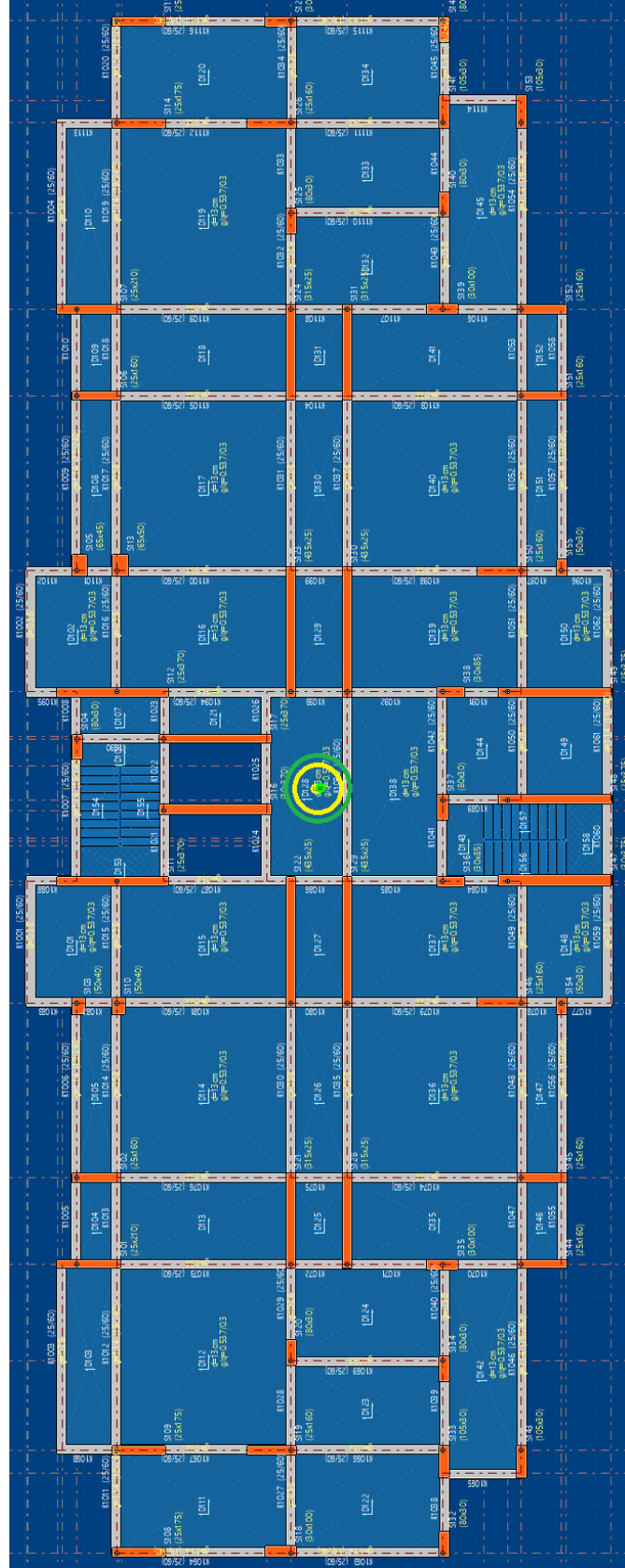
Bina önem katsayısı I=1,0

Bina yükseklik sınıfı BYS=4 (TBDY 2018 Tablo 3.3 bina toplam yüksekliği $H_N=30m$ olduğundan)

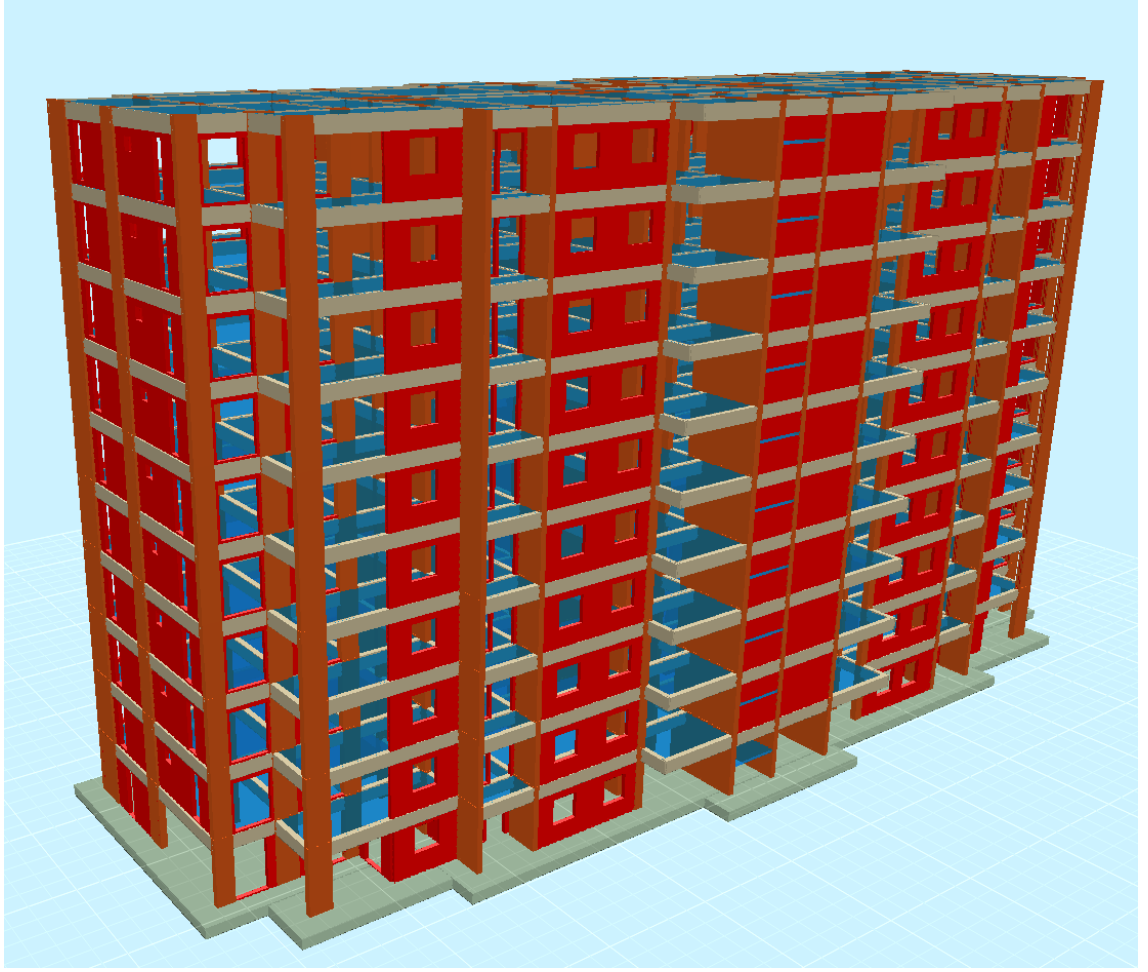
Deprem tasarım sınıfı DTS=1 (TBDY 2018 Tablo 3.2 $S_{DS}=1,311 \geq 0,75$ ve BKS=3 olduğundan)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2'dir.

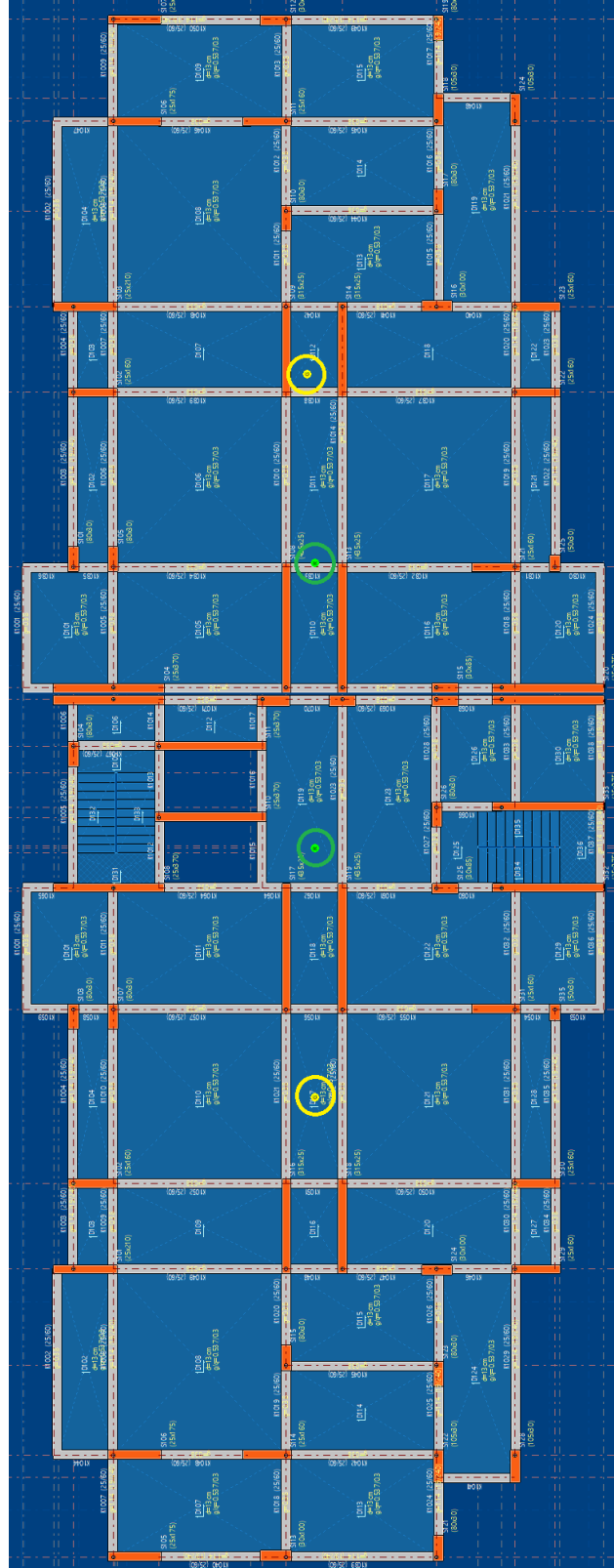
Derz aralığı TBDY 2018 madde 4.9.3'e göre 11cm bırakılmıştır.



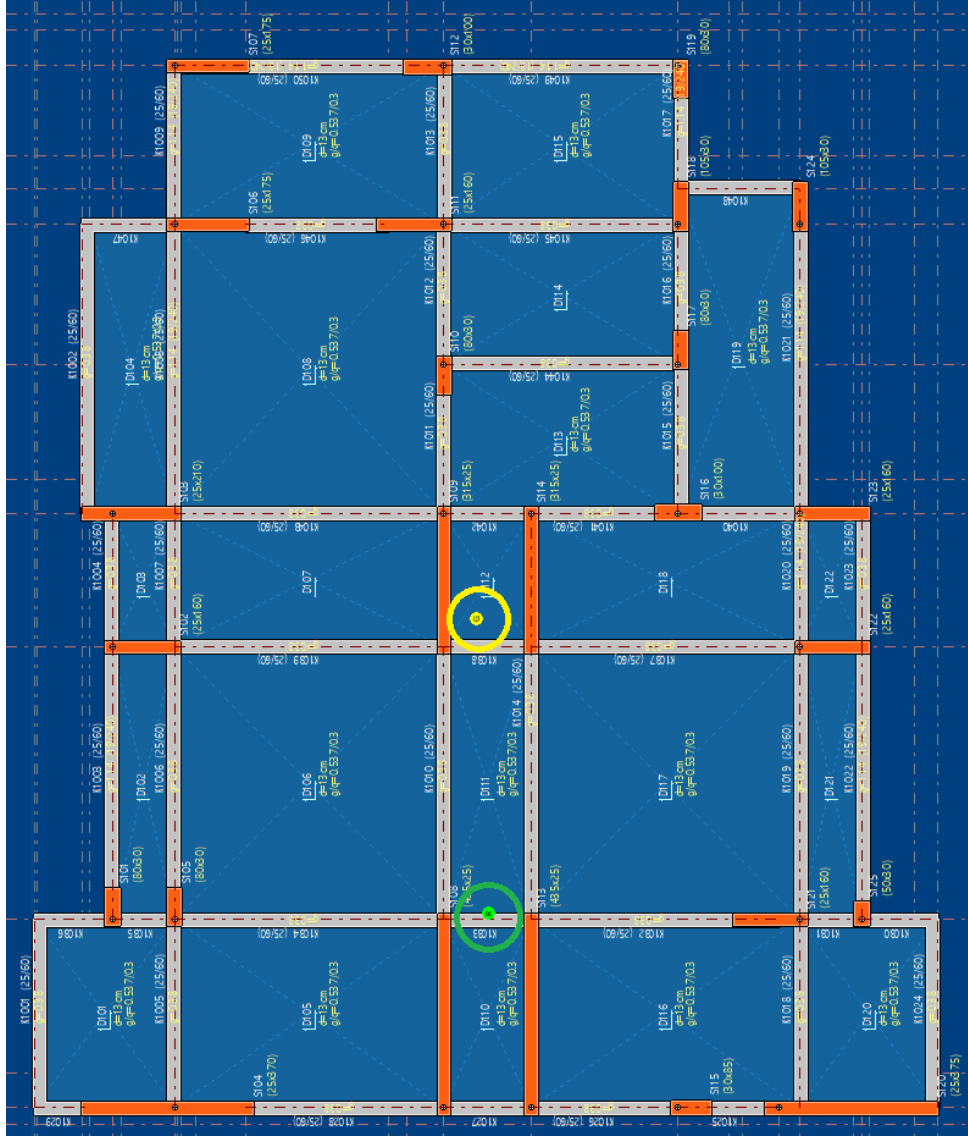
Şekil 6. Derzsiz tasarım kat planı (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)



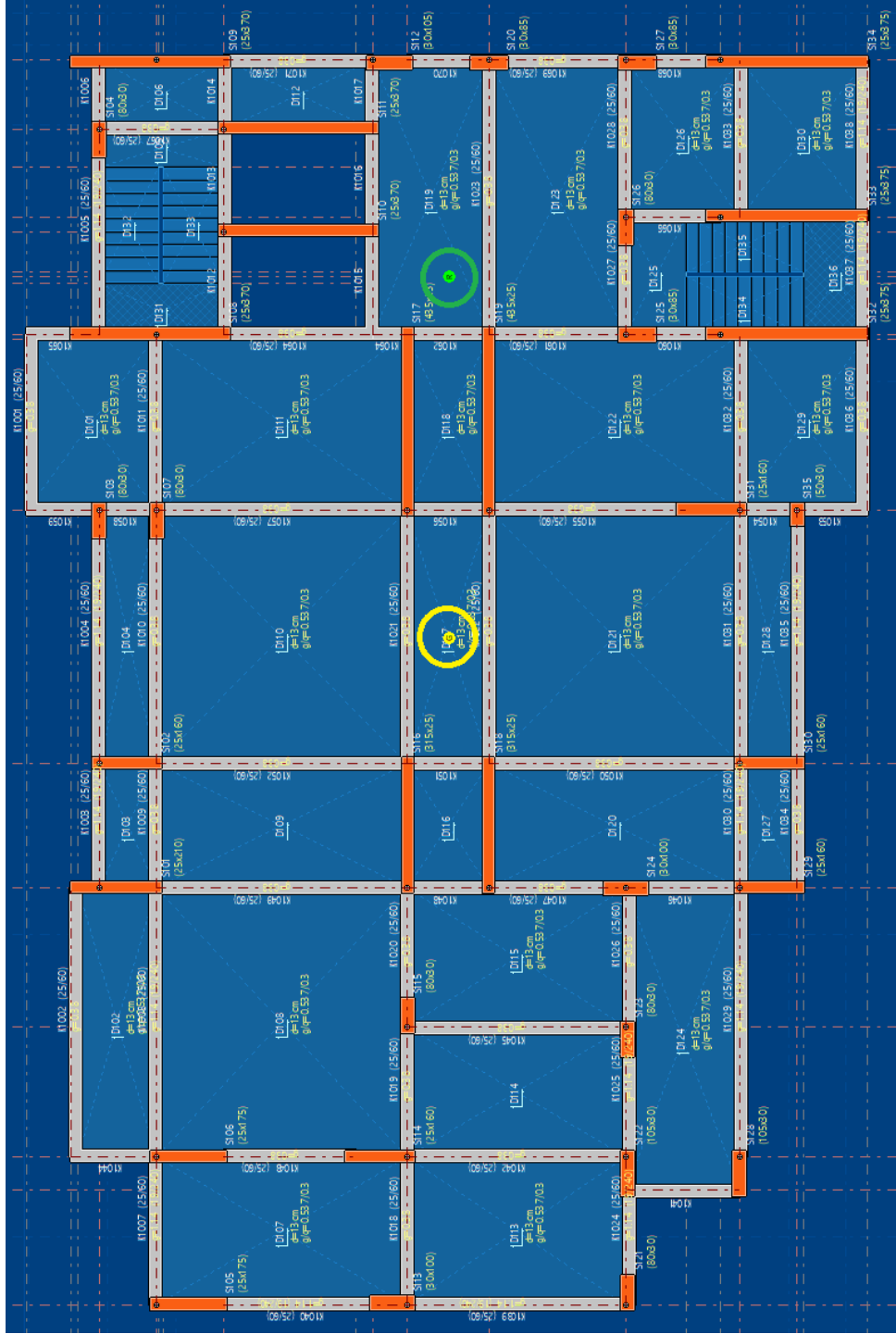
Şekil 7. Binanın 3 boyutlu modeli (derzsiz)



Şekil 8. Derzli tasarım kat planı (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)



Şekil 9. Blok 1 (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)



Şekil 10. Blok 2 (yeşil nokta rijitlik merkezi, sarı nokta ağırlık merkezidir)

Tasarıma esas binanın, kat planlarında görülen kolon, kiriş ve perdelerine ait kesit değerleri ve donatılar Tablo 9 ve Tablo10'da verilmektedir.

Tablo 9. Kolon-kiriş boyut ve donatıları

Taşıyıcı	Kesit (cmxcm)	Donatı
Kolon	50x65	22Ø14
	45x65	20Ø14
	40x50	16Ø14
	30x105	8Ø14-10Ø16
	30x100	20Ø14
	30x85	18Ø14
	30x80	16Ø14
	30x50	10Ø14
Kiriş	25x60	3Ø12-3Ø14

Tablo 10. Perde boyut ve donatıları

Kesit (cmxcm)	Başlık donatı	Gövde donatı
25/160	2x4Ø16	2x7Ø16
25/175	2x8Ø14	2x4Ø12
25/210	2x8Ø14	2x5Ø12
25/315	2x11Ø14	2x9Ø12
25/370	2x13Ø14	2x10Ø12
25/375	2x13Ø14	2x10Ø12
25/435	2x17Ø14	2x12Ø12
30/370	2x13Ø16	2x10Ø12
30/375	2x13Ø16	2x10Ø12

6.3. Binaya Ait Sismik Değerler

Yapının bulunduğu bölgeye ait deprem bilgileri, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD'ın internet sitesi, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları web uygulamasında binanın deprem yer hareketi düzeyi ve binanın konumu girilerek kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri, oluşturulan rapordan elde edilir.

$$S_s=1,311$$

$$S_1=0,359$$

$$F_S=1,00$$

$$F_1=1,941$$

$$S_{DS}=1,311 \quad (S_{DS}= S_S \times F_S)$$

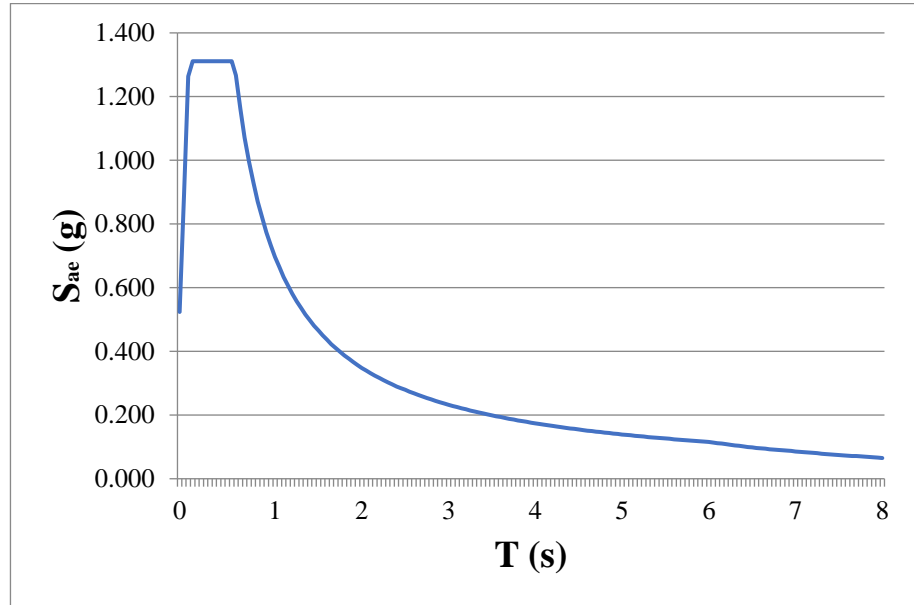
$$S_{D1}=0,697 \quad (S_{D1}= S_1 \times F_1)$$

$$PGA=0,537$$

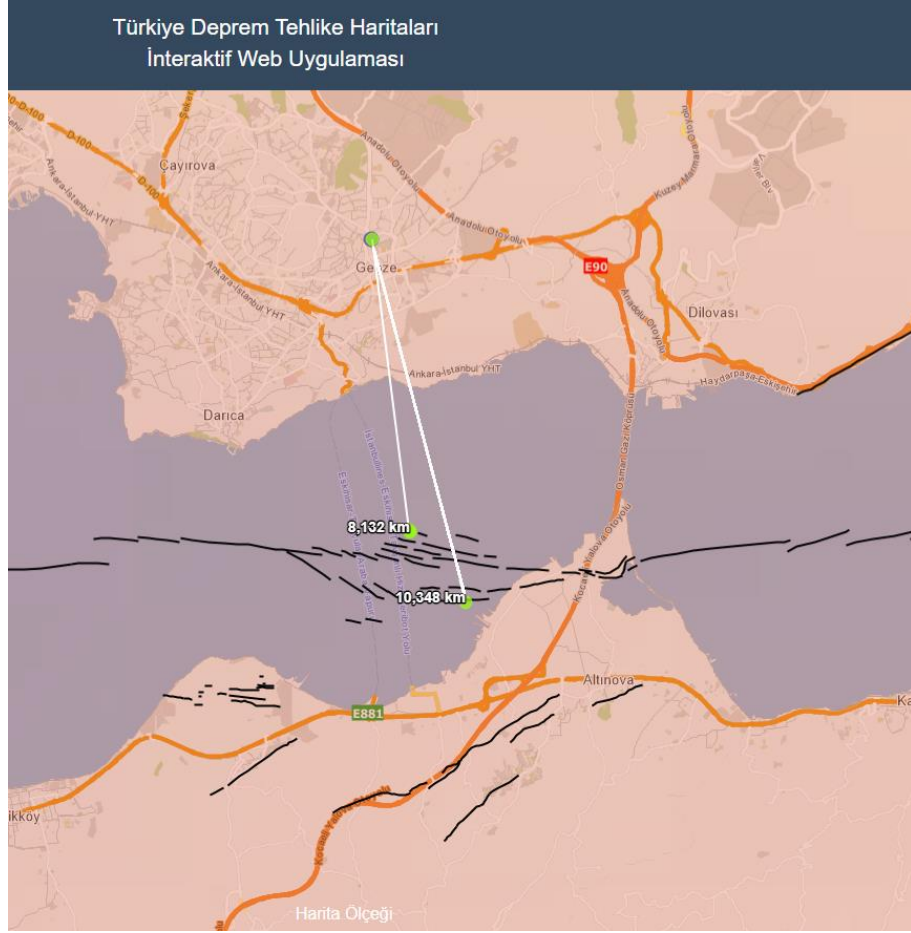
$$PGV=38,620$$

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları web uygulamasında binanın konumuna göre oluşturduğumuz raporda DD-2 yer hareketi düzeyine karşılık gelen tasarım spektrumu Şekil 11’de görülmektedir.

Teze konu binamızın konumuna en yakın diri fay sistemi Şekil 12’de görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 11. Yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 12. Bina konumuna en yakın diri fay sistemi

6.4. Bina Modelinin Oluşturulması ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz İçin Tasarım

Modellemede STA4CAD ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde STA4CAD programı uzantısı Kaliforniya Berkeley Üniversitesi'nde deprem mühendisliği alanında geliştirilmiş olan açık kaynak kodlu OPENSEES analiz programı kullanılmıştır. Analiz modeli TBDY 2018 Bölüm 5.4'te verilen doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar uygulanmıştır.

İlk aşamada bina modeli DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında bina önem katsayısı 1 alınarak dayanıma göre ön tasarım yapılmıştır. Yapı elamanları oluşturulmuş modelde deprem yönetmeliği parametreleri: kat adedi (10), spektral ivme katsayıları ($S_{ds}/S_{d1}=1,311/0,697$), davranış katsayısı $R_x/R_y=5,6$, dayanım fazlalığı katsayısı ($D=2,5$), hareketli yük katsayısı ($n=0,3$), zemin taşıma gücü gerilmesi ($30t/m^2$), zemin yatak katsayısı ($4500t/m^3$) değerleri STA4CAD programına atanmıştır. İvme spektrumu

bilgileri deprem yer hareket düzeyi DD-2 olarak girilir. Yapı bilgi ve deprem özellikleri atandıktan sonra ön tasarımın analizi doğrusal elastik yöntemle program tarafından gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama sonunda tüm kesitlerin yeterli olduğu tespit edilerek, deprem hesabı sonucu dayanıma göre tasarımda kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanmıştır.

İkinci aşamada programın OPENSEES eklentisine donatı ataması yapılabilmesi için STA4CAD kısmında performans analizi yapılmıştır. Binamızdan ileri performans hedefi beklenmediği için ilk aşamadan elde edilen donatı düzeni bu aşamada devam ettirilmiştir. Yeni eleman donatısına analiz sonucundaki donatılar kopyalanarak donatı tanımlama işlemi tamamlanmıştır. STA4CAD programı performans analizi kısmında doğrusal olmayan artımsal modal analiz yöntemiyle hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Binamız performans analizinde kontrollü hasar performans seviyesini sağlamış olup ikinci aşama tamamlanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için tasarımı hazır hale getirilmiştir. Bu iki aşamada teze konu binanın kesitleri ve donatıları zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için hazırlanmıştır.

6.5. Deprem Kayıtlarının Seçimi

TBDY 2018 bina konumu itibariyle tasarıma esas deprem yer hareketine uyumlu gerçekleşmiş deprem kayıtları var ise öncelikle bu kayıtlar kullanılmalıdır koşuluna uygun kayıt bulunamamıştır. 11 kayıttan dördü bölgenin yakınında gerçekleşen Kocaeli 3 ve Düzce'ye ait 1 adet olmak üzere seçilmiştir. Kayıtlar seçilirken deprem büyüklüğü, kayıt süresi, faya olan merkez üssü mesafesi, zemin değerleri V_s30 ve yeterli büyüklükte PGA değerleri dikkate alınarak binanın tasarıma esas deprem yer hareketine uyumlu ve kayıtlar da birbiriyle uyumlu olacak şekilde 11 adet deprem kaydı tespit edilmiştir. Tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu 11 adet ve aynı depremden en fazla 3 adet (Kocaeli iline ait Gebze, İzmit, Arçelik istasyonları) kayıt Kaliforniya Üniversitesi'ne ait 'Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database' veri bankasından yukarıda bahsedilen uygun parametreler çerçevesinde alınmış olup Tablo 11'de gösterilmiştir.

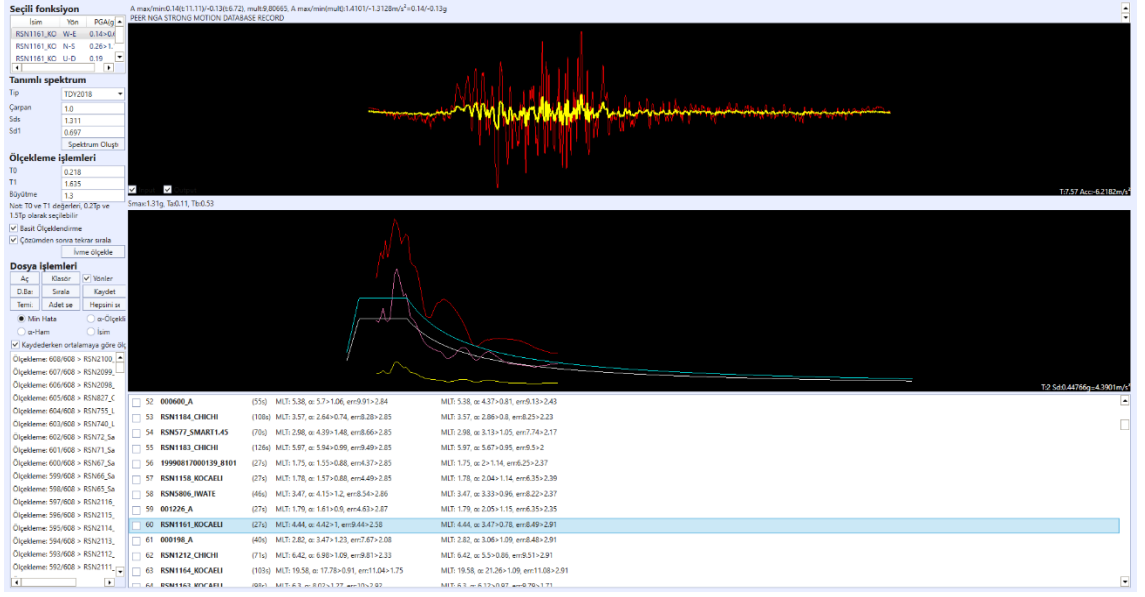
Tablo 11. Deprem ivme kayıtları

PEER Kayıt No	Deprem	İstasyon	Yıl	Büyüklik (Mw)	Merkez Üssü Mesafesi (km)	Vs(30) (m/s)	Kayıt Süresi (s)	PGA (g)
1161	Kocaeli, Türkiye	Gebze	1999	7,51	10,92	792,00	28	0,19317
143	Tabas, İran	Tabas	1978	7,35	2,05	766,77	33	0,81245
864	Landers	Joshua Tree	1992	7,28	11,03	379,32	42	0,27436
1197	Chi-Chi, Taiwan	CHY028	1999	7,62	3,12	542,61	67	0,76760
1198	Chi-Chi, Taiwan	CHY029	1999	7,62	10,96	544,74	69	0,26845
1614	Düzce, Türkiye	Lamont 1061	1999	7,14	11,46	481,00	30	0,11770
1633	Manjil, İran	Abbar	1990	7,37	12,55	723,95	52	0,52348
5818	Iwate	Kurihara	2008	6,90	12,85	512,26	103	0,58540
1165	Kocaeli, Türkiye	İzmit	1999	7,51	7,21	811,00	29	0,19389
2114	Denali, Alaska	TAPS Pump	2002	7,90	2,74	329,4	79	0,32376
1148	Kocaeli, Türkiye	Arçelik	1999	7,51	13,49	523,00	29	0,17484

6.6. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

2018 deprem yönetmeliğinde zaman tanım alanında hesapta kullanılacak kayıtların basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilmesi istenir. Bu yöntem deprem ivme kayıtları genliklerinin sabit bir katsayı ile çarpılarak yatay elastik tasarım spektrumu ile uyumlu olacak şekilde dönüştürülmesidir.

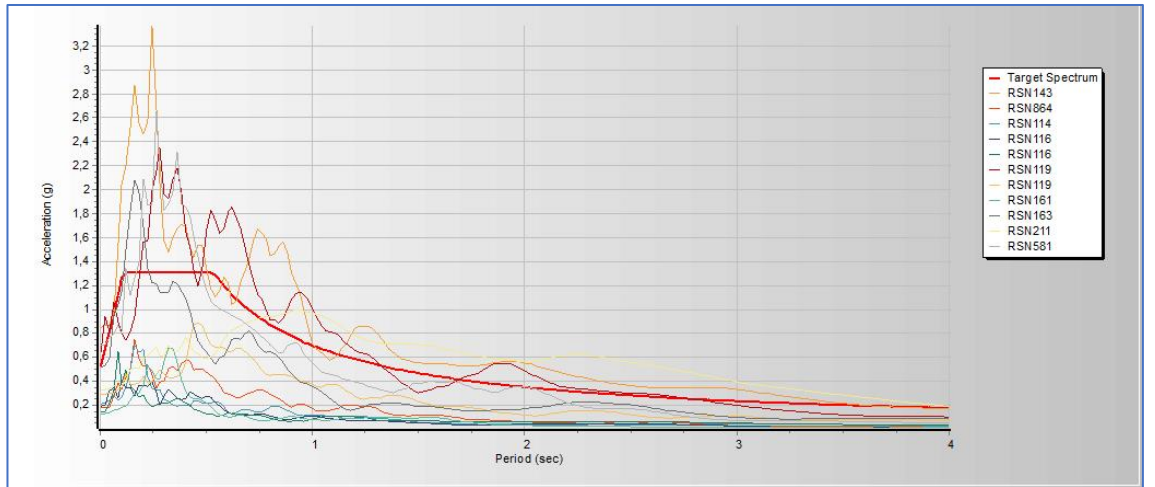
Analizi gerçekleştirdiğimiz OPENSEES programı AFAD, PEER ve European Strong Motion Database ESMD deprem kayıtlarını okuyabilmektedir. Programda yaklaşık 1800 deprem kaydı mevcuttur. Binanın spektral değerleri girilir ve yapının spektrumu oluşturulur. Programda kodlanmış deprem yönetmelikleri arasından Türkiye deprem yönetmeliği 2018 seçilir. Programda mevcut olan gerçekleşmiş 608 deprem takımına ait toplam 1815 deprem ivme kayıtları, binamıza ait AFAD'ın interaktif web uygulamasından alınan spektrum değerlerine göre ölçeklenir. En yakın olanı en başta olacak şekilde program tarafından sıralanır. Otomatik olarak 11 adet kayıt, analizi yapılacak binanın zemin değerlerine en yakın olanlar seçilir. Bu kısımda programın sıraladığı ilk deprem kayıtları seçilmeyerek bizim tarafımızdan seçilen 11 deprem kaydı programa atanmıştır. Deprem hareketleriyle ilgili spektrum kaydedilmiştir. Program tarafından kayıtlar TBDY2018 yönetmeliğine göre ölçeklenmiştir (Şekil 13).



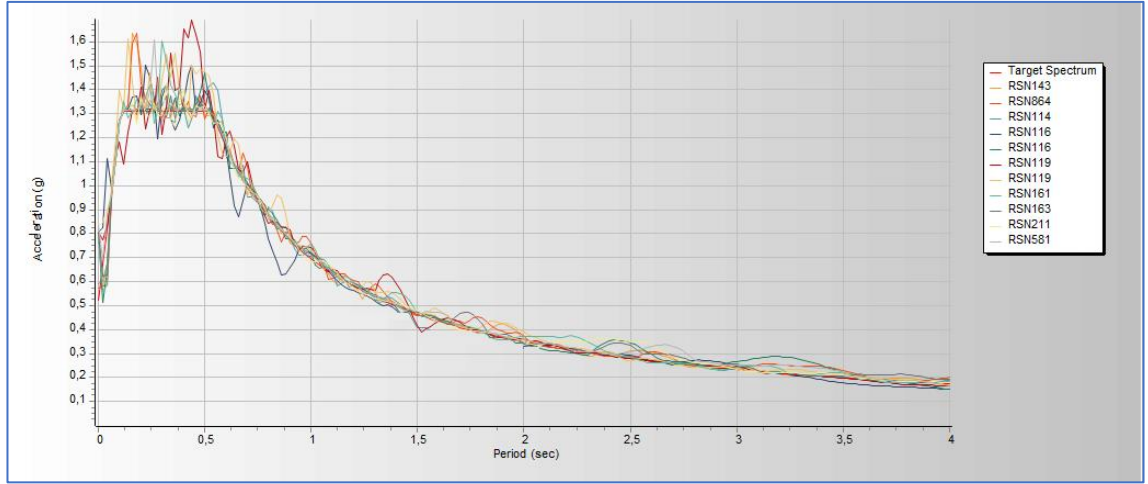
Şekil 13. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi

Seçilen gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirme işlemi bir de Seismomatch 2022 programı kullanılarak tekrar gerçekleştirilmiştir. Programda hedef tasarım spektrumu, AFAD'ın sitesinden Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması üzerinden binamız için elde ettiğimiz yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 11 alınmıştır.

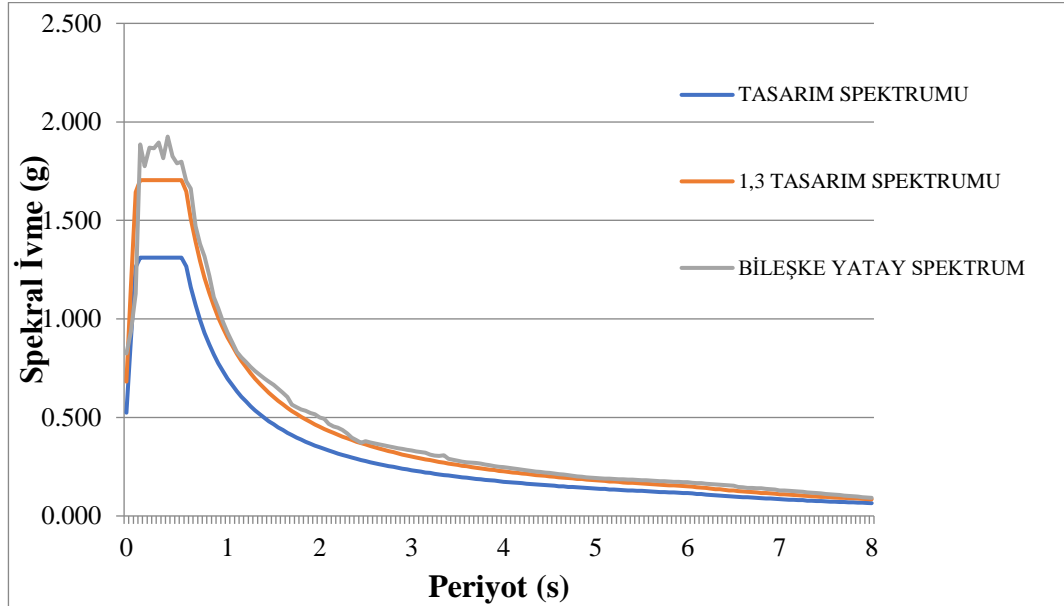
Binamıza ait hedef, yatay elastik tasarım spektrum ve seçtiğimiz deprem kayıtlarına ait spektrumlar Şekil 14'de verilmiştir. SeismoMatch programı ile yapılan spektral ölçeklendirme işleminden sonra, ölçeklendirilmiş depremlere ait spektrumlar ve hedef tasarım spektrumu Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 14. Hedef ve seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar



Şekil 15. Hedef ve seçilen deprem kayıtlarına ait ölçeklendirilmiş spektrumlar



Şekil 16. Ölçekli deprem kayıtlarının bileşke yatay spektrumu, tasarım spektrumu ve 1,3 tasarım spektrumu eğrisi

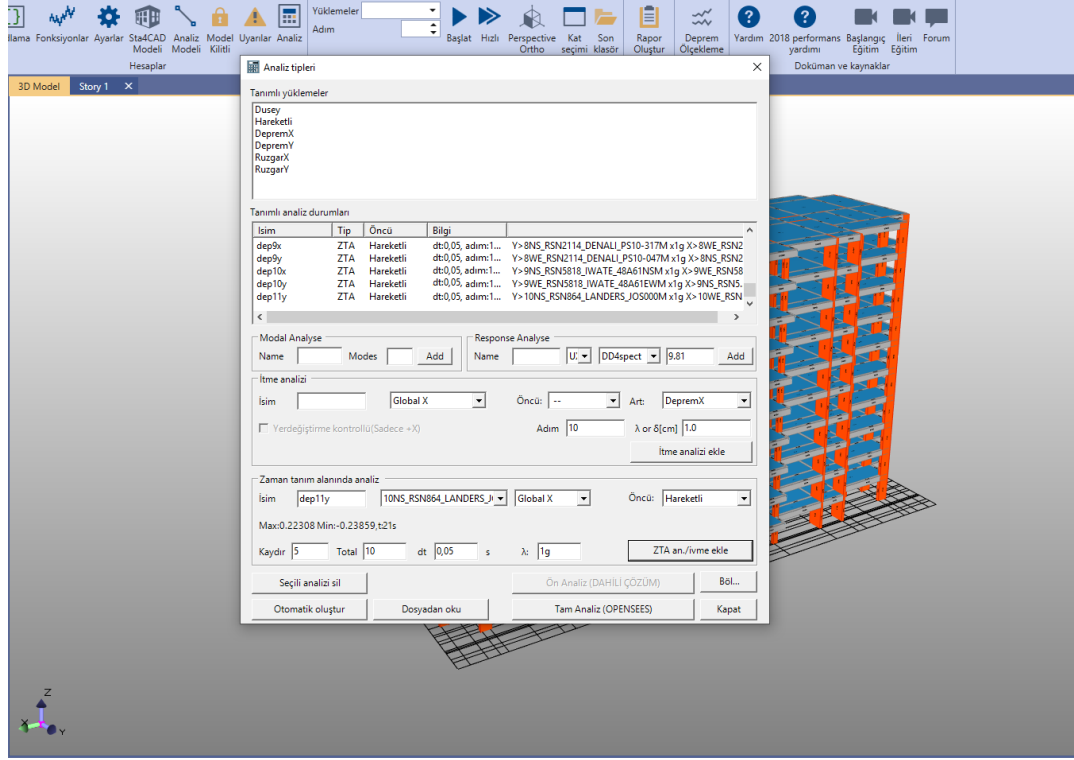
Seçilen deprem kayıtları ölçeklendirilip her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmiştir. Bu değerlere göre Şekil 16'daki eğri oluşturulmuştur.

Artımsal modal analiz sonucunda binanın hakim doğal periyodu (T_p) 1,09 saniye bulunmuştur. $0,2 T_p$ değeri 0,218 saniye ve $1,5 T_p$ değerleri ise 1,635 saniyedir. Şekil 16 grafiğinden görüleceği üzere seçilen deprem kayıtları bileşke spektrumlarının ortalamasının 0,218 saniye ve 1,635 saniye periyotları arasındaki genliklerinin, DD-2

deprem yer hareketi düzeyine göre elde edilen tasarım spektrumunun 1.3 katının aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralı sağlanmıştır. Deprem kayıtlarının seçilmesi yönetmelik kurallarına uygun olarak gerçekleştirildiği ispatlanmıştır.

6.7. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Yer hareketleri oluşturulduktan sonra programa model atanmıştır. OPENSEES programı STA4CAD programına entegre olduğu için üç boyutlu modelin yapı elemanları ve donatıları buradan çekilir. Teze konu binamız analizlerin gerçekleştirilmesi için yayılı plastik davranış modeli seçilmiştir. Bazı perde boyutları 2018 yönetmeliği 4.5.3.8 maddesi: en büyük perde uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5'i geçmemelidir şartını sağlamadığından yığılı plastik davranış modeli uygulanamamaktadır. Doğrusal olmayan analiz gerçekleştirdiğimiz için yanal yer değiştirmelerin tespiti adına, ikinci mertebeye etkileri göz önüne almak için, P delta seçeneği aktif edilir. Yapı tanımı yapıldıktan sonra öncelikle yapıya düşey yükler yüklenmiştir, ardından hareketli yükler yüklenmiştir. Her ikisi de itme analizi şeklinde atanır. İtme analizi olarak tanımlanmasının sebebi düşey yükler altında plastikleşme oluşursa bu durum da hesaba eklenmiş olur. Önceden oluşturduğumuz yer hareketleri yapıya yüklenir (Şekil 17). Seçilmiş deprem kaydı yer hareketlerinin kuzey-güney (NE) ve doğu-batı (EW) olmak üzere her iki yön için türleri yüklenir (pshHareketli) Şekil 17. Ayrıca TBDY 2018 5.7.2.1 maddesi gereğince deprem ivme kayıtlarının eksenleri 90^0 çevrilerek ikincil kayıt olarak binamıza etki ettirilmiştir (Programa ivme kayıtları atanırken IWATE depremi ivme kaydı yükleme şekli : dep10: 9NS_RSN5818_IWATE_X>9WE_RSN5818_IWATE_Y, dep10 (90^0 çevrilmiş) dep10: 9WE_RSN5818_IWATE_X>9NS_RSN5818-IWATE_Y). Böylelikle binamızın analizi için 22 deprem takımı etki ettirilmiştir. Deprem analizleri, düşey yükler tamamen yüklenip itme analizlerinden sonra başlatılacak şekilde tanıtılmıştır. Analizin ilk adımı sabit düşey yükler altında doğrusal olmayan analizdir. İkinci adım deprem yer hareketlerinin yapıya etkitildiği aşamadır.



Şekil 17. Düşey, hareketli ve deprem yüklerinin işlenmesi

Analizlerin hangi saniyeler aralığında yapılacağı seçilip, yüklemeler 0,05 saniye aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yer hareketlerinin çarpanı 1g (9,807m/s²) olarak girilmiştir. Aynı anda kuzey-güney ve doğu-batı hareketleri bir takım olarak ardından aynı takım 90⁰ çevrilerek yapıya etki ettirilmiştir.

6.8. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

OPENSEES programında performans hesabı hem ortalama sonuca göre hem de her deprem için performans hesabı alınabilmektedir. Bu seçenek sayesinde binada en olumsuz durumun hangi deprem yüklemesinden oluştuğu tespit edilebilir. Binamızın performansını öğrenmemiz için analiz sonrası alınan raporlardan, TBDY 2018 5.7.4 maddesi gereği, deprem analizlerinin ortalama sonuçları (Birleşik ve ortalaması alınmış performans hesapları) dikkate alınmıştır. Analiz sonuçları, yapılan 22 adet analizden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınarak bulunmuştur.

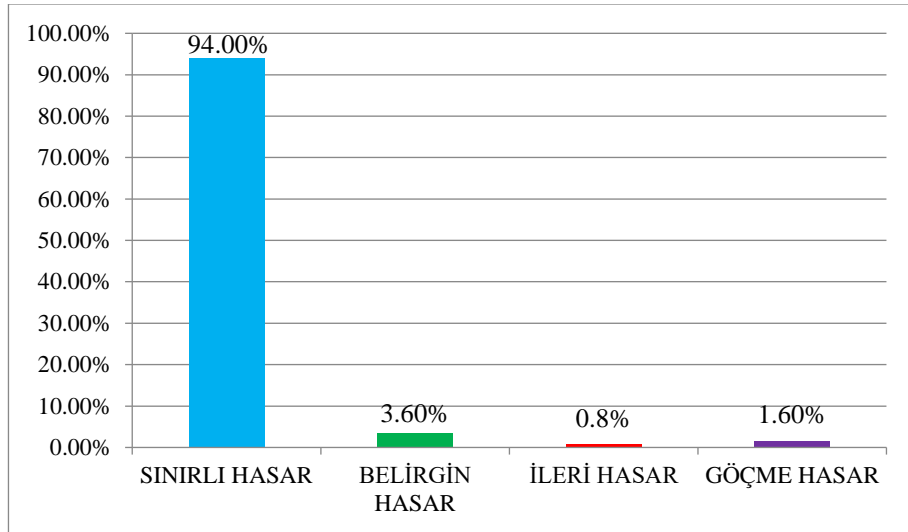
Bina derzsiz tasarım için 22 deprem etkisi altında X ve Y yönü yapı performansı göçme durumu olarak sonuçlanmıştır. Derzli durum için blok 1 ve blok 2 her iki blokta X ve Y yönü yapı performansı göçme durumu olarak sonuçlanmıştır. Derzsiz tasarım performans düzeyleri 22 yükleme sonucu, 5 yüklemede sınırlı hasar, 2 yüklemede

kontrollü hasar ve 15 yüklemde göçme durumu performans düzeyi oluşmuştur. Blok1 için 3 yüklemde sınırlı hasar, 2 yüklemde kontrollü hasar ve 17 yüklemde göçme durumu hasar performans düzeyi, blok2 için 2 yüklemde sınırlı hasar, 1 yüklemde kontrollü hasar, 2 yüklemde göçmenin önlenmesi ve 17 yüklemde göçme durumu hasar performans düzeyleri elde edilmiştir. İncelediğimiz bina her iki durum için, sonuçlar kapasite tasarımı ilkelerince değerlendirilmiş olup, göçme durumuna geçmiştir.

6.8.1. Kolonlar İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi

Binamızın derzsiz ve derzli durumları için, her iki durumda yapının 10 katında tüm kolonlarda meydana gelen beton ve çelik donatı malzemelerinde meydana gelen şekil değiştirmeler TBDY 2018 Bölüm 5.8.1 sınır değerlerine göre incelenmiştir. Tüm deprem kayıtları ivme değerlerinin yüklendiği ve bu kayıtların 90⁰ döndürülerek etki ettirildiği durumlar bir arada verilmiştir.

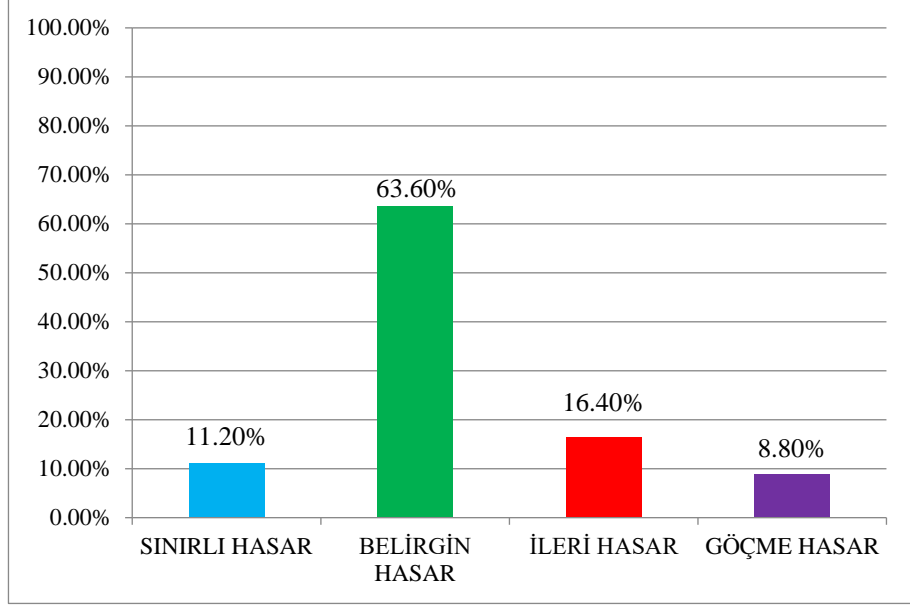
Derzsiz binanın tüm katlarına ait 250 adet kolonda meydana gelen hasarlara göre kolon hasar bölgeleri Şekil 18’de verilmiştir.



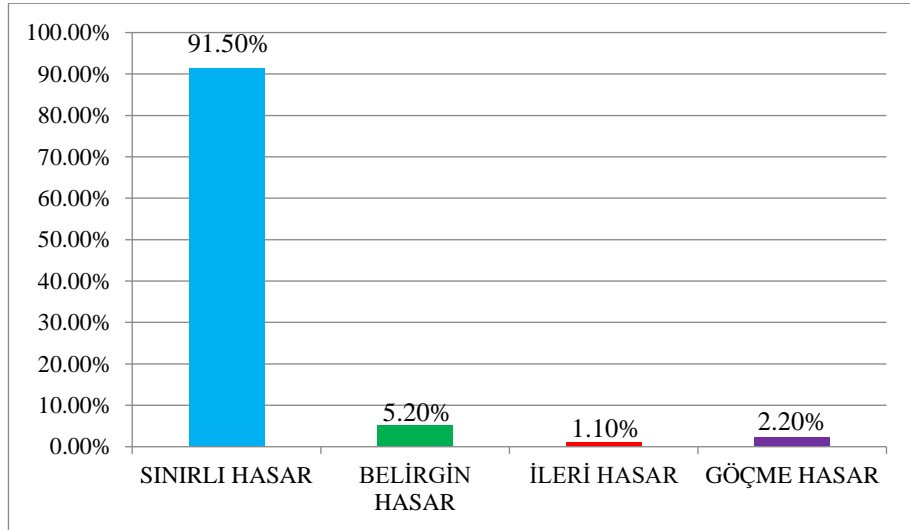
Şekil 18. 22 adet analiz sonucunda kolon hasar bölgeleri (derzsiz)

Binanın derzsiz durumunda toplam yapıya ait 250 kolonun 235 adeti (%94,00) sınırlı hasar bölgesinde, 9 adeti (%3,60) belirgin hasar bölgesinde, 2 adeti (%0,8) ileri hasar bölgesinde, 4 adeti zemin katta (%1,60) göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Derzsiz tasarım binanın kolonlarında en büyük hasarların Denali deprem kayıtlarının etkimesi sonucu olduğu tespit edilmiştir. Hasar bölgeleri Şekil 19’de verilmiştir. Göçme bölgesine geçen kolon oranı %8,80’dir.



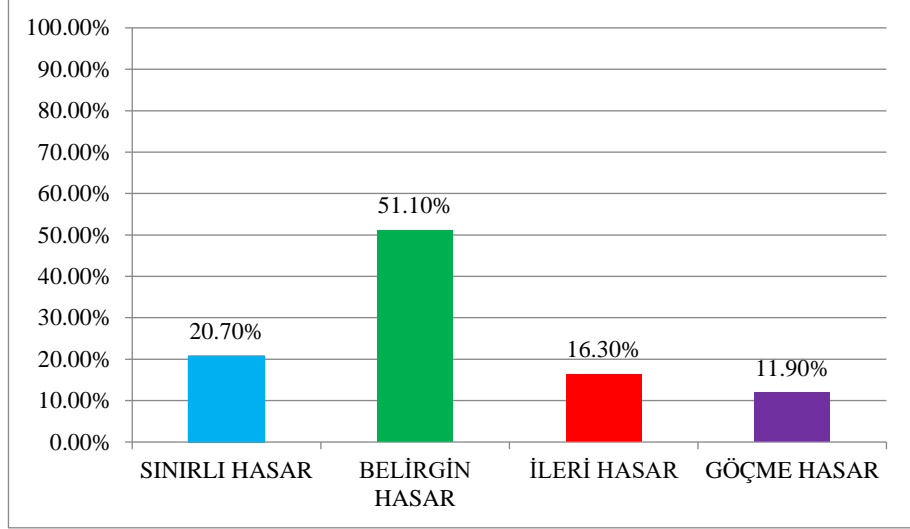
Şekil 19. Denali depremi kolon hasar bölgeleri (derzsiz)



Şekil 20. 22 adet analiz sonucunda kolon hasar bölgeleri (derzli)

Binanın derzli durumunda her katta 27 adet olmak üzere 270 adet kolon mevcuttur. Toplam 270 kolonun 247 adeti (%91,50) sınırlı hasar bölgesinde, 14 adeti (%5,20) belirgin hasar bölgesinde, 3 adeti (%1,10) ileri hasar bölgesinde, 6 adeti zemin kat kolonları olmak üzere (%2,20) göçme bölgesine geçmiştir (Şekil 20).

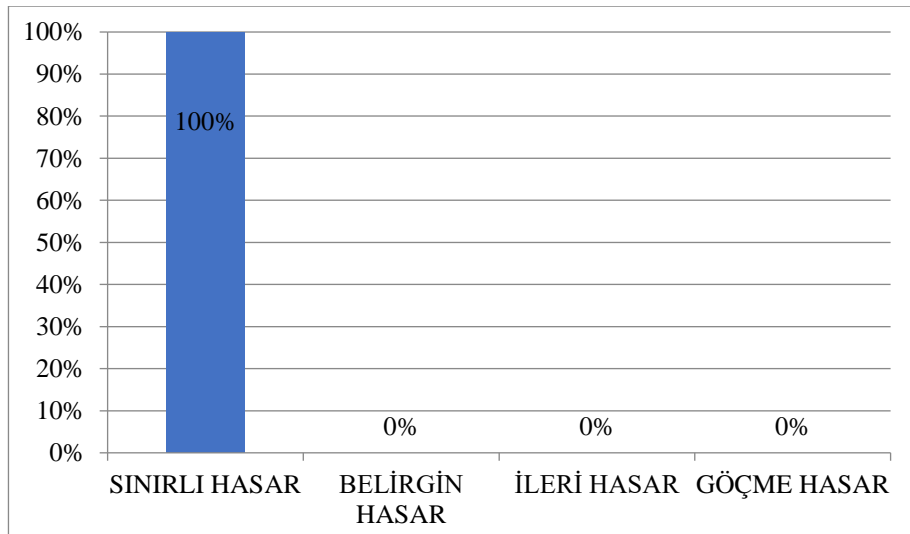
Derzli tasarım binanın kolonlarında en büyük hasarların Denali deprem kayıtlarının etkimesi sonucu olduğu tespit edilmiştir. Hasar bölgeleri Şekil 21’de verilmiştir. Göçme bölgesine geçen kolon oranı %11,90’dır.



Şekil 21. Denali depremi kolon hasar bölgeleri (derzli)

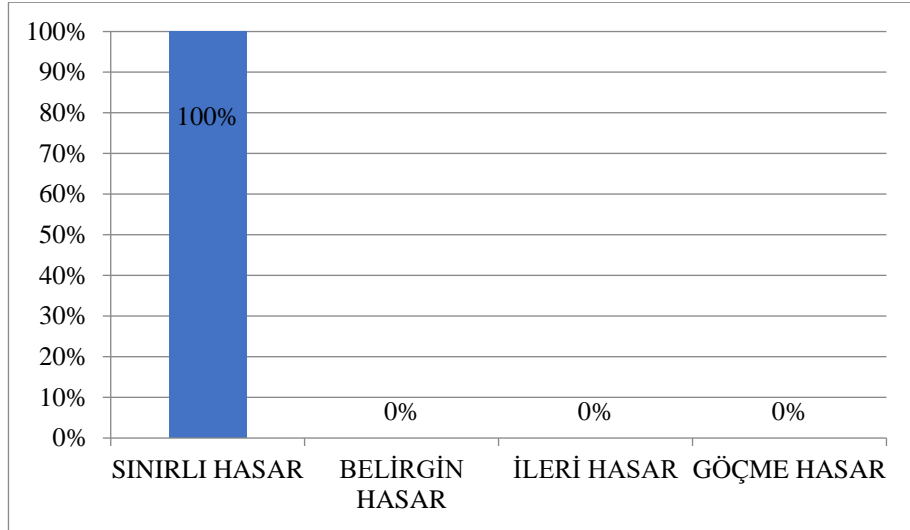
6.8.2. Perdeler İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi

Binanın derzsiz durumunda her katta 30 adet olmak üzere tüm yapıdaki 300 betonarme perdenin tamamı sınırlı hasar bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 22). Derzsiz tasarım için en olumsuz deprem Denali deprem kayıtları ile oluşmuştur. Bu kayıtların etkimesi sonucunda yine tüm perdeler sınırlı hasar düzeyinde hasar almıştır.



Şekil 22. 22 adet analiz sonucunda perde hasar bölgeleri (derzsiz)

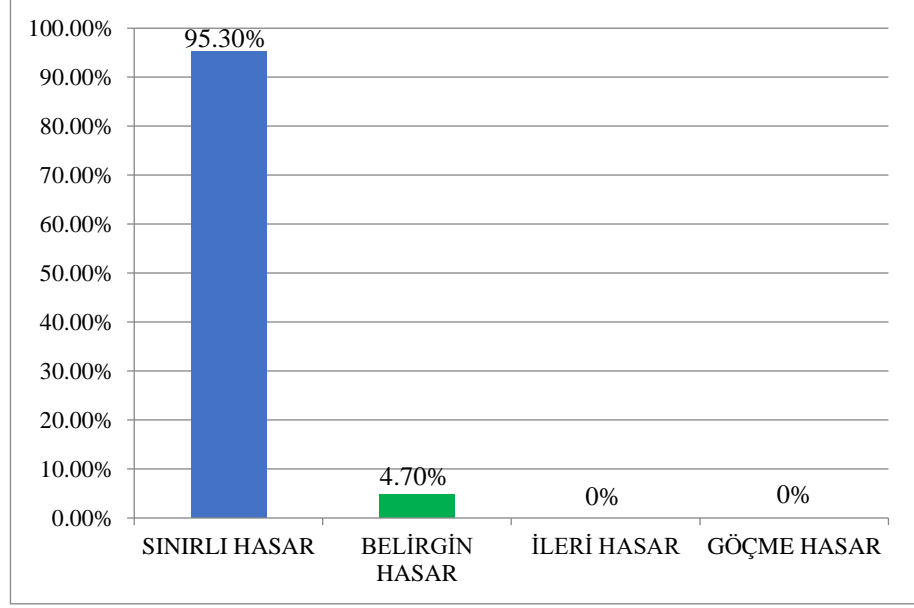
Teze konu binanın derzle ayrılmış tasarımında binanın her bir katında 33 perde bulunup tüm binada 330 adet betonarme perde vardır. Analiz sonucunda perdelerin tamamı sınırlı hasar seviyesinde sonuç vermiştir (Şekil 23). Yine binanın derzli durumu için binaya en çok hasar veren deprem yer ivmeleri Denali depremine ait deprem kayıdır. Bu etkiler altında betonarme perdelerin 330'u da sınırlı hasar seviyesinde hasara uğramışlardır.



Şekil 23. Denali depremi sonucunda perde hasar bölgeleri (derzli)

6.8.3. Kirişler İçin Analiz Sonuçları Değerlendirilmesi

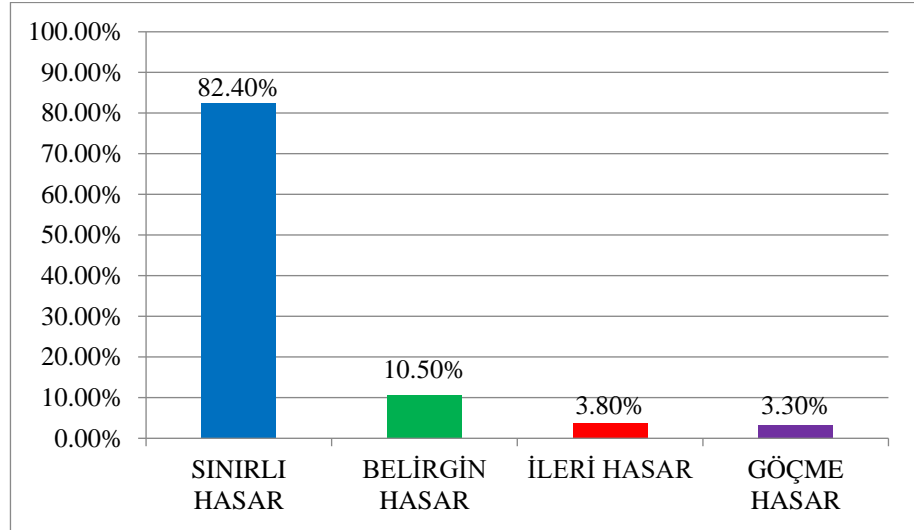
Deprem kayıtları etkilerek gerçekleştirilen 22 adet analiz sonucunda derzsiz binanın tüm katlarının toplam 1180 adet kirişine ait kiriş hasar bölgeleri Şekil 24'de verilmiştir.



Şekil 24. 22 adet analiz sonucunda kiriş hasar bölgeleri (derzsiz)

Teze konu binanın derzsiz modellemesine ait 1180 adet kirişin 1125'i (%95,30) sınırlı hasar bölgesinde, 55 tanesi (%4,7) belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Kirişlerden ileri hasar ve göçme bölgesine geçen eleman olmamıştır.

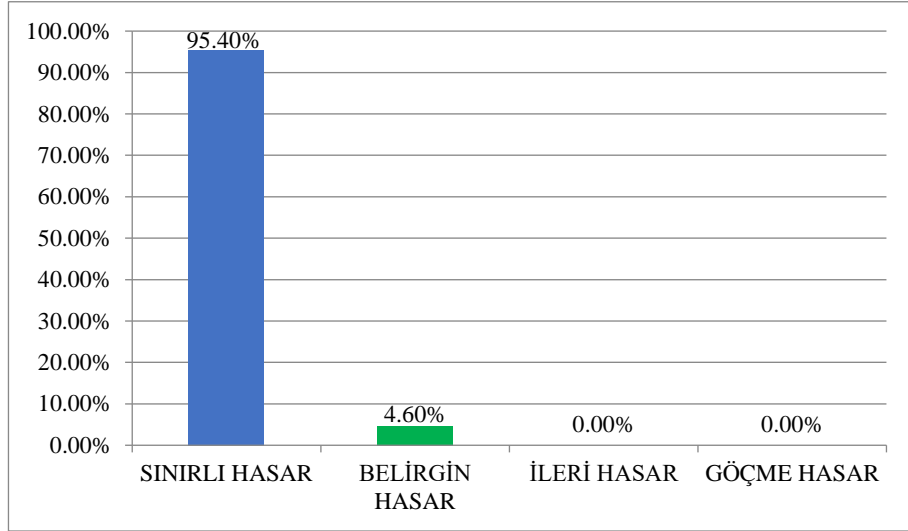
En olumsuz sonuçların elde edildiği deprem kaydı (Denali) etkileri altında kirişlerde oluşan hasarlar Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Denali deprem kayıtları etkisi altında kiriş hasar bölgeleri (derzsiz)

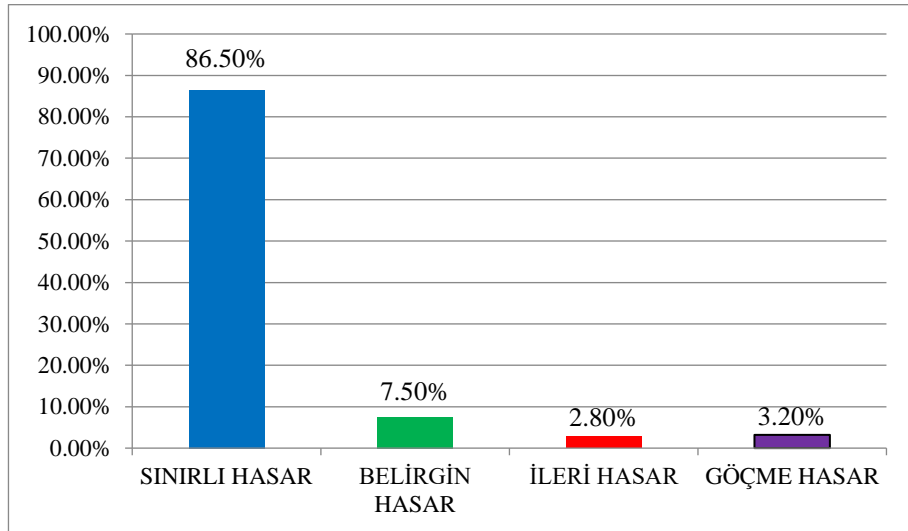
Toplam 1180 kirişin 972 adeti (%82,40) sınırlı hasar bölgesinde, 124 adeti (%10,5) belirgin hasar bölgesinde, 42 adeti (%3,80) ileri hasar bölgesinde, 39 adeti (%3,30) göçme bölgesine geçmiştir.

Derzli durumda binanın her bir katında 121 kiriş olmak üzere, yapıda toplam 1210 kiriş mevcuttur. 1154 adeti (%95,40) sınırlı hasar bölgesinde, 56 adeti (%10,5) belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. İleri hasar ve göçme bölgesinde kiriş bulunmamaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. 22 adet analiz sonucunda kiriş hasar bölgeleri (derzli)

Binanın en büyük hasara uğradığı deprem ivme kayıtlarının alındığı Denali depremi için kiriş hasarlar bölgeleri Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Denali deprem kayıtları etkisi altında kiriş hasar bölgeleri (derzli)

6.8.4. Binaların Deplasman Değerleri

Mevcut yapının derzli ve derzsiz tasarımlarının DD-2 deprem düzeyine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri sonucu x ve y yönünde yerdeğiştirme değerleri Tablo 12 ve Tablo 13 ve Tablo 14’de gösterilmektedir.

Tablo 12. Derzsiz tasarım yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemeleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d1	0,0786	0,0879	0,0767	0,0974
d1-90 ⁰	0,0734	0,0903	0,0829	0,0882
d2	0,0776	0,1711	0,0982	0,1060
d2-90 ⁰	0,1094	0,1154	0,0981	0,1638
d3	0,0953	0,1045	0,0575	0,0548
d3-90 ⁰	0,0507	0,0574	0,0909	0,1010
d4	0,1344	0,1512	0,1119	0,1147
d4-90 ⁰	0,1124	0,1118	0,1319	0,1517
d5	0,1987	0,1911	0,1921	0,1655
d5-90 ⁰	0,1936	0,0163	0,1837	0,1806
d6	0,0786	0,0671	0,0643	0,0758
d6-90 ⁰	0,0746	0,0796	0,0746	0,0824
d7	0,1183	0,1164	0,0870	0,0967
d7-90 ⁰	0,0667	0,0733	0,0122	0,1240
d8	0,0639	0,1120	0,0352	0,0572
d8-90 ⁰	0,0458	0,0642	0,0845	0,1169
d9	0,0543	0,0643	0,0895	0,0854
d9-90 ⁰	0,0744	0,0841	0,0635	0,0736
d10	0,0504	0,0367	0,0451	0,0481
d10-90 ⁰	0,0563	0,0574	0,0470	0,0435
d11	0,2398	0,2691	0,2935	0,3304
d11-90 ⁰	0,2989	0,2951	0,2233	0,2784

Tablo 13. Blok 1 yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemeleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d1	0,0830	0,0861	0,0928	0,1187
d1-90 ⁰	0,0759	0,0940	0,1002	0,1215
d2	0,0738	0,1669	0,1223	0,1309
d2-90 ⁰	0,1382	0,1328	0,1179	0,1474
d3	0,1013	0,1059	0,0727	0,0698
d3-90 ⁰	0,0537	0,0498	0,0843	0,0878

Tablo 13. Blok 1 yer değiştirme değerleri (devam)

Deprem Yüklemeleri	Ux (m)	-Ux (m)	Uy (m)	-Uy (m)
d4	0,1301	0,1478	0,1325	0,1228
d4-90 ⁰	0,1468	0,1375	0,1105	0,1515
d5	0,2139	0,2010	0,1854	0,1550
d5-90 ⁰	0,2208	0,1709	0,1853	0,1658
d6	0,0942	0,0724	0,0884	0,0933
d6-90 ⁰	0,0815	0,0842	0,0751	0,0810
d7	0,1346	0,1224	0,0962	0,0920
d7-90 ⁰	0,0698	0,0698	0,1170	0,1212
d8	0,0668	0,1087	0,0389	0,0529
d8-90 ⁰	0,0602	0,0676	0,0873	0,1023
d9	0,0510	0,0573	0,0776	0,0986
d9-90 ⁰	0,0686	0,0699	0,0846	0,1235
d10	0,0554	0,0348	0,0592	0,0493
d10-90 ⁰	0,0651	0,0625	0,0354	0,0426
d11	0,2151	0,2418	0,3391	0,3177
d11-90 ⁰	0,2873	0,3023	0,2249	0,2328

Tablo 14. Blok 2 yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemeleri	Ux (m)	-Ux (m)	Uy (m)	-Uy (m)
d1	0,0766	0,0901	0,0660	0,0701
d1-90 ⁰	0,0726	0,0900	0,0447	0,0553
d2	0,0865	0,1795	0,0526	0,0607
d2-90 ⁰	0,0991	0,1085	0,0621	0,0961
d3	0,0957	0,1049	0,0428	0,0481
d3-90 ⁰	0,0533	0,0666	0,0492	0,0529
d4	0,1479	0,1554	0,0650	0,0643
d4-90 ⁰	0,0966	0,1002	0,0878	0,1042
d5	0,1825	0,1575	0,1375	0,1307
d5-90 ⁰	0,1876	0,1778	0,1512	0,1282
d6	0,0740	0,0689	0,0721	0,0683
d6-90 ⁰	0,0752	0,0854	0,0457	0,0600
d7	0,1136	0,1178	0,0712	0,0597
d7-90 ⁰	0,0635	0,0714	0,0485	0,0665
d8	0,0655	0,1160	0,0406	0,0510
d8-90 ⁰	0,0472	0,0606	0,0499	0,0576
d9	0,0585	0,0715	0,0624	0,0698
d9-90 ⁰	0,0713	0,0854	0,0757	0,0812

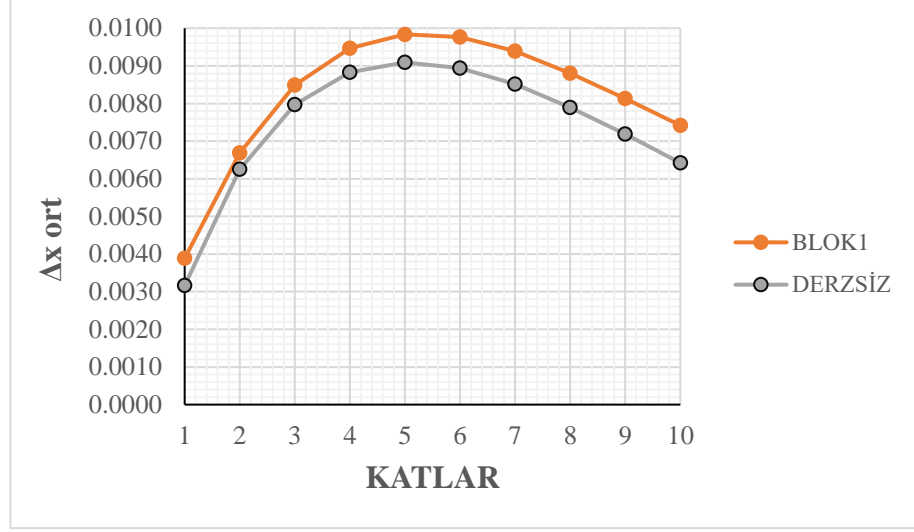
Tablo 14. Blok 2 yer değiştirme değerleri (devam)

Deprem Yüklemleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d10	0,0494	0,0423	0,0311	0,0277
d10-90 ⁰	0,0534	0,0565	0,0313	0,0307
d11	0,2593	0,0308	0,1781	0,2322
d11-90 ⁰	0,2419	0,2765	0,1165	0,1877

Elde edilen deplasman değerlerine göre bina bazında en fazla yer değiştirme blok1'de gerçekleşmiştir. Blok1'de maksimum deplasmanlar deprem yönlerine göre $U_x=0,2873m$, $-U_x=0,3023m$, $U_y=0,3391m$ ve $-U_y=0,3177m$ değerleridir. Blok 2'de $U_x=0,2593m$, $-U_x=0,2765m$, $U_y=0,1781m$ ve $-U_y=0,2322m$ değerleri ve derzsiz tasarımda $U_x=0,2989m$, $-U_x=0,2951m$, $U_y=0,2935m$ ve $-U_y=0,3304m$ deplasman değerleri oluşmuştur.

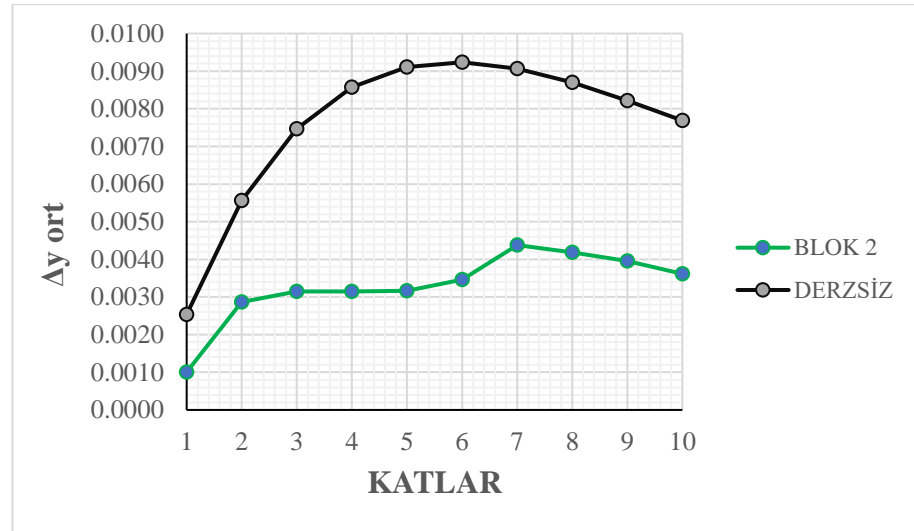
6.8.5. Ortalama Görelı Kat Ötelemesi Oranı

Teze konu binalar için gerçekleştirilen analizler sonucunda, görelı kat ötelemeleri ortalamaları program tarafından, tasarımın derzsiz ve derzli durumları için, katlarda kütle merkezi baz alınarak, değerlendirme yapılacak ilgili katın üst ve alt düğüm noktalarında oluşan yerdeğiştirme değerleri farkı alınarak, sabit olan kat yükseklik değerine oranı ile her bir kat için hesaplanmıştır. Katlarda oluşan deplasman değerleri x ve y yönleri için kendi içlerinde de + ve – doğrultular için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Blok 1 için en büyük görelı ötelemeler x yönünde gerçekleşmiştir. Derzsiz yapıda x yönünde ortalama görelı kat ötelemeleri değerleriyle blok 1'de x yönünde oluşan değerlerin işlendiği grafik Şekil 28'de gösterilmektedir.



Şekil 28. Derzsiz bina ve blok 1 ortalama görel kat ötelemeleri

Blok 2 için ise en büyük görel ötelemeler y yönünde gerçekleşmiş olup, derzsiz yapıda y yönünde oluşan değerler ve blok 2’de y yönünde oluşan değerler Şekil 29’da grafik hale getirilmiştir.



Şekil 29. Derzsiz bina ve blok 2 ortalama görel kat ötelemeleri

6.8.6. Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Binamızın derzli ve derzsiz olmak üzere her iki durumunda birleşik ve ortalaması alınmış performans hesapları sonucunda derzsiz durumda 4 adet kolonu, derzli durumda ise 6 adet kolonu göçme durumuna geçmiştir. Bu durumda yönetmelik 2018 madde 15.8

kriterlerine göre teze konu binaların her iki tasarım için de kullanımları can güvenliği açısından sakıncalıdır. Her iki durum için yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

7. GÜÇLENDİRME VE PERFORMANS ANALİZİ

7.1. Güçlendirme Yöntemi

Tezimizde incelenen betonarme binalar 2018 deprem yönetmeliği kurallarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle deprem performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ilgili yönetmelik 15. maddesine yorumlanarak binaların performans sonuçları tespit edilmiştir. Derzli ve derzsiz olarak tasarlanan binaların her iki durumu için göçmenin önlenmesi seviyesi aşılmış olup, binalarda göçme bölgesine geçen kolonlardan dolayı sonuçlar göçme durumudur. Binaların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Betonarme binaların güçlendirilmesi: kolonların sarılması, kolonların eğilme kapasitelerinin artırılması, kirişlerin sarılması, bölme duvarların güçlendirilmesi, eleman güçlendirmesi şeklinde yapılır. Diğer güçlendirme yolu ise yeni perdeler oluşturulması, sisteme yeni çerçeveler yerleştirilmesi ve sistemde kütle azaltılması sistem güçlendirmesi yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir (TBDY 2018).

Yöntem belirlenirken binanın depreme karşı dayanımına en fazla fayda sağlayacak yöntem seçilmelidir. Binanın kullanım amacını ve fonksiyonunu minimum düzeyde etkilemesi sağlanmalıdır. Diğer bir kriter de yapılacak hesaplarla en ekonomik uygulamanın tespit edilmesi gerekmektedir.

7.2. Kolonların Sarılması

Betonarme binalarda taşıyıcı oluşturan elemanların hasar şeklinin belirlenmesinde, kesitlerin yükler altında davranışı incelenmektedir. Betonarme elemanlardan sünek olması beklenmektedir. Kırılmanın şekli eğilme olmalıdır. Kolonlarda sünekliği artırmak için elemanın basınç ve kesme dayanımları artırılmalıdır. Sünekliğin artırılması adına analiz programlarının da önerisi kesitin artırılması yönündedir. Sargılama sonucu elemanda sünekliğin artması sonucu elde edilir ancak bu güçlendirme yönteminin eğilme kapasitesine artma yönünde katkısı yoktur.

Yönetmelikte sarılma yöntemleri betonarme, çelik ve lifli polimerlerle sargı olmak üzere üç farklı uygulamadan oluşmaktadır. Betonarme sargı yönteminde kolonda yeni bir kabuk oluşturulmaktadır. Kalınlığı en az 100mm olup ve kullanılacak donatının

koşulları 7.3.4.2'ye uyulacak şekilde tarif edilmiştir. Çelik sargı yöntemi, kolonların boyuna köşebentlerle ve bunların belli aralıklarla yatay çelik plakalarla kaynak yoluyla birleştirilmesi sonucu gerçekleştirilir. Lifli polimerlerle kolonun sargılanması da malzemenin mevcut etriyeler ekseninde yüzeye yapıştırılması ile oluşturulur (TBDY 2018). Yönetmelikte bu üç yöntem detaylı şekilde anlatılmıştır. Bu yöntemler uygulamaların kat içinde yapılacağını, oluşturulacak betonarme, çelik kabuğun ya da polimer sargının üst katlara devam etmeyecek şekilde gerçekleştirileceğini tarif eder. Binaların son katlarında ya da zemin katta uygulanabilirliği yüksek katlı olmayan binalar, sadece zemin katlarda hasarların oluşması vb. hallerde yöntem faydalı olabilecektir. Yapılacak analizlerde ekonomikliğin sağlanması adına kıyaslamalarda etkili olabilecek yöntemlerdir.

7.3. Düşeyde Tüm Kat Kolonlarında Devam Eden Betonarme Sargı Mantolama

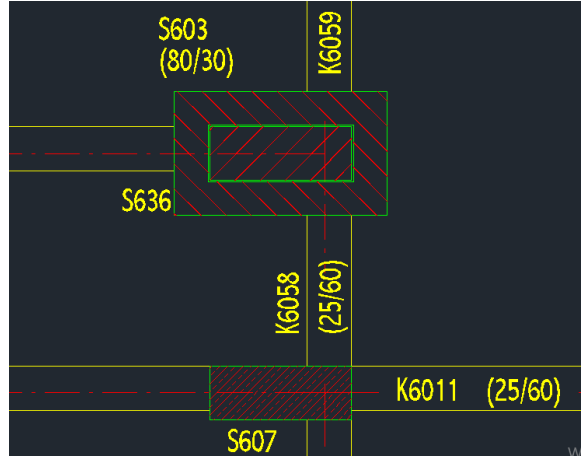
Yöntem, yönetmelikte eğilme kapasitesinin artırımı olarak adlandırılır. Kolonlarda yapılan diğer iyileştirmeler kat bazında olup, sadece kesme ve basınç dayanımını artırmaktadır. Bu yöntem ilave olarak kolonlarda eğilme potansiyelini de artırmaktadır. Yöntemde yapılacak mantolama için oluşturulan ilave kesitte kullanılan düşey donatılar, kolon kenarlarında döşemede açılacak boşluklardan üst katlara aktarılarak donatı sürekliliği sağlanmalıdır. Etriyeler enine donatı şartlarına 7.3.4 uygun şekilde mantolama içinde oluşturulur. Tüm bu işlemler uygulanmadan önce mevcut yapı elemanının sıvası kaldırılır çekirdek beton yüzeyi yeni atılacak betonla bağlılığının yeterli olması, yüzey artırımı sağlanması adına pürüzlendirilir. Boyutu artırılmış olan kolonla yapılacak analizlerde yeni oluşan dayanım ve rijitlik değerleri %10 azaltılır (TBDY 2018). Yeniden şekillendirilen kolonlarda eğilme kapasiteleri de artırılmış olur. Bu yöntem, teze konu binalarımızda güçlendirme metodu olarak kullanılmıştır.

7.4. Mantolama, Güçlendirme Uygulaması

7.4.1. Güçlendirme Sonrası Kolonlar

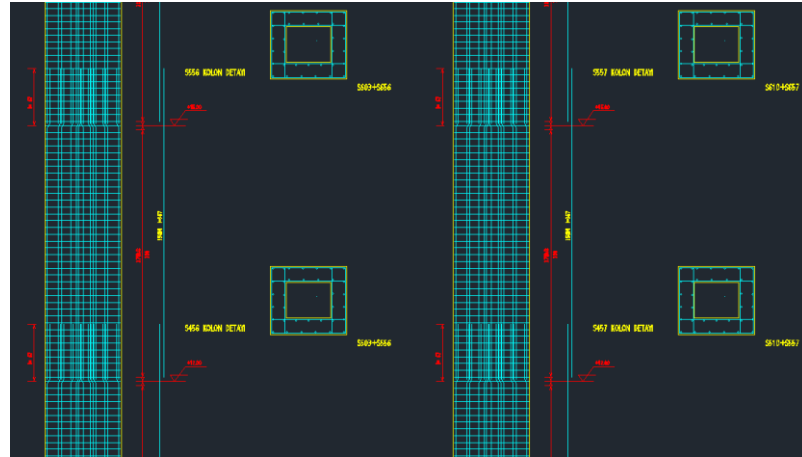
Güçlendirme yöntemi belirlendikten sonra mantolama işlemi, yönetmeliğin 15. maddesi gereklerince derzsiz ve derzli durum için hasarlı kolonlara STA4CAD programı güçlendirme kısmında uygulanmıştır. Programda kolon yüzeylerinin istenilen

yüzeylerinde sargılama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Kolonların yüzeylerinde eğilme kapasitelerini sünekliklerini artırmak amacıyla sargılama yapılmıştır. Yöntem betonarme mantolama tüm yüzeylerde, kolonları tamamen saracak şekilde tatbik edilmiştir (Şekil 30).



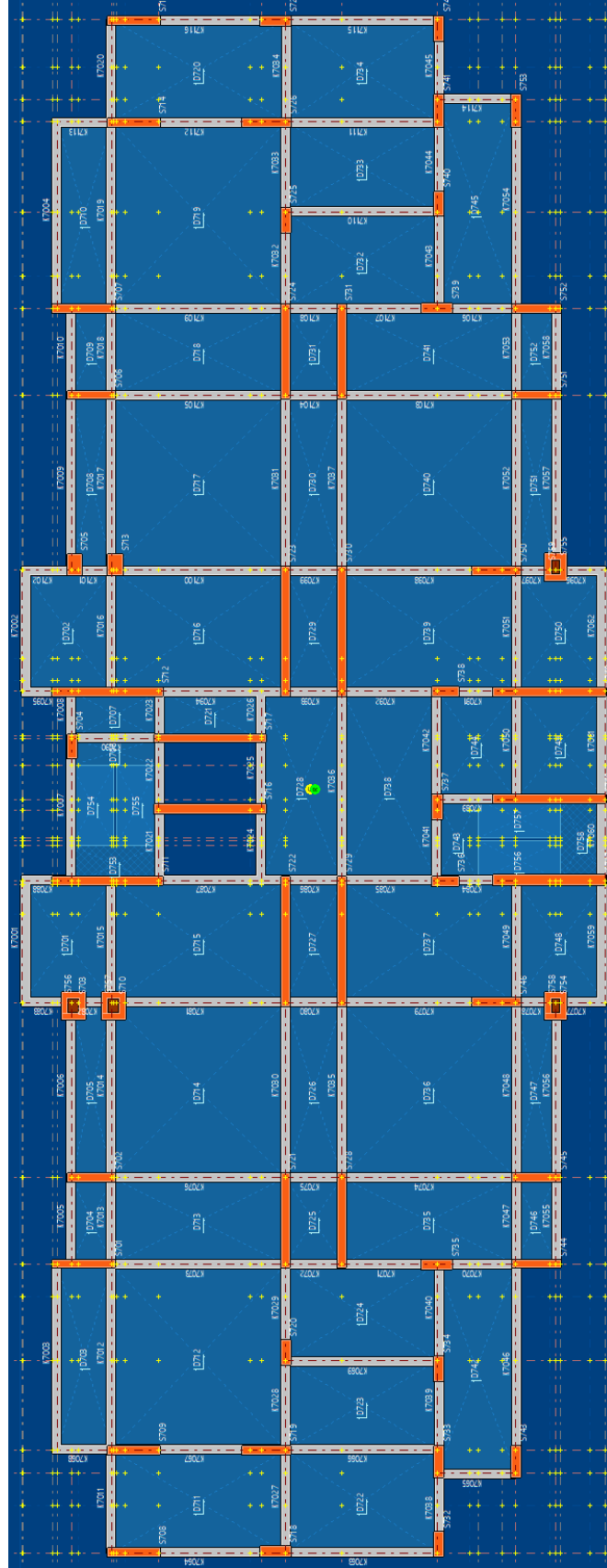
Şekil 30. Kolon sargılama çizimi

Kolonlarda yapılan sargılama zemin katta temel üst seviyesinden başlatılarak, 10. kat tavan tabliyesi hizasına kadar devam ettirilmiştir. Bina yüksekliği boyunca uygulama aralıksız olarak Şekil 31'de görüleceği üzere katlar arası düşey donatılar devam ettirilerek programda modellenmiştir.

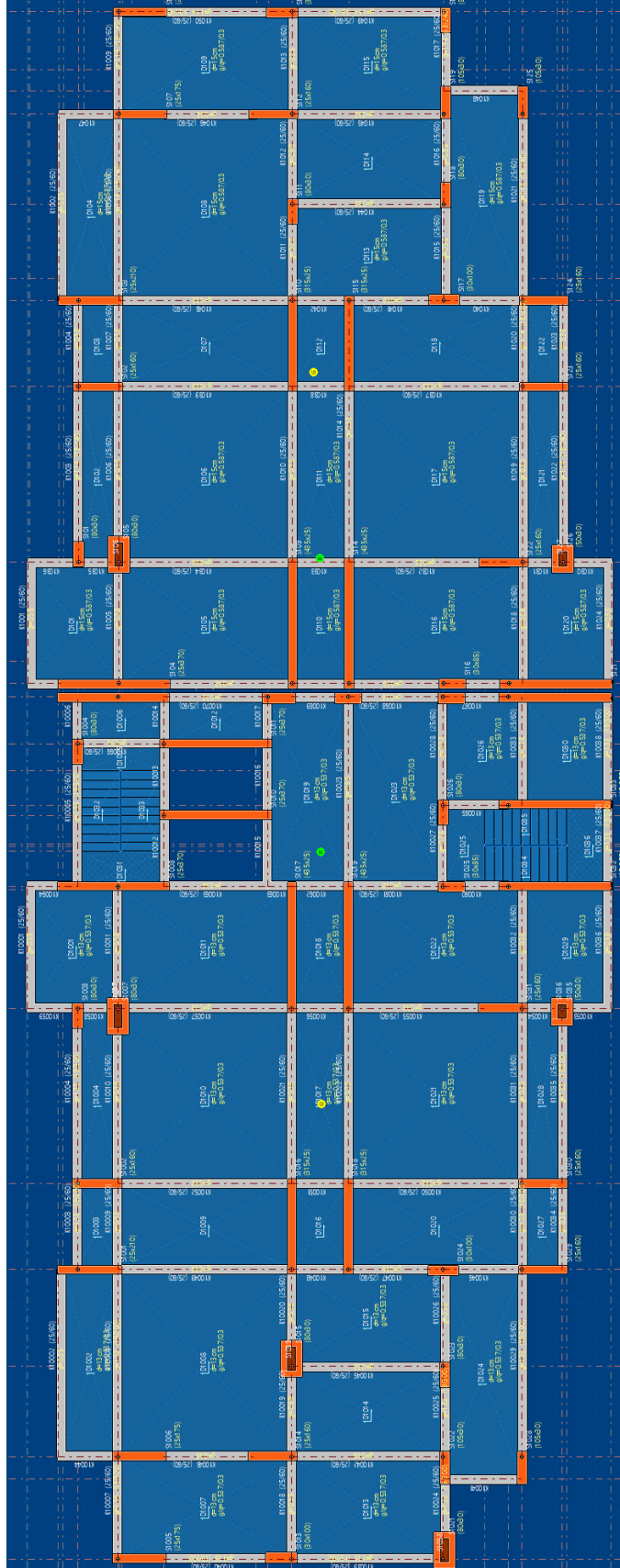


Şekil 31. Kolon sargılama düşey donatı katlar arası sürekliliği

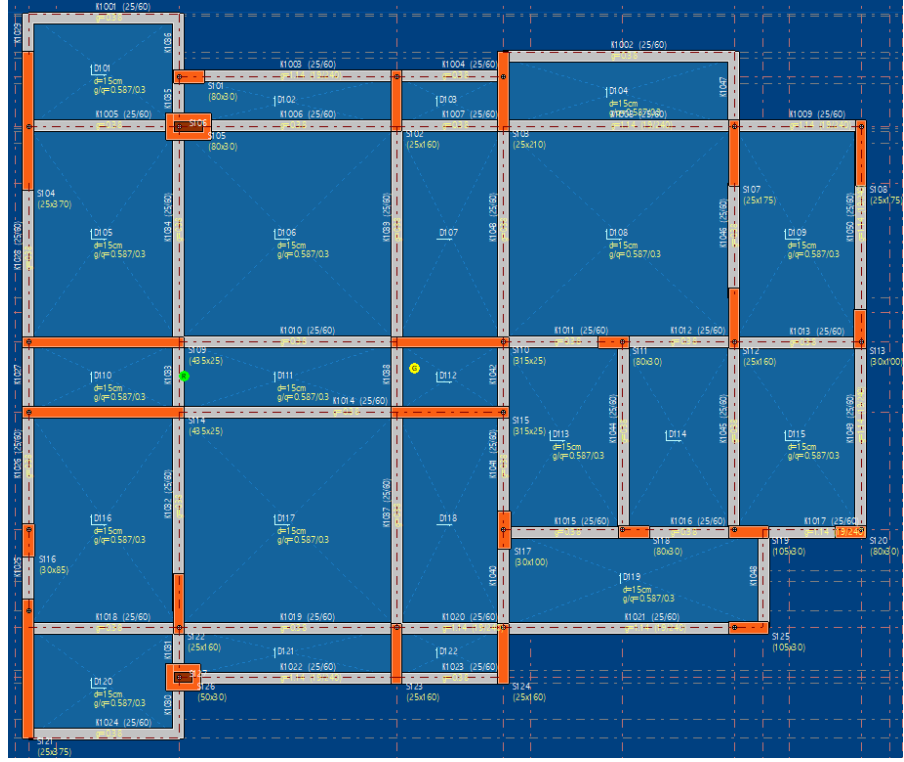
Tasarımlarda derzsiz ve derzli binalara ait göçme durumuna geçen kolonlarda, gevrek kırılmanın engellenmesi amacıyla, 20cm kalınlıkta olmak üzere mantolama uygulanmıştır. Güçlendirme sonrası kat planları Şekil 32, 33, 34 ve 35'te gösterilmektedir.



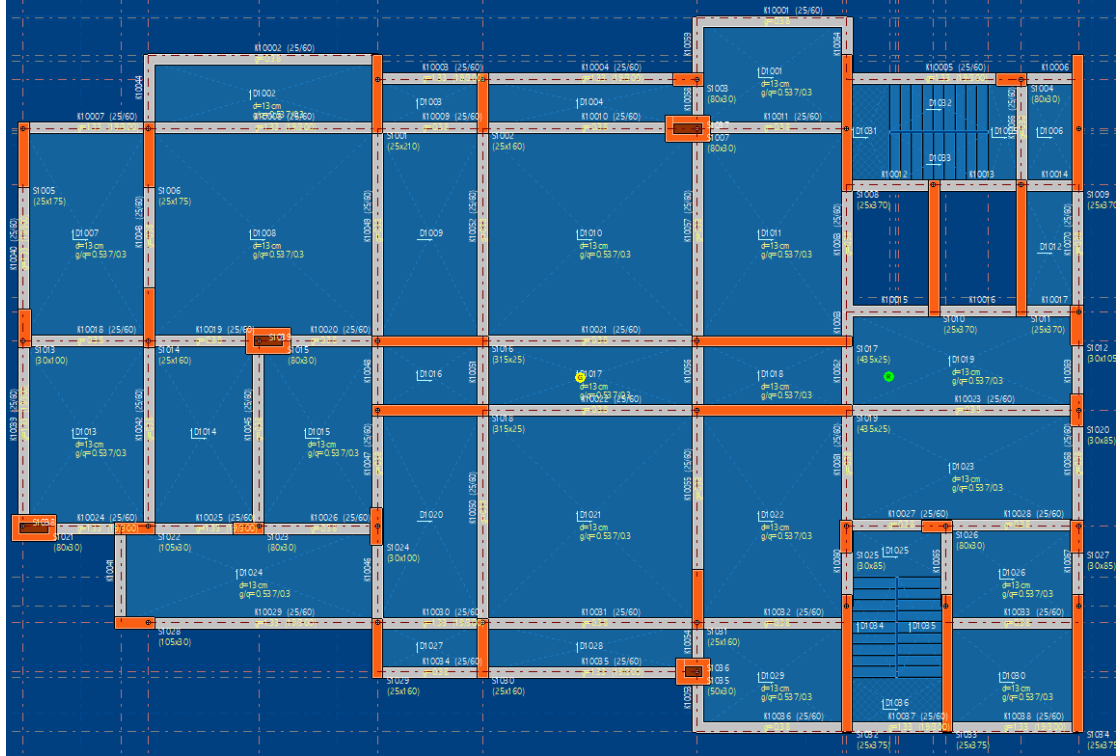
Şekil 32. Derzsiz tasarım güçlendirilmiş kat planı



Şekil 33. Derzli tasarım güçlendirilmiş kat planı



Şekil 34. Blok 1 güçlendirilmiş kat planı



Şekil 35. Blok 2 güçlendirilmiş kat planı

7.4.2. Mantolamada Kullanılan Malzeme Özellikleri

Betonarme taşıyıcı eleman yine beton ile sargılanması durumunda, mevcut eleman yüzeyi ile yeni betonun aderansının istenen düzeyde sağlanabilmesi için öncelikle yüzey sıvasından arındırılıp ardından beton kesici aletlerle pürüzlendirilmelidir. Kullanılacak beton mevcut yapı elemanının beton sınıfına eşit ya da daha yüksek dayanımlı beton olmalıdır. Aderans için diğer en önemli husus ise mevcut betondan çok fazla dayanıma sahip beton malzeme kullanımı da uygulama sonrasında birbirlerine yapışmasında ve beraber çalışmalarında sorun teşkil edecektir. Mantolama için C35 sınıf beton kullanılmıştır. Donatı olarak, düşey donatı çapı 14mm çaplı donatılar atanmış olup Şekil 36'da detay gösterilmiştir.

Diğer yandan aderans için emniyetli tarafta kalmak adına yönetmelik de, hesaplarda rijitlik ve dayanımların %10 azaltılmasını şart koşmuştur.

C35

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{ctk} = 2.1 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 35/1.5 = 23.33 \text{ MPa}$$

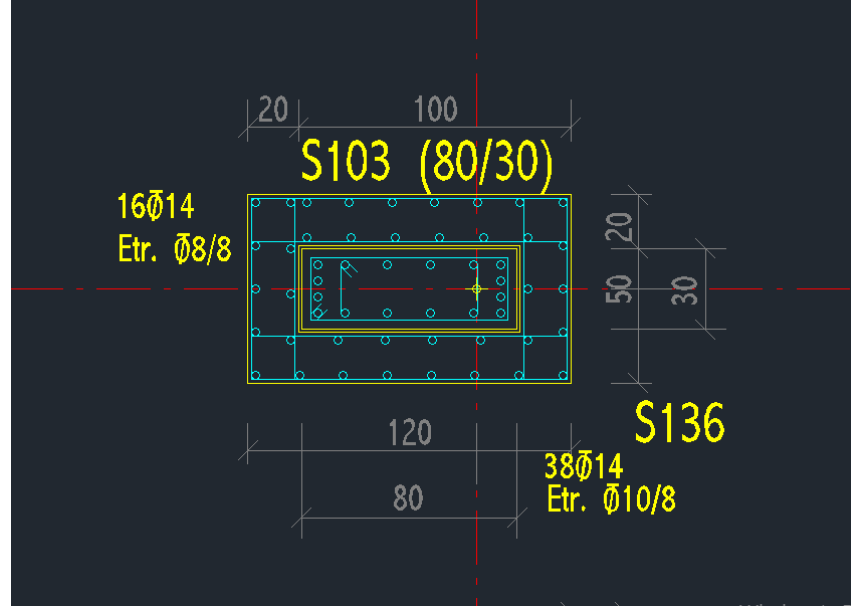
Donatı Çeliği B420C

$$f_{sy} = 420 \text{ MPa}$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 420/1.15 = 365 \text{ MPa}$$

Sargılama tüm bina tiplerinde 20cm kalınlık seçilerek uygulanmıştır. Modelleme gerçekleştirilirken beton sargıda bulunan düşey donatı çeliği 10 kat boyunca kattan kata devam ettirilmiştir.



Şekil 36. Mantolama donatı detayı

7.5. Güçlendirilmiş Tasarımların Modellemeleri ve Performans Çalışmaları

Teze konu derzsiz ve derzli binalar deprem performansları tespiti amacıyla, Bölüm 6'da tanımlanmış malzeme ve zemin özellikleri dikkate alınarak, kolonlarda gerçekleştirilen betonarme sargılar ilave edilerek STA4CAD tasarım ve analiz programı kullanılarak yeniden üç boyutlu şekilde modellenmiştir. Binaların güçlendirme yapılan kolonları haricinde, kat adetleri, yükseklikleri, aks aralıkları vb. tüm yapısal ölçü ve özellikleri sabit bırakılmıştır.

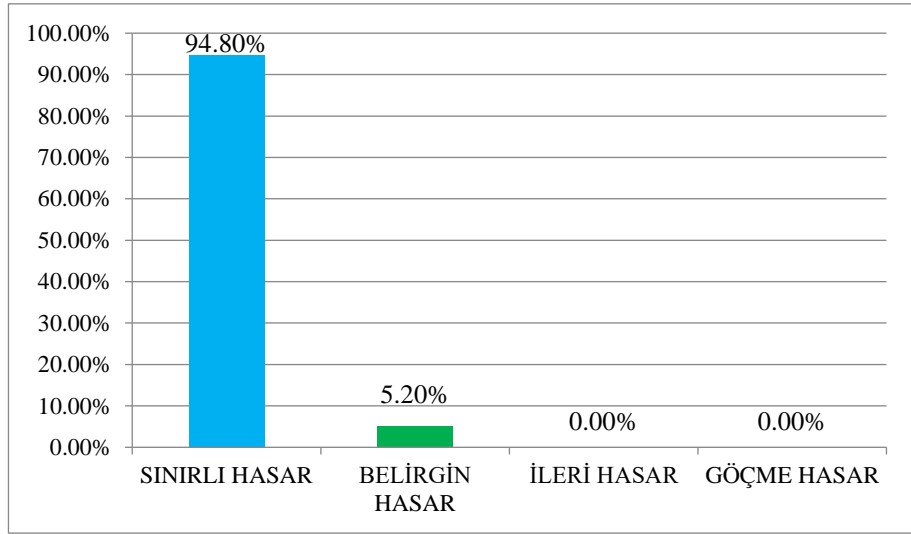
Güçlendirilmiş binalar zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemiyle analiz edilmiştir. Program olarak yine OPENSEES programı kullanılmıştır. Modellemelere STA4CAD programında tez bölüm 6'da açıklanan aşamalar uygulanarak uzantısı olan OPENSEES programında analize hazır hale getirilmişlerdir. Yapılara daha önce etkilenen ölçeklenmiş 11 deprem ivme kaydı kuzey-güney ve doğu-batı olmak üzere iki yatay doğrultuda ve 90⁰ döndürülerek yüklenmiştir. Analizlerden şekil değiştirme ve hasarların tespiti için betonarme elemanlarda yayılı plastik davranış modeli seçilmiştir. P delta seçeneği aktif edilmiştir.

7.6. Güçlendirilmiş Tasarımların Analiz Sonuçları Değerlendirmesi

7.6.1. Kolonlarda Hasar İncelemesi

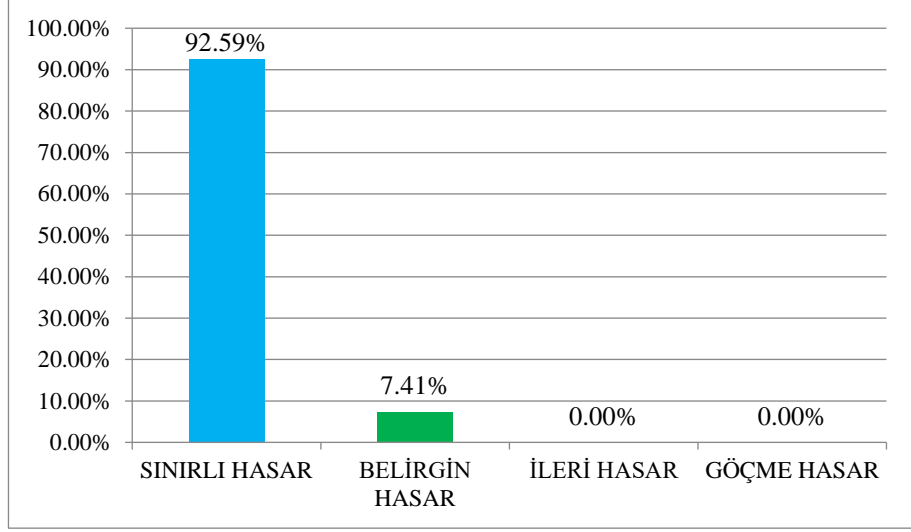
Güçlendirilmiş derzsiz binanın toplam 250 adet kolonunda oluşan hasarlara göre kolon hasar bölgeleri Şekil 37’de verilmiştir.

Güçlendirilmiş binanın derzsiz durumunda toplam 250 adet kolonun 237 adeti (%94,80) sınırlı hasar bölgesinde, 13 adeti (%5,20) belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 37. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait kolon hasar bölgeleri

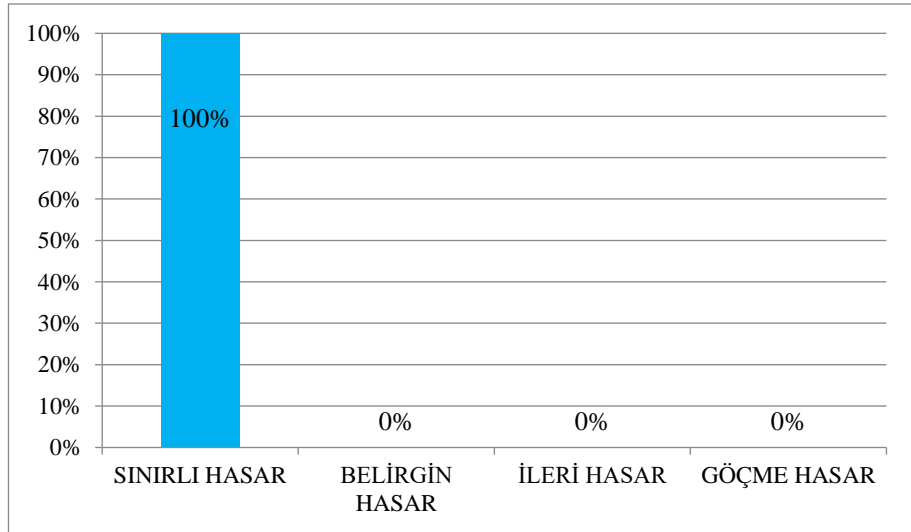
Güçlendirilmiş derzli binanın toplam 270 adet kolonu mevcuttur. Toplam 270 kolonun 250 adeti (%92,59) sınırlı hasar bölgesinde, 20 adeti (%7,41) belirgin hasar bölgesine geçmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. Güçlendirilmiş derzli binaya ait kolon hasar bölgeleri

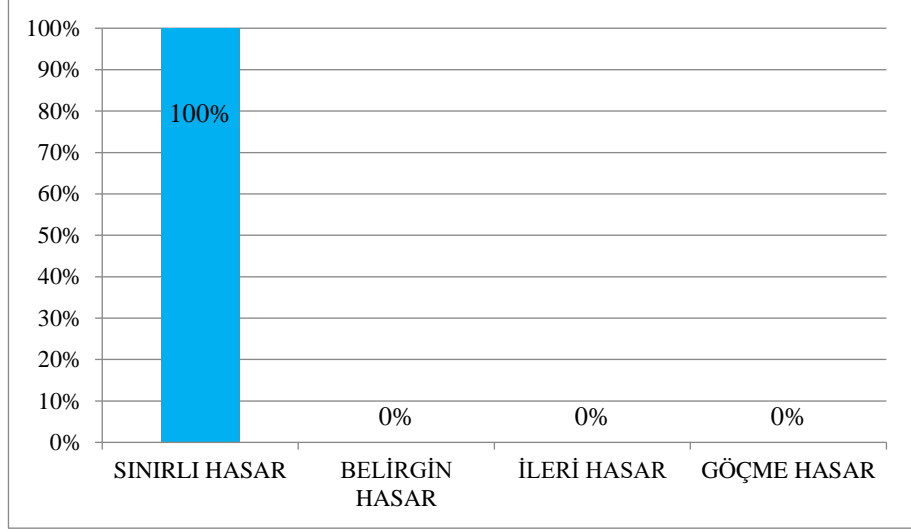
7.6.2. Betonarme Perdelerde Hasar İncelemesi

Güçlendirilmiş derzsiz binada her katta 30 adet olmak üzere tüm yapıdaki 300 adet betonarme perdenin tamamı sınırlı hasar bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 39).



Şekil 39. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait betonarme perde hasar bölgeleri

Teze konu güçlendirilmiş binanın derzle ayrılmış tasarımında binanın her bir katında 33 perde bulunup tüm binada 330 adet betonarme perde vardır. Analiz sonucunda perdelerin tamamı sınırlı hasar seviyesinde sonuç vermiştir (Şekil 40).

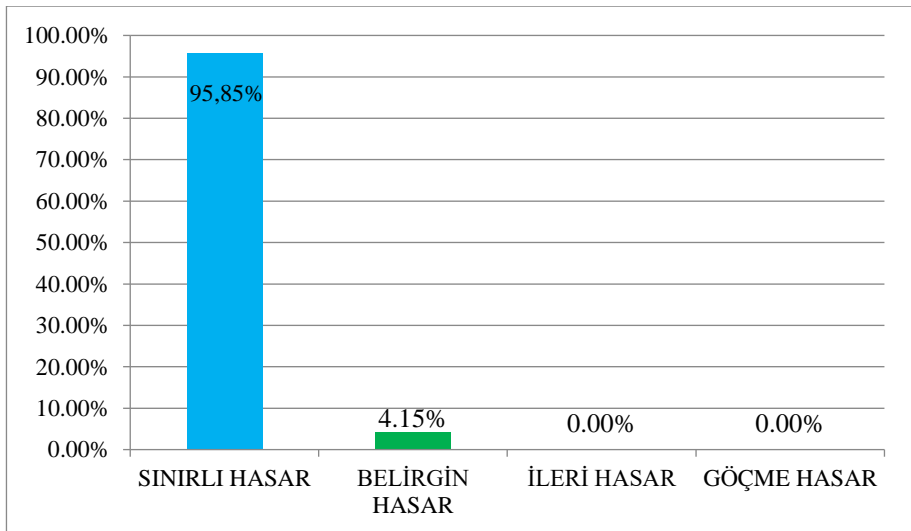


Şekil 40. Güçlendirilmiş derzli binaya ait betonarme perde hasar bölgeleri

7.6.3. Kirişlerde Hasar İncelemesi

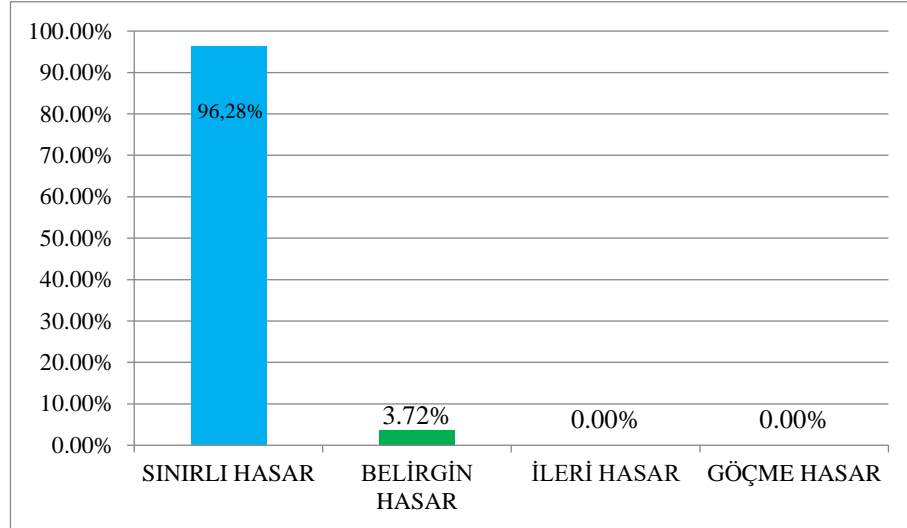
Deprem kayıtları etkilerek gerçekleştirilen 22 adet analiz sonucunda güçlendirilmiş olan derzsiz binanın tüm katlarının toplam 1180 adet kirişine ait kiriş hasar bölgeleri Şekil 41’de verilmiştir.

Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait 1180 adet kirişin 1131’i (%95,85) sınırlı hasar bölgesinde, 49 tanesi (%4,15) belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Kirişlerden ileri hasar ve göçme bölgesine geçen eleman olmamıştır.



Şekil 41. Güçlendirilmiş derzsiz binaya ait kirişler için hasar bölgeleri

Güçlendirilmiş derzli durumda binanın her bir katında 121 kiriş olmak üzere, yapıda toplam 1210 kiriş mevcuttur. 1165 adeti (%96,28) sınırlı hasar bölgesinde, 45 adeti (%3,72) belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. İleri hasar ve göçme bölgesinde kiriş bulunmamaktadır (Şekil 42).



Şekil 42. Güçlendirilmiş derzli binaya ait kirişler için hasar bölgeleri

7.6.4. Güçlendirilmiş Binaların Deplasman Değerleri

Güçlendirilmiş derzli ve derzsiz tasarımların DD-2 deprem düzeyine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri sonucu x ve y yönünde yerdeğiştirme değerleri Tablo 15 ve Tablo 16 ve Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 15. Güçlendirilmiş derzsiz tasarım yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemeleri	U _x (m)	-U _x (m)	U _y (m)	-U _y (m)
d1	0,0688	0,0889	0,0817	0,0825
d1-90 ⁰	0,0382	0,0854	0,0724	0,0893
d2	0,0902	0,1144	0,1005	0,1178
d2-90 ⁰	0,0861	0,0958	0,1101	0,1340
d3	0,1070	0,1176	0,0820	0,0934
d3-90 ⁰	0,0864	0,0820	0,0957	0,1010
d4	0,1291	0,1382	0,0926	0,1002
d4-90 ⁰	0,0976	0,0940	0,1363	0,1416
d5	0,1841	0,1690	0,1780	0,1834
d5-90 ⁰	0,1847	0,1715	0,1762	0,1621
d6	0,0658	0,0666	0,0682	0,0657

Tablo 15. Güçlendirilmiş derzsiz tasarım yer değiştirme değerleri (devam)

Deprem Yüklemeleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d6-90 ⁰	0,0674	0,0734	0,0710	0,0747
d7	0,1024	0,1114	0,0856	0,0878
d7-90 ⁰	0,0668	0,0713	0,1039	0,1214
d8	0,0751	0,1320	0,0335	0,0517
d8-90 ⁰	0,0391	0,0490	0,0710	0,1259
d9	0,0626	0,0698	0,0899	0,0875
d9-90 ⁰	0,0827	0,0925	0,0746	0,0868
d10	0,0430	0,0421	0,0433	0,0431
d10-90 ⁰	0,0469	0,0470	0,0459	0,0453
d11	0,2253	0,2486	0,2656	0,3099
d11-90 ⁰	0,2835	0,2697	0,2287	0,2681

Tablo 16. Güçlendirilmiş blok 1 yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemeleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d1	0,0692	0,0852	0,0945	0,0941
d1-90 ⁰	0,0797	0,0936	0,0879	0,0871
d2	0,0982	0,1123	0,1128	0,1229
d2-90 ⁰	0,0795	0,1008	0,1309	0,1586
d3	0,1014	0,1089	0,0860	0,0947
d3-90 ⁰	0,0789	0,0766	0,0843	0,1086
d4	0,1170	0,1348	0,1177	0,1131
d4-90 ⁰	0,1283	0,1155	0,1038	0,1398
d5	0,2106	0,2059	0,1872	0,1519
d5-90 ⁰	0,2088	0,1739	0,1898	0,1734
d6	0,0732	0,0664	0,0697	0,0662
d6-90 ⁰	0,0672	0,0746	0,0704	0,0781
d7	0,1108	0,1095	0,0784	0,0747
d7-90 ⁰	0,0623	0,0566	0,1044	0,1189
d8	0,0836	0,1571	0,0500	0,0711
d8-90 ⁰	0,0384	0,0533	0,0772	0,0955
d9	0,0501	0,0543	0,0684	0,0875
d9-90 ⁰	0,0625	0,0676	0,0742	0,0116
d10	0,0450	0,0377	0,0447	0,0458
d10-90 ⁰	0,0554	0,0525	0,0434	0,0439
d11	0,2146	0,2390	0,3351	0,3088
d11-90 ⁰	0,2658	0,3126	0,2095	0,2300

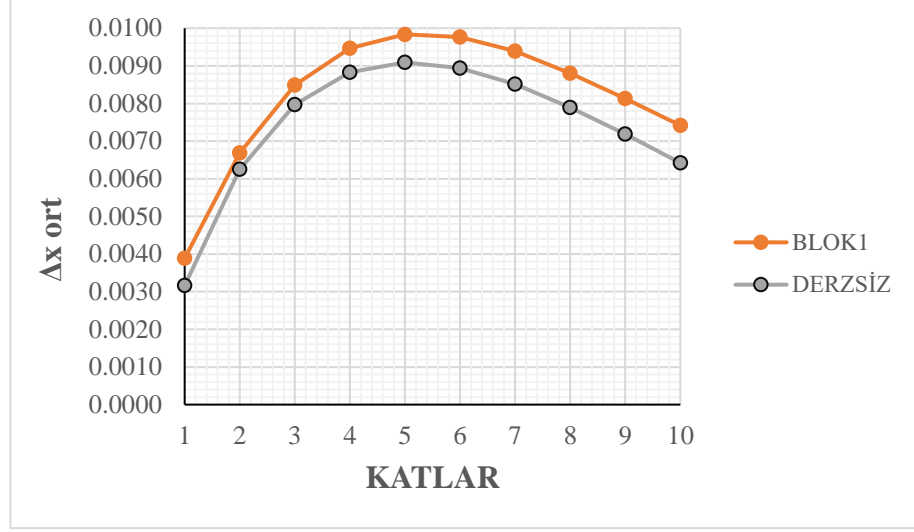
Tablo 17. Güçlendirilmiş blok 2 yer değiştirme değerleri

Deprem Yüklemleri	U_x (m)	-U_x (m)	U_y (m)	-U_y (m)
d1	0,0705	0,0929	0,0613	0,0646
d1-90 ⁰	0,0671	0,0840	0,0464	0,0475
d2	0,1031	0,1261	0,0708	0,0727
d2-90 ⁰	0,0888	0,1068	0,0862	0,1121
d3	0,1080	0,1251	0,0613	0,0656
d3-90 ⁰	0,0897	0,0867	0,0499	0,0514
d4	0,1371	0,1424	0,0590	0,0483
d4-90 ⁰	0,0832	0,0836	0,0743	0,1003
d5	0,1731	0,1601	0,1370	0,1174
d5-90 ⁰	0,1847	0,1753	0,1310	0,1054
d6	0,0646	0,0673	0,0534	0,0512
d6-90 ⁰	0,0652	0,0781	0,0547	0,0720
d7	0,0964	0,1121	0,0639	0,0605
d7-90 ⁰	0,0678	0,0713	0,0513	0,0653
d8	0,0732	0,1503	0,0487	0,0677
d8-90 ⁰	0,0448	0,0504	0,0637	0,1003
d9	0,0498	0,0622	0,0635	0,0652
d9-90 ⁰	0,0726	0,0792	0,0688	0,0812
d10	0,0427	0,0484	0,0313	0,0299
d10-90 ⁰	0,0453	0,0459	0,0287	0,0286
d11	0,2599	0,2895	0,1610	0,2122
d11-90 ⁰	0,2281	0,2468	0,1031	0,1683

Analiz sonuç verilerini incelendiğinde en fazla yer değiştirme blok1’de geręekleřmiř olup değeri 0,3351m’dir. Blok1’de maksimum deplasmanlar deprem yönlerine göre $U_x=0,2658m$, $-U_x=0,3126m$, $U_y=0,3351m$ ve $-U_y=0,3088m$ değerleridir. Blok 2’de $U_x=0,2599m$, $-U_x=0,2895m$, $U_y=0,1610m$ ve $-U_y=0,2122m$ değerleri ve derzsiz tasarımda $U_x=0,2835m$, $-U_x=0,2697m$, $U_y=0,2656m$ ve $-U_y=0,3099m$ yer değiştirme değerleri oluşmuştur.

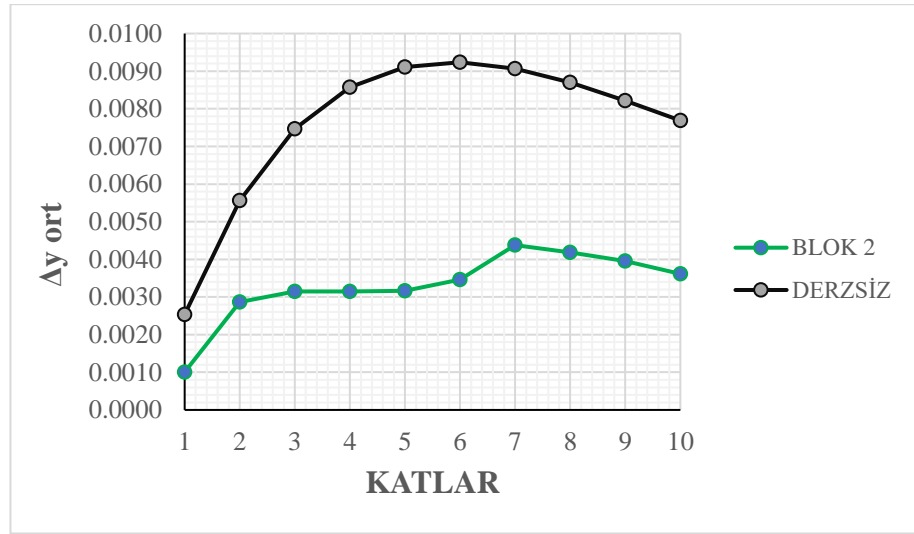
7.6.5. Güçlendirilmiş Binaların Ortalama Görelİ Kat Ötelemesi Oranı

Blok 1 için en büyük görelİ ötelemeler güçlendirme yapılmadan elde edilen öteleme değerlerinde tespit edildiği gibi yine x yönünde geręekleřmiřtir. Güçlendirilmiş derzsiz yapıda x yönünde ortalama görelİ kat ötelemeleri değerleriyle güçlendirilmiş blok 1’de x yönünde oluşan değerlerin işlendiği grafik Şekil 43’te gösterilmektedir.



Şekil 43. Güçlendirilmiş derzsiz bina ve blok 1 ortalama görel kat ötelemeleri

Güçlendirilen blok 2 için en büyük görel ötelemeler y yönünde gerçekleşmiştir. Güçlendirilen derzsiz yapıda y yönünde oluşan değerler ve blok 2’de y yönünde oluşan değerler Şekil 44’te grafik hale getirilmiştir.



Şekil 44. Güçlendirilmiş derzsiz bina ve blok 2 ortalama görel kat ötelemeleri

Güncel deprem yönetmeliği derzsiz tasarım önerisi uygulanmadan derzli ve diğer yandan yönetmeliğin derzler konusunda getirdiği yeniliğe uyularak derzsiz tasarlanan modellemeler için yönetmelik bölüm 15 kapsamında, analiz programında güçlendirme çalışması yapılmıştır. 2018 yönetmeliği bölüm 3 kuralları dahilinde yapıların kullanım sınıfları, önem katsayısı, tasarımı, yükseklik sınıfları değerlerine göre tespit edilen DD-

2 deprem yer hareketi düzeyinde binalar kontrollü hasar (KH) performans düzeyini sağlamıştır.

7.7. Bloklarda Burulma Düzensizliğinin İyileştirilmesi

Güçlendirme çalışmaları bir de bloklarda mevcut burulma düzensizliklerinin iyileştirilmesi yönünde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler için binaya betonarme perde ilavesi yapılmıştır. Elemanlar için beton sınıfı C30 seçilmiştir. Blok 1 için, derzle ayrılma sonucu, burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi}=1,487$ şeklinde oluşmuştur. Göçme bölgesinde olan kolonlar betonarme perde ilavesiyle güçlendirilmiş olup A1 türü düzensizliğin giderilmesi amaçlı blok köşelerinde ve her iki kenarına yeni betonarme perdeler ilave edilmiştir (Şekil 45). Söz konusu işlemler sonrasında burulma katsayısı $\eta_{bi}=1,182$ değerine, yönetmelik sınırınının ($\eta_{bi}=1,2$) altı değere indirilmiştir.



Şekil 45. Blok 1 (betonarme perde ilavesi ile) güçlendirilmiş kat planı

Blok 2 için ise burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi}=1,782$ 'dir. Göçme bölgesinde olan kolonlar perde ilavesiyle güçlendirilmiş olup A1 türü düzensizliğin giderilmesi amaçlı blok köşelerinde ve her iki kenarına yeni perdeler ilave edilmiştir (Şekil 46). Söz konusu işlemler sonrasında burulma katsayısı $\eta_{bi}=1,191$ değerine indirilmiştir.

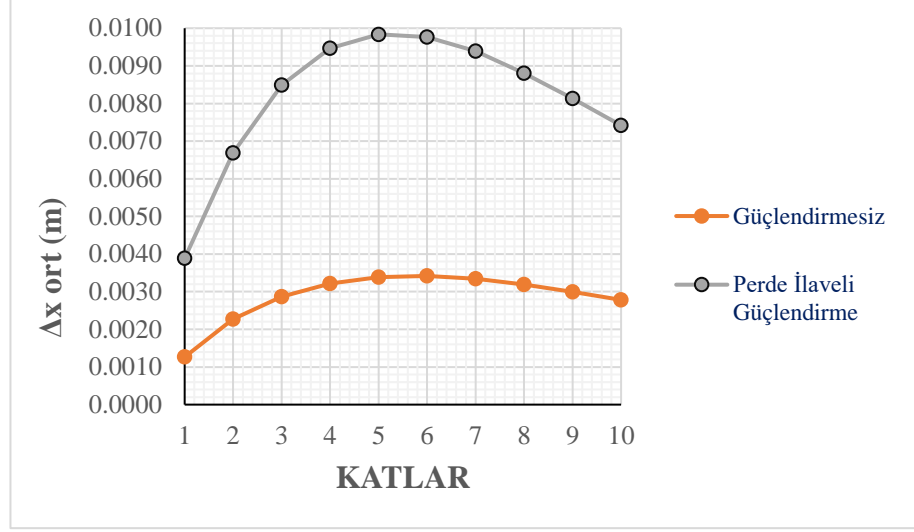


Şekil 46. Blok 2 (betonarme perde ilavesi ile) güçlendirilmiş kat planı

Her iki blokta da ağırlık ve rijitlik merkezleri, betonarme perde ile güçlendirme çalışması ve betonarme perde ilaveleri sonrasında birbirlerine oldukça yakınlaşmıştır.

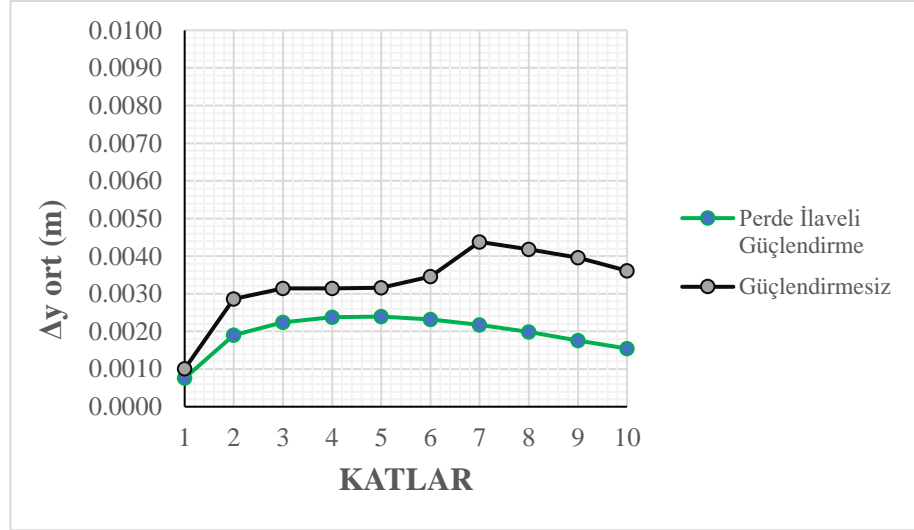
7.7.1. Betonarme Perde İle Güçlendirilmiş Blokların Ortalama Görelî Kat Ötelemesi Oranı

Blok 1 için güçlendirilmemiş ve betonarme perde ile güçlendirme sonrası görelî kat öteleme oranları, x yönünde daha büyük ötelemeler oluşmuş olup, Şekil 47’de grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 47. Blok 1 ortalama görel kat ötelemeleri

Blok 2 için güçlendirilmemiş ve betonarme perde ile güçlendirme sonrası görel kat öteleme oranları, y yönünde daha büyük ötelemeler oluşmuş olup, Şekil 48'de gösterilmektedir.



Şekil 48. Blok 2 ortalama görel kat ötelemeleri

8. MALİYET ANALİZİ

Maliyet analizi başlığı altında teze konu tasarımın derzli ve derzsiz durumları için yapım maliyetleri ve gerçekleştirilen analizler sonucu oluşan hasarlardan yola çıkılarak uygulanan güçlendirme işlemlerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Maliyet hesabında beton, betonarme kalıbı, donatı ve güçlendirme durumunda epoksi ile donatı filiz ekimi miktarları dikkate alınmıştır. Birim fiyatlar T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesinden alınmıştır. Bakanlık fiyat listesinde olmayan iş kalemi için piyasa araştırması yapıp fiyat tespit edilmiştir. Tasarımların yapım maliyetleri Tablo 18 ve Tablo 19’da hesaplanmıştır. Güçlendirme maliyetleri derzsiz yapı için Tablo 20’de, derzli modelleme için de Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 18. Derzsiz bina yapım maliyeti

Poz No	Birim fiyat tarifi	Birim fiyat(TL)	Miktar	Tutar
15.150.1006	C30/37 Hazır beton	1.083,66	2.337,4 m ³	2.532.974,79
15.180.1003	Düz yüzeyli betonarme kalıbı	173,93	18.729,4 m ²	3.257.596,91
15.160.1003	8-12mm Betonarme demiri	19.325,13	168,6 ton	3.258.100,95
15.160.1004	14-50mm Betonarme demiri	19.290,13	127,3 ton	2.455.117,11
			Nakliye %10	1.150.440,20
			Toplam KDV %18	2.277.871,60
			Toplam aylık artış %1	149.327,14
			Toplam	15.082.040,93

Tablo 19. Derzli bina yapım maliyeti

Poz No	Birim fiyat tarifi	Birim fiyat(TL)	Miktar	Tutar
15.150.1006	C30/37 Hazır beton	1.083,66	2.651,90 m ³	2.873.757,95
15.180.1003	Düz yüzeyli betonarme kalıbı	173,93	19.645,10 m ²	3.416.872,24
15.160.1003	8-12mm Betonarme demiri	19.325,13	184,70 ton	3.570.521,42
15.160.1004	14-50mm Betonarme demiri	19.290,13	163,00 ton	3.144.291,19
			Nakliye % 10	1.300.427,30
			Toplam KDV % 18	2.574.846,05
			Toplam aylık artış %1	168.795,46
			Toplam	17.048.341,82

Tasarımın derzli olarak inşa maliyeti 17.048.341,82 TL olup, derzsiz imalatında oluşan 15.082.040,93 TL maliyete göre %13 artış oluşmuştur.

Tablo 20. Derzsiz bina güçlendirme maliyeti

Poz No	Birim fiyat tarifi	Birim fiyat(TL)	Miktar	Tutar
15.150.1007	C35/45 Hazır beton	1.152,41	57,90 m ³	66.724,54
15.180.1003	Düz yüzeyli betonarme kalıbı	173,93	655,20 m ²	113.958,94
15.160.1003	8-12mm Betonarme demiri	19.325,13	3,70 ton	71.502,98
15.160.1004	14-50mm Betonarme demiri	19.290,13	6,50 ton	125.385,85
Özel	Donatı filizi ekimi epoksi	100,00	1920 adet	192.000,00
			Nakliye % 10	59.657,23
			Toplam KDV % 18	112.775,32
			Toplam aylık artış %1	7.393,05
			Toplam	746.697,90

Derzsiz binada hesaplanan güçlendirme maliyeti 746.697,90 TL olarak hesap edilmiştir. Tasarımın yapım maliyeti 15.082.040,93 TL olup, güçlendirme çalışmalarından dolayı oluşacak masrafların bina yapım maliyetine oranı %5,0 şeklinde oluşmuştur.

Tablo 21. Derzli bina güçlendirme maliyeti

Poz No	Birim fiyat tarifi	Birim fiyat(TL)	Miktar	Tutar
15.150.1007	C35/45 Hazır beton	1.152,41	97,70 m ³	112.590,46
15.180.1003	Düz yüzeyli betonarme kalıbı	173,93	1.096,70 m ²	190.749,03
15.160.1003	8-12mm Betonarme demiri	19.325,13	6,1 ton	117.883,29
15.160.1004	14-50mm Betonarme demiri	19.290,13	10,20 ton	196.759,33
Özel	Donatı filizi ekimi epoksi	100,00	3520 adet	352.000,00
			Nakliye %10	96.998,21
			Toplam KDV %18	192.056,46
			Toplam aylık artış %1	12.590,37
			Toplam	1.271.627,15

Derzli binada hesaplanan güçlendirme maliyeti 1.271.627,15TL olarak hesap edilmiştir. Derzli tasarımın yapım maliyeti 17.048.341,82TL olup, güçlendirme çalışmalarından dolayı oluşacak masrafların bina yapım maliyetine oranı %7,46 oranında oluşmuştur.

Derzli binanın güçlendirme maliyeti 1.271.627,15TL olup, derzsiz tasarımın güçlendirme maliyeti ise 746.697,90TL tutarında oluşmuştur. Derzle ayırma sonucunda, aynı deprem takımları etkileri altında derzsiz tasarıma göre güçlendirme maliyetinde 1,7 kat artış ortaya çıkmıştır.

Bloklar için burulma olumsuzluğunu iyileştirmek amaçlı gerçekleştirilen betonarme perde ilave edilerek güçlendirme çalışması sonucu oluşan maliyet hesaplanmış olup Tablo 22’de verilmiştir.

Derzli binada hesaplanan perde ile güçlendirme ve burulma düzensizliği iyileştirme maliyeti 3.243.933,30TL olarak hesap edilmiştir. Derzli tasarımın yapım maliyeti 17.048.341,82TL’dir. Yapılan iyileştirme çalışmalarının binanın yapım maliyetine oranı %19,03 oranında oluşmuştur. Derzle ayırma sonucunda oluşan burulma sorunlarını iyileştirme ve betonarme perde ile güçlendirme maliyetinde ise, derzsiz binanın güçlendirme maliyeti 746.697,90TL olduğundan, 4,34 kat artış ortaya çıkmıştır.

Tablo 22. Derzli bina betonarme perde ilaveli güçlendirme maliyeti

Poz No	Birim fiyat tarifi	Birim fiyat(TL)	Miktar	Tutar
15.150.1006	C30/37 Hazır beton	1.083,66	652,30 m ³	706.871,42
15.180.1003	Düz yüzeyli betonarme kalıbı	173,93	4.440,90 m ²	772.405,74
15.160.1003	8-12mm Betonarme demiri	19.325,13	31,10 ton	601.011,54
15.160.1004	14-50mm Betonarme demiri	19.290,13	16,70 ton	322.145,17
Özel	Donatı filizi ekimi epoksi	100,00	720 adet	72.000,00
			Nakliye %10	247.443,39
			Toplam KDV %18	489.937,91
			Toplam aylık artış %1	32.118,15
			Toplam	3.243.933,30

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapı malzeme kalitesinin gelişmesiyle son yıllarda inşa edilen binalar özellikle yüksek katlı yapılarda, daha kapsamlı, gerçeğe yakın sonuçlar verebilecek analizlerle çözümlenmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin geldiği nokta ve verdiği imkanlarla yapılar deprem etkileri altında daha detaylı incelenebilmektedir. Doğrusal olmayan hesap yöntemi yapının ve malzemenin deprem etkileri altında davranışını gerçeğe yakın şekilde analiz edebilmektedir.

Çalışmada, yurdumuzda bugüne kadar uygulanan deprem yönetmeliklerinde derzler, deprem etkilerine karşı dengeli yapıların oluşturulması esasları ve deprem etkileri altında binaların incelenmesi için hesap yöntemleri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi, davranış modelleri olan yığılı ve yayılı plastik davranış şekilleri, süneklik konularından bahsedilmiştir.

Tez çalışmasında, 2007 deprem yönetmeliği yürürlükte iken kullanımı konut amaçlı tasarlanmış 10 katlı betonarme bir binanın derzli olarak ve 2018 yönetmeliğinin getirdiği imkan değerlendirilerek derz uygulanmadan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Her iki tasarım için aynı deprem takımları binalara etki ettirilmiştir. Binaların performans hedefleri kontrollü hasar (KH) performans düzeyidir. Analizler sonucunda istenen düzey (KH) sağlanamamıştır. Oluşan hasarlar tezin 6. bölümünde grafiklerle verilmiştir.

OPENSEES programı kullanılarak gerçekleştirilen 22 deprem kaydı etkitilen analizin sonucunda derzsiz tasarımda, binanın 250 kolonunun 235 adeti sınırlı hasar bölgesine, 9 adeti belirgin hasar bölgesine, 2 adeti ileri hasar bölgesinde, 4 adet kolon göçme bölgesine geçmiştir. Buna karşı derzli modellemede 270 kolonun 247'si sınırlı hasar bölgesine, 14 adeti belirgin hasar bölgesine, 3 adeti ileri hasar bölgesine, 6 adeti zemin kat kolonları olmak üzere göçme bölgesine geçmiştir. Kolonlarda oluşan hasar farklılıklarının sebebi, aynı deprem takımları ve aynı analiz yöntemi uygulanmasına rağmen tasarımın derzle ayrılması sonucu bloklarda oluşan düzensizliklerdir.

Betonarme perdelerde hasar durumları, derzsiz tasarım ve derzli tasarım için farklı oluşmamıştır. Her iki tasarımda da perdeler sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

Derzsiz modellemede 1180 adet kirişin 1125'i sınırlı hasar bölgesinde, 55 tanesi belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Bu tasarımda ileri ve göçme hasar bölgesinde eleman bulunmamaktadır. Derzli tasarımda binanın toplam 1210 kirişinin 1154 adeti sınırlı hasar bölgesinde kalan 56 adeti ise belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Yine bu tasarımda da ileri hasar ve göçme bölgesine geçen kiriş bulunmamaktadır. Kirişler açısından bakıldığında tasarımlar arasında oluşan hasar farkı yok denecek kadar azdır. Binalarda maksimum hasarlar kirişlerde değil kolonlarda oluşmuştur. Yapılan analizler sonucunda güçlü kolon, zayıf kiriş normu, olması gereken durum gerçekleşmemiştir.

Yer değiştirme değerlerinde güçlendirme öncesi ve sonrası için her iki durumda da en büyük deplasman değerleri blok 1'de oluşmuştur. Güçlendirilmiş durum için deplasman değerleri genel olarak ilk duruma göre çok az miktarda azalmıştır. Tüm tasarımlarda güçlendirme öncesi ve sonrası deplasmanlarda farkın az olması, güçlendirme uygulamasında betonarme perde ilavesi yapılmamasından kaynaklanmaktadır.

Burulmadan kaynaklı oluşan öteleme değerlerine ağırlık ve rijitlik merkezlerinin yakınlığı ve betonarme perde elemanlarının planda uygun şekilde dengeli dağıtılmasının ve bina köşelerinde oluşturulmasının etkisi büyüktür. Derzsiz tasarım uzun kenar ölçüsü derzle oluşturulan bloklara göre neredeyse iki kat fazla değerdedir. Derzsiz tasarım ile blok 1'de oluşan ortalama görelî kat öteleme değerlerinin birbirlerine yakın değerlerde olması hatta blok 1'e ait ötelemelerin fazla oluşması blok 1'in tasarımının eksikliklerini, derzlerle ayrılan binalarda oluşabilecek olumsuzlukları ortaya koymaktadır. Betonarme perde elemanların tek bölgede toplanması ve ağırlık-rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olması, blok 1'e ait ortalama görelî kat öteleme değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Blok 2 ile derzsiz tasarımda oluşan öteleme değerleri yaklaşık yarı yarıya olup, binaların boyutları düşünüldüğünde (modellemede uzun kenarların birbirine oranı yaklaşık olarak 1/2'dir) öteleme değerlerinin yakın değerlerde oluştuğu söylenebilir. Derzsiz tasarımda ağırlık ve rijitlik merkezleri çakışmasına rağmen, oluşan ötelemelerin blok 2 ile yakın değerlerde olmasının sebebi, derzsiz tasarımda bina köşelerinde yapıyı çevreleyen betonarme perdelerin bulunmaması ve betonarme perdelerin bina merkezine yakın yerleştirilmesi olumsuzluğu büyük etkindir.

Analizi gerçekleştirilen teze konu binalar için derzli ve derzsiz durum maliyetleri güçlendirme öncesi yapım ederleri ve güçlendirme maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Derzsiz ve derzli tasarımların inşa maliyet hesapları karşılaştırıldığında derzli yapım ederinin derzsiz göre %13 daha fazla olduğu görülmüştür. Ardından güçlendirmeler sonucu oluşan maliyetler kıyaslanmış olup, derzli tasarımda oluşan güçlendirme maliyeti derzsiz tasarım güçlendirme maliyetine göre %170 daha fazla oluşmuştur. Diğer yandan güçlendirme işlemi bloklarda mevcut burulma düzensizliklerinin iyileştirilmesi de dâhil edilerek gerçekleştirilmiştir. Teze konu bina blokları betonarme perde ile güçlendirilmesi sonucunda, aynı deprem takımları etkileri altında derzli binanın güçlendirme maliyetinde, derzsiz tasarım güçlendirme maliyetine oranla 4,34 kat artış ortaya çıkmıştır. 2018 deprem yönetmeliğinin getirdiği derzlerle ilgili yeniliğin, ülkemiz yapı stokuna sağlayacağı olumlu etkisi ortaya koyulmuştur.

9.2. Öneriler

Mevcut binaların güçlendirme kararları maliyet analizi yapılarak ekonomikliğinin tespit edilmesi önerilmektedir. Ekonomikliği yeterli görülen ya da tarihi, manevi önemi olan binalarda güçlendirme kararı alındı ise, güçlendirme yönteminin seçiminde binanın kat adedi, yüksek bina olup olmaması, deprem yüklerinin maksimum etkideği kat ya da yapı kısmı, en fazla hasar alan zemin kat üstü kat sayısı vb. etkenler dikkate alınabilir. Az katlı binalarda yapılacak analizlerde düşey elemanların sarılmasıyla, katlar arası süreklilik sağlanmadan istenen deprem performansına ulaşıp ulaşılamayacağı tespit edilerek, güçlendirme için daha ekonomik olan ve daha kolay uygulanan kolonların sarılması (betonarme, çelik, lif polimer sargı) yöntemi seçilebilir.

Gerçeğe yakın sonuçların elde edilebildiği doğrusal olmayan analizler kullanılırken davranış modellerinden yığılı davranış modelinde, yönetmeliğin perdelerde bu yöntemin kullanılmasında koyduğu kısıtlama, en büyük perde uzunluğu ile yüksekliğinin oranı 0,5'i aşmaması şartı dikkate alınıp, daha hassas sonuçların elde edilebildiği yayılı plastik davranış şekli tercih edilebilir. Kesitlerin liflere (fiber) ayrılarak incelenmesi, bu yöntemin taşıyıcıyı oluşturan elemanları incelemedeki hassasiyeti, hasarların eleman bazında daha çok bölgede incelenme imkanı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi açısından önemli olabilecektir.

Analiz programında deprem kayıtları atanırken, analizlerin kısa sürmesi adına, ivme etkime zaman aralıkları büyük tutulması ile hesaplarda yakınsama oluşumuna sebep olunabilecektir. Çalışmada döşemeler analizlere dahil edilmiştir. Hesap sürelerinin azaltılması için döşeme yük etkileri taşıyıcı sistem elemanlarına tanımlanması yolu tercih edilebilir.

Güçlendirme yapılırken mimari kısıtlamalar (mahallerin kullanım amaçlarının, işlevselliğinin yok olması kaygısı) mümkün olduğunca esnetilerek, tek yönde deplasmanların fazla oluşmaması için ve ötelenmelerin engellenmesi açısından yapıların betonarme perdelerle güçlendirme yoluna başvurulabilir.

Teze konu binada ağırlık ve rijitlik merkezi çok yakın olacak şekilde tasarlanmış olsa bile, planda perdelerin bina merkezine yakın oluşturulması analiz sonuçlarında istenen sonuçları vermemiştir. Kolonlar göçme bölgesi hasarlara ulaşmış olup, kirişlerin daha fazla hasar alması faydalılığı sağlanamamıştır. 2018 deprem yönetmeliğinin burulma düzensizliğinin oluşmasını engellemek için oluşturulan projelerde derz yapımına izin verme sebebi, ağırlık ve rijitlik merkezinin yakın oluşturulması amacıyla derz bırakılmasına tolerans sağlanması, teze konu binadaki yanlış tasarımı kastetmemektedir. Çalışmadaki binada her ne kadar ağırlık ve rijitlik merkezleri çakışmış olsa da, yönetmeliğin taşıyıcı elemanların planda dengeli düzenlenmesi şartına uymamaktadır. Planda burulmaların engellenmesi için perdeler hem dengeli hem de bina köşelerine yerleştirilebilir. Hedeflenen düzenli binalar için, kat planlarında betonarme perde elemanlar x ve y yönlerinde yakın değerlerde alan kaplayacak şekilde yerleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akıllı, H. Z. (2005). *Deprem etkisindeki yapıların davranışına burulma düzensizliğinin etkisi*. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aktan, S., Kıracı, N. (2010). Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi dergisi* 23(1), 15-32.
- AYAR, B. (2019). *Yapıların burulma düzensizliği ve depremin doğrultuları arasındaki ilişki*. Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Can, H. (2020). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı yüksek lisans ders notları*.
- Celep, Z., & Kumbasar, N. (2000). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. İstanbul.
- ÇERİ, M. (2012). *Çok katlı betonarme yapılarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı, İstanbul.
- Fahjan, Y., Vatansever, S. & Özdemir, Z. (2011) Ölçeklenmiş gerçek deprem kayıtları ile yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011. Ankara, Türkiye.
- Fahjan, Y. (2008). Türkiye deprem yönetmeliği tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 4423-4444-292.
- Hasgül U. (2011). *Betonarme binaların şekil değiştirme esaslı doğrusal olmayan analizinde deprem doğrultusu etkisinin incelenmesi*. Doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- KARABULUT, M., KARTAL M. E., ÖZİL E., & ÜNLÜ R. (2018). Betonarme binalarda deprem derz mesafesinin incelenmesi. *Natural & Applied Sciences Journal*, 1(1), 39-45.
- KAYA, G., ÖZSOY ÖZBAY, A.E. (2019, 17 Temmuz). Perde ve çerçevesel betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışa etkisi. *Mühendislik bilimleri ve tasarım dergisi* 7(1).
- Kayhan, A. H., & Demir, A. (2016). Statistical evaluation of drift demands of rc frames using code-compatible real ground motion record sets. *Structural Engineering and Mechanics*, 953-977.
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M.G., & Arslan, M.H. (2018). Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Teknik Dergi*, 17(2-2018):43-58.
- KUMBASAR N. (1993, 01 Mayıs) Deprem Kayma Çerçevesinin Çarpışma Problemi. *İMO teknik dergi*. 16(4).
- Mollaioli, F., & Bruno, S. (2008). Influence of site effects on inelastic displacement ratios for sdof and mdof systems. *Computers and Mathematics with Applications*, 55, 184–207.

Özmen, H. B. (2011). *Düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapıların deprem performanslarını etkileyen faktörlerin irdelenmesi*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, Denizli,

SeismoMatch. (Computer Software) Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy.

Sümer Y., & Hamsici M. (2020). Çok katlı betonarme binalarda 2018 deprem yönetmeliği ile tanımlanan spektrum eğrilerinin etkisi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8-2, 349-354.

TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.

TURAN, M. E. (2022). *Mevcut betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi, güçlendirme önerileri ve maliyet analizi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.

Zengin, E. (2016). *A Proposed Ground Motion Selection And Scaling Procedure For nonlinear Response History Analysis*. Doktora tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Halil Emre ARITAN

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :2002, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Stajlar :1999, Stajyer, Fidem İnşaat LTD. ŞTİ.

2000, Stajyer, Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı

Projeler :2010, Koordinatör, Metip, T.C. Konya Valiliği, T.C. İçişleri Bakanlığı

Çalıştığı Kurumlar :2002-2004, Kesin Hesap Md., Anadolu Mesken Yapı A.Ş.

2005-2006, Mühendis, Hico Mak. Müh. LTD. ŞTİ.

2007-...., Mühendis, Hasar tespit uzmanı, İmar denetçisi, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Konya İl Müdürlüğü

Tarih: 23 Ocak 2023