

**DBYBHY 2007'YE GÖRE TASARLANAN BİR BETONARME
YAPININ TBDY 2018 YÜKSEK BİNA SINIFINA GÖRE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇINAR ÇOBANOĞLU

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
KASIM- 2021**

**DBYBHY 2007'YE GÖRE TASARLANAN BİR BETONARME
YAPININ TBDY 2018 YÜKSEK BİNA SINIFINA GÖRE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇINAR ÇOBANOĞLU
ORCID ID: 0000-0002-1716-164X

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Danışman
PROF. DR. İLKER FATİH KARA
ORCID ID: 0000-0002-5663-1595

MERSİN
KASIM- 2021

ÖZET

DBYBHY 2007'YE GÖRE TASARLANAN BİR BETONARME YAPININ TBDY 2018 YÜKSEK BİNA SINIFINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülkemiz için deprem konusu, global konum olarak aktif deprem kuşakları üzerinde yer alması sebebiyle her zaman çok önemli bir konu olmuştur. Ülkemizin üzerinde yer aldığı deprem kuşakları; Kuzey Anadolu Deprem Kuşağı, Güneydoğu Anadolu Deprem Kuşağı ve Batı Anadolu Deprem Kuşağı olarak sıralanmaktadır. Yukarıda bahsedilen aktif faylar haricinde, Tuz Gölü ile Konya İli arasındaki bölgeler, Antalya ile Mersin arasındaki bölgeler, Ergene Havzası ile Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Şanlıurfa ve Mardin çevresindeki alanlar da deprem tehlikesinin mevcut olduğu yerler olarak değerlendirilmektedir. Fakat; bu alanlar aktif fayların bulunduğu bölgelere göre deprem gerçekleşme riski açısından daha az riskli bölgeler olarak değerlendirilebilir.

Ülkemizde bugüne kadar 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 ve 2007 yıllarında toplamda 7 kez deprem yönetmeliği düzenlenmiştir. Ancak; mevcut yapı stoğunun ciddi bir bölümünün deprem dayanımı açısından yetersiz olması, kentsel dönüşümü sağlamak ve yapısal riski azaltmak amacıyla yapılması gereken değerlendirme ve güçlendirme çalışmaları açısından Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'in (DBYBHY 2007) yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte; 2000'li yılların başından itibaren büyük bir hızla gelişmekte olan bilgi ve teknoloji dünyası sayesinde yapılarda kullanılmakta olan malzeme çeşitliliğinin artması ve yapıların yeni hesap yöntemlerine göre daha gerçekçi modellenenebilir hale gelmesi gerekçeleriyle; Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), gerçekleştirmiş olduğu çalıştaylar neticesinde 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete'de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ni (TBDY 2018) yayımlamıştır. 01.01.2019 tarihi itibarıyla TBDY 2018 yürürlüğe girmiştir.

Bu tez çalışmasında özetle; Mersin İli, Mezitli İlçesi'nde mülga tarihte yürürlükte bulunan DBYBHY 2007 hükümlerine uygun olarak tasarlanan ve ruhsatlandırılan BODRUM KAT+ZEMİN KAT+28 KAT+TESİSAT KAT'tan oluşan ve temel üst kotundan itibaren 93 metre yüksekliğe sahip olan bir yapının TBDY 2018 hükümlerine göre deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerine ait özel kurallar göz önünde bulundurularak tasarım aşamaları gerçekleştirilmiş olup, TBDY 2018'de yer alan performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığı irdelenmiştir. Bununla birlikte; taşıyıcı sistemin tasarlanması ve projelendirilmesi aşamasında her iki yönetmelik arasındaki temel farklılıklar irdelenerek, TBDY 2018'de gelen yenilikler ve farklı kriterler detaylı olarak araştırılmıştır.

DBYBHY 2007 hükümlerine göre "Dayanıma Göre Tasarım" ilkeleri göz önünde bulundurularak tasarımı yapılan teze konu olan yapının, TBDY 2018 hükümleri doğrultusunda "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri Kullanılarak Şekil Değiştirmeye Göre Tasarımı ve Değerlendirilmesi" yapılmış olup, 3 boyutlu modelleme sonucu elde edilen değerler detaylı bir şekilde irdelenerek yönetmelik değişikliğinin taşıyıcı sistemin oluşturulması, modelleme teknikleri ve oluşan iç kuvvetlerin değerlendirilmesi metotlarına olan etkisi üzerinde durularak, gerekli çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmalar neticesinde; DBYBHY 2007 esaslarına göre projelendirilerek yapımı tamamlanan teze konu olan yapının, TBDY 2018 hükümlerine göre yüksek bina taşıyıcı sistemler için getirilen kriterler açısından performans hedeflerini karşıladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Deprem Etkisi Altında Dayanıma Göre Tasarım, Deprem Etkisi Altında Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım, Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemler İçin Özel Kurallar.

Danışman: Prof. Dr. İlker Fatih KARA, Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING WHICH WAS DESIGNED CONSIDERING DBYBHY 2007 ACCORDING TO TBDY 2018 HIGH-RISE BUILDING CLASS

Earthquake has always been a very important issue for our country because our country is located on active earthquake zones as a global location. Earthquake zones on which our country is located are listed as the North Anatolian Earthquake Belt, the Southeastern Anatolian Earthquake Belt and the West Anatolian Earthquake Belt. Apart from the active faults mentioned above; the regions between Tuz Lake and Konya Province, the regions between Antalya and Mersin, the Ergene Basin and the areas around Şanlıurfa and Mardin which are located in the Southeastern Anatolia region are also evaluated as places where earthquake hazard exists. However; these areas can be considered as less risky regions in terms of earthquake risk compared to regions with active faults.

For that reason; in our country, a total of seven earthquake regulations have been published in 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 and 2007. Nevertheless; it has been determined that a significant part of the existing building stock is insufficient in terms of earthquake resistance and the Turkish Earthquake Code 2007 (DBYBHY 2007) is insufficient in terms of the evaluation and strengthening studies that have to be done in order to provide urban transformation and reduce the structural risk. In addition to this; thanks to the increase in the variety of materials used in buildings and rapidly developing world of information and technology since the beginning of the 2000s, structure model of the buildings can be modeled more realistically according to new calculation methods. As a result of this; The Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) published the Turkish Building Earthquake Regulation (TBDY 2018) in the Official Gazette dated 18.03.2018 and numbered 30364 after that the workshops it held. As of the date of 01.01.2019, TBDY 2018 entered into force.

As a summary; in this thesis, high-rise building consisting of BASEMENT FLOOR+GROUND FLOOR+28 FLOOR+INSTALLATION FLOOR which was designed and licensed in accordance with the provisions of DBYBHY 2007 that was in force at the expiry date, in Mezitli District of Mersin Province and has a height of 93 meters from the upper level of the foundation were designed and analyzed by considering the special rules of structural system in accordance with the provisions of TBDY 2018. Then; it was examined whether the existing structural system met the performance criteria in TBDY 2018 or not. At the same time, the fundamental differences between the two regulations were examined, and the innovative methods and different criteria in TBDY 2018 were investigated in detail, in the design and project stages of the structural system.

The structure that is the subject of this thesis, which was designed in accordance with the principles of "Design by Strength" according to the provisions of DBYBHY 2007, was carried out in accordance with the provisions of TBDY 2018, "Design and Evaluation of Nonlinear Time History Analysis depending on deformation." The corresponding values obtained as a result of the 3D modeling and analyzing of building structure were examined in detail and necessary surveys were carried out to be able to emphasize the effect of the change in the regulation on the design of the structural system, modeling techniques and the methods of evaluating the internal forces. As a result of all these studies; it has been determined that the structure, which is the subject of the thesis, was designed and constructed according to DBYBHY 2007 principles meets performance targets in terms of criteria for high-rise building structure system according to TBDY 2018.

Keywords: Turkish Earthquake Code (DBYBHY 2007), Turkish Building Earthquake Regulation (TBDY 2018), Design According to Strength Under the Effect of Earthquake, Design According to Strain Under the Effect of Earthquake, Special Rules for Structural System of High-Rise Building.

Advisor: Prof. Dr. İlker Fatih KARA, Department of Civil Engineering, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksel lisans tezimin yazım süreci boyunca bilgi, birikim ve deneyimini sabırla tarafıma aktaran ve paylaşan değerli danışmanım Prof. Dr. İlker Fatih Kara'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın ilk gününden bu yana maddi ve manevi desteklerini üstümden hiç eksik etmeyen değerli aile üyelerim babam İsmail Hakkı Çobanoğlu, annem Fahriye Çobanoğlu'na,

Çocukluğumdan bu yana hayatımın her anında yanımda olan kıymetli eşim Ece Çobanoğlu'na,

Tez çalışmam boyunca desteğini ve emeğini hiç eksik etmeyen sevgili meslektaşım Yunus Emre Akkaş'a,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili kızım Masal Çobanoğlu'na ithafen,



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLOLAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	7
2.1. Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi	7
2.2. Uluslararası ve Yerel Düzeyde Deprem Yönetmelikleri	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Deprem Yer Hareketi Hakkında Genel Bilgiler	11
3.1.1. Depreme Ait Yer Hareketi Düzeylerinin Tanımlanması	11
3.1.2. Standart Deprem Spektrumları	12
3.1.2.1. Harita Spektral İvme Katsayıları ile Tasarım Spektral İvme Katsayılarının Belirlenmesi	12
3.1.3. Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumunun Tanımı ve Elde Edilmesi	14
3.1.4. Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumunun Tanımı ve Elde Edilmesi	15
3.1.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması ve Değerlendirilmesi	16
3.1.5.1. Deprem İvme Kayıtlarının Seçim Yöntemleri	16
3.1.5.2. Deprem İvme Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Metodu Kullanılarak Ölçeklendirilmesi	17
3.2. TBDY 2018'e göre Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Genel Kurallar	18
3.2.1. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı Kavramları	18
3.2.2. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi	19
3.2.3. Bina Yükseklik Sınıflarının Belirlenmesi	19
3.3. Deprem Etkisi Altında Dayanıma Göre Tasarım Kavramı ve İlkeleri	20
3.3.1. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Kavramı	21
3.3.2. Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Uygulanması	27
3.3.3. Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Etkin Kesit Rijitliği ve Belirlenmesi	28
3.3.4. Doğrusal Hesap Yöntemleri	28
3.3.5. TBDY 2018'e göre Görelî Kat Ötelemesi Sınır Değerleri	29
3.4. Deprem Etkisi Altında Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ve Değerlendirme	30
3.4.1. Deprem Etkisi Altında Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Şekil Değiştirme Sınırları	31
3.4.2. TBDY 2018'e Göre Performans Düzeyinin Belirlenmesinde Uygulanacak Esaslar	32
3.4.2.1. Sınırlı Hasar Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi	32
3.4.2.2. Kontrollü Hasar Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi	32
3.4.2.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi	33
3.5. Şekil Değiştirme Esaslı Tasarım ve Değerlendirmelerde Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri	34
3.5.1. TBDY 2018'de yer alan Tek Modlu İtme Yöntemleri	34
3.5.2. TBDY 2018'de yer alan Çok Modlu İtme Yöntemleri	35
3.5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Esas Alınarak Deprem Etkisinin Hesaplanması	36
3.5.4. Yeni Betonarme Bina Elemanlarında İzin Verilen Şekil değiştirme Sınırları	37

3.5.4.1. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için Sınır Değerler	37
3.5.4.2. Kontrollü Hasar Performans Hedefi için Sınır Değerler	39
3.5.4.3. Sınırlı Hasar Performans Hedefi için Sınır Değerler	39
3.5.4.4. TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi	39
3.5.4.5. Doğrusal Olmayan Hesaplarda Kullanılacak Olan Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi	40
3.5.4.6. Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminde Kullanılacak Malzeme Modelleri	41
3.5.4.6.1. Beton Malzeme Modelleri	41
3.5.4.6.2. Donatı Malzeme Modeli	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Yüksek Yapı Hakkında Genel Bilgiler	45
4.2. Yapı Taşıyıcı Sistemine Ait Genel Bilgiler	49
4.3. Yapının İnşa Edildiği İmar Parseline ait Lokasyon Bilgileri	49
4.4. Modellemede Yapılan Kabuller	50
4.5. Yapının Deprem Tasarım Sınıfına Göre Performans Hedeflerinin ve Tasarım Yaklaşımlarının Belirlenmesi	52
4.6. Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerin Özel Kurallara Göre Modellenmesi	56
4.6.1. Taşıyıcı Sisteme Ait Malzemelerin Özellikleri	56
4.6.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler	57
4.6.3. Tasarım Aşaması I	57
4.6.3.1. Deprem Etkilerinin Belirlenmesi	58
4.6.3.2. Etkin Kesit Rijitliklerinin Tanımlanması	60
4.6.3.3. Kat Kütlelerinin Belirlenmesi	61
4.6.3.4. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçimi	63
4.6.3.5. Deprem Hesabının Kontrolü	65
4.6.3.6. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü	66
4.6.3.7. Kolon, Kiriş ve Perdelerin Tasarımı ve Elemanlara ait Donatıların Mevcut Donatılar ile Uyumunun Kontrolü	69
4.6.3.7.1. Betonarme Kirişlerin Tasarımı	69
4.6.3.7.2. Betonarme Kolonların Tasarımı	76
4.6.3.7.3. Betonarme Perdelerin Tasarımı	80
4.6.4. Tasarım Aşaması II	86
4.6.4.1. Taşıyıcı Sisteme ait Malzeme Özellikleri	87
4.6.4.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler	88
4.6.4.3. Tasarım Aşaması II için Yük Kombinasyonlarının Belirlenmesi	88
4.6.4.4. Tasarım Aşaması II için Deprem Etkilerinin Belirlenmesi	89
4.6.4.5. Tasarım Aşaması II için Performans Değerlendirmesi	90
4.6.4.5.1. Tasarım Aşaması II için Betonarme Kirişlerdeki Etki/Kapasite Oranları	91
4.6.4.5.2. Tasarım Aşaması II için Betonarme Kolonların Etki/Kapasite Oranları	96
4.6.4.5.3. Tasarım Aşaması II için Betonarme Perdelerin Etki/Kapasite Oranları	99
4.6.5. Tasarım Aşaması III için Performans Değerlendirmesi	100
4.6.5.1. Taşıyıcı Sisteme ait Malzeme Özellikleri	105
4.6.5.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler	105
4.6.5.3. Tasarım Aşaması III için Yük Kombinasyonlarının Belirlenmesi	105
4.6.5.4. Tasarım Aşaması III için DD-1 Deprem Etkisine Ait Yatay Elastik Spektrumu	105
4.6.5.5. Zaman Tanım Alanında Yapılacak Analizlere Esas Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi	107
4.6.5.6. Tasarım Aşaması III için Şekil Değiştirme ve İç Kuvvet Taleplerine ait Sınır Değerler	110
4.6.5.7. Tasarım Aşaması III için Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi	113
4.6.5.7.1. Tasarım Aşaması III için Elde Edilen Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri	114
4.6.5.7.2. Tasarım Aşaması III için Elde Edilen Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi	115
4.6.5.7.3. Tasarım Aşaması III için Betonarme Kirişlerin İç Kuvvet ve Şekil Değiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	117

4.6.5.7.4. Tasarım Aşaması III için Betonarme Kolonların İç Kuvvet ve Şekil Değişirme Taleplerinin Belirlenmesi	120
4.6.5.7.5. Tasarım Aşaması III için Betonarme Perdelerin İç Kuvvet ve Şekil Değişirme Taleplerinin Belirlenmesi	122
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	127
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	131



TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları (a-c)	4
Tablo 3.1. TBDY 2018'e göre Yerel Zemin Sınıfları	12
Tablo 3.2. Kısa Periyot Bölgesine ait Yerel Zemin Etki Katsayıları	13
Tablo 3.3. 1.0 Saniye Periyoda ait Yerel Zemin Etki Katsayıları	13
Tablo 3.4. Bina Önem Katsayıları ve Bina Kullanım Sınıfları	18
Tablo 3.5. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi	19
Tablo 3.6. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi	20
Tablo 3.7. Taşıyıcı Sisteme ait Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Müsaade Edilen Bina Yükseklik Sınıfları	24
Tablo 3.8. Taşıyıcı Sistem Elemanlarına ait Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	28
Tablo 3.9. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine İzin Verilen Betonarme Taşıyıcı Sistemler	29
Tablo 3.10. Beton ve Donatı Çeliği için Beklenen Malzeme Dayanımları	40
Tablo 3.11. TBDY 2018 Donatı Çeliği Karakteristik Özellikleri	44
Tablo 4.1. Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları	52
Tablo 4.2. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları	53
Tablo 4.3. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayılarının Belirlenmesi	54
Tablo 4.4. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi	54
Tablo 4.5. Bina Yükseklik Sınıflarının Belirlenmesi	55
Tablo 4.6. BYS=1 Olan Yapıların Performans Hedeflerinin ve Tasarım Yaklaşımlarının Belirlenmesi	55
Tablo 4.7. Betonarme Taşıyıcı Elemanlara ait Etkin Kesit Rijitlikleri	61
Tablo 4.8. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı	62
Tablo 4.9. Kat Kütleleri ve Ağırlıkları	62
Tablo 4.10. Modal Analiz Etkin Kütle Değerleri	64
Tablo 4.11. X Yönü Göreli Kat Ötelemeleri	67
Tablo 4.12. Y Yönü Göreli Kat Ötelemeleri	68
Tablo 4.13. TBDY 2018'e Göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri	72
Tablo 4.14. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri	74
Tablo 4.15. Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonların Eksenel Yük Kapasite Kontrolleri	77
Tablo 4.16. TBY2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlara ait Gerekli Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri	77
Tablo 4.17. TBY2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlara ait Gerekli Enine Donatı Çapları ve Adetleri	78
Tablo 4.18. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kolonlara ait Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri	78
Tablo 4.19. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kolonlara ait Enine Donatı Çapları ve Adetleri	79
Tablo 4.20. Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerin Eksenel Yük Kapasite Kontrolleri	82
Tablo 4.21. TBDY 2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdeler için Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri	83
Tablo 4.22. TBDY 2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdeler için Enine Donatı Çapları ve Adetleri	84
Tablo 4.23. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Betonarme Perdeler için Donatı Çapları ve Adetleri	85
Tablo 4. 24. Tasarım Aşaması II için Etkin Kesit Rijitlikleri	87

Tablo 4.25. Tasarım Aşaması II için Beklenen Malzeme Dayanımları	87
Tablo 4.26. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları	92
Tablo 4.27. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Eğilme Momenti/Kapasite Oranları	93
Tablo 4.28. 15. Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları	94
Tablo 4.29. 15. Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Eğilme Momenti/Kapasite Oranları	95
Tablo 4.30. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kolonların Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları	97
Tablo 4.31. 15. Katta Bulunan Betonarme Kolonların Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları	97
Tablo 4.32. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kolonların Eksenel Yük ve İki Doğrultuda Eğilme Momenti/Kapasite Oranları	98
Tablo 4.33. 15. Katta Bulunan Betonarme Kolonların Eksenel Yük ve İki Doğrultuda Eğilme Momenti/Kapasite Oranları	98
Tablo 4.34. Zemin Katta Bulunan Betonarme Perdelerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları	99
Tablo 4.35. Zemin Katta Bulunan Betonarme Perdelerin İki Doğrultuda Eğilme ve Eksenel Yük Kapasite Oranları	100
Tablo 4.36. Yığılı Mafsal Olarak Modellenen Kirişlere Ait Etkin Kesit Rijitlikleri	103
Tablo 4.37. Tasarım Aşaması III için Seçilen Deprem Kayıtlarına ait Bilgiler	108
Tablo 4.38. Deprem Kayıtlarına ait Ortalama Görelî Ötelemeler	116
Tablo 4.39. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-1	118
Tablo 4.40. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2	118
Tablo 4.41. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2	119
Tablo 4.42. Betonarme Kolonlara ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler	121
Tablo 4.43. Betonarme Kolonlara ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranları	121
Tablo 4.44. Betonarme Perdeler'e ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-1	123
Tablo 4.45. Betonarme Perdeler'e ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2	124
Tablo 4.46. Betonarme Perdeler'e ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranı-1	125
Tablo 4.47. Betonarme Perdeler'e ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranı-2	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	5
Şekil 3.1. Seçilen Deprem Düzeyine göre Oluşan Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu	15
Şekil 3.2. Seçilen Deprem Düzeyine Göre Oluşan Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu	16
Şekil 3.3. Elastik ve Elasto-plastik Taşıyıcı Sistemlerde Basitleştirilmiş Statik İtme Eğrisi	22
Şekil 3.4. Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri	31
Şekil 3.5. TBDY 2018’de Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri	41
Şekil 3.6. Donatı Gerilme-Şekil değiştirme Eğrisi	43
Şekil 4.1. Mimari Kat Planı	46
Şekil 4.2. Betonarme Kalıp Planı	46
Şekil 4.3. ETABS ile Modellenen Taşıyıcı Sisteme ait Betonarme Kalıp Planı	47
Şekil 4.4. ETABS ile Modellenen Taşıyıcı Sisteme ait İzometrik Görünüm	47
Şekil 4.5. Taşıyıcı Sisteme ait 3 Boyutlu ETABS Modeli	48
Şekil 4.6. Yapının İnşa Edildiği Parselin Uydu Görüntüsü	50
Şekil 4.7. DD-2’ye Ait Yatay Elastik İvme Spektrumunun Tanımlanması	59
Şekil 4.8. Azaltılmış Yatay Elastik İvme Spektrumu	60
Şekil 4.9. Betonarme Kiriş İsimleri ve Boyutları	70
Şekil 4.10. Betonarme Kirişlere ait Gerekli Donatı Montaj ve Düz Donatı Alanları (mm ²)	71
Şekil 4.11. B27 İsimli Kirişe Ait Boyuna Donatı ve Enine Donatı Çizimi Örneği	76
Şekil 4.12. C1 İsimli Kolona ait Boyuna Donatı Çizimi	80
Şekil 4.13. C1 İsimli Kolona ait Enine Donatı Çizimi	80
Şekil 4.14. Betonarme Perde Elemanlarının Modellenmesi ve İsimlendirilmesi	81
Şekil 4.15. DD-4 Deprem Düzeyine Ait Yatay Elastik İvme Spektrumunun Tanımlanması	90
Şekil 4. 16. B1 (30*60 cm) Kirişine ait Moment-Eğrilik İlişkisi	104
Şekil 4. 17. B12 (80*30 cm) Kirişine ait Moment-Eğrilik İlişkisi	104
Şekil 4.18. DD-1 için Yatay Elastik İvme Spektrumu	106
Şekil 4.19. TBDY 2018’e göre Belirlenen DD-1’e ait Veri Girişi	108
Şekil 4.20. Deprem Kayıtlarının Seçimi için PEER Arayüzüne Tanıtılan Temel Deprem Parametreleri	109
Şekil 4.21. Deprem Kayıtlarının PEER Arayüzü Kullanılarak Ölçeklendirilmesi	109
Şekil 4.22. B1 (30*60 cm) Kirişine ait Plastik Mafsallık Özellikleri ve Sınır Değerleri	111
Şekil 4.23. B40 (60*30 cm) Kirişine ait Plastik Mafsallık Özellikleri ve Sınır Değerleri	111
Şekil 4.24. C1 (80*80 cm) Kolonuna ait Betonarme Lif Hücresinin Tanımlanması	112
Şekil 4.25. C1 (80*80 cm) Kolonuna ait Donatı Lif Modelinin Tanımlanması	112
Şekil 4.26. Zaman Tanım Alanında Başlangıç Adımı Olarak Artımsal Statik Hesabın Tanımlanması	113
Şekil 4.27. Helena, Montana-1 Deprem Kaydına göre Y Yönünde Oluşan Taban Kesme Kuvveti	114
Şekil 4.28. Helena, Montana-1 Deprem Kaydının 2.48’inci Saniyesinde Y Yönünde Oluşan Kat Kesme Kuvvetleri	115

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
a_i	Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık [mm]
ASCE	American Society of Civil Engineers
A_{sh}	Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit) [mm ²]
ATC	Applied Technology Council
b_k	Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) [mm]
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
b_0	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu [mm]
$\beta_{tE}^{(x)}$	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
C_h	İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
D	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
d_b	Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
DBYBHY 2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanıma göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
$E_d^{(H)}$	Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	(X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	(Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	(Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$(EI)_e$	Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
ETABS	Extended 3D Analysis of Building Systems
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ce}	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]
f_e	Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi
FEMA	Federal Emergency Management Agency
F_s	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
f_y	Taşıyıcı sistemin akma dayanımı
f_{ye}	Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
f_{yk}	Çeliğin karakteristik akma dayanımı [MPa]

g	Yerçekimi ivmesi [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]
G	Sabit yük etkisi
$G\ddot{O}$	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
h	Kesit yüksekliği [m]
h_i	Binanın i 'inci katının kat yüksekliği [m]
H_N	Bina Toplam Yüksekliği [m]
h_0	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyu
I	Bina Önem Katsayısı
IBC	International Building Code
ISC	Indian Seismic Code
İYBDY	İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
L_p	Plastik mafsal boyu [m]
L_s	Kesme açıklığı [m]
M_y	Etkin akma momenti [kNm]
n	Hareketli yük katılım katsayısı
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
Q	Hareketli yük etkisi
Q_e	Etkin hareketli yük etkisi
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Faktörü
S	Kar yüğü etkisi
s	Sargı donatısı aralığı [m]
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral yerdeğıştirmesi [m]
$S_{aR}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
S_{ds}	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
ŞGDT	Şekil değıştirmeye göre Tasarım
T	Doğal titreşim periyodu [s]
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{AD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{BD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
TBDY 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı 2018
TDTH	Türkiye Deprem Tehlike Haritası
T_L	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğıştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğıştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
$T_p(X)$	(X) deprem doğışultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]

$u_i^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, i'inci kattaki azaltılmış yerdeğiştirme [m]
$(V_s)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
$V_{tx} (X)$	Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü [kN]
$w_{G,j}^{(S)}$	Tipik sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil sabit ağırlık [kN]
$w_{Q,j}^{(S)}$	Tipik sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil ek (hareketli) ağırlık [kN]
ZA	Sağlam, sert kayalar
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler
α_{se}	Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\delta_{i,max}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görel kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
ϕ_y	Akma eğriliği [m ⁻¹]
ϕ_u	Göçme öncesi eğrilik [m ⁻¹]
ω_{we}	Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
ρ_{sh}	Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
θ_y	Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]
$\theta_p^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
κ	İzin verilen görel kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
μ_k	Taşıyıcı sistem için öngörülen süneklik kapasitesi

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Deprem; doğal afetler konusu gündeme geldiğinde yaşamı ve doğayı en ciddi şekilde tehdit eden doğal afetlerin başında yer almaktadır. Dünya üzerinde yapı olarak nitelendirilen tüm unsurlar üzerinde oluşturduğu etkiler ile yeryüzünde yaşayan tüm canlılara maddi ve manevi olarak ciddi zararlar verme potansiyelinin çok yüksek olması sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu mühendislik alanının en önemli konularından birisi olarak ön plana çıkmaktadır. Deprem unsurunun en önemli özellikleri arasında ise; doğal afet olarak nitelendirilen deprem olgusunun meydana gelmesi durumunda yaşanan can ve mal kayıplarının neredeyse tamamının mühendisler tarafından tasarlanan ve yapımı tamamlanan yapılardan kaynaklanmasıdır.

Deprem unsurunun bir diğer özelliği ise; deprem ile ilgili olarak kabul edilebilir bir ön uyarı sisteminin halen olmamasıdır. Ancak; deprem hadisesinin gerçekleşme vakti ile depreme ait şiddeti belirleyecek bir ön uyarı sistemi bulunsa dahi, yapıların deprem esnasında oluşacak talep kuvvetlerini karşılayacak biçimde inşa edilmesini sağlamak ve mal kayıplarını en aza indirmek yapı mühendisliğinin en önemli görevleri arasında yer almaktadır.

Ülkemizin dünya üzerindeki coğrafi konumuna bakıldığında ise tektonik açıdan Asya, Avrupa ve Arap levhalarının etrafını çevrelediği Anadolu plaklarının üzerinde yer aldığı görülmektedir. Medeniyetin en önemli beşiklerinden biri olarak kabul edilen Anadolu üzerinde inşa edilen birçok yapının günümüze ulaşamamasında ve tarihsel değeri olan antik yapıların yok olmasında depreme dayanıklı olarak inşa edilememesinin rolü çok büyüktür.

Günümüzde ise; özellikle yapı, malzeme, makine ve bilgisayar teknolojisinin son 25 yıllık süreçte hızla ilerlemesinin neticesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı metotlarında çok önemli gelişmeler yaşanmıştır. Gerçekleşen deprem olayları, yapı üzerinde yer alan ölü ve hareketli yüklerden ziyade deprem nedeniyle oluşan dinamik yüklerin yapı taşıyıcı sistemine çok daha büyük zararlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle; yapı üzerinde oluşan ve oluşma potansiyeli olan dinamik yükleri ve dinamik yükler ile oluşacak ilave iç kuvvetleri gerçeğe en yakın şekilde tahlil ve analiz etmek çok önemlidir. Özellikle deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkeler, gelişen teknoloji ve yenilenen tasarım tekniklerini de göz önünde bulundurarak düzenli olarak deprem tasarım yönetmeliklerini yenilemektedir. Ülkemiz ise; ilk olarak 1939 yılında Erzincan İlimizde gerçekleşen deprem sonrasında, 1940 yılında “Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi” ile deprem konusundaki ilk yönetmeliğini yayımlamıştır.

1940 yılı itibariyle dönemsel olarak ülkemizde kullanılmakta olan yönetmelikler düzenli olarak güncellenmiştir.

1999 yılında meydana gelen can ve mal kaybı yönünden ülkemizin deprem tarihçesi incelendiğinde en yıkıcı etkiye sahip olan Gölcük merkezli deprem sonrasında deprem yönetmeliğinde ciddi bir değişikliğe gidilerek uluslararası standartlara sahip olacak şekilde DBYBHY 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) yayımlanmıştır. DBYBHY 2007 ile ülkemizde faaliyette bulunan mühendisler ilk defa doğrusal olmayan davranışa göre performans analizi kavramıyla tanışmıştır. Ancak; DBYBHY 2007 kapsamında uluslararası birçok yönetmelikte yer alan, özel tasarım kurallarına göre tasarımı ve değerlendirilmesi gereken yüksek bina kavramına yer verilmemiştir. Bununla birlikte; DBYBHY 2007’de yeni yapılacak binaların bina yüksekliği ve kullanım amacı doğrultusunda özel ve nitelikli olma durumuna bakılmaksızın doğrusal analiz yöntemleri ile tasarlanması konusunda da herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır.

Uluslararası yönetmelikler incelendiğinde; yüksek bina kavramına yer verildiği tespit edilerek, yapının gerçekte göstereceği davranışı belirlenmek adına en gelişmiş metod olan şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemlerine yönelim olduğu tespit edilmiştir. Şekil değiştirme davranışı esas alınarak yapılan tasarım olgusuna ilk olarak Applied Technology Council (ATC) tarafından hazırlanan Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings / ATC 40 [1] ve Federal Emergency Management Agency / FEMA 273 [2] ve FEMA 356 [3] araştırma ve yayınlarında yer verilmiştir.

Ülkemizde özellikle kent yaşamına olan talebin artması ile nüfus artış hızının giderek artması nedeniyle yüksek yapıya olan yönelim fazlaşmaktadır. Tüm bu gelişmeler göz önüne alındığında; 01.01.2019 tarihi itibariyle TBDY 2018 yayımlanmıştır. TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte yapının performans seviyesinin belirlenmesi ve şekil değiştirme esas alınarak tasarımı yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri tüm yapılar için devreye girmiştir. Yüksek yapılar ile ilgili olarak ise “Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar” başlıklı bölüm eklenerek maliyet ve nitelik bakımından özel yapı olarak değerlendirilebilecek yüksek yapıların tasarım ve analiz yöntemlerine özel kurallar getirilmiştir.

DBYBHY 2007’ye göre herhangi bir zorunluluk olmaması nedeniyle modal hesap yöntemleri kullanılarak doğrusal deprem analizi yapılan ve yapımı tamamlanan bir yapının TBDY 2018’e göre yüksek yapı niteliğinde olduğu kabul edilerek deprem etkisi altında şekil değiştirmeye göre analizi yapılarak, teze konu yapının performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığı, deprem etkisi altında yapısal elemanlarda meydana gelen iç kuvvetlerin ne oranda

değiştirdiği, tasarım aşamasında DBYBHY 2007 ile TBDY 2018 arasında meydana gelen temel farklılıkların neler olduğu konuları bu tezin konu ve kapsamını oluşturmaktadır.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Geçmiş yıllarda yapılan araştırmalar incelendiğinde; DBYBHY 2007 kriterleri göz önünde bulundurularak modal hesap yöntemleri ile doğrusal deprem hesap yöntemi kullanılarak dayanıma göre tasarımı yapılan yapıların yine DBYBHY 2007’de “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” başlıklı bölümüne göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonuçlarında performans hedeflerini karşılamadığı tespit edilmiştir [4]. TBDY 2018’de ise DBYBHY 2007’den farklı olarak mevcut binaların performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesinin haricinde, yeni yapılacak yüksek yapıların tamamında deprem etkisi altında dayanıma göre tasarım ve deprem etkisi altında şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımların yapılmasını zorunlu kılınmıştır. Deprem yer hareketi düzeyleri olarak tanımlanmış olan spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-1), spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-2), spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-3) ve spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-4) ile kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısının (S_{DS}) düzeyine göre belirlenecek olan Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) göz önünde bulundurularak tasarım yaklaşımı olarak dayanıma göre tasarım ya da şekil değiştirmeye göre tasarım metodlarından hangisinin kullanılacağı aşağıda yer alan Tablo 1.1’de verilmektedir. Kullanılacak olan tasarım yaklaşımının yanı sıra deprem etkileri nedeniyle yapının göstermesi gereken performans hedefine de yine TBDY 2018’de yer alan Tablo 1.1’de yer verilmektedir.

TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte DBYBHY 2007’de standart olarak tanımlanan deprem bölgesi ve zemin koşulları göz önünde bulundurularak hesaplanan elastik tasarım ivme spektrumu yaklaşımından vazgeçilerek, deprem yer hareketi veri tabanının teknoloji ile birlikte gelişmesinden yararlanılarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından 2018 yılında www.turkiye.gov.tr adresinde tüm mühendislerin ilgili verilere ulaşmasını sağlayacak şekilde Türkiye Deprem Tehlike Haritası [5] yayımlanmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası genel hatlarıyla Şekil 1.1’de gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları (a-c) [6]

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)

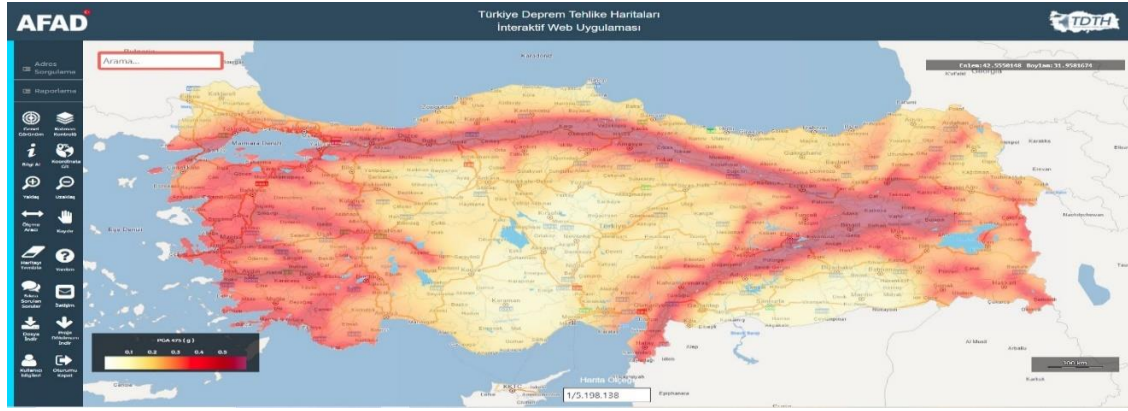
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾)	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	--	--	KH	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	--	--
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	--	--
DD-1	--	--	KH	ŞGDT



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [5]

TBDY 2018 ile DBYBHY 2007 arasındaki en temel tasarım prensibi farkına bakıldığında; DBYBHY 2007 dayanıma göre tasarım yöntemi kuvvet bazlı esasları göz önüne almaktadır. TBDY 2018 ise; yapının performans hedeflerinin belirlenmesi aşamasında performans bazlı yöntemi esas alarak şekil değiştirmeleri veya deformasyonları da göz önüne almaktadır. DBYBHY 2007’de hesaplanan tasarım kuvvetleri doğrusal elastik yöntemler kullanılarak elde edilen iç kuvvetlerin yönetmelikte tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısına (R) bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Azaltma katsayısı (R), yapının elastik tasarım ivme spektrumuna göre hesaplanan deprem kuvvetleri altında taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı göstereceği göz önüne alınarak yapılmaktadır. Burada da; yapının sünek davranış göstermesi durumu ortaya çıkmaktadır. Sünek davranış kapasite tasarımında; ortaya konulan çeşitli formüller altında hesaplanan iç kuvvetlerin, taşıyıcı sistem elemanına ait kapasite kuvvetlerinden küçük olması prensibine dayanmaktadır.

Şekil değiştirme bazlı tasarım ve değerlendirmeler ise; taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal ötesi iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları veya beton ile donatının gerilme ve birim uzama/kısalma bağıntıları kullanılarak yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem için TBDY 2018’de öngörülen performans hedefine uygun olarak seçilen düşey yükler ve deprem etkisi altında doğrusal ötesi davranış göz önüne alınarak analizlerin yürütülmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde; sünek davranışa sahip olan kesitlerde şekil değiştirme talebi, sünek olmayan davranışa sahip olan kesitlerde ise dayanım talebi elde edilmektedir. Elde edilen şekil değiştirme talebi ve dayanım talebi değerlerinin, kesite ait şekil değiştirme kapasitesi ve dayanım kapasitesi ile karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır [7].

Dayanım esaslı tasarım yönteminin en büyük dezavantajlarından birisi de, betonarme taşıyıcı elemanların doğrusal davranışını esas alması nedeniyle elastik ötesi davranışa neden olabilecek dinamik etkiler altında yapının gerçek deprem davranışı, taşıyıcı elemanların ne oranda deformasyona uğrayacağı ve yapının performansı hakkında yapı mühendisine herhangi bir öngörü sağlamamasıdır. Özellikle; TBDY 2018’de belirtilen kriterlere göre $BYS=1$ (Bina

Yükseklik Sınıfı) olan yapıların, doğrusal davranış kabulü esaslarına göre tasarımlarının yapılması durumunda maddi yönden ciddi külfetler oluşarak, aşırı kesit boyutlandırılması durumu ortaya çıkabilmektedir [8].

Bu tez çalışmasında DBYBHY 2007 yönetmeliğine ait esaslar kullanılarak tasarımı ve yapımı tamamlanan BODRUM KAT, ZEMİN KAT+28 KAT+TESİSAT KATI olmak üzere toplam 31 kat ve 93 metre yüksekliğe sahip olan bir yapının 01.01.2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren TBDY 2018 tasarım kriterleri göz önüne alınarak;

- i. Yapının deprem etkisi göz önüne alınarak şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirilmesi yöntemlerinin araştırılması,
- ii. Yapının 3 boyutlu modellenmesinin zorunlu olması nedeniyle akademik amaçlı kullanılmasının zorunlu olduğu bilinciyle teze konu yapı, Extended 3D Analysis of Building Systems (ETABS) [9] programı kullanılarak modellenmesi,
- iii. TBDY 2018'in yüksek yapılar ile ilgili uygulanması zorunlu olan tasarım ve değerlendirme metotları hakkında yönetmelik ve literatür üzerinde araştırmalar, sayısal analizler ve değerlendirmeler yapılması,
- iv. DBYBHY 2007'ye tasarımı ve yapımı tamamlanmış olan yapının TBDY 2018'in deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemleri için getirilen özel kurallara göre farklı deprem yer hareketi düzeylerinde belirlenmiş olan performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığı araştırılmış ve bilgisayar destekli 3 boyutlu modeller sonucunda elde edilen analiz sonuçları irdelenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Bu tez kapsamında yapılan kaynak araştırmaları; yüksek yapıların tarihsel gelişimi ile uluslararası ve yerel düzeyde deprem yönetmelikleri olarak 2 ana başlıkta yapılmıştır.

2.1. Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi

19. yüzyılın ilk yarısı itibariyle dünyanın yeni yeni tanışmaya başladığı, ülkemizin ise özellikle 1980'li yılların sonu itibariyle tanıştığı “Yüksek Yapı” kavramı 21. Yüzyıl itibari ile yapı sektöründe tüm dünyada ve ülkemizde giderek artan bir talep ile yer almaktadır. Temel olarak; şehir planlama ilkelerine bağlı kalınarak objektif ve kent yaşamına değer katmak amacıyla, yüksek yapıların yapılması planlanan bölgesel imar adaları bulunmuş olduğu bölgeye ekonomik, kültürel ve sosyal açıdan ciddi avantajlar sağlayabilir. Bu noktada; yüksek yapı inşa edilmesi uygun görülen bölgesel imar planlarının altyapısının tamamlanmış olması ve kentin mimari estetiğine uygun olması önemli bir koşuldur. Bu koşullar dikkate alınmadan düzensiz planlar dahilinde şehir planlama ilkelerine uygun olmayacak şekilde yapılan yüksek yapılar çevreye ve kente ciddi dezavantajlar verebilir. Yeryüzünde inşa edilen her yapı gibi coğrafik etmenlere karşı duyarlı olan ve özellikle deprem ile rüzgar yükleri altında ne şekilde davranacağı çok önemli bir parametre olan “Yüksek Yapılar” konusu statik ve dinamik açıdan inşaat mühendisliğinin en ciddi konuları arasında yer almaktadır. Yüksek yapılar ile tez çalışması kapsamında bugüne kadar yapılan çalışmalarla ilgili bazı önemli çalışmalar aşağıdaki özetlenmiştir.

Willford, Whittaker ve Klemencic [10], performans esaslı tasarıma yönelik bir kılavuz oluşturulmuşlardır. Uluslararası yönetmeliklere göre performans bazlı tasarımlarda yönetmelikten yönetmeliğe farklılıklar olması sebebiyle global anlamda tasarıma öncülük etmesini sağlamak amacıyla yüksek yapıların deprem tasarımı hakkında genel tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) tarafından hazırlanan “Guidelines for Performance– Based Seismic Design of Tall Buildings” [11] adlı raporda American Society of Civil Engineers (ASCE-7) yönetmeliğine bağlı olarak yüksek yapı tasarımında performans esaslı şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirmenin ne şekilde yapılması gerektiği yönünde tavsiye niteliğinde raporlama hazırlanmıştır.

Smith ve Coull (1991) [12] , hangi yapıların yüksek yapı sınıfında yer alacağı, tasarım aşamasında doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin ne şekilde belirleneceği ve yapı taşıyıcı sisteminin hangi kriterlere göre belirlenmesi gerektiği konusunu ayrıntılı bir şekilde irdelenmişlerdir.

Pawar ve Jain (2015) [13], kat planı üzerinde perdelerin yerleşim planının özellikle yüksek yapılarda performans hedefini ne şekilde etkilediği yönünde çalışmalar yaparak, boşluksuz

perdeli taşıyıcı sistemler yerine perde taşıyıcı elemanların merkez bölgelere yerleştirildiği ve kolonların ise merkez perdelerin çevresinde simetrik olarak taşıyıcı sisteme dahil edilmesi ile birlikte oluşturulan perdeli-çerçeve sistemlerin yapı ekonomisi açısından daha ekonomik sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Aysu (1999) [14], yüksek yapıların maruz kalacağı yüklerin tespit edilmesi, sınıflara ayrılması ve yüksek yapı taşıyıcı sisteminin özellikle yatay yükler olarak tanımlanan rüzgar ve deprem yükleri altında taşıyıcı sistem seçiminin ne şekilde yapılması gerektiği yönünde çalışmalar yapmıştır.

Özgün (2012) [15], yüksek katlı bir binanın tasarım ve değerlendirme aşamalarında İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY) esaslarını kullanarak, yüksek yapı olarak nitelendirilen betonarme bir yapıyı bilgisayar destekli yazılım kullanarak 3 boyutlu modellemiş ve analiz sonucunda İYBDY değerlendirme esaslarına göre performans analizini gerçekleştirmiştir.

Şancı (2021) [16], TBDY 2018'e göre tasarım ve değerlendirilmesi yapılan yüksek bir yapı üzerinde meydana gelen P-Delta etkilerini ve doğrusal olmayan davranışı temsil eden şekil değiştirme taleplerini incelemiştir.

Gözütok (2011) çalışmasında [17], çok katlı yüksek bir betonarme yapının zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yöntemlerini kullanarak yapının performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığını, deprem etkilerinin ne şekilde tanıtılması gerektiğini ve zaman tanım alanında yapılacak olan analize ait deprem kayıtlarının nasıl seçilmesi gerektiği ve ölçeklendirme metotları hakkında genel bilgiler vermiştir.

Uçar (2019) [18], performans esaslı değerlendirme ve tasarım yöntemleri ile ilgili araştırmalar yaparak, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 kriterleri göz önüne alınarak aynı yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçları ve iki yönetmelik arasındaki belirgin farklılıklar hakkında değerlendirmeler yapmıştır.

Özlü (2015) [19], perdeli-çerçeve, boşluksuz perdeli ve çerçeve sistemleri farklı kat adetlerinde 3 boyutlu olarak modelleyerek farklı beton sınıfları kullanılması durumunda her bir model için görelî ötelemeleri, P-Delta etkilerini ve yatay düzensizlikleri değerlendirmiştir. Modellerle ait döşeme sistemlerini de asmolen döşeme ve plak döşeme olarak ayrı ayrı modelleyerek farklı döşeme sistemleri nedeniyle yapının davranışında meydana gelen değişiklikler hakkında araştırmalar yapmıştır.

Gülsoy (2003) [20], tüp sistemlere ait taşıyıcı sistem modelleme teknikleri hakkında araştırmalar yapmıştır. Taşıyıcı sistemi tüp sistem olarak modellenen bir yapının farklı beton sınıfları tanımlandığında betonarme yapı üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.2. Uluslararası ve Yerel Düzeyde Deprem Yönetmelikleri

İnsanlık tarihi boyunca doğal afetler arasında en önemli afetlerden birisi olarak nitelendirilebilecek deprem olgusu maddi ve manevi olarak ciddi kayıplara yol açmıştır. Bu nedenle de dünya üzerinde deprem kuşağı üzerinde yer alan ve deprem riski ile yüz yüze kalan ülkeler deprem etkisi altında farklı farklı yönetmelikler çıkarmışlardır. Gelişen teknoloji, bilimsel veriler, malzeme çeşitliliğinin artması ve deneysel yöntemlerin gelişmesi sayesinde taşıyıcı malzeme davranışının daha tahmin edilebilir ve gerçekçi hale gelmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Tüm bu gelişmeler neticesinde; deprem kuşağında yer alan ülkeler sürekli olarak yönetmeliklerini güncellemişlerdir.

Kaynak araştırmasına konu olan uluslararası yönetmelikler ile ilgili elde edilen verilen aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Dhanvijay, Telang ve Nair (2015) [21] , “Comparative Study of Different Codes in Seismic Assessment” adlı makalelerinde International Building Code (IBC) , Hint Deprem Yönetmeliği (Indian Seismic Code-ISC) ve Eurocode yönetmelikleri arasındaki tasarım ve değerlendirme kriterleri farklılıklarını incelemişlerdir. Aynı taşıyıcı sistem üzerinde oluşan aksel yük, yer değiştirme, moment ve kesme kuvvetleri arasında oluşan farklılıkları irdeleyerek yönetmeliklerin sonuçları arasındaki tasarım farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

Feng, Liu, Masuda ve Huan (2006) [22], yayımlamış olduğu “A Comparative Study Of Seismic Isolation Codes Worldwide Part I: Design Spectrum” adlı konferans bildirilerinde Japonya, Çin, İtalya ve Tayvan ülkelerinde deprem yönetmelikleri arasındaki farklılıkları sunmaya çalışmışlardır. Tasarım spektrumlarının belirlenmesi konusunu her bir yönetmelik için ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapının sönüm faktörü nedeniyle tepki spektrumunda göz önüne alınan deprem yükü azaltma katsayısı ile uzun periyotlu yapıların tepki spektrumuna göre daha az deprem yüküne maruz kalması konusunda yapmış oldukları çalışmaların sonuçlarını ifade etmişlerdir.

Nemutlu ve Sarı (2019) [23], “2018 Yeni Türk Deprem Yönetmeliği İle Amerikan Deprem Yönetmeliklerinin Deprem Hesapları Açısından Karşılaştırılması” başlıklı konferans bildirilerinde Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan yönetmelikleri International Building Code-2018 (IBC-2018) ve American Society of Civil Engineers tarafından yayımlanan Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE 7-16) olarak belirlemişlerdir. Bununla birlikte; TBDY 2018 ile birlikte ilk defa kullanılmaya başlanan koordinata deprem parametrelerinin belirlenmesi yönteminin bu yönetmeliklerde yer aldığına değinmişlerdir.

Ülkemize ait deprem yönetmelikleri konusunda aşağıda belirtilen araştırmalar kaynak çalışmasına öncülük etmiştir.

Tunç ve Tanfener (2016) [24], “2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi” adlı konferans bildirilerinde 2007 ve 2016 (TBDY 2018) deprem yönetmelikleri arasındaki farkları ortaya koyan çalışmalar yapmışlardır. DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 arasındaki tasarım ve değerlendirme farklarına değinerek, TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte kamu ve özel sektör açısından yaratacağı problemlere değinmişlerdir.

Demir ve Kayhan (2017) [25], “Deprem Yönetmeliği 2007 Ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği İle Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması” adlı konferans bildirilerinde DBYBHY 2007 ve yürürlüğe giren TBDY 2018’e göre uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında analiz yöntemleri arasındaki farklılıkları karşılaştırmışlardır. Zaman tanım alanına göre yapılacak olan analizlere seçilmesi gereken deprem ivme kayıtlarının ne şekilde seçilmesi gerektiği, ivme kayıtlarının nasıl ölçeklendirildiği konularında her iki yönetmelik koşullarına göre ayrı ayrı analizler yaparak maksimum ötelenme taleplerinin ortalaması arasında meydana gelen farklı sonuçları irdelemişlerdir.

Tutkal (2018) [26], “Kat Adetleri Farklı Bina Türü Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri İle İrdelenmesi” adlı tezinde Betonarme Yapıların Tasarım Kuralları (TS500) ve DBYBHY 2007 tasarım ve değerlendirme kurallarına uygun olarak projelendirilmiş eşit kat sayıları olan 3 ayrı betonarme yapıyı modelleyerek kat adetlerinin yapının deprem performansına etkisi üzerinde araştırmalar yapmıştır.

Demir (2020) [27], “Farklı İvme Kaydı Seçim Stratejilerinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz İle Elde Edilen Ötelenme Taleplerine Etkisi” adlı doktora tezinde farklı ivme kaydı seçimlerinin, şekil değiştirme esasları göz önüne alınarak yapılacak olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarını, yapısal tepkilerin merkezi eğilimleri ve saçılım oranları üzerinde yaratmış olduğu etkiyi araştırmıştır. TBDY 2018’de yer alan ivme kaydı seçim yöntemleri ile Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) verileri üzerinden elde edilen elastik tasarım spektrumların seçim stratejisine olan etkisini ve zemin tiplerinin farklı olması durumunda elde edilen elastik tasarım spektrum eğrileri üzerinde araştırmalar yapmıştır.

Zengin (2016) [28], “A Proposed Ground Motion Selection And Scaling Procedure For Nonlinear Response History Analysis” adlı tezinde performans bazlı deprem etkilerinin doğrusal olmayan davranış üzerinde etkisini belirlerken seçilecek olan deprem yer hareketlerine ait ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirme aşamasına dair çalışmalar yürütmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deprem Yer Hareketi Hakkında Genel Bilgiler

Ülkemizde yer alan deprem kuşakları Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Ege Bölgesi Fayı olmak üzere 3 ana deprem kuşağı olarak listelenebilir. Bu kapsamda oluşturulan ülkemize ait deprem haritalarının tarihçesine bakıldığında ilk olarak 1945 yılında deprem bölgelerine ait harita kavramının ortaya çıktığı görülmektedir. 1945 yılı itibariyle deprem mühendisliği ve mühendislik teknolojilerinde meydana gelen gelişmelere bağlı olarak 1949, 1963, 1972 ve 1999 yıllarında deprem riskine göre bölgelere ayrılarak oluşturulan deprem haritaları düzenli olarak güncellenmiştir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY 2018 ile birlikte belirli bölgeler için deprem riskine göre standart olarak hazırlanan elastik tasarım ivme spektrumu kavramından vazgeçilerek, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları’na (TDTH)” göre koordinata dayalı olacak elastik tasarım spektrumları elde edilmeye başlanmıştır.

3.1.1. Depreme Ait Yer Hareketi Düzeylerinin Tanımlanması

Deprem düzeyleri TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte 4 ana başlıkta toplanmıştır. Bu düzeyler aşağıda özetlenmektedir.

- i. DD-1 Deprem Düzeyi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan, çok seyrek deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem düzeyi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.
- ii. DD-2 Deprem Düzeyi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan, seyrek deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem düzeyi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.
- iii. DD-3 Deprem Düzeyi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 72 yıl olan, sık deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır.
- iv. DD-4 Deprem Düzeyi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 43 yıl olan, çok sık deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem düzeyi, servis deprem yer hareketi veya kullanım deprem düzeyi olarak tanımlanmaktadır.

3.1.2. Standart Deprem Spektrumları

Depreme ait standart yer hareketi spektrumları, Bölüm 3.1.1.'de belirtilen dört adet deprem yer hareketi düzeyinden bir tanesi esas alınarak zemine ait üst 30 metre için ortalama kayma dalgası hızının $(V_s)_{30} = 760 \text{ m/s}$ kabulüyle aşağıda belirtilen harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak elde edilirler. Bununla birlikte; TBDY 2018 ile gelen yeniliklerden bir tanesi de yapılacak olan jeolojik etüd çalışmaları sonucunda, yerel zemin sınıfının Tablo 3.1.'de belirtilen ZF olarak belirlenmesi durumunda "Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Analizleri" yapılması gerekmektedir.

Tablo 3.1. TBDY 2018'e göre Yerel Zemin Sınıfları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25 \text{ kPa}$) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

3.1.2.1. Harita Spektral İvme Katsayıları ile Tasarım Spektral İvme Katsayılarının Belirlenmesi

Harita spektral ivme katsayıları, yatay doğrultuda yer alan ve birbirlerine trigonometrik olarak dik olan deprem tesirlerinin geometrik olarak ortalaması olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte; TBDY 2018'e göre elde edilen harita spektral ivme katsayıları hesap aşamasında kullanılırken yerçekimi ivmesine bölündüğünden boyutsuz katsayılardır.

TBDY 2018’de S_s (Kısa periyot spektral ivme katsayısı) ve S_1 (1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı) olmak üzere iki adet harita spektral ivme katsayısı belirtilmiştir. Hesap aşamasında kullanılan tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) ve S_{D1} (1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı) ise aşağıda yer alan Denklem 3.1 ve 3.2 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_{DS} = S_s * F_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 * F_1 \quad (3.2)$$

Denklem 3.1 ve 3.2’de yer alan F_s ve F_1 kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayılarını ifade etmektedir. TBDY 2018’e göre bu katsayılar Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’te yer alan sınıflamalar ve değerler kullanılarak elde edilmektedir.

Tablo 3.2. Kısa Periyot Bölgesine ait Yerel Zemin Etki Katsayıları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_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.					

Tablo 3.3. 1.0 Saniye Periyoda ait Yerel Zemin Etki Katsayıları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

3.1.3. Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumunun Tanımı ve Elde Edilmesi

TBDY 2018’de standart deprem düzeylerinden tasarım şartlarına göre ele alınması gereken düzeye göre deprem etkisi altında oluşacak yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları elde edilir. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu eğrisinin x yönünde yer alan değerlerini doğal titreşim periyodu (T) temsil ederken, y yönünde elde edilen değerleri ise yatay elastik tasarım spektral ivmeler ($S_{ae}(T)$) temsil eder. TBDY 2018’e göre bu değerler Denklem 3.3-3.6 kullanılarak elde edilmektedir.

$$S_{ae}(T) = 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} * S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

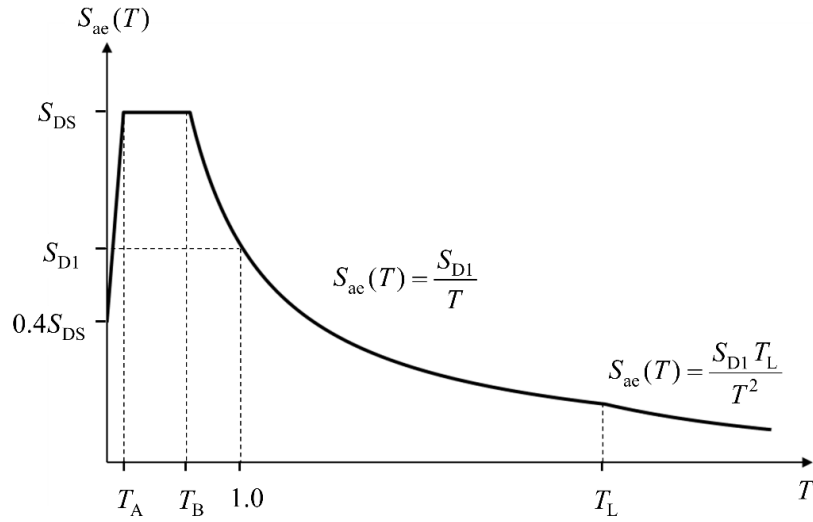
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

Yatay elastik tasarım ivme spektrumuna ait köşe periyotları ise Denklem 3.7 ve 3.8 kullanılarak elde edilmektedir.

$$T_A = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

Standart deprem düzeylerinden, göz önüne alınması gereken düzeye göre oluşturulan yatay elastik tasarım ivme spektrumunu gösteren durum ise Şekil 3.1.’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Seçilen Deprem Düzeyine göre Oluşan Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu [6]

3.1.4. Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumunun Tanımı ve Elde Edilmesi

Standart deprem düzeylerinden göz önüne alınması gereken deprem düzeyine göre düşey elastik tasarım ivme spektrumu elde edilmektedir. Düşey elastik tasarım ivme spektrumu grafiğinin x yönünde yer alan değerlerini doğal titreşim periyodu (T) temsil ederken, y yönünde yer alan değerlerini ise düşey elastik tasarım spektral ivmeler ($S_{aeD}(T)$) temsil eder. TBDY 2018'e göre bu değerler Denklem 3.9-3.11'den elde edilmektedir.

$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) * S_{DS} \quad (3.9)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 * S_{DS} \quad (3.10)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 * S_{DS} * \frac{T_{BD}}{T} \quad (3.11)$$

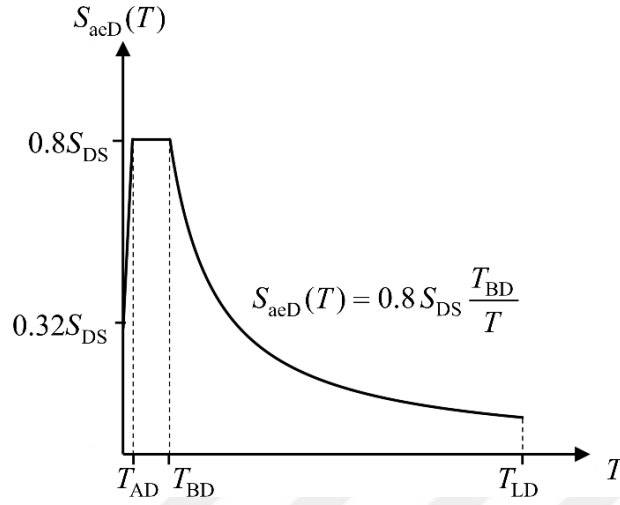
Düşey elastik tasarım ivme spektrumuna ait köşe periyotları ve düşey elastik tasarım spektrumuna göre sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu (T_{LD}) Denklem 3.12-14 kullanılarak elde edilmektedir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad (3.12)$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad (3.13)$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (3.14)$$

Standart deprem düzeylerinden, göz önüne alınması gereken düzeye göre oluşturulan düşey elastik tasarım ivme spektrumunu gösteren durum ise Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Seçilen Deprem Düzeyine Göre Oluşan Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu [6]

3.1.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması ve Değerlendirilmesi

TBDY 2018 göz önünde bulundurularak yapılacak olan tasarım ve değerlendirmelerde verilen koşullara göre zaman tanım alanında deprem yer hareketlerinin tanımlanması gereken özel durumlar söz konusudur. Bu durumda; zaman tanım alanında yapılacak analizin veri tabanını oluşturan deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi konuları analiz sonucunda elde edilecek iç kuvvet veya şekil değiştirme taleplerinin doğru sonuçlar vermesi açısından çok büyük önem arz etmektedir.

3.1.5.1. Deprem İvme Kayıtlarının Seçim Yöntemleri

Taşıyıcı sistem ile ilgili zaman tanım alanında deprem hesabı yapılması gerektiği durumlarda deprem etkisi hesabında kullanılacak olan deprem ivme kayıtlarının seçimi;

- i. Tasarıma esas olacak şekilde göz önüne alınan standart deprem spektrumuna uyumlu olması,
- ii. Fay hattına olan uzaklığı,
- iii. Kaynak mekanizması,

iv. Yerel zemin koşullarına göre belirlenecek olan yerel zemin sınıfı, parametreleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Bununla birlikte; TBDY 2018 esaslarına göre yeterli sayıda deprem ivme kayıt setinin bulunmadığı veya tanımlanamadığı durumlarda, tasarıma esas yapının yapılacağı imar adasının jeofizik ve geoteknik raporlarına göre belirlenecek olan sismik kaynak, dalga yayılımı ve yerel zemin sınıfı parametreleri göz önüne alınarak benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları kullanılması da mümkündür.

TBDY 2018'de zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak yapılacak olan analizlerde seçilmesi gereken minimum deprem ivme kaydı takımı sayısı on bir (11) olarak belirlenmiş olup; deprem ivme kaydı çeşitliliğini arttırmak amacıyla aynı depreme ait farklı kayıtlardan maksimum 3 adet seçilmesi gerektiği belirtilmiştir [6].

3.1.5.2. Deprem İvme Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Metodu Kullanılarak Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplara esas deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme yöntemi kullanılması durumunda aşağıda belirtilen kriterler göz önüne alınarak ölçekleme işlemleri yapılması gerektiği belirlenmiştir.

- i. Bir veya iki boyutlu hesaplarda kullanılacak olan deprem ivme kayıtlarına ait spektrumların ortalama değerleri, elastik tasarım ivme spektrumunun binanın doğal titreşim periyodu (T_p) esas alınarak $0.2(T_p)$ ve $1.5(T_p)$ değerleri arasındaki sahip olduğu genlikten daha küçük olmamalıdır.
- ii. Üç boyutlu hesaplarda kullanılacak olan deprem ivme kayıtlarında, her bir ivme kaydına ait iki yatay bileşenin spektrumların karelerinin toplamının karekökü değeri hesaplanarak bileşke spektrum elde edilmelidir. Her bir deprem ivme kaydına ait bileşke spektrumların ortalamasının, elastik tasarım ivme spektrumunun $0.2(T_p)$ ve $1.5(T_p)$ değerleri arasında sahip olduğu genliğe oranının 1.3'ten küçük olmaması kuralı esas alınarak bileşke spektrum genliklerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte; deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesinde spektral uyuşumun sağlanacağı şekilde dönüşüm bağıntıları da kullanılabilir. Bu yöntemin kullanılması durumunda; dönüştürülen deprem yer hareketlerine ait spektrumların ortalamalarının, tüm periyot değerleri için tasarım spektrumuna ait ivme ordinat değerlerinden küçük olmaması gerekmektedir [6].

3.2. TBDY 2018'e göre Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Genel Kurallar

3.2.1. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı Kavramları

TBDY 2018 ile birlikte yeni bir kavram olarak ortaya konan deprem tasarım sınıflarını (DTS) belirleyebilmek adına bina kullanım sınıfı (BKS) ve bina önem katsayısı (I) değerlerinin Tablo 3.4'te verilen kriterler göz önüne alınarak tespit edilmesi gerekmektedir.

Tablo 3.4. Bina Önem Katsayıları ve Bina Kullanım Sınıfları [6]

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (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	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer Binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.2.2. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi

TBDY 2018'e göre belirlenecek deprem tasarım sınıfları, Tablo 3.4'e göre belirlenecek olan BKS ve I değerleri ile Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nın koordinata dayalı verilerinden yararlanılarak hesaplanan ve boyutsuz olarak elde edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısından (S_{DS}) yararlanılarak Tablo 3.5'ye göre hesaplanmaktadır.

Tablo 3.5. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi [6]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.3$	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

3.2.3. Bina Yükseklik Sınıflarının Belirlenmesi

Bina yüksekliği (H_N), bina tabanı olarak belirlenen kot ile çatı döşemesinde bulunan makine dairesi, teknik oda ve benzeri küçük kütleli yapılar hariç olmak üzere en son kat döşemesinin üst kotu arasındaki kalan yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Bina yüksekliği belirlenirken en önemli kriter binanın bodrumlu veya bodrumsuz olmasıdır. Eğer bir yapının bodrumu var ise; bina tabanı olarak temel üst kotu veya bodrum perdesi üst kotu belirlenebilir. Bodrumlu bir yapıda bina tabanının bodrum perdesi üst kotu olarak seçilebilmesi için;

- Bodrum perdelerinin yapı taşıyıcı sistemini en az 3 taraftan çevrelemesi,
- Taşıyıcı sistemi bodrumlu ve bodrumsuz olarak modelledikten sonra modal analiz sonucuna göre elde edilen binaya ait doğal titreşim periyodu değerleri arasındaki farkın %10'dan fazla olmaması,

gerekmektedir. Bu şartları sağlamayan bodrumlu bir yapıda bina tabanı temel üst kotu olarak hesaplara dahil edilmelidir.

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) kavramı ülkemizde yer alan inşaat mühendisleri için yeni bir kavram olarak hayatımıza girmiştir. Tablo 3.5'e göre belirlenen deprem tasarım sınıfı ve bina

yüksekliği verilerini kullanarak aşağıda yer alan Tablo 3.6'ya göre bina yükseklik sınıfı belirlenmektedir.

Tablo 3.6. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi [6]

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	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

3.3. Deprem Etkisi Altında Dayanıma Göre Tasarım Kavramı ve İlkeleri

Dayanıma göre tasarım, deprem etkisi altında taşıyıcı sistem elemanlarının oluşan iç kuvvetler karşısında yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliği gösterebilmesi ilkesine dayanmaktadır. Dayanıma göre tasarım esaslarına göre; deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak elde edilen elastik tasarım deprem kuvvetleri etkisi altında oluşan katlara ait ortalama yatay yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi değerlerinin yönetmelik sınırları içerisinde kalması gerekmektedir. Süneklik kavramı ise; taşıyıcı sisteme ait elemanların deprem etkisi altında yeterli şekil değiştirme kapasitesine sahip olması ve deprem nedeniyle yapıda ortaya çıkan enerjinin taşıyıcı sistem elemanların plastik şekil değiştirme kabiliyetleriyle sönmülenebilmesi ilkesine dayanmaktadır.

Dayanıma göre tasarım ilkelerine göre tasarım ve değerlendirmesi yapılacak olan yapılarda özetle;

- Güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine göre kolonların kirişlere göre daha yüksek plastik şekil değiştirme kapasitesine sahip olması,
- Yapıda gevrek davranışın önüne geçmek amacıyla özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinin yeterli kesme güvenliğine sahip olması,
- Kolon, kiriş ve perde elemanlarda ilgili yönetmeliklerde koşulları belirlenen sargı donatısının uygun olarak kullanılarak elemanların plastik dönme kapasitelerinin artırılması ve sünek davranışa sahip olması,

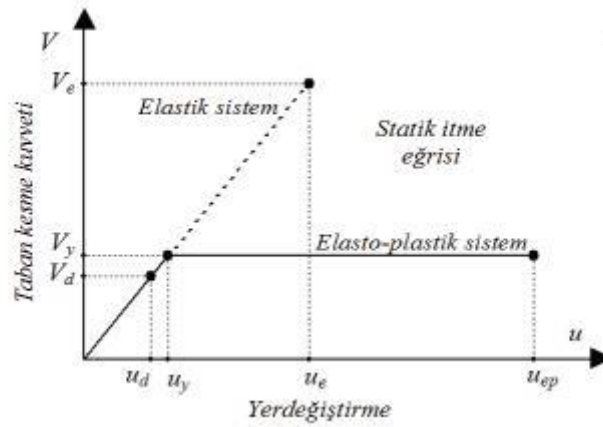
- iv. Kritik kat yüksekliğinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve plastik mafsallarının oluşma potansiyeli olan bölgelerde sünek davranışın sağlanması,
- v. Deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak elde edilen elastik tasarım ivme spektrumu sonucu elde edilen iç kuvvetlere ait gevrek davranışa sebep olabilecek kesme kuvveti değerlerinin dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılarak ilgili taşıyıcı elemanda gevrek davranışın önüne geçilmesi,
- vi. Kolon-kiriş birleşim bölgesi ve perde enine donatı hesabı için elde edilen kesme kuvveti değerinin (V_e) kolon, kiriş ve perde kesitine ait kesme dayanımı kuvvetini aşmaması,

esaslarına özen gösterilmelidir [18].

3.3.1. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı Kavramı

DD-1 altında betonarme taşıyıcı sistemin doğrusal elastik davranış gösterme olasılığı düşüktür. Temel prensip olarak, taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan davranışı sergilemesi esnasında öncelikle çekme gerilmelerine maruz kalan beton çatlamaya başlar. İkinci adım olarak ise çekme gerilmeleri altındaki donatı akmaya ve uzamaya başlar. Bu davranışa kısaca betonarmenin elasto-plastik davranışı denilebilir. Kuvvetli deprem etkileri altında oluşan deprem enerjisinin sünek bir şekilde tüketilmesi gerekmektedir [29]. Bu nedenle; ülkemizde 01.01.2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren TB DY 2018’de sünek davranışın sağlanması için ciddi kriterler yer almaktadır. Sünek davranışın sağlanması koşulu ile Türkiye Deprem Tehlike Haritaların göre elde edilen elastik deprem spektrumları deprem yükü azaltma katsayıları kullanılarak elastik tasarım ivme spektrumlarına dönüştürülebilmektedir.

Deprem etkisi altında doğrusal olmayan davranış göz önüne alan elasto-plastik davranış gösteren durum Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Tasarım depremi nedeniyle oluşan taban kesme kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı grafiği incelendiğinde; taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesi ve belirli bir deprem yükünden sonra şekil değiştirme davranışın etkin olması nedeniyle taban kesme kuvvetinin elastik deprem yükü (V_e) mertebelerine ulaşmadığı, akma yüküne (V_y) erişmesi itibarıyla taban kesme kuvvetinin, sistemin süneklik ve plastik dönme kapasitesi sayesinde herhangi bir artış göstermeden sadece yer değiştirme değerinin arttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 3.3. Elastik ve Elasto-plastik Taşıyıcı Sistemlerde Basitleştirilmiş Statik İtme Eğrisi[18]

Elastik deprem yükü (V_e) ile akma yükü (V_y) arasındaki oran dayanım azaltma katsayısı R_y olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.3'te yer alan u_y elastik ötesi davranışın başlangıç noktası olan akma yer değiştirme değerini göstermektedir. Elastik sistemin maksimum yer değiştirmesi ise u_e ile temsil edilmektedir. Dayanım azaltma katsayısı da Denklem 3.15 yardımıyla bulunmaktadır.

$$R_y = \frac{V_e}{V_y} = \frac{u_e}{u_y} \quad (3.15)$$

Dayanım fazlalılığı katsayısı ise Denklem 3.16 kullanılarak elde edilmektedir. Şekil 3.3'te yer alan V_d , taşıyıcı sistemin tasarım yatay yük kapasitesini temsil etmektedir.

$$D = \frac{V_y}{V_d} \quad (3.16)$$

TBDY 2018'de belirtilen deprem yükü azaltma katsayısı ise yukarıda verilen denklemler kullanılarak Denklem 3.17'de verildiği şekliyle hesaplanmaktadır.

$$R_a = \frac{V_e}{V_d} = \frac{V_e \cdot V_y}{V_d \cdot V_y} = R_y \cdot D \quad (3.17)$$

Yukarıda belirtilen yaklaşımlar neticesinde; TBDY 2018, elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyot değerlerinden T_B değerini sınır değer kabul ederek, deprem yükü

azaltma katsayısı değerini Denklem 3.18 ve Denklem 3.19 kullanılarak hesaplanması gerektiğini belirtmiştir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.18)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) * \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.19)$$

Denklem 3.18 ve Denklem 3.19’da yer alan R ve D değerleri taşıyıcı sistem türüne, süneklik düzeyine ve izin verilen BYS’ye (bina yükseklik sınıfları) bağlı olarak Tablo 3.7’de verilmektedir [6].

Tablo 3.7. Taşıyıcı Sisteme ait Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Müsaade Edilen Bina Yükseklik Sınıfları [6]

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	$BYS \geq 4$
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2.5	$BYS \geq 4$
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgu (asmolen) veya dolgu tek doğrultulu dışı döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 6$
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgu (asmolen) veya dolgu tek doğrultulu dışı döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	$BYS \geq 6$
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

Tablo 3.7. (Devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
B. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
B1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
B11. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar: MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	7 5	2.5 2.5	BYS ≥ 4 BYS ≥ 6
B12. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5) MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar: MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	7 5	2.5 2.5	BYS ≥ 2 BYS ≥ 6
B13. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5) MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar: MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	6 5	2.5 2.5	BYS ≥ 2 BYS ≥ 6
B14. Düşey yüklerin bağlantıları mafsallı önüretimli ve iki doğrultulu çerçeveler ile, deprem etkilerinin tamamının ise <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 7
B15. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
B2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
B21. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) veya boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar: MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5 4	2.5 2.5	BYS ≥ 5 BYS ≥ 6
B3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
B31. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	BYS = 8
B32. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, yerinde dökme <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	3	2	BYS ≥ 7
B33. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey çift cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	4	2	BYS ≥ 6
B34. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey tek cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	3	2	BYS ≥ 7

Tablo 3.7. (Devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS ≥ 4
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	3	BYS ≥ 2
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	6	2.5	BYS ≥ 2
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	-
C2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	BYS ≥ 4
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2	BYS ≥ 4
C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
C32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	BYS = 8
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 7

Tablo 3.7. (Devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	2.5	1.5	BYS = 8
F. AHŞAP BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
F1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
F2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının çivi, vida ve bulon ile birleştirilen tutkalı duvar panelleri ile veya ahşap çaprazlarla karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı ahşap binalar	3	2	BYS = 8

3.3.2. Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Uygulanması

Şekil 3.3'e göre taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışına ait deprem etkisi altındaki kesme kuvveti taşıma kapasitesi V_y ile taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki yatay yük taşıma kapasitesi arasındaki oran dayanım fazlalığı katsayısı (D) olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3.7'ye göre belirlenen dayanım fazlalığı katsayısı, eğilme momenti ve çekme kuvveti gibi sünek davranışa sebep olan azaltılmış iç kuvvetlerde kullanılmamaktadır. Bununla birlikte; deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılmış elastik tasarım ivme spektrumuna göre elde edilecek iç kuvvetlerden kesme kuvvetleri, taşıyıcı sistem elemanlarında sünek olmayan davranışa sebebiyet vereceğinden, TBDY 2018 gevrek davranışı önlemek adına kesme kuvvetlerinin yönetmelikte belirlenmiş olan katsayılar ile arttırılmasını öngörmektedir.

Özetle; dayanım fazlalığı katsayısı, gevrek davranışa karşı gelen iç kuvvetlerin, akma dayanımı seviyesine büyütülmesi anlamına gelir. Burada hedef, yapı elemanlarının gevrek hasar almasını ve yapı sisteminin gevrek göçmesini önlemektir [7].

3.3.3. Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Etkin Kesit Rijitliği ve Belirlenmesi

TBDY 2018'e göre belirli deprem düzeyleri etkisinde betonarme taşıyıcı sistem üzerinde kontrollü hasar meydana geleceğinden taşıyıcı sistem elemanının çatlaması sonucunda rijitliğinde belirli azalmalar meydana gelecektir. Taşıyıcı sisteme ait elemanların çatlaması sonucunda betonarme eleman doğrusal olmayan davranış sergileyeceğinden rijitliklerinin belirli bir oranda azaltılması daha doğru sonuçlar verecektir. Bu nedenle; çatlama öncesi kesitin sahip olduğu brüt rijitlik ile çatlama sonrası kesitin sahip olacağı etkin rijitlik arasında belirgin farklar vardır. TBDY 2018'de dayanıma göre tasarım esasları göz önünde bulundurularak modellenecek olan taşıyıcı sistemlerde aşağıda yer alan Tablo 3.8'e göre etkin kesit rijitliği çarpanının kullanılması gerekmektedir.

Tablo 3.8. Taşıyıcı Sistem Elemanlarına ait Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları [6]

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde - Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde - Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

3.3.4. Doğrusal Hesap Yöntemleri

TBDY 2018'de belirtilen deprem etkisi altında dayanıma göre tasarım ve değerlendirme yapılırken deprem hesabında doğrusal hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal deprem hesap yöntemleri;

- i. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- ii. Modal Hesap Yöntemleri

olmak üzere 2 ana başlık altında toplanmaktadır.

Modal hesap yöntemleri ise kendi içerisinde Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Doğrusal hesap yöntemlerinden modal hesap yöntemleri, dayanıma göre kapasite ve tasarım ilkelerine göre deprem etkisi altında hesabı yapılacak her yapıda uygulanabilir. Ancak; eşdeğer deprem yükü yönteminin deprem hesabında kullanılabilmesi için taşıyıcı sistemin Tablo 3.9’da belirtilen kriterleri sağlaması gerekmektedir.

Tablo 3.9. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine İzin Verilen Betonarme Taşıyıcı Sistemler [6]

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

Bu tez kapsamında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem kullanılarak yeni yapılacak yüksek yapıların şekil değiştirmeye göre tasarımı yapıldığından doğrusal yöntemler ile ilgili sadece genel bilgilere yer verilmiştir.

3.3.5. TBDY 2018’e göre Göreli Kat Ötelemesi Sınır Değerleri

Yapıların ana taşıyıcı sistem elemanlarından olmayan ancak mimari gereksinimler nedeniyle yapılarda kullanılması zorunluluk teşkil eden dolgu duvarlar, doğramalar, camlar ve benzeri mimari malzemelerin deprem etkisi altında zarar görmesini engellemek ve ikinci mertebe etkilerinin artmasını engellemek amacıyla katlar arasındaki göreli kat ötelemesi değerlerinin sınırlandırılması gerekmektedir. Özellikle DD-2 olarak bilinen tasarım depremi etkisi altında yukarıda belirtilen mimari elemanların zarar görmemesi önem arz etmektedir. Bu nedenle; yapısal taşıyıcı sistem elemanlarından oluşan perde, kolon ve kirişlere ait çerçeve sistemler ile dolgu duvarların birleşim detayını esnek bir derz ile yapmak mimari elemanlarda oluşması muhtemel hasarları minimuma indirmektedir [30].

TBDY 2018 ile gelen yeniliklerden birisi de çerçeveler ile dolgu duvarlar arasındaki birleşim detayının esnek olup olmamasına göre göre kat ötelemelerinin aşağıdaki denklemlerdeki gibi sınırlandırılmasıdır.

Esnek olmayan dolgu duvar ile çerçeve birleşimlerinde;

$$\gamma * \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.008 * K \quad (3.20)$$

Esnek bağlantıya sahip olan dolgu duvar ile çerçeve birleşimlerinde;

$$\gamma * \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.016 * K \quad (3.21)$$

Denklem içerisinde yer alan γ , DD-3 ve DD-2 deprem düzeylerinde binanın hakim titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin oranını temsil eder. Bu değer genellikle 0.4 ve 0.5 arasında değerler almaktadır. $\delta_{i,max}^{(x)}$ ise; binanın herhangi bir katında x doğrultusunda meydana gelen etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değerini ifade etmektedir. h_i sembolü, kat yüksekliğini ifade ederken, K sembolü ise betonarme taşıyıcı sistemler için 1.0, çelik taşıyıcı sistemler için ise 0.5 değerine karşılık gelmektedir.

Bina hakim titreşim periyodu değerlerinin standart yapılara göre çok daha yüksek değerlere ulaştığı yüksek yapılarda, deprem etkisi nedeniyle oluşan iç kuvvetlerden ziyade etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin sınır değerler içerisinde kalması, tasarım ve değerlendirme açısından çok büyük önem arz etmektedir.

3.4. Deprem Etkisi Altında Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ve Değerlendirme

Deprem etkisi altında şekil değiştirme esaslı tasarım ve değerlendirmede, TBDY 2018'de belirlenmiş olan deprem düzeylerine göre hedef deprem düzeyi baz alınarak doğrusal olmayan analizler yardımıyla plastik şekil değiştirme talepleri elde edilir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen talep şekil değiştirmelerin TBDY 2018'de belirlenmiş olan sınır şekil değiştirme değerlerini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilerek taşıyıcı sisteme ait elemanların hasar seviyeleri ve taşıyıcı sistemin performansı belirlenmektedir.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin deprem etkisi altında performans seviyeleri;

- i. Deprem düzeyine göre oluşacak deprem yüklerinin taşıyıcı sistem üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- ii. Taşıyıcı sistem elemanlarına ait plastik şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesi,

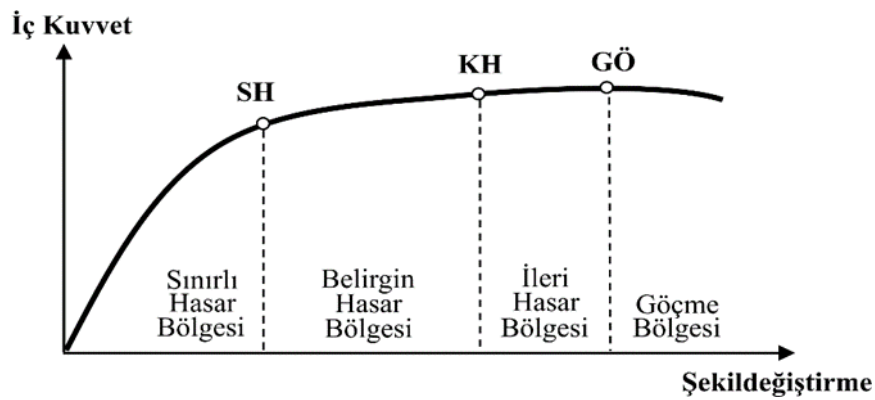
- iii. Deprem etkisi altındaki yükler nedeniyle oluşan plastik şekil değiştirme talepleri ile taşıyıcı sisteme ait plastik şekil değiştirme kapasitesinin karşılaştırılması,
 - iv. Yönetmelikte belirtilen kriterlere göre taşıyıcı sistemin deprem düzeyine ait tesirler altında performansının belirlenmesi,
- adımlarını takip ederek belirlenir.

3.4.1. Deprem Etkisi Altında Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Şekil Değiştirme Sınırları

TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte mevcut betonarme yapıların performans analizlerinin yanı sıra yeni yapılacak yüksek yapı sınıfında yer alan betonarme yapıların da performans analizlerinin yapılması zorunlu kılınmıştır. Bu nedenle; öncelikli olarak bina performans düzeyleri tanımlanmıştır. TBDY 2018'de yer alan bina performans düzeyleri;

- i. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Taşıyıcı sisteme ait elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya yapısal hasarın göz ardı edilebilecek seviyede olduğu hasar durumunu ifade etmektedir.
- ii. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Taşıyıcı sisteme ait elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın oluştuğu veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar durumunu belirtmektedir.
- iii. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: İnsanların can güvenliğini sağlayacak şekilde taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan veya genellikle onarılması mümkün olan hasar düzeyini ifade etmektedir.
- iv. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği ve yapının göçme öncesi hasar durumuna eriştiği düzeyi belirtmektedir.

Kesit hasar sınır bölgelerini gösteren durum Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri [6]

Ayrıca; deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak ve mevcut yapıların sahip olması gereken performans hedefleri ile analiz aşamasında göz önüne alınması gereken tasarım ve değerlendirme kriterleri Bölüm 1.2’de yer alan Tablo 1.1’de belirtilmiştir.

3.4.2. TBDY 2018’e Göre Performans Düzeyinin Belirlenmesinde Uygulanacak Esaslar

TBDY 2018’e göre deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi ile mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesinde dört adet performans hedefi kullanılmaktadır. Bu hedefler; Bölüm 3.4.1’de belirtildiği üzere kesintisiz kullanım, sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi hedefidir.

3.4.2.1. Sınırlı Hasar Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi

Betonarme taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapının ilgili deprem düzeyine göre tüm taşıyıcı sistem elemanlarının en fazla %20’sinin Belirgin Hasar Bölgesi’nde yer aldığı, bu taşıyıcı elemanlar haricinde kalan elemanların tamamının Sınırlı Hasar Bölgesi’nde olduğu performans düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte; sınırlı hasar performans hedefi olan bir yapıda, sınırlı hasar ötesinde davranış sergileyen gevrek elemanların olması durumunda, yönetmelik kriterlerine uygun olarak bu elemanların güçlendirilmesi kaydı ile yapının sınırlı hasar performans hedefini sağlayabilmesi imkanı tanınmaktadır. Gevrek davranış gösteren taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi koşulu çelik veya prefabrik betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar için geçerli olmamaktadır.

3.4.2.2. Kontrollü Hasar Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi

İlgili deprem düzeyine göre gevrek davranış gösteren taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi koşulu ile aşağıdaki maddelerde yer alan koşulları sağlayan taşıyıcı sistemlerin Kontrollü Hasar Performans Hedefleri’ni sağladığı kabul edilmektedir.

- i. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılarda taşıyıcı sisteme ait elemanların ilgili deprem düzeyinin etkisi altında ikincil kırışlar hariç olmak üzere, ana taşıyıcı kırışların maksimum %35’inin ve kolon, perde ve güçlendirilmiş bölme duvar elemanlarının ikinci maddede belirtilen oranının İleri Hasar Bölgesi’nde olması gerekmektedir.

- ii. İleri Hasar Bölgesi'ne erişen kolon, perde ve güçlendirilmiş bölme duvar elemanlarının deprem etkisi altında her bir kat düzeyinde deprem etkisi altında oluşan kesme kuvvetine katkı oranının %20'den fazla olmaması gerekmektedir. Bununla birlikte; en üst katta yer alan ve ileri hasar bölgesine erişen kolon, perde ve taşıyıcı bölme duvarlarda deprem etkisi altında oluşan kesme kuvvetlerinin toplamının o katta yer alan tüm elemanlara tesir eden kesme kuvvetine oranı %40'tan fazla olmamalıdır.
- iii. İ ve ii'de anılan taşıyıcı elemanların haricinde kalan diğer tüm taşıyıcı elemanların Sınırlı Hasar Bölgesi ve Belirgin Hasar Bölgesi'nde yer alması gerekmektedir. Bununla birlikte; doğrusal yöntemle göre güçlü kolon zayıf kiriş ilkesini sağlayan kolonların hesaba dahil edilmemesi kaydıyla, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Bölgesi sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'dan fazla olmaması gerekmektedir.

3.4.2.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Hedefinin Tanımı ve Belirlenmesi

Gevrek davranış gösteren taşıyıcı sisteme ait elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğu kabulüyle aşağıdaki maddelerde belirtilen koşulları sağlayan taşıyıcı sistemlerin Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağladığı kabul edilmektedir.

- i. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir yapıda taşıyıcı sisteme ait elemanların ilgili deprem düzeyinin etkisi altında ikincil kirişler hariç olmak üzere, ana taşıyıcı kirişlerin maksimum %20'si Göçme Bölgesi'ne erişebilir. Bu koşul, çelik veya prefabrik betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar için geçerli olmamaktadır.
- ii. Ana taşıyıcı kirişler haricindeki diğer tüm taşıyıcı elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'nde yer almaktadır. Bununla birlikte; doğrusal yöntemle göre güçlü kolon zayıf kiriş ilkesini sağlayan kolonların hesaba dahil edilmemesi kaydıyla, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'dan fazla olmaması gerekmektedir.
- iii. Göçmenin önlenmesi performans hedefinde olan bir yapının kullanılması can ve mal güvenliği açısından risk teşkil etmektedir.

3.5. Şekil Değiştirme Esaslı Tasarım ve Değerlendirmelerde Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

DBYBHY 2007’de mevcut binalar haricinde yer alan yapılar doğrusal davranış modeli esas alınarak tasarlanmaktaydı. Doğrusal davranış modelinin göz önüne alındığı analizlerde, taşıyıcı sistem elemanına ait malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrileri doğrusal elastik olarak kabul edilmektedir. Ayrıca; sisteme ait yer değiştirmelerin ise çok küçük değerler aldığı varsayılmaktadır. Ancak; deprem etkisi nedeniyle oluşan iç kuvvetlerin servis yükü değerini aşarak elemana ait taşıma gücü sınır değerine yaklaşması nedeniyle oluşan iç gerilmeler doğrusal elastik davranışa esas sınır değeri aşmakta ve oluşan yer değiştirmelerin değeri de büyük değerler alabilmektedir. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanına ait malzemenin doğrusal ötesi davranışını esas alarak analiz yöntemlerinin kullanılması durumu; deprem, rüzgar vb. dış etkiler altında taşıyıcı sisteme ait davranışın gerçeğe daha yakın olarak gözlemlenebilmesi olanağı sağlamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri sayesinde daha gerçekçi ve ekonomik sonuçları elde edebilmek mümkün olmaktadır [18].

TBDY 2018’in yürürlüğe girmesindeki en temel nedenlerden birisi de mühendislik teknolojisinin kaydetmiş olduğu gelişmeler neticesinde el ile hesaplanması mümkün olmayan doğrusal ötesi davranışa ait analiz yöntemlerinin bilgisayar teknolojisinden yararlanılarak hesaplanmasının daha mümkün hale gelmesidir. Doğrusal olmayan analiz yönteminde hedef deprem düzeyi etkisi altında meydana gelen yer değiştirme ve şekil değiştirme taleplerinin taşıyıcı sistem için belirlenmiş olan performans hedefleri doğrultusunda karşılanıp karşılanmadığı hususu değerlendirilir. TBDY 2018’de yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri aşağıdaki maddelerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.5.1. TBDY 2018’de yer alan Tek Modlu İtme Yöntemleri

Tek modlu itme yöntemleri, hedef deprem düzeyi etkisi altında bina hakim titreşim periyodu ile orantılı olacak şekilde deprem yüklerinin düzenli bir şekilde arttırımının yapılarak taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme talepleri ve oluşan iç kuvvetlerin arttırımı ile bu değerlere ait birikimli değerlerin yer değiştirmeye ait sınır değerlere kadar hesaplanması temeline dayanmaktadır. Hedef deprem yüklerinin düzenli arttırımı neticesinde elde edilen birikimli değerler baz alınarak şekil değiştirme talepleri elde edilir. Özetle; dayanıma göre tasarım esaslarında kullanılan mod birleştirme yönteminin, tek modlu olarak doğrusal olmayan arttırım metodu kullanılarak uygulanması olarak tanımlanabilir [18].

Deprem etkisi nedeniyle taşıyıcı sistemin sahip olması gereken yatay yük kapasitesi, bilgisayar programında adım adım hesabı yapıldıktan sonra ortaya çıkan tepe yer değiştirmesi-taban kesme kuvveti değerlerine sahip olan itme eğrisi grafiğinden yararlanılarak tespit edilmektedir. Bununla birlikte; her bir hesap adımı için arttırımlı olarak uygulanan deprem etkisi neticesinde elde edilen itme eğrisinden yararlanılarak modal yer değiştirme-modal ivme eksenlerine sahip olan modal kapasite eğrileri elde edilir. Tüm bu işlemlerin neticesinde; modal kapasite eğrileri sayesinde taşıyıcı sistemin spektral yer değiştirme kapasitesi tespit edilmiş olur.

Tek modlu itme yöntemleri;

- i. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi
- ii. Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi

olarak iki ana başlık altında toplanabilir.

Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi'nde; deprem etkisinin arttırımsal itme hesabı süresince sabit bir mod şekli ile orantılı olacak şekilde itme adımlarının taşıyıcı sisteme ait katlara etkilmesi esasına dayanmaktadır. Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi'nde ise; arttırımsal deprem etkisi altında her bir itme adımı neticesinde taşıyıcı elemanlarda oluşan plastik mafsallara göre elde edilecek olan serbest titreşim ile orantılı olacak şekilde deprem nedeniyle oluşan iç kuvvetler hesaplanarak taşıyıcı sisteme ait yatay yük taşıma kapasitesi hesaplanmaktadır.

TBDY 2018'e göre Tek Modlu İtme Yöntemleri'nin kullanabilmesi için;

- i. Ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1.4'ten küçük olması gerekmektedir.
- ii. Doğrusal deprem hesabına göre yapılacak olan hesaba göre bina hakim titreşim periyoduna ait etkin kütle binanın ağırlığına oranının %70'ten fazla olması gerekmektedir.

3.5.2. TBDY 2018'de yer alan Çok Modlu İtme Yöntemleri

TBDY 2018 esaslarına göre aşağıda yer alan hususları sağlayan taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan deprem hesapların Çok Modlu İtme Yöntemleri kullanılabilmektedir [6].

- i. Çok Modlu İtme Yöntemi'nde, verilen elastik tasarım spektrumuna göre doğrusal elastik rijitliklerinin kullanılarak doğrusal hesap için uygulanması sonucunda elde edilen tüm iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin, aynı elastik tasarım spektrumu

esas alınarak, Mod Birleştirme Yöntemi kullanıldığında elde edilen deprem kuvvetleri ile aynı değerlere sahip olduğu hesap raporunda gösterilmelidir.

- ii. Tercih edilen Çok Modlu İtme Yöntemi'nde taşıyıcı sisteme ait farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması durumunda, elde edilen modal iç kuvvetler istatistiksel olarak birleştirilmeden, Tam Karesel Birleştirme Kuralı'na (TKB) göre birleştirilmiş modal eleman uç yer değiştirmeleri ve akma dönmeleri ile uyumlu olarak hesaplanmalıdır.

3.5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Esas Alınarak Deprem Etkisinin Hesaplanması

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, belirli bir depreme ait ivme kaydının etkisi altında taşıyıcı sisteme ait hareket denklemini tanımlayan differansiyel denklem takımının her bir zaman arttırımı neticesinde elde edilen doğrudan integrasyonu olarak tanımlanmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, sisteme ait rijitlik matrisinin zamana bağlı değişimine göz önüne almaktadır. Bu nedenle; el ile hesap yapmak mümkün değildir. Mühendislik teknolojisinin gelişimi sayesinde bilgisayar programı yardımı ile bu yöntem kullanılmaktadır. Taşıyıcı sisteme ait hareket denklemi Denklem 3.22'de verilmektedir. Denklem 3.22'de kullanılan sembollerden $\{M\}$, $\{C\}$ ve $\{K\}$ sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisini, $\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$ ve $\{u\}$ sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirme vektörlerini, $\{I\}$ birim vektörü ifade etmektedir [6].

$$\{M\} * \{\ddot{u}\} + \{C\} * \{\dot{u}\} + \{K\} * \{u\} = -\{M\} * \{I\} * \ddot{u}_g \quad (3.22)$$

TBDY 2018 esaslarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde en az on bir (11) adet deprem yer hareketine ait ivme kayıtlarının kullanılması gerekmektedir. İvme kayıtlarını içeren çeşitli veri tabanlarından elde edilen deprem yer hareketine ait X ve Y doğrultularındaki deprem yer hareketleri taşıyıcı sisteme aynı anda etkitilmelidir. Bununla birlikte; X ve Y doğrultularında aynı anda uygulanan deprem yer hareketleri 90° döndürülerek farklı bir deprem yük durumu olarak taşıyıcı sisteme etkitilmelidir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesabın başlangıç adımında hareketli yük katılım katsayısı ile azaltılan bina ağırlığı esas alınarak doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılmalıdır. Bina ağırlığı esas alınarak yapılan artımsal statik hesap neticesinde iç kuvvetler,

yapılacak olan deprem hesabının başlangıç adımını oluşturmaktadır. Bununla birlikte; zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde kullanılacak olan zaman arttırımı değeri hem ivme-zaman kayıtları ile hem de taşıyıcı sisteme ait titreşim modlarını temsil edecek şekilde seçilmelidir.

3.5.4. Yeni Betonarme Bina Elemanlarında İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları

TBDY 2018'e göre deprem etkisi altında şekil değiştirme esasına göre tasarım ve değerlendirme yapılması durumunda; taşıyıcı sistemden beklenen performans hedefi baz alınarak taşıyıcı sistem elemanları için şekil değiştirme sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar göçmenin önlenmesi performans, kontrollü hasar performans ve sınırlı hasar performans düzeyi için aşağıdaki maddelerde belirtilmektedir.

3.5.4.1. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için Sınır Değerler

Yeni betonarme binalarda, yüksek yapılar da dahil olmak üzere yayılı plastik davranış modeline uygun olarak tasarım ve değerlendirmesi yapılacak olan betonarme elemanda betona ait toplam birim şekil değiştirme ($\epsilon_c^{G\ddot{O}}$) ve donatıya ait toplam birim şekil değiştirme ($\epsilon_s^{G\ddot{O}}$) değerlerine ait sınır değerler Denklem 3.23 ve 3.24'te verilmektedir.

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde taşıyıcı elemanlarında;

$$(\epsilon_c^{G\ddot{O}}) = 0.0035 + 0.04 * \sqrt{\omega_{we} \leq 0.018} \quad (3.23)$$

Dairesel kesitli kolon, kiriş ve perde taşıyıcı elemanlarında;

$$(\epsilon_c^{G\ddot{O}}) = 0.0035 + 0.07 * \sqrt{\omega_{we} \leq 0.018} \quad (3.24)$$

Denklem 3.23 ve 3.24'te yer alan ω_{we} etkin sargı donatısına ait mekanik donatı oranını ifade etmekte olup, Denklem 3.25 kullanılarak elde edilir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} * \rho_{sh,min} * \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.25)$$

Bu denklemde yer alan α_{se} sargı donatısına ait etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ iki yatay doğrultudan hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının beklenen akma dayanımını, f_{ce} ise betonun beklenen basınç dayanımını ifade etmektedir.

Denklem 3.26 ve 3.27’de ise sargı donatısı etkinlik katsayısı ile hacimsel enine donatı oranı hesap yöntemi verilmektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6*b_0*h_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2*b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2*h_0}\right) \quad (3.26)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k*s} \quad (3.27)$$

Denklem 3.26 ve 3.27’de belirtilen A_{sh} ve ρ_{sh} gözönüne alınan doğrultuda enine donatı alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_0 ve h_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, α_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi donatının birim şekil değiştirme sınırı ise Denklem 3.28’de ifade edilmiştir.

$$(\varepsilon_s^{G\ddot{O}}) = 0.4 * \varepsilon_{su} \quad (3.28)$$

ε_{su} donatı çeliğinin çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamasını ifade etmektedir.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi belirlenirken taşıyıcı sisteme ait elemanlarda yığılı plastik davranış modelinin kullanılması durumunda Denklem 3.29 kullanılarak taşıyıcı sistem elemanı için izin verilen plastik dönme kapasitesi ($\theta_p^{G\ddot{O}}$) aşağıdaki denklemdeki gibi elde edilmektedir.

$$\theta_p^{G\ddot{O}} = \frac{2}{3} [(\phi_u - \phi_y) * L_p * \left(1 - 0.5 * \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 * \phi_u * d_b] \quad (3.29)$$

Denklem 3.29'da yer alan $\emptyset_u$ taşıyıcı sistem elemanının göçme öncesi toplam eğrilik değerini, d_b ise çekme kuvveti etkisindeki kesitte yer alan ortalama boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

3.5.4.2. Kontrollü Hasar Performans Hedefi için Sınır Değerler

Kontrollü hasar performans düzeyi kriterleri göçmenin önlenmesi performans düzeyinde elde edilen sınır değerler kullanılarak Denklem 3.30-32'de belirtilmişlerdir.

$$\varepsilon_c^{KH} = 0.75 * \varepsilon_c^{G\ddot{O}} \quad (3.30)$$

$$\varepsilon_s^{KH} = 0.75 * \varepsilon_s^{G\ddot{O}} \quad (3.31)$$

$$\theta_p^{KH} = 0.75 * \theta_p^{G\ddot{O}} \quad (3.32)$$

3.5.4.3. Sınırlı Hasar Performans Hedefi için Sınır Değerler

Sınırlı hasar performans düzeyi Denklem 3.33-35'te verilen sınır değerlere göre değerlendirilmektedir.

$$\varepsilon_c^{SH} = 0.0025 \quad (3.33)$$

$$\varepsilon_s^{SH} = 0.0075 \quad (3.34)$$

$$\theta_p^{SH} = 0 \quad (3.35)$$

3.5.4.4. TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi

01.01.2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren TBDY 2018 ile birlikte yeni yapılacak binaların analizinde doğrusal olmayan davranışlara ait iki farklı model bulunmaktadır. Bu davranış modelleri yığılı plastik model ve yayılı plastik davranış modeli olarak adlandırılmaktadır.

Yığılı plastik davranış modelinin kullanılması durumunda, plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan L_p , çeşitli yük kombinasyonları altında çalışan doğrultudaki kesitin derinliğinin (h) 0.5 katsayısı ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

$$L_p = 0.5 * h \quad (3.36)$$

Bununla birlikte; taşıyıcı sisteme ait elemanın sadece eksenel kuvvetlere maruz kalması durumunda plastik mafsallık boyu L_p elemanın serbest uzunluğuna eşit kabul edilecektir [6].

Taşıyıcı sisteme ait elemanlarda yığılı plastik mafsallık modelinin kullanılması durumunda;

- i. Tablo 3.10'da verilen beton ve donatı çeliği için beklenen malzeme dayanımlarının kullanılması gerekmektedir.
- ii. Beton malzemesine ait basınç birim şekil değiştirme değeri 0.0035, donatı malzemesi için birim şekil değiştirme değeri 0.01 olarak kabul edilecektir.
- iii. Elemana ait eksenel yükler plastik mafsallarda tanımlamalarında muhakkak dikkate alınmalıdır.

Taşıyıcı sisteme ait kiriş, kolon ve perde elemanların plastik mafsallarının modellemesinde bir diğer metot olarak yayılı plastik davranış modelleme teknikleri kullanılabilir. Yayılı plastik davranış modelinde, taşıyıcı sisteme ait elemanın uç bölgelerinde veya taşıyıcı sisteme ait elemanın serbest uzunluğu boyunca belirli aralıklar kullanılarak plastik davranış modeli oluşturulabilir. Bu davranış modelinde esas olarak, taşıyıcı sisteme ait elemanlarda belirli aralıklara tanımlanmış kesitler lif hücrelere ayrılarak kesit içerisinde ataması yapılmış olan beton ve donatıya ait gerilme ve şekil değiştirme (birim uzama veya birim kısalma) değerleri elde edilmektedir. Ancak; diğer bölümlerde de açıklandığı üzere doğrusal olmayan hesap modeli içerisinde taşıyıcı sistem elemanlarının liflere bölünerek gerilme-şekil değiştirme diyagramlarını elde etmek ve elemana ait moment-dönme bağıntılarını bulmak için ileri düzeyde bilgisayar teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır [18].

Tablo 3.10. Beton ve Donatı Çeliği için Beklenen Malzeme Dayanımları [6]

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)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

3.5.4.5. Doğrusal Olmayan Hesaplarda Kullanılacak Olan Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 ile birlikte dayanıma göre tasarım ve şekil değiştirme esaslı olarak yapılacak tasarımlarda yeni bir kavram olarak karşımıza çıkan etkin kesit rijitlikleri ile ilgili rijitlik katsayıları Bölüm 3.3.3, Tablo 3.8'de verilmiştir.

Ancak; taşıyıcı sistemin tasarım ve değerlendirmesinin şekil değiştirme esaslı yapılması durumunda, etkin kesit rijitlik değerleri Denklem 3.37 ve 3.38 sonucunda bulunacak değerlere göre belirlenmelidir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y} * \frac{L_s}{3} \quad (3.37)$$

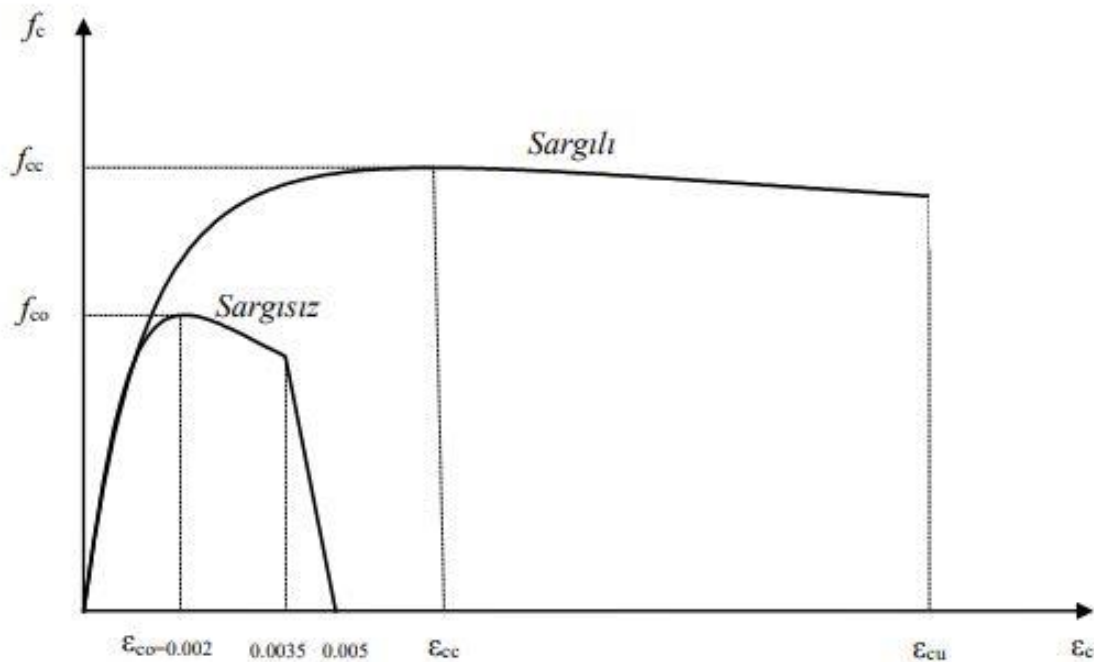
$$\theta_y = \frac{\phi_y * L_s}{3} + 0.0015\eta * \left(1 + 1.5 * \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y * d_b * f_{ye}}{8 * \sqrt{f_{ce}}} \quad (3.38)$$

Denklem 3.37 ve 3.38’de yer alan M_y plastik mafsala ait etkin akma momentini, θ_y plastik mafsala ait etkin akma dönmesini, L_s kesme açıklığı, ϕ_y plastik mafsala ait etkin akma eğriliğini, d_b boyuna çekme donatı çapını, f_{ce} betonun beklenen basınç dayanımı, f_{ye} ise donatının beklenen akma dayanımını ifade etmektedir. Bir katsayısı olarak verilen η sembolü ise kiriş ve kolonlar için 1, perdelerde ise 0.5 olarak kabul edilmektedir.

3.5.4.6. Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminde Kullanılacak Malzeme Modelleri

3.5.4.6.1. Beton Malzeme Modelleri

TBDY 2018’de beton malzeme modelini “Mander Modeli” olarak bilinen model temsil etmektedir. Beton modellerinde beton kesitinin sargılı veya sargısız olma durumu doğrusal olmayan davranışı ciddi oranda etkilemektedir. Sargılı ve sargısız modele ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.5’te gösterilmektedir [6].



Şekil 3.5. TBDY 2018’de Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri [6]

Sargılı beton modelinde basınç gerilmesini temsil eden f_c , betona ait birim şekil değiştirmesi ε_c 'nin bir fonksiyonu olarak Denklem 3.39 kullanılarak hesaplanabilir.

$$f_c = \frac{f_{cc} * x * r}{r - 1 + x^r} \quad (3.39)$$

Denkleme 3.39'da yer alan sargılı beton dayanımını belirten f_{cc} ile sargısız beton dayanımını temsil eden f_{co} arasındaki bağıntı ise Denklem 3.40 ve 3.41'de verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c * f_{co} \quad (3.40)$$

$$\lambda_c = 2.254 * \sqrt{1 + 7.94 * \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 * \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.41)$$

Denklem 3.41'de yer alan f_e etkili sargılama basıncı Denklem 3.42 ve 3.43 kullanılarak kesite ait birbirine dik iki eksen için elde edilmektedir.

$$f_{ex} = k_e * \rho_x * f_{yw} \quad (3.42)$$

$$f_{ey} = k_e * \rho_y * f_{yw} \quad (3.43)$$

Denklem 3.42'de yer alan f_{yw} kesitte bulunan enine donatının akma dayanımını, ρ_x ile ρ_y x ve y eksenleri için kesitin enine donatı hacimsel oranını, k_e ise kesite ait sargılama etkinlik katsayısını temsil etmektedir. k_e oranı Denklem 3.44 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 * h_0 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * h_0}\right) * \left(1 - \frac{A_s}{b_0 * h_0}\right)^{-1} \quad (3.44)$$

Denklem 3.44'te yer alan sembollerden, a_i kesit etrafında yer alan boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi, b_0 ve h_0 betonarme kesitin çekirdek betonu sargılayan enine donatıların aksları arasında kalan beton uzunluğunu, s enine donatıların eleman uzunluğu boyunca ne kadar mesafede bir kullanıldığını, A_s ise boyuna donatı alanını ifade etmektedir.

Denklem 3.39'da yer alan semboller ise Denklem 3.45-3.50 kullanılarak bulunmaktadır.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.45)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} * [1 + 5 * (\lambda_c - 1)] \quad (3.46)$$

$$\varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (3.47)$$

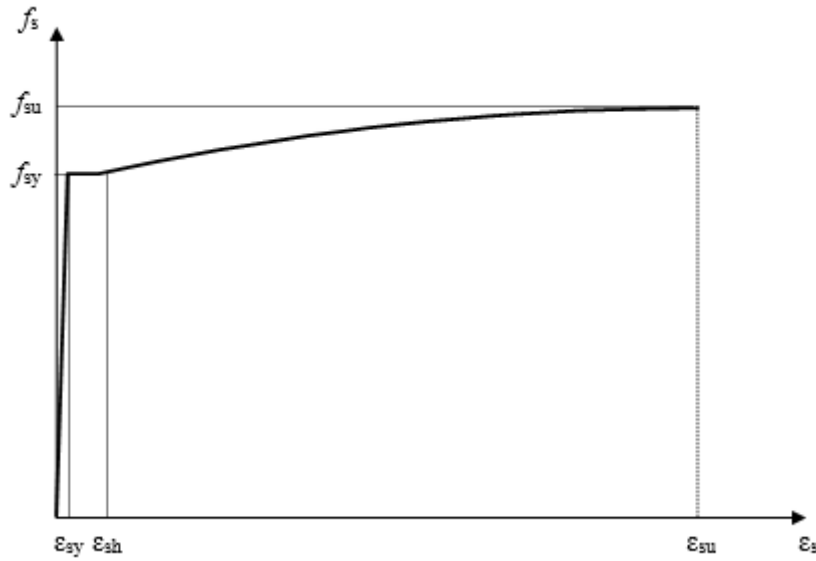
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.48)$$

$$E_c \cong 5000 * \sqrt{f_{co}} \quad (3.49)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.50)$$

3.5.4.6.2. Donatı Malzeme Modeli

Tasarım ve değerlendirme yöntemi olarak doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması durumunda; TBDY 2018'e göre Şekil 3.6'da verilen gerilme-şekil değiştirme modeli donatı malzeme modeli olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Donatı Gerilme-Şekil değiştirme Eğrisi [6]

Bununla birlikte; TBDY 2018'e göre kullanılabilecek olan donatı çeliklerine ait malzeme karakteristik özellikleri Tablo 3.11'de verilmektedir.

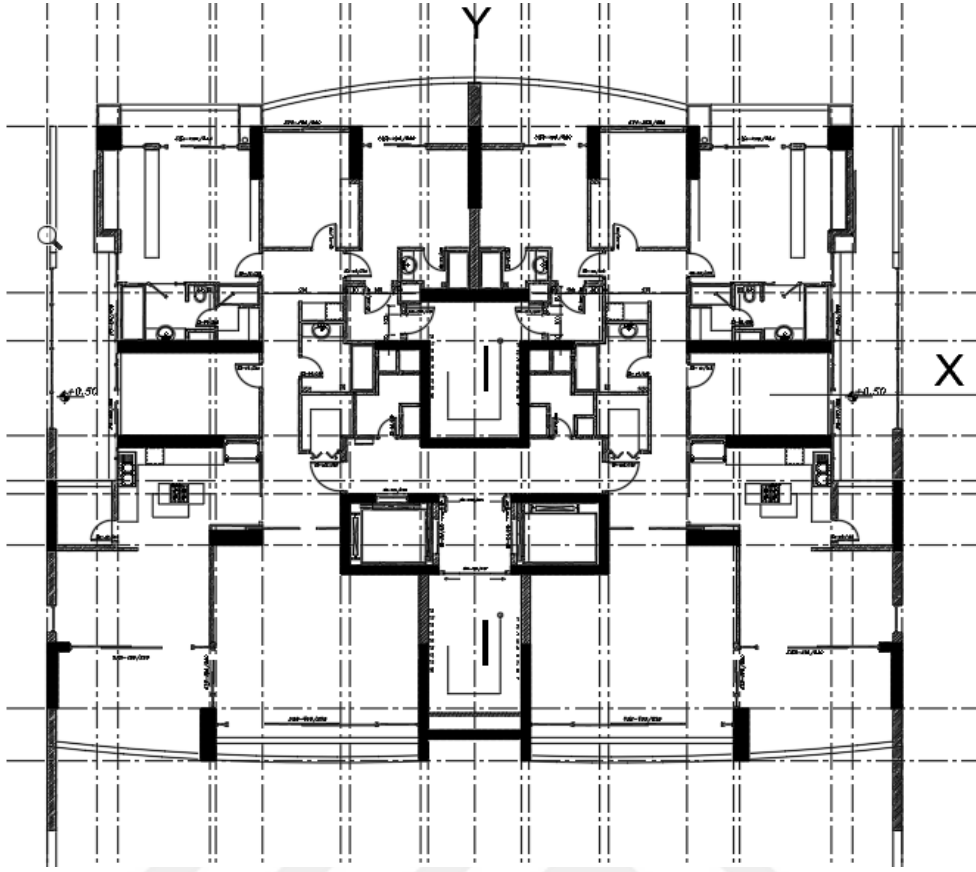
Tablo 3.11. TBDY 2018 Donatı Çeliği Karakteristik Özellikleri [6]

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

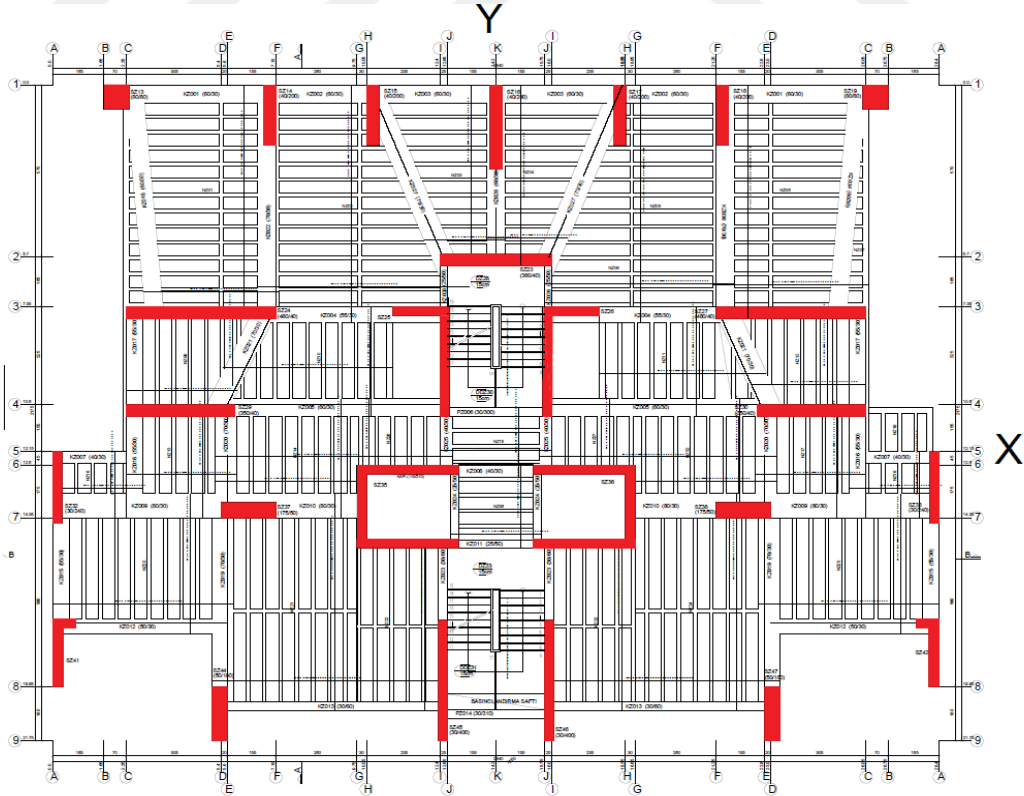
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yüksek Yapı Hakkında Genel Bilgiler

Bu tez kapsamında Mersin İli, Mezitli İlçesi'nde DBYBHY 2007 esas alınarak projelendirilmesi ve yapımı tamamlanmış olan Bodrum Kat+Zemin Kat+28 Kat+Tesisat Kat olmak üzere toplamda 31 kattan oluşan betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir yapının şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Bodrum kat yüksekliği 4 metre, diğer kat yükseklikleri de 3 metre olarak mimari ve statik projesi hazırlanmıştır. En dışta yer alan akslara göre yapının X yönündeki uzunluğu 28.40 metre, Y yönündeki uzunluğu ise 21.75 metredir. Yapının kullanım amacı ise konut olarak belirlenmiştir. Yapının temel üst kotundan en üst kat döşemesine olan mesafesi 93 metredir. Bina yüksekliği hesaplanırken teras katta yer alan mekanik hacimlerin, döşeme alanına göre alanlarının çok küçük olması nedeniyle yapı yüksekliği hesabında ihmal edilmiştir. Projeye ait mimari kat planı ve statik kalıp planı Şekil 4.1 ve 4.2'de sunulmaktadır.

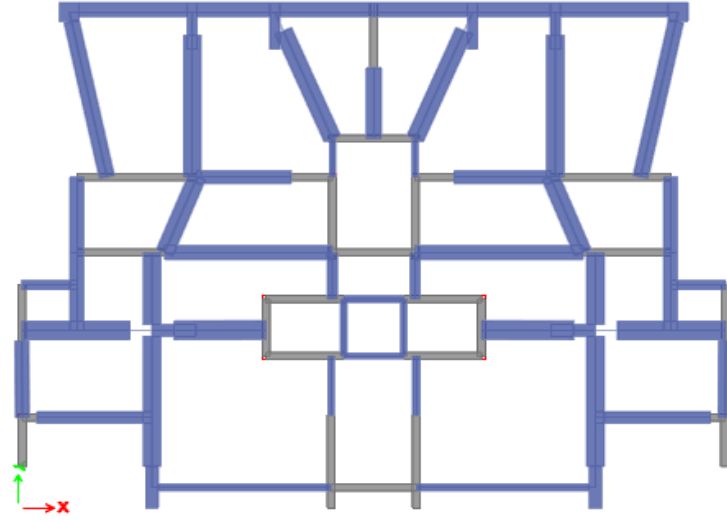


Şekil 4.1. Mimari Kat Planı

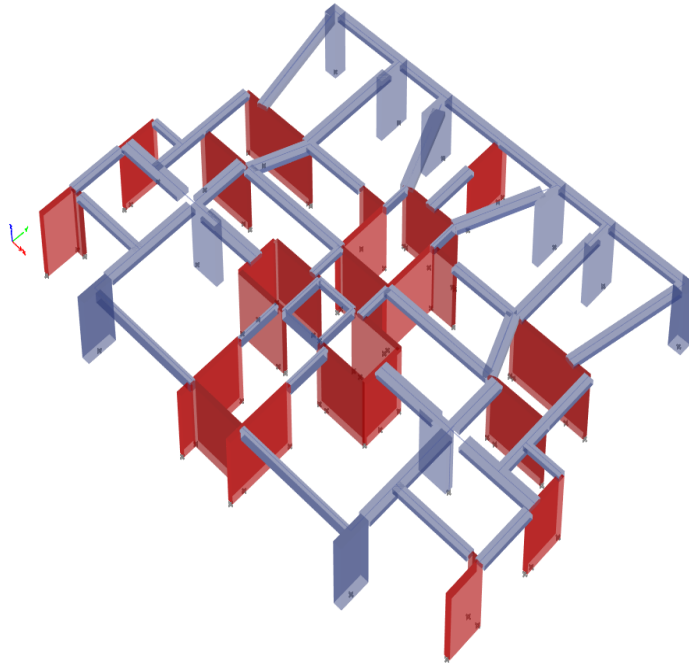


Şekil 4.2. Betonarme Kalıp Planı

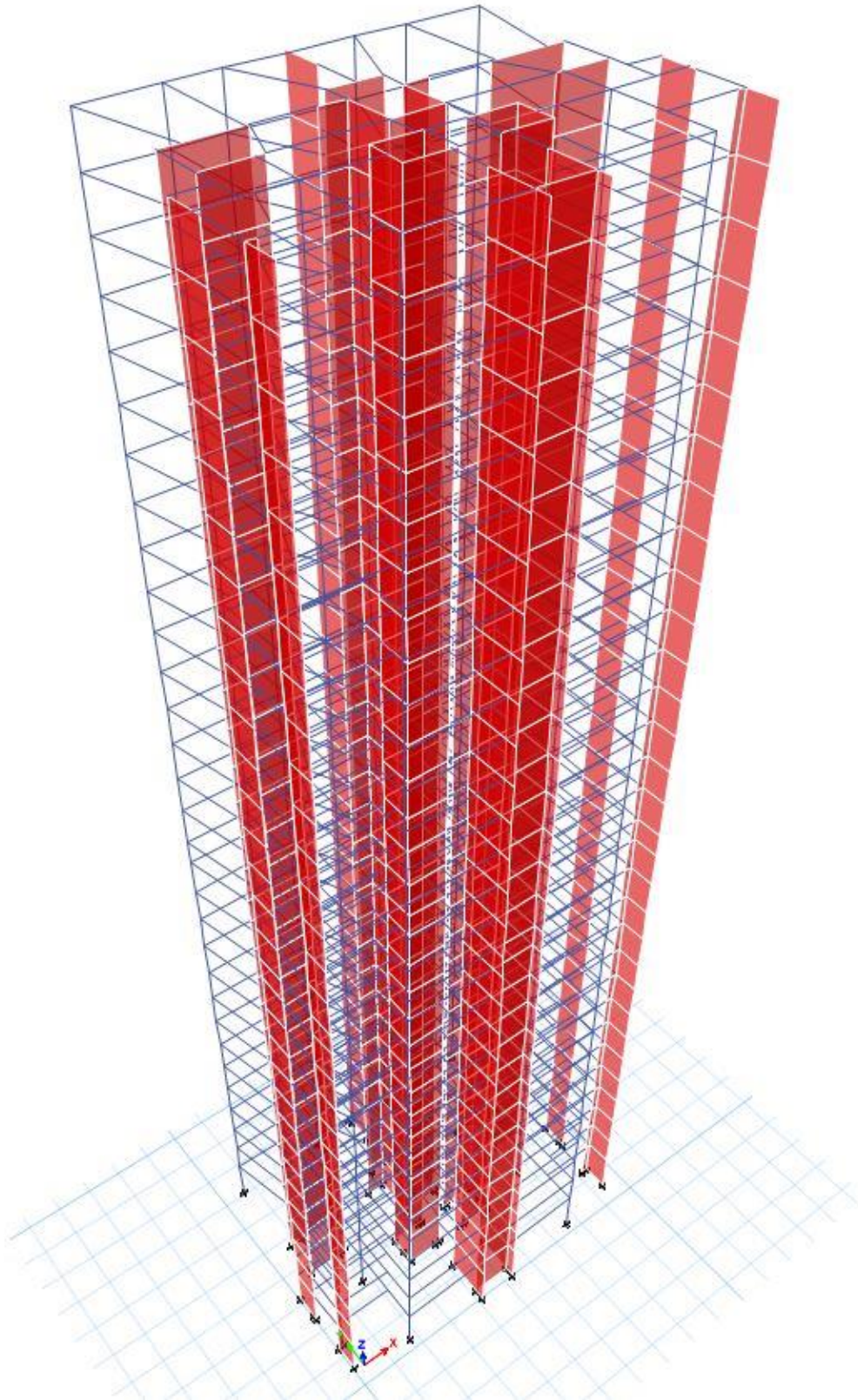
Bununla birlikte; tasarımı ve yapımı tamamlanan yapı 3 boyutlu olarak ETABS programı kullanılarak modellenmiştir. Modele ait görseller Şekil 4.3-4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.3. ETABS ile Modellenen Taşıyıcı Sisteme ait Betonarme Kalıp Planı



Şekil 4.4. ETABS ile Modellenen Taşıyıcı Sisteme ait İzometrik Görünüm



Şekil 4.5. Taşıyıcı Sisteme ait 3 Boyutlu ETABS Modeli

4.2. Yapı Taşıyıcı Sistemine Ait Genel Bilgiler

Bu teze konu yapı taşıyıcı sistemi ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde kısaca özetlenmiştir.

- i. Döşeme sistemi olarak DBYBHY 2007’de belirli sınırlama olmaması nedeniyle asmolen döşeme sistemi kullanılmıştır. TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte deprem tasarım sınıfları ve belirlenen bina yükseklik sınıflarına göre asmolen döşeme kullanımına bina yüksekliğine bağlı olacak şekilde sınırlamalar getirilmiştir. Eğer bu yapı; TBDY 2018 esaslarına göre tasarlansaydı asmolen döşeme sistemi tercih edilemezdi.
- ii. Düşey taşıyıcı sistemde; asansör kovaları ve merdivenlerin bulunduğu akslarda U ve L tipi deprem perdeleri kullanılmıştır. Yapının çekirdeği etrafında ise simetrik olarak kullanılan perdeler ve plastik dönme kapasiteleri yüksek kolonlar tercih edilmiştir.
- iii. Asmolen döşeme kullanılmasının tercih nedenlerinden birisi olan yatık kirişler yapıda sıkça kullanılmıştır. Yapı taşıyıcı sisteminin en büyük handikapı olarak kirişlerin süreksizliği ön plana çıkmaktadır. Taşıyıcı sistem incelendiğinde; yapıda genel anlamda 30 cm yüksekliğe sahip olan ancak genişliği fazla olan kirişlerin kullanıldığı saptanmaktadır. Bu kirişlerin kullanılma gerekçesi olarak ise; mimari projeye ait kat planları incelendiğinde derin kiriş kullanımının yapının mimari fonksiyonunu düşürmesi olarak öngörülmektedir.
- iv. Taşıyıcı sisteme ait temel sisteminde 190 cm yüksekliğinde radye temel kullanıldığı saptanmıştır. Ancak; tezin konusunu zaman tanım alanında şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme oluşturduğundan 3 boyutlu analizde radye temel kabuk eleman olarak sisteme tanıtılmamış olup, ankastre mesnet olarak düşey taşıyıcı elemanların alt düğüm noktalarına mesnetler atanmıştır.

4.3. Yapının İnşa Edildiği İmar Parseline ait Lokasyon Bilgileri

DBYBHY 2007’deki deprem bölgesi sınıfına göre belirlenen elastik tasarım ivme spektrumu, TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile son bulmuştur. TBDY 2018’in yürürlüğe girmesi ile birlikte <https://tdth.afad.gov.tr> internet adresinden koordinata dayalı olarak farklı deprem düzeyine ait elastik ivme spektrum eğrileri elde edilmektedir. Yukarıda belirtilen Afet ve Acil Durum Başkanlığı’na ait Türkiye Deprem Tehlike Haritaları’ndan elde edilen tepki spektrumları TBDY 2018’de [6] tanımlanan R (taşıyıcı sistem davranış katsayısı) ve D (dayanım fazlalığı katsayısı) uygulanarak elastik ivme spektrumları deprem etkilerinin yer aldığı kombinasyonlar

kullanılarak taşıyıcı sisteme etkitilmektedir. Bu nedenle yapının inşa edileceği koordinat bilgileri önem arz etmektedir.

Teze konu olan yapının koordinat bilgileri; enlemde 36.723045°, boylamda 34.497085° olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Yapının İnşa Edildiği Parselin Uydu Görüntüsü

4.4. Modellemede Yapılan Kabuller

TBDY 2018'in yürürlüğe girmesiyle birlikte DBYBHY 2007'de sadece mevcut binaların değerlendirilmesi kullanılan şekil değiştirme esaslı değerlendirme kriterleri, mevcut binaların yanı sıra yeni yapılacak ve BYS'si 1 olan tüm yapılar için zorunlu hale gelmiştir. Yüksek yapılara ek olarak, DTS'si 1a ve 2a olan yapıların da DD-1 ve DD-3 etkisi altında şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Dayanıma göre tasarım ve değerlendirme esaslarından farklı olarak şekil değiştirme esaslı tasarım ve değerlendirme esaslarında beton ve donatının doğrusal olmayan modellerinin kullanılması, sonuçların daha doğru ve gerçeğe yakın olarak elde edilebilmesi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemlerin önerilmesi nedeniyle analiz süreleri ciddi anlamda artmıştır. Bu gerekçe doğrultusunda; tezin konusunu oluşturan hususlara yoğunlaşabilmek adına aşağıda yer alan konularda çeşitli kabuller yapılmıştır.

- i. Yüksek yapıların tasarımı için en az deprem kadar önemli diğer bir yatay yükleme durumu rüzgar yükleridir. Bu çalışma kapsamında; zaman tanım alanında deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi önemli bir yere sahip olduğundan, rüzgar yükleri ile herhangi bir analiz ve hesaplama yapılmamıştır.

- ii. TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte perdelerin boy/en oranı 6 olmuştur. DBYBHY 2007'nin yürürlükte olduğu dönemde boy/en oranının 7 olmasına rağmen 3 boyutlu modellemelerde TBDY 2018 kriterlerini sağlayan perde elemanlar kabuk model esas alınarak modellenmiştir.
- iii. Taşıyıcı sisteme ait analiz süresinin azaltılması için radye temele ait kabuk elemanlar modellenmeyerek, bodrum katta yer alan düşey taşıyıcı elemanların alt mesnetlerine ankastre mesnetler tanımlanmıştır.
- iv. Analiz sürelerinin çok uzun olması nedeniyle bu süreleri kısaltmak için döşemeler modelleme ve analiz aşamalarına dahil edilmemiştir. Ancak; döşemelere ait olan sabit ve hareketli yükler bağlı olduğu kiriş elemanlarına TS 500 esaslarına göre yayılı yük olarak etkilmiştir. Bununla birlikte; döşemelerin varlığı nedeniyle oluşan rijit diyaframlar her kat düzeyinde modele atanmıştır.
- v. Bodrum kat düzeyinde bodrum perdelerinin yapıyı dört taraftan çevrelemesi nedeniyle taşıyıcı sistemde rijit bodrum olduğu kabulü TBDY 2018 esas alınarak yapılmıştır.
- vi. TBDY 2018'de yüksek yapıların tasarımı ve değerlendirmesi kriterlerinin ilk adımını oluşturan sünme hesabı tasarım ve analiz aşamalarında dikkate alınmamıştır.
- vii. Performans analizinin başlangıç adımını oluşturan mafsalları tanımlamalarında; çubuk eleman olarak tanımlanan kirişlerde elemanın her iki ucunda dönme kapasitesini belirlemek amacıyla yığılı plastik mafsallar tanımlanırken, perde ve kolonlarda ise her kat düzeyinde değişen düşey yük etkisi nedeniyle ETABS tarafından otomatik olarak atanan ve yayılı plastik davranış modelini temsil eden kesit hücresi (lif) tanımlamasından yararlanılmıştır.
- viii. Döşeme tipinin asmolene döşeme olarak tercih edilmesi nedeniyle kat planı üzerinde çapraz veya açılı olarak nitelendirilebilecek yatay kirişler kullanılmıştır. Düğüm noktaları vasıtasıyla düşey ve yatay yüklerin aktarımını sağlayan kirişlerin; kolon ve perdelerle uygun olarak atamak ve düzenli kiriş çerçevelere sahip olmayan taşıyıcı sistemdeki yük aktarımını doğru modellemek adına rijit bağlantı elemanları ile gerekli birleşimler sağlanmıştır.
- ix. TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte X ve Y yönünde yer alan deprem etkilerinin yanında düşey deprem etkisini de hesaplara dahil etmek adına Z yönünde yer alan düşey deprem etkisi de yük kombinasyonlarına ve analizlere dahil edilmektedir. Bu tezin amacını, doğrusal olmayan davranışın zaman tanım alanında hesabının irdelenmesi oluşturduğundan düşey deprem etkisi analizlere dahil edilmemiştir.

4.5. Yapının Deprem Tasarım Sınıfına Göre Performans Hedeflerinin ve Tasarım Yaklaşımlarının Belirlenmesi

Bu teze konu olan yapıya ait deprem tasarım sınıfının, performans hedefinin ve tasarımda kullanılacak olan yaklaşımın belirlenebilmesi için öncelikli olarak AFAD tarafından yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından yararlanılarak DD-2 için S_s ve S_1 değerleri hesaplanmıştır. Yapının bulunduğu parselin koordinat bilgilerine dayanarak;

$$S_s = 0.303$$

$$S_1 = 0.087$$

olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018’de yer alan ve aşağıda yer alan Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 kullanılarak deprem tasarım sınıfının belirlenmesi için gerekli olan S_{DS} ve S_{D1} değerlerinin hesaplanmasında öncelikli olarak F_s ve F_1 katsayıları belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 4.2. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tasarım spektral ivme katsayıları Denklem 4.1 ve 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S_{DS} = S_S * F_S \quad (4.1a)$$

$$S_{D1} = S_1 * F_1 \quad (4.2a)$$

$$S_{DS} = 0.242 \quad (4.1b)$$

$$S_{D1} = 0.0696 \quad (4.2b)$$

TBDY 2018 hesap adımlarına göre yapının kullanım amacının konut olduğu göz önüne alınarak BKS (bina kullanım sınıfı) 3 olarak belirlenmiştir. BKS ve S_{DS} değerlerinden yararlanılarak deprem tasarım sınıfı, bina yükseklik sınıfı, performans hedefleri ve tasarım yaklaşımı Tablo 4.3-4.6 kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayılarının Belirlenmesi [6]

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (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	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, binatörü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 4.4. Deprem Tasarım Sınıflarının Belirlenmesi [6]

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

Tablo 4.5. Bina Yükseklik Sınıflarının Belirlenmesi [6]

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	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 4.6. BYS=1 Olan Yapıların Performans Hedeflerinin ve Tasarım Yaklaşımlarının Belirlenmesi [6]

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	--	--
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

Tablo 4.3-4.6 kullanılarak yapılan değerlendirmelerde; teze konu olan yapının BYS=2 olduğu belirlenmiştir. Ancak; tezin konusunu oluşturan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak yüksek yapıların şekil değiştirmeye göre tasarımı konusunu irdelemek adına; teze konu olan yapı BYS=1 olarak göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle; tasarım aşamaları TBDY 2018’de belirtildiği üzere 3 (üç) kısma ayrılarak taşıyıcı sistemin analizi yapılmıştır.

Özetle; Tasarım Aşaması I’de, DD-2’de dayanıma göre tasarım ilkeleri göz önüne alınarak yapının kontrollü hasar kriterlerini sağlayıp sağlamadığı irdelenmiştir. Tasarım Aşaması II’de; DD-4’de dayanıma göre tasarım ilkeleri göz önüne alınarak taşıyıcı sistemin kesintisiz kullanım performans düzeyinde olup olmadığı tahkik edilmiştir. Üçüncü ve son tasarım aşaması olan Tasarım Aşaması III’de ise; DD-1’de şekil değiştirmeye dayalı tasarım esasları göz önünde

bulundurularak elastik tasarım spektral ivmelerine uygun olarak seçilen 7 (yedi) farklı depreme ait ivme-zaman kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analiz yöntemleri ile taşıyıcı sistemin göçme öncesi performans hedefini karşılayıp karşılamadığı irdelenmiştir.

4.6. Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerin Özel Kurallara Göre Modellenmesi

Bu bölümde; TBDY 2018 ile birlikte yürürlüğü giren “Deprem Etkisi Altında Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar” başlıklı bölümde yer alan kurallar ve tasarım aşamalarına göre teze konu olan yapının tasarımı ve analizleri adım adım yapılmıştır. Yapılan analizler ve değerlendirmeler neticesinde taşıyıcı sistemin performans hedeflerini karşılayıp karşılamadığı konusunda değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.6.1. Taşıyıcı Sisteme Ait Malzemelerin Özellikleri

Yapıya ait statik proje ve raporları incelendiğinde, DBYBHY 2007 esasları göz önüne alınarak tasarımı yapılan yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri;

- Beton karakteristik dayanımı $f_{ck} = 40 \text{ Mpa}$
- Beton elastisite modülü $E_c = 35220 \text{ Mpa}$
- Beton karakteristik çekme dayanımı $f_{ctk} = 0.35 * \sqrt{40} = 2.2 \text{ Mpa}$
- Beton malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1.5$
- Beton tasarım basınç dayanımı $f_{cd} = \frac{40}{1.5} = 26.67 \text{ Mpa}$
- Beton tasarım çekme dayanımı $f_{ctd} = \frac{2.2}{1.5} = 1.46 \text{ Mpa}$
- S420 donatı çeliği karakteristik akma dayanımı $f_{yk} = 420 \text{ Mpa}$
- S420 donatı çeliğin çekme dayanımı $f_{su} = 525 \text{ Mpa}$
- Donatının malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1.15$
- Donatının tasarım dayanımı $f_{yd} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ Mpa}$

olarak belirlenmiştir.

4.6.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler

Tasarıma esas yükler aşağıda belirtilmektedir. Hareketli yükler belirlenirken “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498)” göz önünde bulundurulmuştur.

Betonarme elemanlara ait özgül ağırlık: 25 kN/m^3

Döşemelere esas sabit ve hareketli yükler;

Ölü yükler: 5.5 kN/m^2

Konut Kullanımı Hareketli Yükler: 2 kN /m^2

Ortak Alan Hareketli Yükler: 3.5 kN/m^2

Balkon ve Konsollara ait Hareketli Yükler: 5 kN/m^2

Dış Duvar Yükü (20 santimetre genişliğe sahip): 8 kN/m

İç Duvar Yükü (10 santimetre genişliğe sahip): 4 kN/m

Taşıyıcı sisteme ait yapılan analizlerde özellikle Tasarım Aşaması III'te analiz sürelerinin çok uzun ve dosya boyutlarının çok büyük olması nedeniyle sonlu elemanlar metoduna göre oluşturan çözüm yöntemlerinde yer alan matrislere ait bilinmeyen sayısını azaltmak, analiz süresini kısaltmak ve dosya boyutunu küçültmek amacıyla döşemeler taşıyıcı sistem analizlerine dahil edilmemiştir. Bu nedenle; TS500 kriterlerine ve döşeme çalışma yönlerine göre ölü ve hareketli yükler kirişlere yayılı yük olarak her katta uygulanmıştır. Ayrıca; döşemelerin yapıdaki varlığı nedeniyle kat düzleminde oluşan rijit diyafram etkisi de tüm katlara tanımlanmıştır.

4.6.3. Tasarım Aşaması I

Yüksek bina taşıyıcı sistem modellemesinde ilk adımı Tasarım Aşaması I oluşturmaktadır. TBDY 2018'e göre bu adımda yer alan deprem etkileri DD-2'ye ait spektral ivmelerin kullanılması ile elde edilmektedir. Ön tasarım için DD-2 altında dayanıma göre tasarım esasları göz önüne alınarak modelleme ve analizler yapılmıştır. Tasarım Aşaması I'de kullanılması gereken yük kombinasyonları denklem 4.3-4.6'da yer almaktadır.

$$G + Q \pm E_D^{(X)} \pm 0.3E_D^{(Y)} \pm 0.3E_D^{(Z)} \quad (4.3)$$

$$G + Q \pm 0.3E_D^{(X)} \pm E_D^{(Y)} \pm 0.3E_D^{(Z)} \quad (4.4)$$

$$0.9G + Q \pm E_D^{(X)} \pm 0.3E_D^{(Y)} \pm 0.3E_D^{(Z)} \quad (4.5)$$

$$0.9G + Q \pm 0.3E_D^{(X)} \pm E_D^{(Y)} \pm 0.3E_D^{(Z)} \quad (4.6)$$

4.6.3.1. Deprem Etkilerinin Belirlenmesi

Tasarım Aşaması I'de göz önüne alınması gereken deprem düzeyi TBDY 2018'e göre DD-2'dir. Bununla birlikte; teze konu olan yapının jeolojik etüt raporuna göre yapının bulunduğu zemin sınıfının ZA olduğu belirlenmiştir. Yapının bulunduğu koordinat bilgileri ise; enlemde 36.723045°, boylam olarak ise 34.497085° olarak tespit edilmiştir. Tüm bu parametreler göz önüne alınarak;

$$S_{DS} = 0.242$$

$$S_{D1} = 0.0696$$

değerleri hesaplanmıştır.

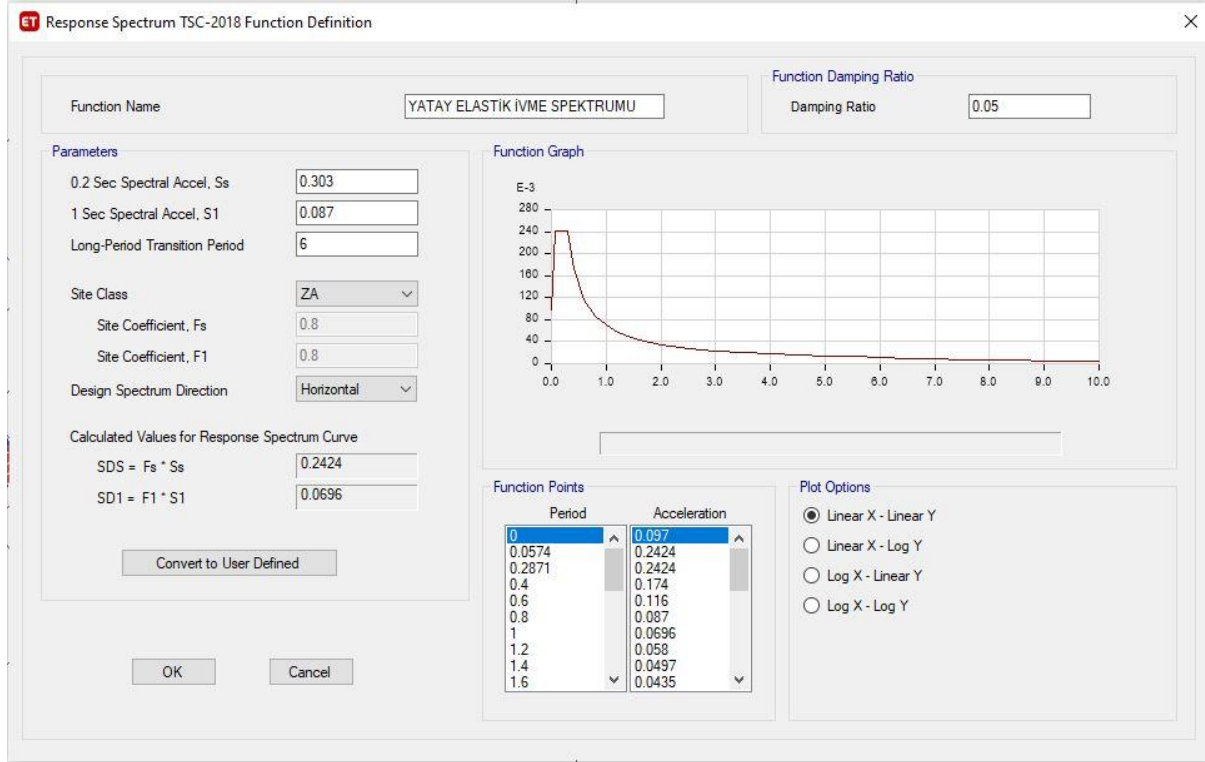
Taşıyıcı sisteme ait köşe periyotları ise Denklem 3.7 ve 3.8 kullanılarak;

$$T_A = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 * \frac{0.0696}{0.242} = 0.058$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.0696}{0.242} = 0.288$$

olarak hesaplanmıştır.

Denklem 3.3-3.6 kullanılarak ve ETABS programından yararlanılarak, DD-2'ye ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 4.7'de gösterildiği şekliyle elde edilerek yatay deprem etkisi sisteme uygulanmak üzere tanımlanmıştır.



Şekil 4.7. DD-2'ye Ait Yatay Elastik İvme Spektrumunun Tanımlanması

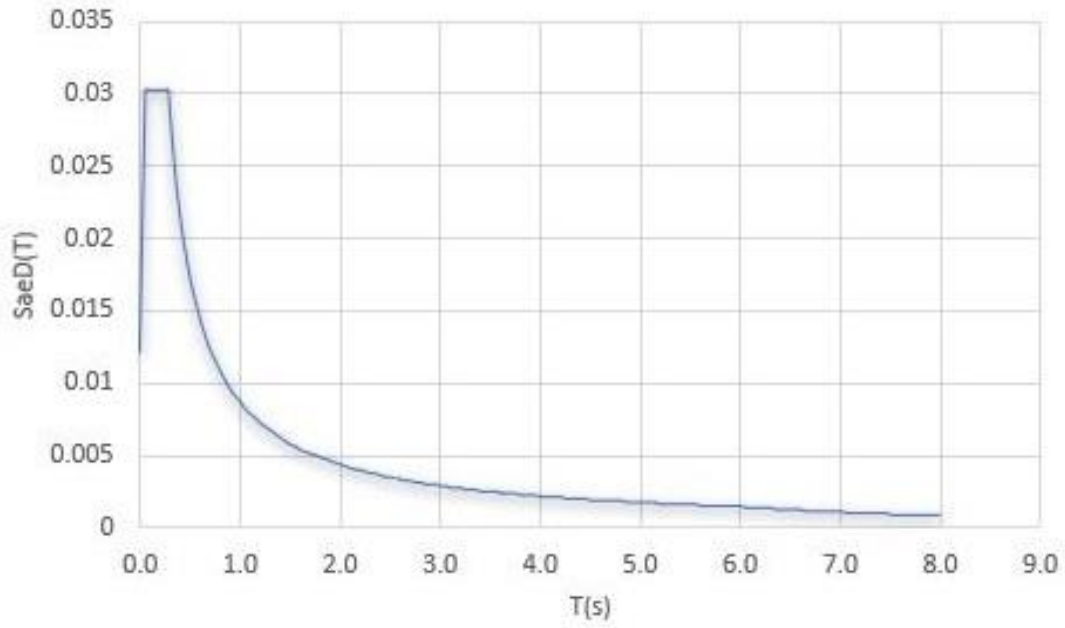
Yatay elastik ivme spektrumları Tablo 3.7'de belirtilen kriterlere göre deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ ve dayanım fazlalığı katsayısı D kullanılarak azaltılmış tasarım ivme spektrumlarına dönüştürülmektedir. Yapılan modal analiz neticesinde, 1. (birinci) moda karşılık gelen yapının doğal titreşim periyodu (T) 4.81 saniye değerinin köşe periyodu değeri olan T_B 'den daha büyük olması nedeniyle azaltılmış yatay elastik ivme spektrumu sadece $R_a(T)$ değerine bağlı olacak şekilde azaltılmıştır. Ek olarak; 1. moda karşılık gelen yapıya ait doğal titreşim periyodunun hareketinin burulma odaklı olduğu belirlenmiştir. Tablo 3.7'de yer alan yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemlerinden “Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar” tanımına uygun bir taşıyıcı sistem olması nedeniyle;

$$R = 7$$

$$D = 2.5$$

olarak belirlenmiştir.

Deprem yükü azaltma katsayısı uygulanarak elde edilen azaltılmış yatay elastik ivme spektrumu Şekil 4.8'de görülmektedir. Şekil 4.8'de yer alan azaltılmış yatay elastik ivme spektrumuna göre 1. moda karşılık gelen 4.81 saniye değerinde, 0.002g (yer çekimi ivmesi) büyüklüğünde spektral ivme değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Azaltılmış Yatay Elastik İvme Spektrumu

4.6.3.2. Etkin Kesit Rijitliklerinin Tanımlanması

TBDY 2018'e göre Tasarım Aşaması I için analizler gerçekleştirilirken dayanıma göre tasarım esasları kapsamında Tablo 4.7'de belirtilen etkin kesit rijitliklerinin taşıyıcı sistem elemanlarına atanması gerekmektedir. Analiz aşaması öncesinde Tablo 4.7'ye göre elemanlara ait etkin kesit rijitlikleri tanımlanmıştır.

Tablo 4.7. Betonarme Taşıyıcı Elemanlara ait Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

4.6.3.3. Kat Kütlelerinin Belirlenmesi

TBDY 2018'e göre analiz ve tasarım aşaması öncesinde modellenen taşıyıcı sisteme ait Bodrum, Zemin, Tesisat Katı ve 28 kattan oluşan ve konut amaçlı olarak kullanılan yapının her bir katına ait ağırlık bilgileri Tablo 4.9'da gösterilmektedir. Bununla birlikte; konut amaçlı olarak kullanılan yapıda hareketli yük katılım oranı Tablo 4.8'e göre 0.30 olarak belirlenmiştir. Denklem 4.7'de ise; hesapta göz önüne alınması gereken kat ağırlığının nasıl hesaplanması gerektiği belirtilmektedir.

$$w_j^{(S)} = w_{Gj}^{(S)} + n * w_{Qj}^{(S)} \quad (4.7)$$

$w_{Gj}^{(S)}$ ve $w_{Qj}^{(S)}$ ifadeleri, sonlu eleman düğüm noktası olan j'ye etkiyen bileşke sabit yük ve hareketli yükü temsil etmektedir.

Tablo 4.9'da görüleceği üzere her kat seviyesinde hesaplanan bileşke sabit yük ve bileşke hareketli yük değerlerinin hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılmış değeri taşıyıcı

sisteme ait kütle değerini oluşturmaktadır. Yapılan hesaplamalar neticesinde; deprem hesabına esas kütle 202174.55 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.8. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Tablo 4.9. Kat Kütleleri ve Ağırlıkları

Kat	Kat Ağırlığı (kN)	Kat Kütlesi (ton)
Zemin kat	6957.22	709.20
1. Kat	6571.53	669.88
2. Kat	6571.53	669.88
3. Kat	6571.53	669.88
4. Kat	6571.53	669.88
5. Kat	6571.53	669.88
6. Kat	6571.53	669.88
7. Kat	6571.53	669.88
8. Kat	6571.53	669.88
9. Kat	6571.53	669.88
10. Kat	6571.53	669.88
11. Kat	6571.53	669.88
12. Kat	6571.53	669.88
Tesisat Katı	6185.83	630.56
13. Kat	6185.83	630.56
14. Kat	6571.53	669.88
15. Kat	6571.53	669.88
16. Kat	6571.53	669.88
17. Kat	6571.53	669.88
18. Kat	6571.53	669.88
19. Kat	6571.53	669.88
20. Kat	6571.53	669.88
21. Kat	6571.53	669.88
22. Kat	6571.53	669.88
23. Kat	6571.53	669.88
24. Kat	6571.53	669.88
25. Kat	6571.53	669.88
26. Kat	6571.53	669.88
27. Kat	6571.53	669.88
28. Kat	6571.53	669.88
Teras Kat	5414.44	551.93
TOPLAM	202174.55	20609.03

4.6.3.4. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçimi

TBDY 2018'e göre Modal Hesap Yöntemleri'nden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi, Dayanıma Göre Tasarım Esasları kapsamındaki tüm yapılar için kullanılabilir. Bu nedenle; bu teze konu olan yüksek yapının birinci tasarım aşaması için yapılacak olan deprem hesabında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

Modal hesap yöntemleri tercih edildiğinde; X ve Y yönünde yer alan deprem doğrultularına ait deprem kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının yapı toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması kuralı uygulanması zorunluluk teşkil etmektedir. Tablo 4.10'dan da görüleceği üzere X ve Y yönünde ilk 30 mod için $\sum U_x$ ve $\sum U_y$ değerleri %98 olarak elde edilmiştir. Ek olarak; her bir moda ait modal etkin kütleler ve bu kütlelere ait toplam değerler yine Tablo 4.10'da belirtilmektedir. Bununla birlikte; yapı kütlesi Denklem 4.8'e göre hesaplanmıştır.

$$m_j^{(S)} = \frac{w_j^{(S)}}{g} = \frac{202174.55}{9.81} = 20609.02 \text{ ton} \quad (4.8)$$

Tablo 4.10. Modal Analiz Etkin Kütle Değerleri

Mod Numarası	Periyot (saniye)	U_x	U_y	R_z	$\sum U_x$	$\sum U_y$	$\sum R_z$
1	4.81	0.31197	0.00402	0.417	0.31197	0.00402	0.4172
2	4.17	0.05266	0.64344	0.016	0.36463	0.64746	0.4331
3	3.95	0.32997	0.06662	0.306	0.69460	0.71408	0.7385
4	1.41	0.03525	0.00056	0.078	0.72985	0.71463	0.8163
5	1.16	0.00232	0.13331	0.000	0.73217	0.84794	0.8163
6	1.03	0.11040	0.00174	0.039	0.84257	0.84968	0.8554
7	0.69	0.01181	0.00013	0.037	0.85438	0.84981	0.8928
8	0.53	0.00028	0.05133	0.000	0.85466	0.90113	0.8928
9	0.45	0.04258	0.00013	0.014	0.89725	0.90126	0.9065
10	0.41	0.00783	0.00004	0.021	0.90508	0.90131	0.9273
11	0.32	0.00005	0.02963	0.000	0.90512	0.93094	0.9273
12	0.27	0.00001	0.00000	0.019	0.90514	0.93094	0.9463
13	0.26	0.02858	0.00003	0.001	0.93371	0.93097	0.9471
14	0.21	0.00001	0.01789	0.000	0.93373	0.94885	0.9471
15	0.19	0.00111	0.00001	0.012	0.93484	0.94886	0.9586
16	0.17	0.01621	0.00000	0.002	0.95105	0.94887	0.9606
17	0.15	0.00001	0.01291	0.000	0.95106	0.96177	0.9606
18	0.15	0.00074	0.00002	0.008	0.95179	0.96180	0.9681
19	0.12	0.01141	0.00000	0.001	0.96320	0.96180	0.9695
20	0.11	0.00065	0.00000	0.006	0.96385	0.96180	0.9756
21	0.11	0.00000	0.00848	0.000	0.96385	0.97028	0.9756
22	0.09	0.00756	0.00000	0.001	0.97141	0.97028	0.9763
23	0.09	0.00034	0.00000	0.004	0.97175	0.97028	0.9805
24	0.09	0.00000	0.00695	0.000	0.97175	0.97723	0.9805
25	0.08	0.00035	0.00000	0.004	0.97210	0.97723	0.9842
26	0.08	0.00614	0.00000	0.001	0.97824	0.97723	0.9848
27	0.07	0.00000	0.00461	0.000	0.97824	0.98183	0.9848
28	0.07	0.00025	0.00000	0.002	0.97850	0.98183	0.9872
29	0.06	0.00408	0.00000	0.000	0.98258	0.98183	0.9876
30	0.06	0.00000	0.00414	0.000	0.98258	0.98597	0.9876

4.6.3.5. Deprem Hesabının Kontrolü

TBDY 2018'e göre Yüksek Yapılar için yapılan birinci tasarım aşamasında, DD-2'ye göre belirlenen azaltılmış yatay elastik ivme spektrumu Denklem 4.9a ve 4.9b'de belirtildiği üzere minimum eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmelidir. Bu nedenle; aşağıda belirtilen işlem adımları gerçekleştirilmiştir.

$$V_{t,min} = 0.04 * \alpha_H * m_t * S_{DS} * g \quad (4.9a)$$

$$V_{t,min} = 0.04 * 1 * (20609.02) * 0.242 * 9.81 = 1957 \text{ kN} \quad (4.9b)$$

Azaltılmış yatay elastik ivme spektrumuna göre, X ve Y yönünde ETABS analiz programı kullanılarak elde edilen taban kesme kuvvetleri ise;

$$V_{tx}=498.1 \text{ kN}$$

.

$$V_{ty}=542.5 \text{ kN}$$

şeklinde elde edilmiştir.

Azaltılmış yatay elastik ivme spektrumuna göre elde edilen taban kesme kuvvetleri, Denklem 4.9b'ye göre elde edilen minimum eşdeğer taban kesme kuvveti değerinin altında kalmıştır. Bu nedenle; Denklem 4.10a'ya göre her iki deprem doğrultusu için eşdeğer taban kesme kuvveti oranı hesaplanarak, tepki spektrumundan elde edilen değerler bu oran kadar arttırılmıştır.

$$\beta_{tE}^X = \frac{\gamma_E * V_{tE}^X}{V_{tx}^X} \geq 1 \quad (4.10a)$$

$$\beta_{tE}^X = \frac{1 * 1957}{498.1} = 3.92 \geq 1 \quad (4.10b)$$

$$\beta_{tE}^Y = \frac{1 * 1957}{542.5} = 3.6 \geq 1 \quad (4.10c)$$

Deprem yükleri, sabit yükler ve hareketli yükler TBDY 2018'de verilen kombinasyonlara göre birleştirilmiş ve elverişsiz yükleme durumlarına göre kontroller ve tasarımlar yapılmıştır.

4.6.3.6. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte göreli kat ötelemesiyle ilgili gevrek malzemeden yapılmış olan boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlar ile çerçeve elemanları arasında esnek derz olup olmamasına göre 2 ayrı sınır değere göre kontrol yapılmaktadır . Bu sınır değerler,

Duvarların esnek derz ile bağlı olmadığı durumda;

$$\lambda * \frac{\delta_{i,max}^X}{h_i} \leq 0.008 * \kappa \quad (4.11)$$

Duvarların esnek derz ile taşıyıcı sistemden bağımsız olması durumunda;

$$\lambda * \frac{\delta_{i,max}^X}{h_i} \leq 0.016 * \kappa \quad (4.12)$$

şeklindedir.

Denklem 4.11 ve Denklem 4.12'de yer alan λ katsayısı; yapının birinci moduna ait doğal titreşim periyodu esas alınarak DD-3 deprem düzeyinde elde edilen elastik tasarım spektral ivmenin, DD-2 deprem düzeyinde elde edilen elastik tasarım spektral ivmesine olan oranını temsil etmektedir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan elde edilen DD-2 ve DD-3 deprem düzeylerine ait yatay elastik tasarım spektrumları incelendiğinde elde edilen yatay elastik tasarım spektral ivmesi ($S_{ae}(T)$) oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{0.006}{0.015} = 0.4$$

Bununla birlikte; etkin göreli kat ötelemesi değeri δ_i^X Denklem 4.13 kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 4.11 ve Denklem 4.12'de yer alan h_i kat yüksekliğini, Δ_i^X ise herhangi bir kolon veya perde için azaltılmış göreli kat ötelemesi değerini ifade etmektedir. κ değerinin ise betonarme binalarda 1.0 alınması gerektiği TBDY 2018'de belirtilmektedir.

$$\delta_i^X = \frac{R}{I} * \Delta_i^X \quad (4.13)$$

Yukarıda belirtilen denklemlere göre X ve Y yönünde elde edilen görelî kat ötelemeleri Tablo 4.11 ve 4.12’de görülmektedir.

Tablo 4.11. X Yönü Görelî Kat Ötelemeleri

Kat	Kat Yüksekliği h_i	Yatay Yer Değiştirme u_i	Yer Değiştirme Farkı $\Delta_{i,maks}$	Etkin Görelî Kat Ötelemesi $\delta_{i,max}$	Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi $\lambda * \frac{\delta_{i,max}^X}{h_i}$	Sınır Değer
Teras kat	3	0.121725	0.003651	0.029208	0.009736	0.016
28	3	0.118074	0.003716	0.029728	0.009909	0.016
27	3	0.114358	0.003792	0.030336	0.010112	0.016
26	3	0.110566	0.003881	0.031048	0.010349	0.016
25	3	0.106685	0.003977	0.031816	0.010605	0.016
24	3	0.102708	0.004078	0.032624	0.010874	0.016
23	3	0.09863	0.004181	0.033448	0.011149	0.016
22	3	0.094449	0.004283	0.034264	0.011421	0.016
21	3	0.090166	0.00438	0.03504	0.01168	0.016
20	3	0.085786	0.004471	0.035768	0.011922	0.016
19	3	0.081315	0.004555	0.03644	0.012146	0.016
18	3	0.07676	0.004627	0.037016	0.012338	0.016
17	3	0.072133	0.004687	0.037496	0.012498	0.016
16	3	0.067446	0.004732	0.037856	0.012618	0.016
15	3	0.062714	0.004759	0.038072	0.012690	0.016
14	3	0.057955	0.004765	0.03812	0.012706	0.016
13	2	0.05319	0.003167	0.025336	0.012668	0.016
Tesisat Katı	3	0.050023	0.00476	0.03808	0.012693	0.016
12	3	0.045263	0.004744	0.037952	0.012650	0.016
11	3	0.040519	0.004697	0.037576	0.012525	0.016
10	3	0.035822	0.004617	0.036936	0.012312	0.016
9	3	0.031205	0.004502	0.036016	0.012005	0.016
8	3	0.026703	0.004347	0.034776	0.011592	0.016
7	3	0.022356	0.004148	0.033184	0.011061	0.016
6	3	0.018208	0.0039	0.0312	0.0104	0.016
5	3	0.014308	0.003595	0.02876	0.009586	0.016
4	3	0.010713	0.003225	0.0258	0.0086	0.016
3	3	0.007488	0.002778	0.022224	0.007408	0.016
2	3	0.00471	0.002241	0.017928	0.005976	0.016
1	3	0.002469	0.001598	0.012784	0.004261	0.016
Z	4	0.000871	0.000871	0.006968	0.001742	0.016

Tablo 4.12. Y Yönü Göreli Kat Ötelemeleri

Kat	Kat Yüksekliği h_i	Yatay Yer Değiştirme u_i	Yer Değiştirme Farkı $\Delta_{i,maks}$	Etkin Göreli Kat Ötelemesi $\delta_{i,max}$	Azaltılmış Göreli Kat Ötelemesi $\lambda * \frac{\delta_{i,max}^X}{h_i}$	Sınır Değer
Teras Kat	3	0.096912	0.002933	0.023464	0.00939	0.016
28	3	0.093979	0.002981	0.023848	0.00954	0.016
27	3	0.090998	0.003039	0.024312	0.00972	0.016
26	3	0.087959	0.003108	0.024864	0.00995	0.016
25	3	0.084851	0.003183	0.025464	0.01019	0.016
24	3	0.081668	0.003261	0.026088	0.01044	0.016
23	3	0.078407	0.003341	0.026728	0.01069	0.016
22	3	0.075066	0.003419	0.027352	0.01094	0.016
21	3	0.071647	0.003493	0.027944	0.01118	0.016
20	3	0.068154	0.003563	0.028504	0.01140	0.016
19	3	0.064591	0.003626	0.029008	0.01160	0.016
18	3	0.060965	0.00368	0.02944	0.01178	0.016
17	3	0.057285	0.003724	0.029792	0.01192	0.016
16	3	0.053561	0.003756	0.030048	0.01202	0.016
15	3	0.049805	0.003775	0.0302	0.01208	0.016
14	3	0.04603	0.003776	0.030208	0.01208	0.016
13	2	0.042254	0.002508	0.020064	0.00803	0.016
Tesisat Katı	3	0.039746	0.00377	0.03016	0.01206	0.016
12	3	0.035976	0.003757	0.030056	0.01202	0.016
11	3	0.032219	0.00372	0.02976	0.01190	0.016
10	3	0.028499	0.003658	0.029264	0.01171	0.016
9	3	0.024841	0.003567	0.028536	0.01141	0.016
8	3	0.021274	0.003446	0.027568	0.01103	0.016
7	3	0.017828	0.003292	0.026336	0.01053	0.016
6	3	0.014536	0.003096	0.024768	0.00991	0.016
5	3	0.01144	0.002857	0.022856	0.00914	0.016
4	3	0.008583	0.002567	0.020536	0.00821	0.016
3	3	0.006016	0.002215	0.01772	0.00709	0.016
2	3	0.003801	0.001794	0.014352	0.00574	0.016
1	3	0.002007	0.001289	0.010312	0.00412	0.016
Z	4	0.000718	0.000718	0.005744	0.00230	0.016

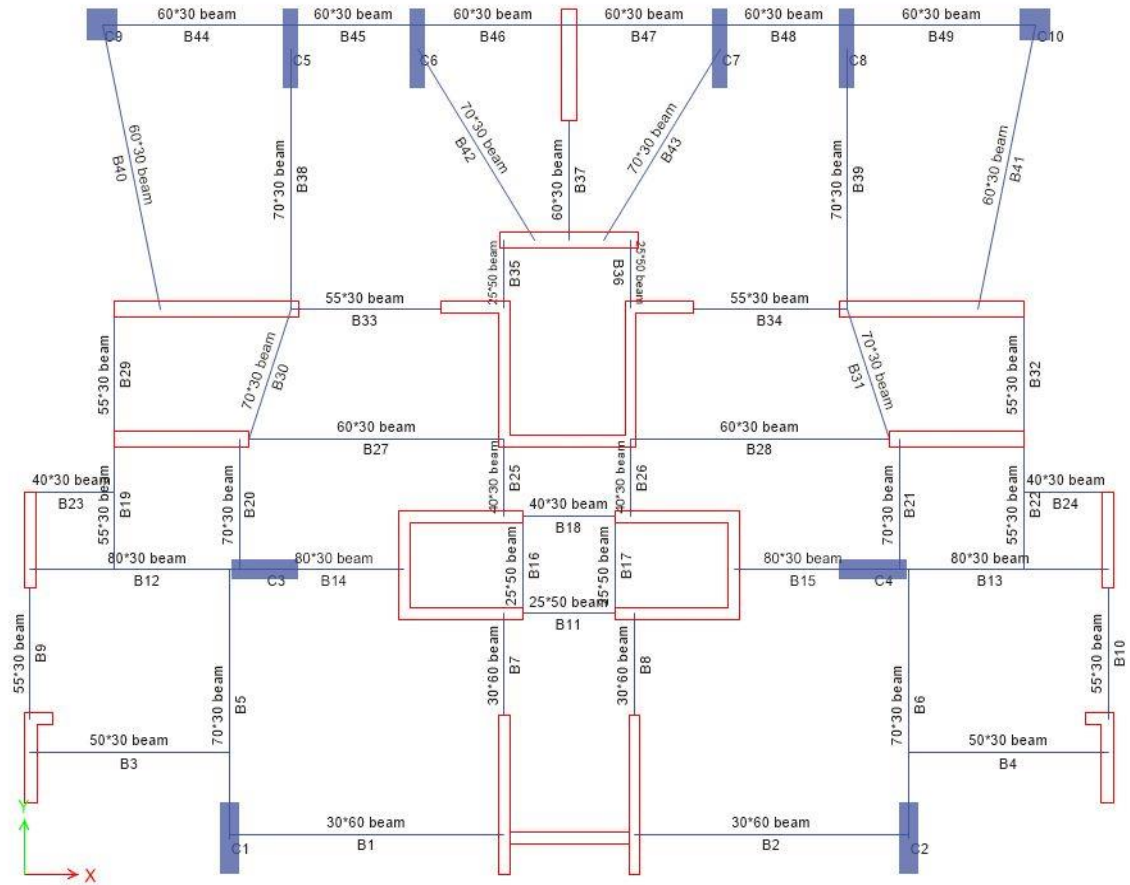
Yapılan hesaplamalar neticesinde X ve Y yönünde yer alan tasarım depremleri etkisi altında hesaplanan azaltılmış etkin görelî kat ötelemeleri değeri 0.008'den büyük ve 0.016'dan küçük olduğu hesaplanmıştır. Bununla birlikte; azaltılmış etkin görelî kat öteleme değeri en yüksek olduğu kat seviyesi 14. ve 15. kat seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu nedenle; yapı TBDY 2018'e göre tasarlanmış olsa idi; boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlar ile çerçeve elemanları arasında esnek derz bırakılması gerekmektedir. Ancak; DBYBHY 2007'de görelî kat ötelemeleri ile ilgili sınırlama bulunmaması nedeniyle taşıyıcı sistem ile dolgu duvarlar arasında esnek derz bulunmamaktadır.

4.6.3.7. Kolon, Kiriş ve Perdelerin Tasarımı ve Elemanlara ait Donatıların Mevcut Donatılar ile Uyumunun Kontrolü

Bu teze konu olan yapı; DBYBHY 2007 esasları kullanılarak dayanıma göre tasarım ilkeleri kapsamında projelendirilmiştir. Bu bölüm kapsamında; TBDY 2018 esasları dahilinde Tasarım Aşaması 1 için DD-2 deprem düzeyi etkisi altında ve TBDY 2018'de belirtilen yük kombinasyonları kullanılarak yapı ile ilgili analizler yapıp, oluşan iç kuvvetlere göre her iki yönetmelik arasında oluşan iç kuvvet farklılıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte; TBDY 2018'de belirtilen yük kombinasyonlarının etkisi altında oluşan iç kuvvetlere göre TBDY 2018 ve TS 500 standardı kapsamında taşıyıcı sistem elemanları için donatılar belirlenerek, DBYBHY 2007 ile TS 500 standardı göz önüne alınarak belirlenen mevcut donatılar arasındaki farklılıklar detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

4.6.3.7.1. Betonarme Kirişlerin Tasarımı

Taşıyıcı sistem elemanlarından olan betonarme kirişler; Bölüm 4.6.3'te belirtilen hususların tamamı göz önünde bulundurularak TBDY 2018 hükümleri kapsamında donatılandırılmıştır. Betonarme kirişlerin donatılandırılmasında TBDY 2018'de yer alan süneklîk düzeyi yüksek kirişleri ile ilgili kurallar ve TS 500 standardından yararlanılmıştır. Bu teze konu olan yapının proje müellifi tarafından oluşturulan asmolen döşeme sistemine sahip kirişlere ait yerleşim planı, kiriş isimleri ve kiriş kesit boyutları Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Betonarme Kiriş İsimleri ve Boyutları

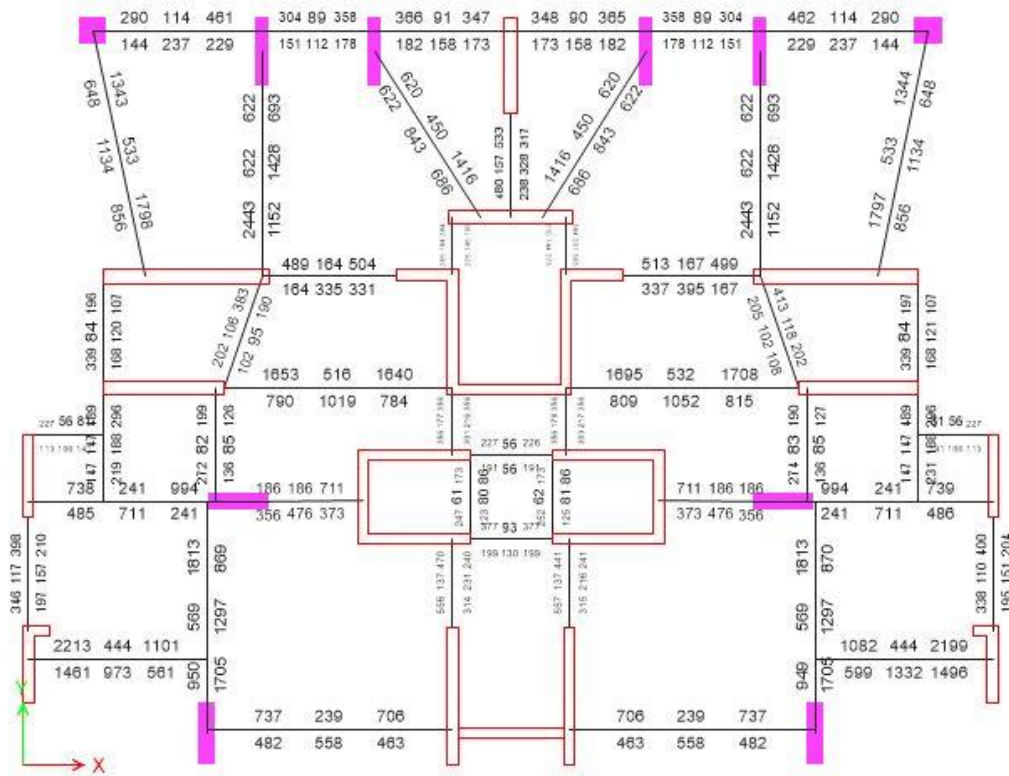
TBDY 2018 esaslarına göre; çubuk eleman olarak modellenen kirişlerin bir kiriş elemanı olarak boyutlandırılabilmesi ve donatılabilirliği için tasarım eksenel basınç kuvvetinin (N_d) kirişin karakteristik basınç kapasitesinin yüzde onunu aşmaması gerekmektedir. Bu durum Denklem 4.14'te sembolize edilmiştir.

$$N_d \leq 0.10 * A_c * f_{ck} \quad (4.14)$$

Deprem etkisi altında, yapıya etkiyen ölü yükler ile hareketli yüklerin TBDY 2018'de belirtilen yük kombinasyonları göz önüne alınarak gerçekleştirilen analizler neticesinde kiriş elemanlarının Denklem 4.14'e göre hesaplanan eksenel yük sınır değerini aşmadığı belirlenmiştir.

ETABS programı kullanılarak yapılan analizler neticesinde kirişlerde oluşan iç kuvvetlere bağlı olarak, olması gereken boyuna ve enine donatılar TBDY 2018 ve TS 500 standardında yer alan kriterler göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda; zemin katta yer

alan kirişlere ait olması gereken donatı alanları mm^2 birimi esas alınarak Şekil 4.10'da sunulmaktadır. Bununla birlikte; yapının bütünü incelendiğinde, tüm katlarda yer alan kirişler için gerekli donatı çapları ile donatı adetleri zemin katta yer alan kirişler ile uyumlu olduğundan ve bu teze konu olan yapının proje müellifi tarafından da her kat düzeyinde zemin katta elde kiriş donatı çapları ve adetlerinin kullanılması nedeniyle zemin katta yer alan kirişlere ait donatılar Tablo 4.13'te sunulmaktadır. Proje müellifi tarafından yapılan tasarım ve analizler neticesinde kirişlerde kullanılan donatı çapları ve donatı adetleri ise Tablo 4.14'da sunulmaktadır.



Şekil 4.10. Betonarme Kirişlere ait Gerekli Donatı Montaj ve Düz Donatı Alanları (mm^2)

Tablo 4.13. TBDY 2018'e Göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri

Kiriş İsimleri	Sol Mesnet Üst&Alt Donatı (adet/çap) (mm)	Sağ Mesnet Üst&Alt Donatı (adet/çap) (mm)	Enine Donatı Adedi (mm/cm/cm)
B1	5φ14 & 4φ14	5φ14 & 4φ14	φ8/10/20
B2	5φ14 & 4φ14	5φ14 & 4φ14	φ8/10/20
B3	14φ14 & 10φ14	7φ14 & 4φ14	2φ8/10/20
B4	7φ14 & 4φ14	14φ14 & 10φ14	2φ8/10/20
B5	12φ14 & 11φ14	12φ14 & 11φ14	2φ8/10/20
B6	12φ14 & 11φ14	12φ14 & 11φ14	2φ8/10/20
B7	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	φ8/10
B8	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	φ8/10
B9	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B10	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B11	3φ14 & 3φ14	4φ14 & 4φ14	φ8/15
B12	7φ14 & 5φ14	7φ14 & 5φ14	2φ8/15
B13	7φ14 & 5φ14	7φ14 & 5φ14	2φ8/15
B14	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B15	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B16	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B17	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B18	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B19	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B20	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B21	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B22	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B23	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B24	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B25	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B26	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/15
B27	12φ14 & 7φ14	12φ14 & 7φ14	2φ8/15
B28	12φ14 & 7φ14	12φ14 & 7φ14	2φ8/15
B29	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B30	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B31	5φ14 & 5φ14	5φ14 & 5φ14	2φ8/15
B32	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B33	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B34	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/15
B35	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/14
B36	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/14
B37	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	φ8/12
B38	16φ14 & 10φ14	16φ14 & 10φ14	2φ8/15
B39	16φ14 & 10φ14	16φ14 & 10φ14	2φ8/15
B40	12φ14 & 8φ14	12φ14 & 8φ14	φ8/13

Tablo 4.13. TBDY 2018'e Göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri (Devamı)

Kiriş İsimleri	Sol Mesnet Üst&Alt Donatı (adet/çap) (mm)	Sağ Mesnet Üst&Alt Donatı (adet/çap) (mm)	Enine Donatı Adedi (mm/cm/cm)
B41	12 ϕ 14 & 8 ϕ 14	12 ϕ 14 & 8 ϕ 14	ϕ8/13
B42	10 ϕ 14 & 6 ϕ 14	10 ϕ 14 & 6 ϕ 14	2ϕ8/15
B43	10 ϕ 14 & 6 ϕ 14	10 ϕ 14 & 6 ϕ 14	2ϕ8/15
B44	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13
B45	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13
B46	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13
B47	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13
B48	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13
B49	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	4 ϕ 14 & 4 ϕ 14	ϕ8/13

Tablo 4.14. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri

Kiriş İsimleri	Sol Mesnet Üst&Alt Donatı (Proje) (adet/çap) (mm)	Sağ Mesnet Üst&Alt Donatı (Proje) (adet/çap) (mm)	Enine Donatı Adedi (Proje) (mm/cm/cm)
B1	5φ14 & (3φ14+1φ12)	5φ14 & 3φ14	φ8/10/20
B2	5φ14 & 3φ14	5φ14 & (3φ14+1φ12)	φ8/10/20
B3	(4φ12+2φ16+2φ14) & (4φ12+1φ16)	(4φ12+2φ14) & (4φ12)	2φ8/8/15
B4	(4φ12+2φ14) & (4φ12)	(4φ12+2φ16+2φ14) & (4φ12+1φ16)	2φ8/8/15
B5	(5φ14+4φ12) & (4φ14)	(4φ12+3φ16+1φ14) & (4φ14+2φ16)	2φ8/8/15
B6	(5φ14+4φ12) & (4φ14)	(4φ12+3φ16+1φ14) & (4φ14+2φ16)	2φ8/8/15
B7	(4φ14+2φ16) & (4φ14+1φ12)	(4φ14+3φ16) & (4φ14+3φ16)	φ10/12
B8	(4φ14+2φ16) & (4φ14+1φ12)	(4φ14+3φ16) & (4φ14+3φ16)	φ10/12
B9	5φ14 & 5φ14	6φ14 & 4φ14	2φ8/8/15
B10	5φ14 & 5φ14	6φ14 & 4φ14	2φ8/8/15
B11	4φ14 & 3φ14	4φ14 & 3φ14	φ8/10
B12	(3φ14+6φ12) & 6φ12	(5φ14+5φ12) & 6φ12	2φ8/8/15
B13	(5φ14+5φ12) & 6φ12	(3φ14+6φ12) & 6φ12	2φ8/8/15
B14	(5φ12+5φ14) & 6φ12	(5φ12+2φ14+3φ16) & 6φ12	2φ8/8/15
B15	(5φ12+2φ14+3φ16) & 6φ12	(5φ12+5φ14) & 6φ12	2φ8/8/15
B16	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/10
B17	3φ14 & 3φ14	3φ14 & 3φ14	φ8/10
B18	(3φ12+1φ14) & 4φ12	(3φ12+1φ14) & 4φ12	φ8/8/15
B19	(3φ14+3φ16) & 5φ14	(3φ14+3φ16) & 5φ14	2φ8/8/15
B20	(4φ12+3φ16+3φ14) & (4φ14+2φ16)	(4φ12+1φ14) & 4φ14	2φ8/8/15
B21	(4φ12+3φ16+3φ14) & (4φ14+2φ16)	(4φ12+1φ14) & 4φ14	2φ8/8/15
B22	(3φ14+3φ16) & 5φ14	(3φ14+3φ16) & 5φ14	2φ8/8/15
B23	3φ12 & 3φ12	3φ12 & 3φ12	φ8/8
B24	3φ12 & 3φ12	3φ12 & 3φ12	φ8/8
B25	3φ12 & 3φ12	3φ12 & 3φ12	φ8/8
B26	3φ12 & 3φ12	3φ12 & 3φ12	φ8/8
B27	(8φ16+5φ12) & 7φ14	(7φ16+5φ12) & 6φ14	2φ8/8/15
B28	(7φ16+5φ12) & 6φ14	(8φ16+5φ12) & 7φ14	2φ8/8/15
B29	4φ14+3φ16 & 5φ14	6φ14 & (4φ14+1φ12)	2φ8/8/15
B30	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/8/15
B31	4φ14 & 4φ14	4φ14 & 4φ14	2φ8/8/15
B32	4φ14+3φ16 & 5φ14	6φ14 & (4φ14+1φ12)	2φ8/8/15
B33	6φ14+2φ16 & 4φ14+1φ16	8φ14 & 6φ14	2φ8/8/15
B34	8φ14 & 6φ14	6φ14+2φ16 & 4φ14+1φ16	2φ8/8/15
B35	3φ16+1φ14 & 3φ16	3φ16+8φ14 & 2φ16+4φ12	φ12/12
B36	3φ16+1φ14 & 3φ16	3φ16+8φ14 & 2φ16+4φ12	φ12/12
B37	4φ16 & 4φ16	4φ16 & 5φ16	φ8/10
B38	3φ16+6φ12 & 4φ16	(8φ16+6φ12) & (4φ16+3φ14)	2φ8/8/15
B39	3φ16+6φ12 & 4φ16	(8φ16+6φ12) & (4φ16+3φ14)	2φ8/8/15
B40	8φ16 & 5φ16+1φ12	10φ16 & 5φ16+1φ12	φ8/10/20
B41	8φ16 & 5φ16+1φ12	10φ16 & 5φ16+1φ12	φ8/10/20

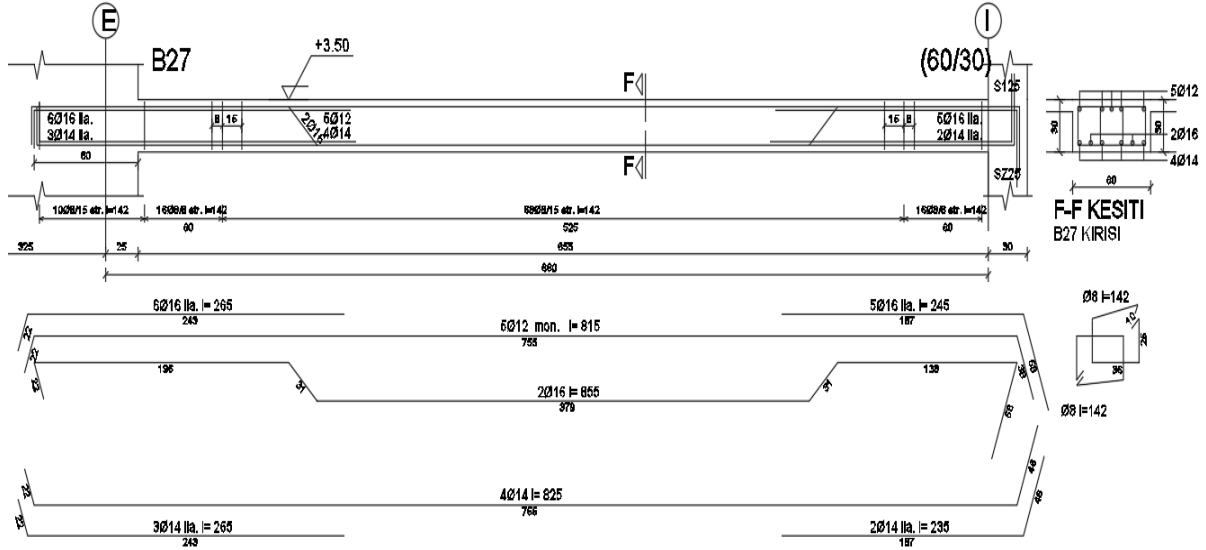
Tablo 4.14. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kirişlere ait Donatı Çapları ve Adetleri (Devamı)

B42	4 ϕ 12+8 ϕ 14+3 ϕ 16 &4 ϕ 12+2 ϕ 16	4 ϕ 12+3 ϕ 14+3 ϕ 16 &4 ϕ 12+2 ϕ 14	2ϕ8/8/15
B43	4 ϕ 12+8 ϕ 14+3 ϕ 16 &4 ϕ 12+2 ϕ 16	4 ϕ 12+3 ϕ 14+3 ϕ 16 &4 ϕ 12+2 ϕ 14	2ϕ8/8/15
B44	4 ϕ 14 &4 ϕ 14	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	ϕ8/10/20
B45	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	4 ϕ 14 &4 ϕ 14	ϕ8/10/20
B46	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	ϕ8/10/20
B47	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	ϕ8/10/20
B48	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	ϕ8/10/20
B49	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	4 ϕ 14+1 ϕ 16 &4 ϕ 14+1 ϕ 16	ϕ8/10/20

Elde edilen sonuçlar neticesinde; TBDY 2018 ve DBYBHY 2007 kriterleri esas alınarak tasarımı ve analizi yapılan betonarme kirişlere ait montaj donatısı, düz donatı ve etriye donatıları arasında göz ardı edilebilecek ölçüde farklılıklar olduğu görülmüştür. Boyuna donatılar arasındaki farklılıkların genel sebebi, proje müellifi tarafından paket program vasıtasıyla analizleri gerçekleştirilen yapının kiriş donatılarının tek tip olmaması ve TBDY 2018'e göre bu tez kapsamında analizleri yapılan taşıyıcı sistemde döşemelerin analiz sistemine dahil edilmeden TS 500 hükümlerine göre yayılı yük olarak atanması olarak görülmektedir. Örneğin; B27 olarak isimlendirilen kirişin sol üst mesnet donatısı proje müellifi tarafından (8 ϕ 16+5 ϕ 12) olarak ve 2174 mm² donatı alanına sahip olacak şekilde hesaplanmıştır. Tez çalışmasında ise; B27 isimli kirişin sol üst mesnet donatısı (12 ϕ 14) olarak ve 1847 mm² donatı alanına sahip olacak şekilde hesaplanmıştır. B27 isimli kirişin sol üst mesnetinde, proje müellifi tarafından hesaplanan gerekli boyuna donatı ile ETABS analiz programı kullanılarak elde edilen gerekli boyuna donatı alanında yaklaşık %15'lik bir fark bulunmaktadır. Tüm kirişlere ait donatılar incelendiğinde ise; oransal olarak gerekli boyuna donatı alanlarında ortalama %5 ile %15 arasında değişen farklar olduğu hesaplanmıştır. Betonarme kirişlere ait gerekli enine donatı adetleri kıyaslandığında; B44, B45, B46, B47, B48 ve B49 kirişlerinde mevcut proje ile tez çalışmasındaki analiz sonuçları arasında $\frac{A_{sw}}{s}$ (etriye kolları toplam donatı alanı (mm²)/ etriye aralığı (mm)) oranında yaklaşık %20'lik farklar olduğu hesaplanmıştır. Bu kirişler haricinde kalan diğer kirişlerde de göz ardı edilebilecek ölçüde farklılıklar yer aldığı söylenebilir.

Bu farklılıklar nedeniye; TBDY 2018'e göre birinci tasarım aşaması kapsamında kirişler donatılandırılırken Tasarım Aşaması II ve Tasarım Aşaması III'te kullanılacak olan doğrusal olmayan davranışı sembolize edebilmek adına tek tip donatı seçimi ile donatılandırılmaya özen gösterilmiştir.

Proje müellifi tarafından tasarımı yapılan kirişlerden bir adet örnekleme, B27 isimli kirişe ait boyuna donatı ve enine donatıları gösterecek şekilde Şekil 4.11'de sunulmaktadır.



Şekil 4.11. B27 İsimli Kirişe Ait Boyuna Donatı ve Enine Donatı Çizimi Örneği

4.6.3.7.2. Betonarme Kolonların Tasarımı

TBDY 2018’de belirtilen süneklik düzeyi yüksek kolonlar ile ilgili kriterler göz önünde bulundurularak Tasarım Aşaması I için yukarıda belirtilen kriterler dahilinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde deprem etkisi altında en fazla eksenel yüke maruz kalan kolonlar Denklem 4.15 esas alınarak eksenel yüke ait sınır değer için kontroller yapılarak Tablo 4.15’te listelenmiştir.

$$A_C \geq N_{dm} / (0.40 * f_{ck}) \quad (4.15)$$

Denklemde yer alan;

A_C : Kolon brüt enkesit alanını,

N_{dm} : Sabit, hareketli ve deprem ortak etkisi altında oluşan en büyük eksenel kuvvetini (G+Q+E kombinasyonunda elde edilen en yüksek eksenel basınç kuvveti),

f_{ck} : Betonun karakteristik basınç dayanımı,

ifade etmektedir.

Tablo 4.15. Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonların Eksenel Yük Kapasite Kontrolleri

Kolon İsimleri	Kolon Ebatları (cm)	Eksenel Yük (kN) N_{dm}	Eksenel Yük Sınır Değer (kN)
C1	50*180	7608.9	9601.2
C2	50*180	7608.7	9601.2
C3	50*175	8358.1	9334.5
C4	50*175	8363.2	9334.5
C5	40*200	6761.9	8534.4
C6	40*200	6180.1	8534.4
C7	50*175	6180.3	9334.5
C8	40*200	6762.4	8534.4
C9	80*80	5014.9	6827.52
C10	80*80	5014.6	6827.52

Tablo 4.15'ten de görüldüğü üzere taşıyıcı sisteme ait kolonlar eksenel yük sınır değerinin altında kalmaktadır. Ayrıca; yapılan analizler neticesinde kolonlara ait boyuna donatı oranı, enine donatı alanı, gerekli donatı alanı, donatı çapları ve donatı adetleri Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de gösterilmiştir. Proje müellifi tarafından analizi ve tasarımı yapılan kolonlara ait gerekli donatı çapları ve adetleri ise Tablo 4.18 ve Tablo 4.19'de sunulmaktadır.

Tablo 4.16. TBY2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlara ait Gerekli Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri

Kolon İsimleri	Kolon Kesitleri(cm)	Boyuna Donatı Oranı	Boyuna Donatı Alanı (mm ²)	Boyuna Donatı Adedi (adet/çap) (mm)
C1	50*180	0.01	9000	36φ18
C2	50*180	0.01	9000	36φ18
C3	50*175	0.01	8750	35φ18
C4	50*175	0.01	8750	35φ18
C5	40*200	0.01	8000	32φ18
C6	40*200	0.01	8000	32φ18
C7	50*175	0.01	8750	35φ18
C8	40*200	0.01	8000	32φ18
C9	80*80	0.01	6400	26φ18
C10	80*80	0.01	6400	26φ18

Tablo 4.17. TBY2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlara ait Gerekli Enine Donatı Çapları ve Adetleri

Kolon İsimleri	Enine Donatı Oranı ($A_{sw}/s=\text{mm}^2/\text{mm}$)	Enine Donatı Adedi (adet/çap) (mm)
C1	2.182	$\phi 10/7$
C2	2.182	$\phi 10/7$
C3	2.121	$\phi 10/7$
C4	2.121	$\phi 10/7$
C5	2.424	$\phi 10/6$
C6	2.424	$\phi 10/6$
C7	2.424	$\phi 10/6$
C8	2.424	$\phi 10/6$
C9	0.970	$\phi 10/15$
C10	0.970	$\phi 10/15$

Tablo 4.18. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kolonlara ait Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri

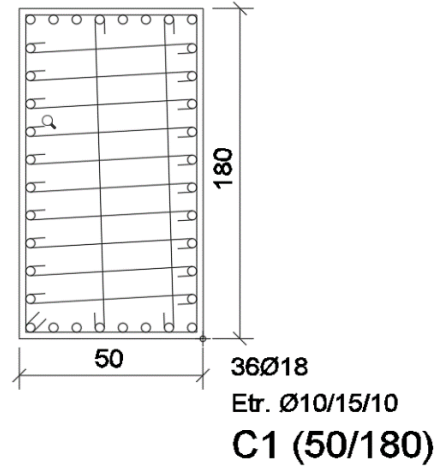
Kolon İsimleri	Kolon Ebatları (cm)	Boyuna Donatı Adedi (Proje) (adet/çap) (mm)
C1	50*180	36 $\phi 18$
C2	50*180	36 $\phi 18$
C3	50*175	36 $\phi 18$
C4	50*175	36 $\phi 18$
C5	40*200	40 $\phi 18$
C6	40*200	40 $\phi 18$
C7	50*175	40 $\phi 18$
C8	40*200	40 $\phi 18$
C9	80*80	32 $\phi 18$
C10	80*80	32 $\phi 18$

Tablo 4.19. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Kolonlara ait Enine Donatı Çapları ve Adetleri

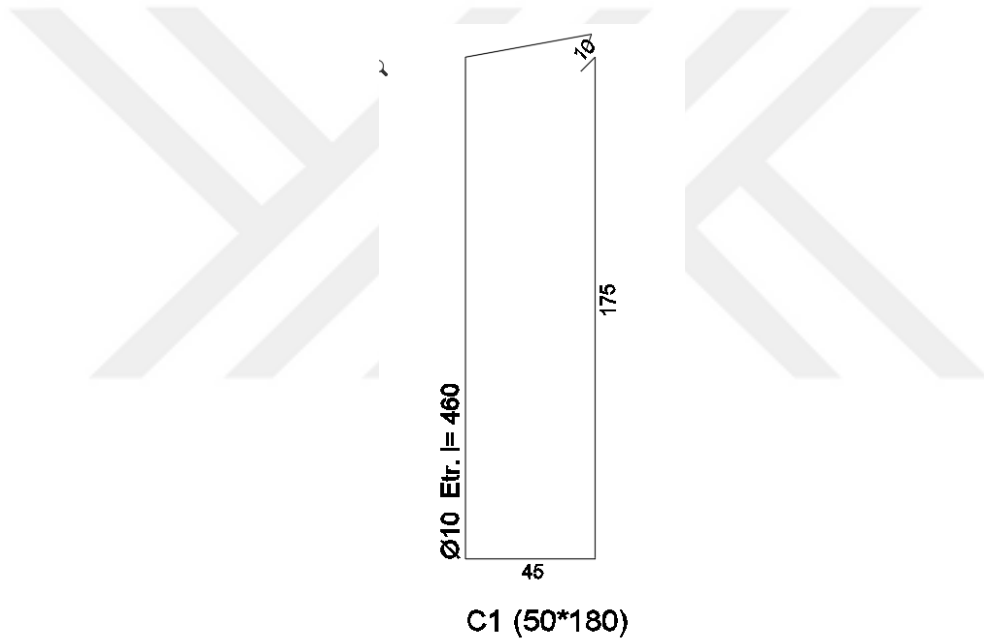
Kolon İsimleri	Enine Donatı Adedi (Proje) (adet/aralık/aralık) (cm/cm)
C1	φ10/15/10
C2	φ10/15/10
C3	φ10/15/10
C4	φ10/15/10
C5	φ10/15/10
C6	φ10/15/10
C7	φ10/15/10
C8	φ10/15/10
C9	φ10/15/10
C10	φ10/15/10

TBDY 2018 esaslarına göre yapılan analizler neticesinde elde edilen iç kuvvetlere göre donatılandırılması yapılan süneklik düzeyi yüksek kolonlar detaylı bir şekilde incelendiğinde; boyuna donatılar açısından herhangi bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; TBDY 2018 ve TS500'de belirtilen minimum boyuna donatı oranı olan 0.01 seviyesindeki boyuna donatıların yeterli olduğu belirlenmiştir. Ancak; çubuk eleman olarak modellenen süneklik düzeyleri yüksek kolonlarda kesme kuvveti ile ilgili iç kuvvet talepleri irdelendiğinde; TBDY 2018'de oluşan enine donatı ihtiyacının DBYBHY 2007'den daha fazla olduğu Tablo 4.17 ve Tablo 4.19 incelendiğinde görülmektedir. Bu durum; özellikle Tasarım Aşaması II'de detaylı olarak irdelenecektir.

Bununla birlikte; taşıyıcı sistem elemanlarından C1 isimli kolona ait boyuna donatı ve enine donatıların örnek çizimleri Şekil 4.12 ve 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12. C1 İsimli Kolona ait Boyuna Donatı Çizimi

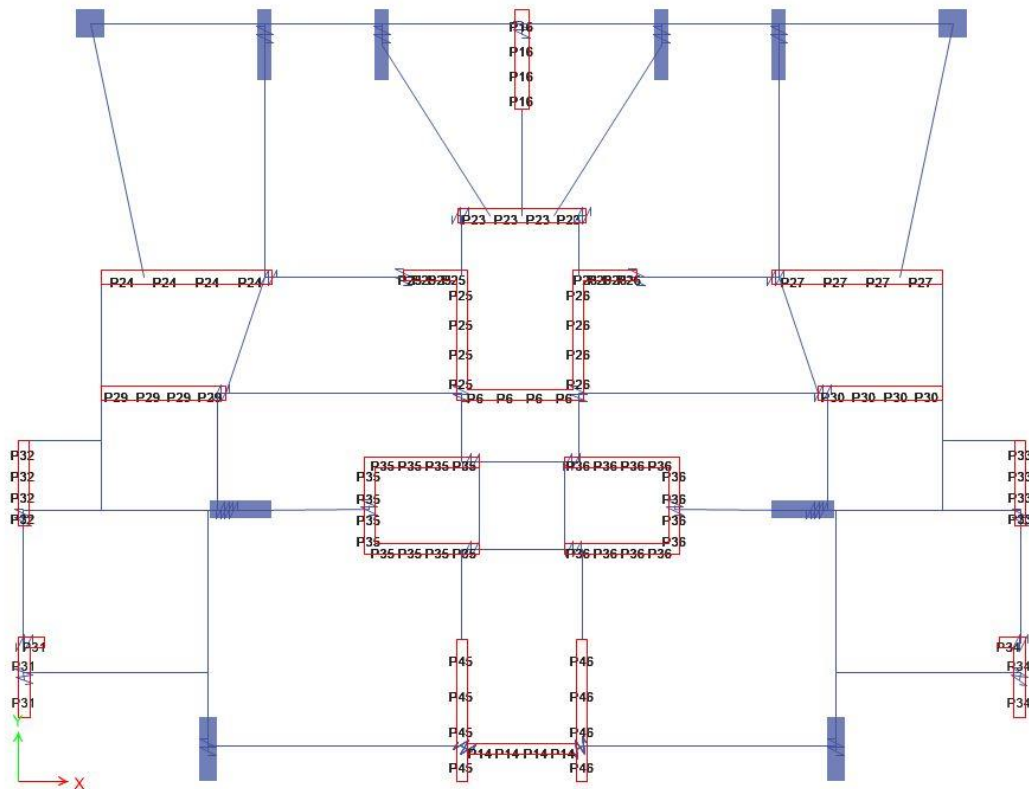


Şekil 4.13. C1 İsimli Kolona ait Enine Donatı Çizimi

4.6.3.7.3. Betonarme Perdelerin Tasarımı

TBDY 2018'e göre deprem etkisi altında taşıyıcı sisteme ait analizler yapılmadan önce; TBDY 2018 ile DBYBHY 2007 arasında süneklik düzeyi yüksek perdeler ile ilgili modelleme ve tasarım farklılıkları irdelenmiştir. Bu noktada; ortaya çıkan en belirgin modelleme kriteri farklılığının, DBYBHY 2007 esasları dahilinde betonarme perdelerin plandaki uzunluğunun kalınlığına oranı en az 7 olması gerekirken, TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte bu oran 6'ya düşürülmüştür. Bu nedenle; TBDY 2018'e göre yapılan analizlerde bu değişiklik dikkate alınarak tasarım ve analiz aşaması sürdürülmüştür.

Analiz aşaması öncesinde; TBDY 2018 kriterleri dahilinde betonarme perde elemanları her kat düzeyinde Şekil 4.14'ten görüleceği üzere kabuk eleman olarak modellenmiştir. Bununla birlikte; betonarme perdelerin TS 498'de belirtilen hareketli yük azaltma katsayısı dikkate alınarak deprem etkisi altında maruz kalabileceği en büyük eksenel yük etkisi Denklem 4.16'ya göre kontrol edilmiş olup, analiz sonuçlarından elde edilen değerlerin, eksenel yük sınır değerlerini aşıp aşmadığının kontrolü Tablo 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Betonarme Perde Elemanlarının Modellenmesi ve İsimlendirilmesi

$$A_c = N_{dm}/(0.35 * f_{ck}) \quad (4.16)$$

Denklem içerisinde yer alan;

A_C : Perde brüt enkesit alanını,

N_{dm} : Sabit, hareketli ve deprem ortak etkisi altında oluşan en büyük eksenel kuvvetini (G+Q+E kombinasyonunda elde edilen en yüksek eksenel basınç kuvvetini),

f_{ck} : Betonun karakteristik basınç dayanımını,

ifade etmektedir.

Tablo 4.20. Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerin Eksenel Yük Kapasite Kontrolleri

Perde İsimleri	Perde Enkesit Alanı (mm ²)	Eksenel Yük (kN) N_{dm}	Eksenel Yük Sınır Değeri (kN)
P31 (Poligon)	881250	3088	8225
P34 (Poligon)	881250	3088	8225
P45	1199996	3494	11200
P46	1199996	3494	11200
P14	930000	2636	8680
P32	720000	2595	6720
P33	720000	2595	6720
P35 (Poligon)	2595000	7690	24220
P36 (Poligon)	2595000	7690	24220
P29	1400000	4685	13067
P30	1400000	4685	13067
P25	1500000	4550	14000
P26	1500000	4550	14000
P6	990000	2980	9240
P24	1920000	6700	17920
P27	1920000	6700	17920
P23	1439998	4625	13440
P16	1120000	3260	10453

Tablo 4.20'den de görüldüğü üzere betonarme perdelerin tamamı eksenel yük sınırı değerinin altında eksenel basınç yüküne maruz kalmaktadır.

Yapılan analizler neticesinde süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler için boyuna donatı oranı, gerekli donatı alanı, donatı çapları ve donatı adetleri Tablo 4.21 ve Tablo 4.22'de

verilmiştir. Proje müellifi tarafından analizi ve tasarımı yapılan perdelerle ait donatı çapları ve adetleri ise Tablo 4.23'te sunulmaktadır.

Tablo 4.21. TBDY 2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdelere ait Boyuna Donatı Çapları ve Adetleri

Perde İsimleri	Boyuna Donatı Oranı	Boyuna Donatı Alanı (mm ²)	Boyuna Donatı Adedi (adet/çap) (mm)
P31 (Poligon)	0.0043	3788	20φ16
P34 (Poligon)	0.0043	3788	20φ16
P45	0.0051	6122	32φ16
P46	0.0051	6122	32φ16
P14	0.0049	4600	22φ16
P32	0.0027	1953	10φ16
P33	0.0027	1953	10φ16
P35 (Poligon)	0.0043	11280	60φ16
P36 (Poligon)	0.0043	11280	60φ16
P29	0.0025	3500	20φ16
P30	0.0025	3500	20φ16
P25	0.0055	8323	42φ16
P26	0.0055	8323	42φ16
P6	0.0050	4908	26φ16
P24	0.0039	7450	40φ16
P27	0.0039	7450	40φ16
P23	0.0034	4956	26φ16
P16	0.0035	3870	20φ16

Tablo 4.22. TBDY 2018'e göre Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdelere ait Enine Donatı Çapları ve Adetleri

Perde İsimleri	Enine Donatı Oranı ($A_v/s=\text{mm}^2/\text{mm}$)	Enine Donatı Adedi (çap/aralık) (cm)
P31 (Poligon)	0.875	$\phi 10/15$
P34 (Poligon)	0.875	$\phi 10/15$
P45	0.75	$\phi 10/15$
P46	0.75	$\phi 10/15$
P14	0.75	$\phi 10/15$
P32	0.75	$\phi 10/15$
P33	0.75	$\phi 10/15$
P35 (Poligon)	0.75	$\phi 10/15$
P36 (Poligon)	0.75	$\phi 10/15$
P29	1	$\phi 10/15$
P30	1	$\phi 10/15$
P25	0.75	$\phi 10/15$
P26	0.75	$\phi 10/15$
P6	0.75	$\phi 10/15$
P24	1	$\phi 10/15$
P27	1	$\phi 10/15$
P23	1	$\phi 10/15$
P16	1	$\phi 10/15$

Tablo 4.23. Statik Projede DBYBHY 2007'ye göre Hesaplanan Betonarme Perdeler ait Donatı Çapları ve Adetleri

Perde isimleri	Boyuna Donatı Adedi(Proje) (adet/çap) (mm)	Enine Donatı Adedi (Proje) (çap/aralık/aralık) (cm/cm)
P31 (Poligon)	40φ18	φ10/16/10
P34 (Poligon)	40φ18	φ10/16/10
P45	24φ18+22φ14	φ10/15/10
P46	24φ18+22φ14	φ10/15/10
P14	22φ12	φ10/15
P32	20φ18+10φ14	φ10/13/10
P33	20φ18+10φ14	φ10/13/10
P35 (poligon)	54φ14+56φ12	φ10/17/10
P36 (Poligon)	54φ14+56φ12	φ10/17/10
P29	34φ18+26φ14	φ10/15/10
P30	34φ18+26φ14	φ10/15/10
P25	44φ18+26φ14	φ10/15/10
P26	44φ18+26φ14	φ10/15/10
P6	18φ14+22φ12	φ10/15/10
P24	20φ14+38φ12	φ10/16/13
P27	20φ14+38φ12	φ10/16/13
P23	16φ14+28φ12	φ10/16/13
P16	12φ14+20φ12	φ10/16/13

TBDY 2018 esaslarına göre yapılan analizler neticesinde elde edilen iç kuvvetlere göre donatılandırılması yapılan süneklik düzeyi yüksek perdeler detaylı bir şekilde incelendiğinde; boyuna donatılar açısından projelendirilmesi ve uygulaması yapılan taşıyıcı sistemde DBYBHY 2007 ile TBDY 2018 arasında önemli bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir. TBDY 2018 ve DBYBHY 2007 esasları dahilinde betonarme perdelerin donatılandırılması ile ilgili uygulanması gereken minimum donatı oranlarına ait kıstaslar nedeniyle, Tablo 4.21 ve Tablo 4.23'den de görüleceği üzere gerekli donatı alanının çok üzerinde boyuna donatı kullanımı gerçekleşmiştir. Bununla birlikte; kabuk eleman olarak modellenen süneklik düzeyleri yüksek perdelerde deprem etkisi, sabit yükler ve hareketli yükler altında yapılan analizler neticesinde oluşan iç kuvvet taleplerinden kesme kuvvetleri irdelendiğinde, TBDY 2018 ve DBYBHY 2007 arasında gerekli enine donatılar arasında önemli bir fark olmadığı Tablo 4.22 ve Tablo 4.23'te görülmektedir. Örneğin; taşıyıcı sistemin çekirdeğini oluşturan perdelerden P35 isimli poligon perde de, proje müellifi tarafından hesaplanan gerekli enine donatı çapı ve aralığı φ10/17/10 iken TBDY 2018 hükümlerine istinaden tez çalışması kapsamında yapılan analizler neticesinde gerekli enine

donatı çapı ve aralığı $\phi 10/15$ olarak hesaplanmıştır. Değerler arasında ihmal edilebilecek ölçüde farklar olduğu bu örnek üzerinde de görülmektedir.

4.6.4. Tasarım Aşaması II

TBDY 2018 kriterlerine göre bu teze konu olan yapının ön tasarımı ve boyutlandırılması Tasarım Aşaması I kısmında yapıldıktan sonra Tasarım Aşaması II kısmına geçilmiştir. Tablo 4.4'te belirtildiği üzere, yapının bulunduğu koordinatlar ve bina kullanım sınıfı göz önünde bulundurularak deprem tasarım sınıfı $DTS=4$ olarak belirlenmiştir. Bu nedenle; Tasarım Aşaması II için analiz ve değerlendirmeleri yapılacak olan taşıyıcı sisteme ait elemanların, DD-4 etkisinde normal performans hedefi olarak kesintisiz kullanım (KK) performans hedefini karşılayıp karşılamadığı dayanıma göre tasarım ilkeleri dahilinde bu bölüm kapsamında değerlendirilmiştir.

Tasarım Aşaması II kapsamında; Tasarım Aşaması I'den farklı etkin kesit rijitlikleri kullanılması gerekmektedir. Bu kısımda; taşıyıcı sistem elemanlarına atanan etkin kesit rijitlikleri Tablo 4.24'te sunulmaktadır. Bununla birlikte; bu kısım kapsamında yapılacak analiz ve değerlendirmelerde; ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmamış olup, sönüm oranı %2.5 olarak hesaplara dahil edilmiştir.

Normal performans hedefi olarak Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyinin belirlenmesi nedeniyle analizde modal hesap yöntemlerinden mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Tüm bunlara ek olarak;

- i. Tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında R/I oranı 1 ve $D=1$ alınmıştır.
- ii. Tasarım Aşaması I kısmında hesabı yapılan minimum taban kesme kuvvetinin ölçeklendirilmesi hususu bu aşamada göz önüne alınmamıştır.
- iii. Afet ve Acil Durum Başkanlığı'na ait Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan elde edilen DD-4'e ait yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri %5 sönüm oranı için elde edildiğinden; ETABS analiz programına ivme-zaman değerleri girilirken 1.25 katsayısı ile arttırılarak girilmiştir.
- iv. Deprem etkisi altında; taşıyıcı sistem ile ilgili yapılan tasarım ve değerlendirmelerde Tablo 4.25'te belirtilen ortalama (beklenen) malzeme dayanımları kullanılmıştır.

Tablo 4. 24. Tasarım Aşaması II için Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde - Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde - Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Tablo 4.25. Tasarım Aşaması II için 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)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

4.6.4.1. Taşıyıcı Sisteme ait Malzeme Özellikleri

TBDY 2018 esasları dahilinde Tablo 4.25 göz önünde bulundurularak Tasarım Aşaması II'de kullanılacak olan malzeme özellikleri;

- Beton karakteristik dayanımı $f_{ck} = 40 \text{ Mpa}$
- Ortalama beton dayanımı $f_{ce} = 40 * 1.3 = 52 \text{ Mpa}$
- Beton elastisite modülü $E_c = 35220 \text{ Mpa}$
- Beton karakteristik çekme dayanımı $f_{ctk} = 0.35 * \sqrt{40} = 2.2 \text{ Mpa}$
- S420 donatı çeliği karakteristik akma dayanımı $f_{yk} = 420 \text{ Mpa}$
- S420 donatı çeliği ortalama akma dayanımı $f_{ce} = 420 * 1.2 = 504 \text{ Mpa}$

- S420 donatı çeliğin çekme dayanımı $f_{su} = 525 \text{ Mpa}$ şeklinde belirlenmiştir.

4.6.4.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler

Tasarıma esas ölü ve hareketli yükler aşağıda belirtilmektedir.

Betonarme elemanlara ait özgül ağırlık: 25 kN/m^3

Döşemelere esas sabit ve hareketli yükler;

Ölü yükler: 5.5 kN/m^2

Konut Kullanımı Hareketli Yükler: 2 kN /m^2

Ortak Alan Hareketli Yükler: 3.5 kN/m^2

Balkon ve Konsollara ait Hareketli Yükler: 5 kN/m^2

Dış Duvar Yüğü (20 santimetre genişliğe sahip): 8 kN/m

İç Duvar Yüğü (10 santimetre genişliğe sahip): 4 kN /m

Taşıyıcı sisteme ait yapılan analizlerde özellikle Tasarım Aşaması III'te analiz sürelerinin çok uzun ve dosya boyutlarının çok büyük olması nedeniyle sonlu elemanlar metoduna göre oluşturan çözüm yöntemlerinde yer alan matrislere ait bilinmeyen sayısını azaltmak, analiz süresini kısaltmak ve dosya boyutunu küçültmek amacıyla döşemeler taşıyıcı sistem analizlerine dahil edilmemiştir. Bu nedenle; taşıyıcı sisteme ait nervürlü asmolon döşemeler analize dahil edilmemiş olup; TS500 kriterlerine ve döşeme çalışma yönlerine göre ölü ve hareketli yükler kirişlere yayılı yük olarak etkitilmiştir.

4.6.4.3. Tasarım Aşaması II için Yük Kombinasyonlarının Belirlenmesi

TBDY 2018'e göre bu adımda yer alan deprem etkileri DD-4'e ait spektral ivmelerin kullanılması ile elde edilmektedir. Bununla birlikte; taşıyıcı sistemin normal performans hedefi olarak Kesintisiz Kullanım (KK) hedefini sağlayıp sağlamadığı hususunda dayanıma göre tasarım ilkeleri kapsamında modelleme ve analizler yapılmıştır. Buna istinaden; Tasarım Aşaması II'de kullanılması gereken yük kombinasyonları Denklem 4.3-4.6'da yer almaktadır.

4.6.4.4. Tasarım Aşaması II için Deprem Etkilerinin Belirlenmesi

Tasarım aşaması II’de göz önüne alınması gereken deprem düzeyi TBDY 2018’e göre DD-4’tür. Bununla birlikte; teze konu olan yapının jeolojik etüt raporuna göre yapının bulunduğu zemin sınıfının ZA olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Yapının bulunduğu koordinat bilgileri ise; enlemde 36.723045°, boylam olarak ise 34.497085° derece olduğu bilgisi belirtilmişti. Tüm bu parametreler göz önüne alınarak DD4 için;

$$S_{DS} = 0.062$$

$$S_{D1} = 0.021$$

olarak hesaplanmıştır.

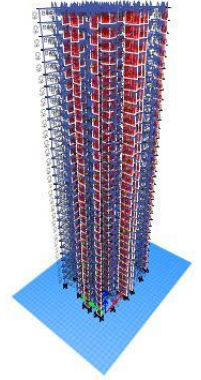
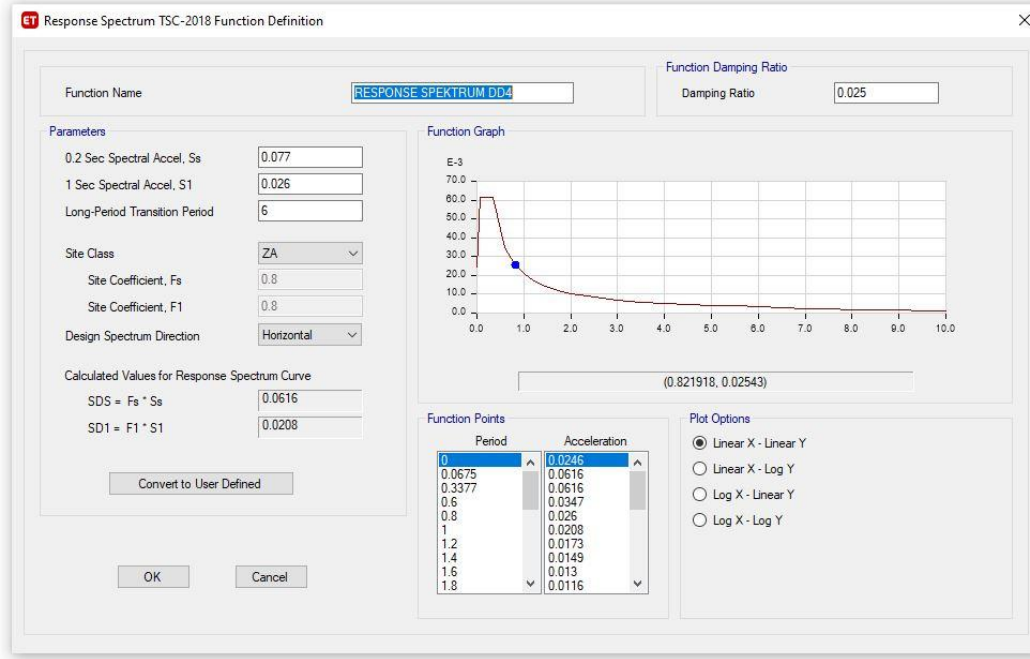
Taşıyıcı sisteme ait köşe periyotları ise Denklem 3.7 ve 3.8 kullanılarak;

$$T_A = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 * \frac{0.021}{0.062} = 0.067$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.0696}{0.242} = 0.339$$

şeklinde elde edilmiştir.

Denklem 3.3-3.6 kullanılarak ve ETABS programından yararlanılarak, DD-4 için yatay elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 4.15’de gösterildiği şekliyle elde edilmiş olup; 1.25 katsayısı ile arttırılarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.15. DD-4 Deprem Düzeyine Ait Yatay Elastik İvme Spektrumunun Tanımlanması

Yatay elastik ivme spektrumları Tablo 3.7’de belirtilen kriterlere göre deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ kullanılarak azaltılmış tasarım ivme spektrumlarına dönüştürülmektedir. Tasarım Aşaması II için;

$$R/I = 1$$

$$D = 1$$

olarak alınmaktadır. Bu nedenle; yatay elastik ivme spektrumları ile azaltılmış ivme spektrumları arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

4.6.4.5. Tasarım Aşaması II için Performans Değerlendirmesi

TBDY 2018 esaslarına göre Tasarım Aşaması II için normal performans hedefi olarak kesintisiz kullanım (KK) kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığını belirlemek adına dayanıma göre tasarım ilkesi kapsamında; analiz sonucunda elde edilen iç kuvvetler değerlendirmeye esas iç kuvvetler olarak tasarım ve değerlendirme aşamasında kullanılmaktadır.

Taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet kapasitelerinin hesabında ise karakteristik dayanım yerine beklenen malzeme dayanımları kullanılmalıdır.

TBDY 2018 kapsamında;

- i. Perdelerde iki doğrultuda yer alan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri etkisindeki akma durumu, kirişlerde eğilme momenti talepleri neticesindeki akma durumu ve kolonlarda iki doğrultuda yer alan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri etkisindeki akma durumu sünek davranış durumunu,
- ii. Taşıyıcı sistem elemanlarından kiriş, kolon ve perdelerde yer alan kesme kuvveti ile ilgili iç kuvvet talepleri ise sünek olmayan davranış durumunu,

temsil etmektedir.

Tasarım aşaması II kapsamında yapılan analizlerde, TBDY 2018 ilkeleri kapsamında;

- i. Sünek davranışı temsil eden iç kuvvetlerde ETKİ/KAPASİTE oranı 1.5 değerini aşmaması,
- ii. Sünek davranışı temsil etmeyen iç kuvvetlerde ise ETKİ/KAPASİTE oranı 0.7 değerini aşmaması,

ilkeleri göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmalıdır.

Bu bölüm kapsamında taşıyıcı sistem elemanlarından kiriş, kolon ve perdeler için değerlendirmeler bu ilkeler kapsamında yapılmıştır.

4.6.4.5.1. Tasarım Aşaması II için Betonarme Kirişlerde Etki/Kapasite Oranları

TBDY 2018'e göre Tasarım Aşaması II'de DD-4 etkisi altında normal performans hedefi olarak kesintisiz kullanım (KK) performans hedefinin yüksek yapılar için sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle; Bodrum+Zemin Kat+28 Kat ve Tesisat Katı'ndan oluşan yapıya ait taşıyıcı sistem elemanlarından olan betonarme kirişlerde; zemin kat ve 15. katta bulunan tüm kirişlerin kesme ve eğilme ile ilgili iç kuvvet talepleri ve kapasite durumları aşağıda yer alan Tablo 4.26-4.29'da sunulmaktadır. Betonarme kirişlere ait iç kuvvet talepleri için kat seçimi yapılırken;

- i. Proje müellifi tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda tüm kirişler için zemin kat kirişlerine ait boyuna ve enine donatıların kullanılması,
- ii. Bölüm 4.6.3.6, Tablo 4.11'de yer alan katlara ait azaltılmış etkin görelî kat ötelemelerine göre en yüksek değere sahip katın 15. kat olması,

hususları göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle zemin kat ve 15. katta yer alan kirişlere ait değerler incelenmiştir.

Tablo 4.26. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları

Kiriş İsimleri	Kiriş Kesitleri (cm)	Kesme Kuvveti Talebi (V)(kN)	Kesme Kuvveti Kapasitesi (V _r) (kN)	Kesme Kuvveti Etki/Kapasite Oranı
B1	30*60	126.9	319.5	0.40
B2	30*60	127.1	319.5	0.40
B3	50*30	80.7	256.7	0.31
B4	50*30	80.9	256.7	0.32
B5	70*30	132.3	356.9	0.37
B6	70*30	132.3	356.9	0.37
B7	30*60	129.6	319.5	0.41
B8	30*60	129.6	319.5	0.41
B9	55*30	50.3	280.8	0.18
B10	55*30	50.3	280.8	0.18
B11	25*50	112.5	220.0	0.51
B12	80*30	104.1	407.9	0.26
B13	80*30	104.1	407.9	0.26
B14	80*30	113.2	407.9	0.28
B15	80*30	113.2	407.9	0.28
B16	25*50	41.5	220.0	0.19
B17	25*50	41.5	220.0	0.19
B18	40*30	63.8	169.9	0.38
B19	55*30	43.3	280.4	0.15
B20	70*30	62.6	358.9	0.17
B21	70*30	62.6	358.9	0.17
B22	55*30	43.3	280.4	0.15
B23	40*30	55.6	203.9	0.27
B24	40*30	55.6	203.9	0.27
B25	40*30	63.0	203.9	0.31
B26	40*30	63.0	203.9	0.31
B27	60*30	138.6	305.9	0.45
B28	60*30	138.6	305.9	0.45
B29	55*30	50.7	280.4	0.18
B30	70*30	28.8	356.9	0.08
B31	70*30	28.8	356.9	0.08
B32	55*30	50.7	280.4	0.18
B33	55*30	76.6	280.4	0.27
B34	55*30	76.6	280.4	0.27
B35	25*50	120.5	220.0	0.55
B36	25*50	120.5	220.0	0.55
B37	60*30	68.2	305.9	0.22
B38	70*30	207.9	356.9	0.58
B39	70*30	207.9	356.9	0.58
B40	60*30	142.3	305.9	0.47
B41	60*30	142.3	305.9	0.47
B42	70*30	148.3	356.9	0.42
B43	70*30	148.3	356.9	0.42
B44	60*30	42.5	305.9	0.14
B45	60*30	27.9	305.9	0.09
B46	60*30	29.4	305.9	0.10
B47	60*30	29.4	305.9	0.10
B48	60*30	27.9	305.9	0.09
B49	60*30	42.5	305.9	0.14

Tablo 4.27. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Eğilme Momenti/Kapasite Oranları

Kiriş İsimleri	Kiriş Kesitleri (cm)	Eğilme Momenti Talebi (M) (kNm)	Eğilme Momenti Kapasitesi (M _r) (kNm)	Moment Etki/Kapasite Oranı
B1	30*60	154.9	190.8	0.81
B2	30*60	154.9	190.8	0.81
B3	50*30	53.7	185.7	0.29
B4	50*30	53.7	185.7	0.29
B5	70*30	170.6	214.0	0.80
B6	70*30	170.6	214.0	0.80
B7	30*60	73.0	190.9	0.38
B8	30*60	73.0	190.9	0.38
B9	55*30	22.2	91.1	0.24
B10	55*30	22.2	91.1	0.24
B11	25*50	42.8	150.5	0.28
B12	80*30	90.8	119.9	0.76
B13	80*30	90.8	119.9	0.76
B14	80*30	73.6	116.7	0.63
B15	80*30	73.6	116.7	0.63
B16	25*50	19.6	116.6	0.17
B17	25*50	19.6	116.6	0.17
B18	40*30	17.2	83.9	0.21
B19	55*30	40.4	91.1	0.44
B20	70*30	15.6	114.2	0.14
B21	70*30	15.6	114.2	0.14
B22	55*30	40.4	91.1	0.44
B23	40*30	21.8	68.0	0.32
B24	40*30	21.8	68.0	0.32
B25	40*30	29.3	68.0	0.43
B26	40*30	29.3	68.0	0.43
B27	60*30	154.4	145.3	1.06
B28	60*30	154.4	145.3	1.06
B29	55*30	20.7	91.1	0.23
B30	70*30	28.8	114.3	0.25
B31	70*30	28.8	114.3	0.25
B32	55*30	20.7	91.1	0.23
B33	55*30	20.7	91.1	0.23
B34	55*30	20.7	91.1	0.23
B35	25*50	43.2	116.6	0.37
B36	25*50	43.2	116.6	0.37
B37	60*30	47.7	92.4	0.52
B38	70*30	216.1	198.5	1.09
B39	70*30	216.1	198.5	1.09
B40	60*30	168.4	161.0	1.05
B41	60*30	168.4	161.0	1.05
B42	70*30	135.4	134.5	1.01
B43	70*30	135.4	134.5	1.01
B44	60*30	33.7	92.4	0.36
B45	60*30	24.1	92.4	0.26
B46	60*30	25.0	92.4	0.27
B47	60*30	25.0	92.4	0.27
B48	60*30	24.1	92.4	0.26
B49	60*30	33.7	92.4	0.36

Tablo 4.28. 15. Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları

Kiriş İsimleri	Kiriş Kesitleri (cm)	Kesme Kuvveti Talebi (V)(kN)	Kesme Kuvveti Kapasitesi (V _r) (kN)	Kesme Etki/Kapasite Oranı
B1	30*60	138.92	319.5	0.43
B2	30*60	138.92	319.5	0.43
B3	50*30	73.4	256.7	0.29
B4	50*30	73.4	256.7	0.29
B5	70*30	132.35	356.9	0.37
B6	70*30	132.35	356.9	0.37
B7	30*60	167.04	319.5	0.52
B8	30*60	167.04	319.5	0.52
B9	55*30	49.96	280.8	0.18
B10	55*30	49.96	280.8	0.18
B11	25*50	112.46	220.0	0.51
B12	80*30	108.84	407.9	0.27
B13	80*30	108.84	407.9	0.27
B14	80*30	136.31	407.9	0.33
B15	80*30	136.31	407.9	0.33
B16	25*50	83.6	220.0	0.38
B17	25*50	83.6	220.0	0.38
B18	40*30	63.77	169.9	0.38
B19	55*30	157.69	280.4	0.56
B20	70*30	149.7	358.9	0.42
B21	70*30	149.7	358.9	0.42
B22	55*30	157.69	280.4	0.56
B23	40*30	75.09	203.9	0.37
B24	40*30	75.09	203.9	0.37
B25	40*30	100.88	203.9	0.49
B26	40*30	100.88	203.9	0.49
B27	60*30	142.1	305.9	0.46
B28	60*30	142.1	305.9	0.46
B29	55*30	94.62	280.4	0.34
B30	70*30	143.98	356.9	0.40
B31	70*30	143.98	356.9	0.40
B32	55*30	94.62	280.4	0.34
B33	55*30	98.89	280.4	0.35
B34	55*30	98.89	280.4	0.35
B35	25*50	142.25	220.0	0.65
B36	25*50	142.25	220.0	0.65
B37	60*30	112.2	305.9	0.37
B38	70*30	204.44	356.9	0.57
B39	70*30	204.44	356.9	0.57
B40	60*30	139	305.9	0.45
B41	60*30	139	305.9	0.45
B42	70*30	146.61	356.9	0.41
B43	70*30	146.61	356.9	0.41
B44	60*30	74.8	305.9	0.24
B45	60*30	102	305.9	0.33
B46	60*30	85.21	305.9	0.28
B47	60*30	85.21	305.9	0.28
B48	60*30	102	305.9	0.33
B49	60*30	74.8	305.9	0.24

Tablo 4.29. 15. Katta Bulunan Betonarme Kirişlerin Eğilme Momenti/Kapasite Oranları

Kiriş İsimleri	Kiriş Kesitleri (CM)	Eğilme Kuvveti Talebi (M) (kNm)	Eğilme Kuvveti Kapasitesi (M _r) (kNm)	Moment Etki/Kapasite Oranı
B1	30*60	197.63	190.8	1.04
B2	30*60	197.63	190.8	1.04
B3	50*30	60.35	185.7	0.32
B4	50*30	60.35	185.7	0.32
B5	70*30	171.1	214.0	0.80
B6	70*30	171.1	214.0	0.80
B7	30*60	153.6	190.9	0.80
B8	30*60	153.6	190.9	0.80
B9	55*30	46.05	91.1	0.51
B10	55*30	46.05	91.1	0.51
B11	25*50	69.6	150.5	0.46
B12	80*30	97.3	119.9	0.81
B13	80*30	97.3	119.9	0.81
B14	80*30	158.3	116.7	1.36
B15	80*30	158.3	116.7	1.36
B16	25*50	31.5	116.6	0.27
B17	25*50	31.5	116.6	0.27
B18	40*30	35	83.9	0.42
B19	55*30	50.5	91.1	0.55
B20	70*30	39.4	114.2	0.34
B21	70*30	39.4	114.2	0.34
B22	55*30	50.5	91.1	0.55
B23	40*30	46.14	68.0	0.68
B24	40*30	46.14	68.0	0.68
B25	40*30	88.23	68.0	1.30
B26	40*30	88.23	68.0	1.30
B27	60*30	165.94	145.3	1.14
B28	60*30	165.94	145.3	1.14
B29	55*30	50.75	91.1	0.56
B30	70*30	48.64	114.3	0.43
B31	70*30	48.64	114.3	0.43
B32	55*30	50.75	91.1	0.56
B33	55*30	125.9	91.1	1.38
B34	55*30	125.9	91.1	1.38
B35	25*50	119.9	116.6	1.03
B36	25*50	119.9	116.6	1.03
B37	60*30	98.2	92.4	1.06
B38	70*30	205.36	198.5	1.03
B39	70*30	205.36	198.5	1.03
B40	60*30	156.74	161.0	0.97
B41	60*30	156.74	161.0	0.97
B42	70*30	130.5	134.5	0.97
B43	70*30	130.5	134.5	0.97
B44	60*30	40.7	92.4	0.44
B45	60*30	60.6	92.4	0.66
B46	60*30	47.15	92.4	0.51
B47	60*30	47.15	92.4	0.51
B48	60*30	60.6	92.4	0.66
B49	60*30	40.7	92.4	0.44

Taşıyıcı sistem elemanlarından betonarme kirişlere ait analiz sonucunda elde edilen etki/kapasite oranları detayları olarak incelendiğinde;

- i. Etki/kapasite oranı en yüksek olan kirişlerin zemin kat düzleminde B35, B36 ,B38 ve B39 olarak isimlendirilen kirişler olduğu tespit edilmiştir. 15. Katta yer alan kirişlerde ise B7, B8, B35 ve B36 olarak isimlendirilen kirişler olduğu belirlenmiştir. Etki/Kapasite oranı olarak en büyük orana sahip kirişlerin ise 15. katta yer alan B35 ve B36 olarak isimlendirilen kirişler olduğu görülmektedir TBDY 2018'in sınırlandırmış olduğu sünek davranışa sahip olmayan iç kuvvetlerin etki/kapasite oranı olan 0.70 değerini tüm betonarme kirişlerin sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; kesme kuvveti talebi olarak en çok zorlanan kirişlerin yapının merkezinde bulunan, merkez çekirdekte yer alan U ve I şeklinde tasarımı yapılmış olan perdelerle bağlı kısa kirişlerin olduğu görülmektedir.
- ii. Zemin kat düzleminde eğilme momenti ile ilgili iç kuvvet ve kapasite oranları en yüksek olan kirişlerin B27, B28, B38, B39, B40, B41, B42 ve B43 olarak isimlendirilen kirişler olduğu tespit edilmiştir. 15. Katta yer alan kirişlerde ise B1,B2, B14, B15, B25, B26, B33 ve B34 olarak isimlendirilen kirişler olduğu belirlenmiştir. Etki/Kapasite oranı olarak en büyük oranın ise 15. Katta yer alan B33 ve B34 olarak isimlendirilen kirişler olduğu görülmektedir. TBDY 2018'in sınırlandırmış olduğu sünek davranışa sahip iç kuvvetlerin etki/kapasite oranı olan 1.50 değerini tüm betonarme kirişlerin sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; eğilme momenti talebi olarak en çok zorlanan kirişlerin en büyük açıklıklara sahip olan kirişler olduğu belirlenmiştir.

4.6.4.5.2. Tasarım Aşaması II için Betonarme Kolonların Etki/Kapasite Oranları

Bu tez çalışması kapsamında incelenen yapıya ait taşıyıcı sistem elemanlarından olan betonarme kolonlarda; zemin kat ve 15. katta bulunan tüm kolonların kesme ve iki doğrultuda eğilme-eksenel yük ile ilgili iç kuvvet talepleri ve kapasite durumları aşağıda yer alan Tablo 4.30-33'da sunulmaktadır. Betonarme kolonlara etkiyen eksenel yük talebinin her kat düzleminde değişmesi nedeniyle; kolonlara ait kapasite değerleri eksenel yük değerine göre ETABS programı tarafından otomatik olarak hesaplanmış olup; değerlendirmelerde program tarafından hesaplanan kesme kuvveti ve eğilme momenti kapasite değerleri kullanılmıştır.

Betonarme kolonlara ait iç kuvvet talepleri için kat seçimi yapılırken;

- i. Zemin kat düzleminde betonarme kolonların en büyük kesme kuvvetlerine maruz kalması,
- ii. Bölüm 4.6.3.6, Tablo 4.11'de yer alan katlara ait azaltılmış etkin görelî kat ötelemelerine göre en yüksek değere sahip katın 15. kat olması,

hususları göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle zemin kat ve 15. katta yer alan kolonlara ait değerler incelenmiştir.

Tablo 4.30. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kolonların Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları

Kolon İsimleri	Kolon Kesitleri	Kesme Kuvveti Talebi (V)(kN)	Kesme Kuvveti Kapasitesi (V _r) (kN)	Kesme Etki/Kapasite Oranı
C1	50*180	64.82	2982.9	0.022
C2	50*180	57.43	2982.9	0.019
C3	50*175	60	2665.9	0.023
C4	50*175	45.56	2665.9	0.017
C5	40*200	40.94	2569.5	0.016
C6	40*200	40.94	2460.3	0.017
C7	40*200	43.8	2460.3	0.018
C8	40*200	43.8	2569.5	0.017
C9	80*80	22.5	1902	0.012
C10	80*80	22.5	1902	0.012

Tablo 4.31. 15. Katta Bulunan Betonarme Kolonların Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları

Kolon İsimleri	Kolon Kesitleri	Kesme Kuvveti Talebi (V)(kN)	Kesme Kuvveti Kapasitesi (V _r) (kN)	Kesme Etki/Kapasite Oranı
C1	50*180	75.44	2982.9	0.025
C2	50*180	75.44	2982.9	0.025
C3	50*175	118.5	2665.9	0.044
C4	50*175	118.5	2665.9	0.044
C5	40*200	58.3	2569.5	0.023
C6	40*200	38.52	2460.3	0.016
C7	40*200	38.52	2460.3	0.016
C8	40*200	58.3	2569.5	0.023
C9	80*80	48.24	1902	0.025
C10	80*80	48.24	1902	0.025

Tablo 4.32. Zemin Katta Bulunan Betonarme Kolonların Eksenel Yük ve İki Doğrultuda Eğilme Momenti/Kapasite Oranları

Kolon isimleri	Kolon Kesitleri (cm)	P-M2-M3 oranı
C1	50*180	0.474
C2	50*180	0.473
C3	50*175	0.482
C4	50*175	0.483
C5	40*200	0.432
C6	40*200	0.383
C7	40*200	0.383
C8	40*200	0.432
C9	80*80	0.396
C10	80*80	0.396

Tablo 4.33. 15. Katta Bulunan Betonarme Kolonların Eksenel Yük ve İki Doğrultuda Eğilme Momenti/Kapasite Oranları

Kolon isimleri	Kolon Kesitleri (cm)	P-M2-M3 oranı
C1	50*180	0.227
C2	50*180	0.227
C3	50*175	0.226
C4	50*175	0.226
C5	40*200	0.207
C6	40*200	0.188
C7	40*200	0.188
C8	40*200	0.207
C9	80*80	0.193
C10	80*80	0.194

TBDY 2018 esaslarına göre Tasarım Aşaması II için yapılan analizler neticesinde; betonarme kolonlar için elde edilen kesme kuvveti etki/kapasite oranları ile eksenel yük ve iki doğrultuda eğilme momenti etki/kapasite oranları incelendiğinde, sünek olmayan davranış oranı sınırı 0.70 ve sünek davranış sınırı 1.50 değerlerinin aşılmadığı tespit edilmiştir.

4.6.4.5.3. Tasarım Aşaması II için Betonarme Perdelerin Etki/Kapasite Oranları

Bu tez çalışması kapsamında incelenen yapıya ait taşıyıcı sistem elemanlarından olan ve zemin katta bulunan betonarme perdeler için kesme ve iki doğrultuda eğilme-eksenel yük ile ilgili iç kuvvet talepleri ve kapasite durumları aşağıda yer alan Tablo 4.34 ve 4.35'te sunulmaktadır. Betonarme perdeler için etkiyen eksenel yük talebinin her kat düzleminde değişmesi nedeniyle; perdeler için kapasite değerleri eksenel yük değerine göre ETABS programı tarafından otomatik olarak hesaplanmış olup; değerlendirmelerde program tarafından hesaplanan kesme kuvveti ve eğilme kuvveti kapasite değerleri kullanılmıştır. TBDY 2018 deprem yükü hesabı esaslarına göre taban kesme kuvvetinin zemin kat perdelerinde maksimum kuvvete erişmesi nedeniyle zemin kat düzleminde bulunan perdeler, değerlendirmeye esas perdeler olarak Tablo 4.34 ve 4.35'te sunulmuştur.

Tablo 4.34. Zemin Katta Bulunan Betonarme Perdelerin Kesme Kuvveti/Kapasite Oranları

Perde İsimleri	Perde Kesitleri (cm)	Kesme Kuvveti Talebi (kN)	Kesme Kuvveti Kapasitesi (V _r) (kN)	Kesme Kuvveti/Kapasite Oranı
P31 (Poligon)	34*267.5	92.81	1739.27	0.053
P34 (Poligon)	34*267.5	87.2	1739.27	0.050
P45	30*400	136.7	2533.9	0.054
P46	30*400	136.7	2533.9	0.054
P14	30*310	109.02	1978.3	0.055
P32	30*240	69.9	1713.75	0.041
P33	30*240	90.2	1713.75	0.053
P35 (Poligon)	30*865	216.5	2145.3	0.101
P36 (Poligon)	30*865	128.5	2145.3	0.101
P29	40*350	103.4	2517.8	0.041
P30	40*350	143.7	2517.8	0.057
P25	30*500	229.7	2391.7	0.096
P26	30*500	229.7	2391.7	0.096
P6	30*330	185.98	2047.2	0.091
P24	40*480	190.5	3566.5	0.053
P27	40*480	235.8	3571.5	0.066
P23	40*360	121.73	2548.5	0.048
P16	40*280	90.5	1921.2	0.047

Tablo 4.35. Zemin Katta Bulunan Betonarme Perdelerin İki Doğrultuda Eğilme ve Eksenel Yük Kapasite Oranları

Perde İsimleri	Perde Kesitleri (cm)	P-M2-M3 Oranı
P31 (Poligon)	34*267.5	0.365
P34 (Poligon)	34*267.5	0.364
P45	30*400	0.393
P46	30*400	0.392
P14	30*310	0.597
P32	30*240	0.35
P33	30*240	0.349
P35 (Poligon)	30*865	0.46
P36 (Poligon)	30*865	0.463
P29	40*350	0.356
P30	40*350	0.357
P25	30*500	0.491
P26	30*500	0.478
P6	30*330	0.67
P24	40*480	0.003
P27	40*480	0.003
P23	40*360	0.34
P16	40*280	0.346

TBDY 2018 esaslarına göre Tasarım Aşaması II için yapılan analizler neticesinde; zemin katta bulunan betonarme perdelerde elde edilen kesme kuvveti etki/kapasite oranları ile eksenel yük ve iki doğrultuda eğilme momenti etki/kapasite oranları incelendiğinde, sünek olmayan davranış sınırı 0.70 ve sünek davranış sınırı 1.50 değerlerinin aşılmadığı tespit edilmiştir. Kesme kuvveti etkisinde en çok zorlanan perdelerin çekirdekte bulunan U formuna sahip P35 ve P36 olarak isimlendirilen perdeler olduğu belirlenmiştir. İki doğrultudaki eğilme ve eksenel yük altında ise en çok zorlanan perdelerin P14, P35, P36, P25, P26 ve P6 olarak isimlendirilen perdeler olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte; zemin katta yer alan tüm betonarme perdelerin sünek davranış etki/kapasite oranı sınır değeri olan 1.50 değerinin ciddi anlamda altında kaldığı ve yeterli kapasiteye sahip olduğu analiz sonuçları neticesinde elde edilmiştir.

4.6.5. Tasarım Aşaması III için Performans Değerlendirmesi

TBDY 2018 esaslarına göre birinci ve ikinci tasarım aşaması yapılan teze konu yüksek yapı için üçüncü ve son tasarım aşaması olan Tasarım Aşaması III bu bölüm kapsamında

irdelenmiştir. Tasarım Aşaması III'te, DD-1'e göre normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyinin sağlanması gerekmektedir.

Bu kapsamda; Tasarım Aşaması III kapsamında, DD-1 için normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol etmek amacıyla Bodrum+Zemin Kat+28 Kat+Tesisat Katı'ndan oluşan betonarme taşıyıcı sistemin zaman tanım alanında üç boyutlu ve doğrusal olmayan analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Doğrusal olmayan sünek davranışa esas şekil değiştirmeler;

- i. Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler için temelin, bodrumun veya bazanın hemen üst kısmında yer alan perde taban bölgelerinde ve bu bölgelerden yukarıya doğru makul bir yükseklikteki bölgelerde iki doğrultuda eğilme ve eksenel yük altında akma durumu,
- ii. Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve elemanları kirişler için kiriş mesnet bölgelerinde eğilme tesiri altında akma,
- iii. Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve elemanlarından kolonlar için temelin, bodrumun veya bazanın hemen üstündeki kolon taban iki doğrultuda eğilme ve eksenel yük altında akma durumu,

olarak ifade edilmektedir.

TBDY 2018 esasları kapsamında Tasarım Aşaması III için;

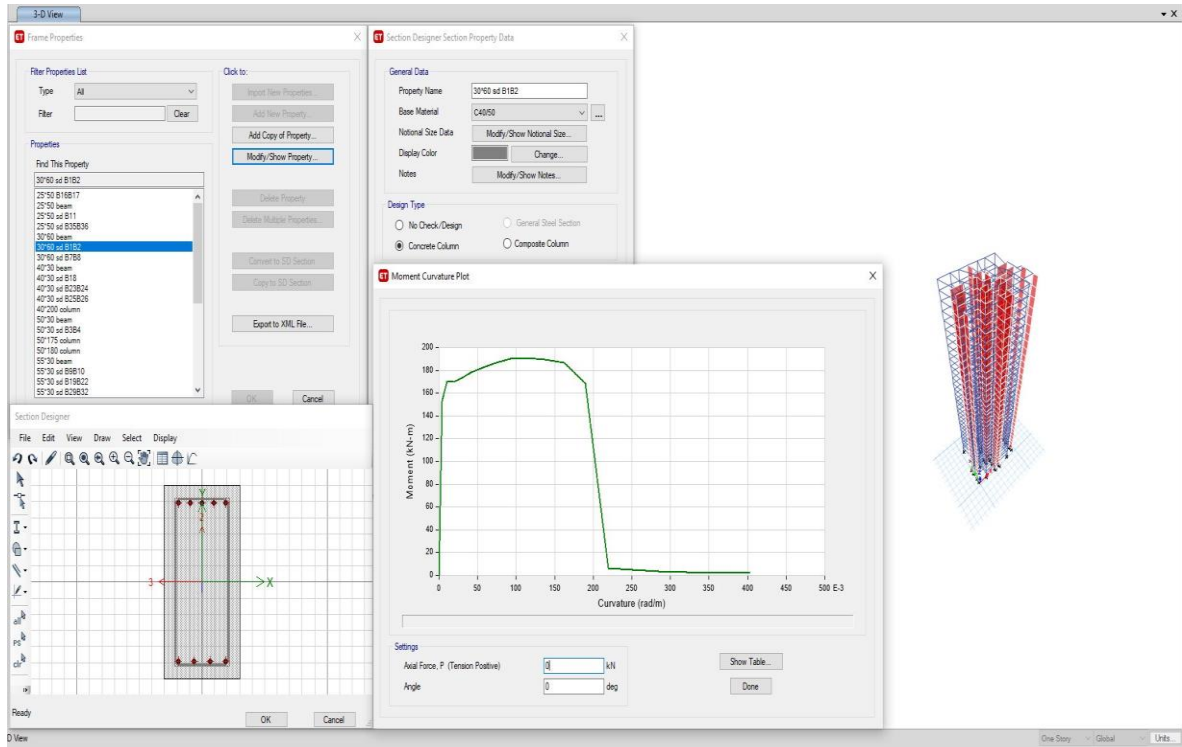
- i. Birinci tasarım aşamasına göre yapılan analiz ve değerlendirmelere göre yapıda A1 düzensizliğinin bulunmaması nedeniyle ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmamıştır.
- ii. Taşıyıcı sisteme ait sönüm oranı %2.5 olarak kabul edilmiştir.
- iii. Zaman tanım alanında üç boyutlu olarak doğrusal olmayan davranışa göre tasarım ve değerlendirmelerde Tablo 4.25'te belirtilen ortalama (beklenen) malzeme dayanımları kullanılmıştır.
- iv. Taşıyıcı sistem elemanlarından kirişlerde, her iki mesnet bölgesine de yığılı plastik davranış modeli kullanılarak modelleme yapılmış, kirişlere ait etkin kesit rijitlikleri Denklem 3.37 ve 3.38'de belirtilen formüllere göre hesaplanarak Tablo 4.36'da sunulmuştur.
- v. Yığılı plastik mafsallı ataması yapılan ve çubuk eleman olarak modellenen kirişlere ait akma momenti (M_y) değerleri ise; ETABS programında TBDY 2018'e göre uygun olacak şekilde beton ve donatı modelleri kullanılarak her bir kiriş kesitine ve kesite ait donatı miktarına göre elde edilmiştir. Örneklemesi amacıyla; Şekil 4.16 ve 4.17'de B1 ve B12 olarak isimlendirilen betonarme kirişlere ait moment-eğrilik grafikleri sunulmaktadır.

- vi. Kolon ve perdelerde; her kat düzleminde taşıyıcı sistem elemanı üzerinde bulunan eksenel yükün farklılık göstermesi nedeniyle, TBDY 2018’de belirtilen esaslara uygun olarak ETABS programında otomatik olarak gerçekleştirilen kesit hücresi (lif) modelinden faydalanarak yayılı plastik mafsallar atanmıştır.
- vii. TBDY 2018’ göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre yapılacak olan analizlerde 11 deprem kaydına ait ivme zaman değerine göre toplamda 22 adet analiz yapılması gerekmektedir. Bu tez kapsamında; üçüncü tasarım aşaması gerçekleştirilirken her bir deprem kaydına ait analiz süresinin çok uzun olması nedeniyle 7 adet deprem kaydı seçilmiş olup; toplamda 14 adet analiz gerçekleştirilmiştir.
- viii. Analizler $P-\Delta$ etkileri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

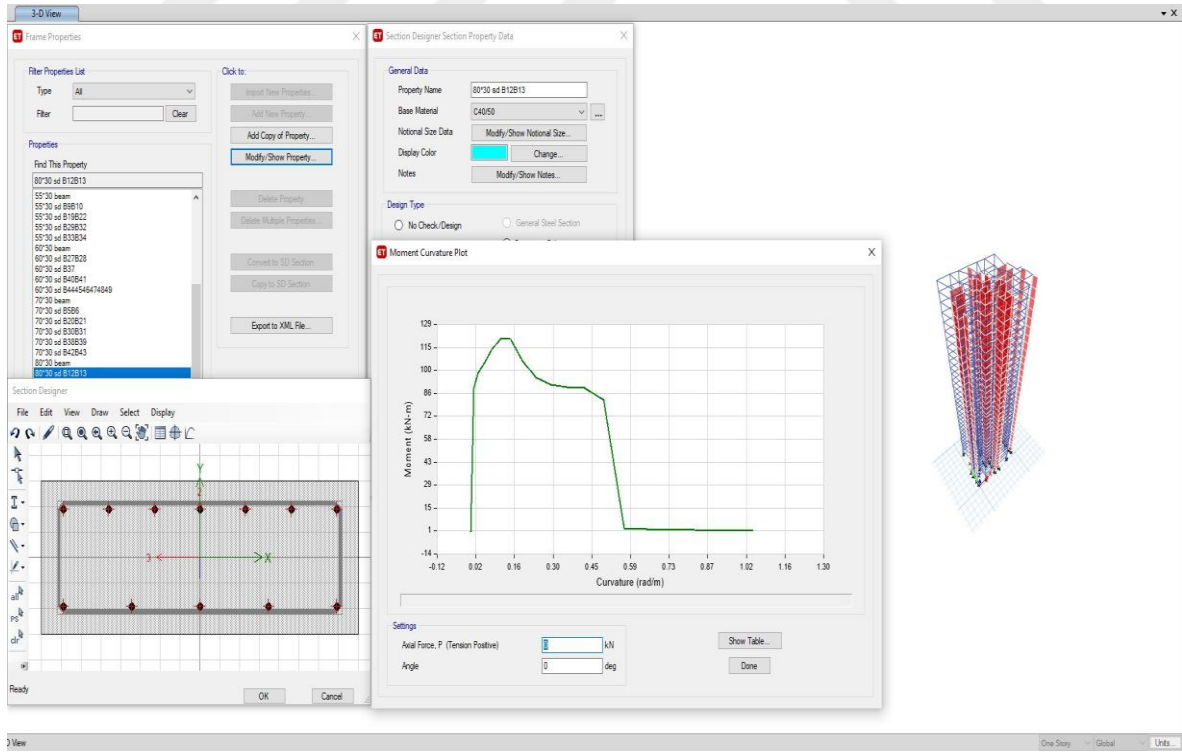


Tablo 4.36. Yığılı Mafsal Olarak Modellenen Kirişlere Ait Etkin Kesit Rijitlikleri

Kiriş İsimleri	Kiriş Ebatları (cm)	My (kNm)	Ls (m)	ϕ_y (1/m)	h(m)	db(m)	fye(Mpa)	fce(Mpa)	n	θ_y	(EI)e	EI	Katsayı
B1	30*60	153.29	3.575	0.004	0.6	0.014	504	52	1	0.007134	25607.03	190188	0.1
B2	30*60	153.29	3.575	0.004	0.6	0.014	504	52	1	0.007134	25607.03	190188	0.1
B3	50*30	132.04	2.6	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.012639	9054.393	39622.5	0.2
B4	50*30	132.04	2.6	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.012639	9054.393	39622.5	0.2
B5	70*30	154.21	3.375	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.015421	11250.27	55471.5	0.2
B6	70*30	154.21	3.375	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.015421	11250.27	55471.5	0.2
B7	30*60	153.29	1.275	0.004	0.6	0.014	504	52	1	0.004748	13720.78	190188	0.1
B8	30*60	153.29	1.275	0.004	0.6	0.014	504	52	1	0.004748	13720.78	190188	0.1
B9	55*30	68.7	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4060.841	43602.36	0.1
B10	55*30	68.7	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4060.841	43602.36	0.1
B11	25*50	111.6	1.2	0.005	0.5	0.014	504	52	1	0.005049	8841.091	91572	0.1
B12	80*30	89.6	3.06	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.014295	6398.415	63396	0.1
B13	80*30	89.6	3.06	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.014295	6398.415	63396	0.1
B14	80*30	89.6	1.8125	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009864	5488.037	63396	0.1
B15	80*30	89.6	1.8125	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009864	5488.037	63396	0.1
B16	25*50	91.3	1.225	0.005	0.5	0.014	504	52	1	0.005072	7350.779	91572	0.1
B17	25*50	91.3	1.225	0.005	0.5	0.014	504	52	1	0.005072	7350.779	91572	0.1
B18	40*30	63.8	1.2	0.007	0.3	0.014	504	52	1	0.005719	4462.466	39763.38	0.1
B19	55*30	68.7	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4060.841	43602.36	0.1
B20	70*30	86.3	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	5101.173	55471.5	0.1
B21	70*30	86.3	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	5101.173	55471.5	0.1
B22	55*30	68.7	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4060.841	43602.36	0.1
B23	40*30	51.1	1.1	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.007493	2500.689	39763.38	0.1
B24	40*30	51.1	1.1	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.007493	2500.689	39763.38	0.1
B25	40*30	51.1	0.975	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.007113	2334.83	39763.38	0.1
B26	40*30	51.1	0.975	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.007113	2334.83	39763.38	0.1
B27	60*30	105.9	3.325	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.01524	7701.453	47547	0.2
B28	60*30	105.9	3.325	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.01524	7701.453	47547	0.2
B29	55*30	68.7	1.625	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009219	4036.348	43602.36	0.1
B30	70*30	86.3	1.715	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009528	5178.124	55471.5	0.1
B31	70*30	86.3	1.715	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009528	5178.124	55471.5	0.1
B32	55*30	68.7	1.625	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009219	4036.348	43602.36	0.1
B33	55*30	68.7	1.95	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.010342	4317.92	43602.36	0.1
B34	55*30	68.7	1.95	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.010342	4317.92	43602.36	0.1
B35	25*50	91.3	0.85	0.005	0.5	0.014	504	52	1	0.004852	5331.647	91572	0.1
B36	25*50	91.3	0.85	0.005	0.5	0.014	504	52	1	0.004852	5331.647	91572	0.1
B37	60*30	70.4	1.5	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.008796	4001.987	47547	0.1
B38	70*30	143.8	3.275	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.01506	10423.7	55471.5	0.2
B39	70*30	143.8	3.275	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.01506	10423.7	55471.5	0.2
B40	60*30	117.1	3.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.016414	8679.942	47547	0.2
B41	60*30	117.1	3.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.016414	8679.942	47547	0.2
B42	70*30	98.5	2.84	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.013497	6908.88	55471.5	0.1
B43	70*30	98.5	2.84	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.013497	6908.88	55471.5	0.1
B44	60*30	70.4	2.45	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.012104	4749.759	47547	0.1
B45	60*30	70.4	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4161.328	47547	0.1
B46	60*30	70.4	1.975	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.010429	4443.989	47547	0.1
B47	60*30	70.4	1.975	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.010429	4443.989	47547	0.1
B48	60*30	70.4	1.65	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.009305	4161.328	47547	0.1
B49	60*30	70.4	2.45	0.011	0.3	0.014	504	52	1	0.012104	4749.759	47547	0.1



Şekil 4. 16. B1 (30*60 cm) Kirişine ait Moment-Eğrilik İlişkisi



Şekil 4. 17. B12 (80*30 cm) Kirişine ait Moment-Eğrilik İlişkisi

4.6.5.1. Taşıyıcı Sisteme ait Malzeme Özellikleri

Tasarım Aşaması II'de yer alan malzeme özellikleri ile aynı malzeme özellikleri kullanılarak analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.

4.6.5.2. Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler

Tasarım Aşaması I ve II'de sisteme etkiyen ölü ve hareketli yükler Tasarım Aşaması III için de olduğu gibi kullanılmıştır.

4.6.5.3. Tasarım Aşaması III için Yük Kombinasyonlarının Belirlenmesi

Üçüncü tasarım aşamasında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranış modeline göre analizlerde kullanılması gereken yük kombinasyonu Denklem 4.17'de belirtilmektedir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^H + 0.3E_d^Z \quad (4.17)$$

Denklemin içerisinde yer alan ifadelerden; G sabit yükü, Q_e hareketli yük kütle katılım katsayısı kullanılarak elde edilen hareketli yükü, S kar yükünü, E_d^H birleştirilmiş yatay deprem etkisini ve E_d^Z ise düşey deprem etkisini temsil etmektedir.

4.6.5.4. Tasarım Aşaması III için DD-1'e Ait Yatay Elastik İvme Spektrumu

Tasarım aşaması III'te göz önüne alınması gereken deprem düzeyi TBDY 2018'e göre DD-1'dir. Yapının bulunduğu koordinat bilgileri ve diğer parametreler göz önüne alınarak DD-1 için;

$$S_{DS} = 0.504$$

$$S_{D1} = 0.130$$

değerleri elde edilmiştir.

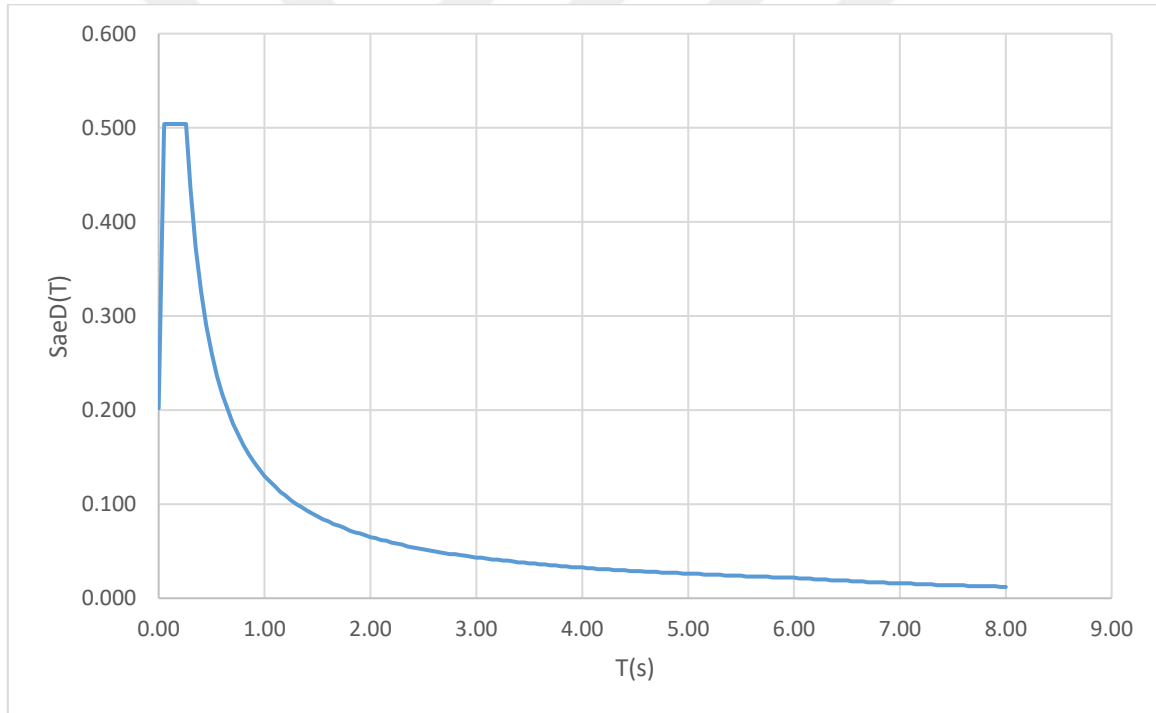
Taşıyıcı sisteme ait köşe periyotları ise Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 kullanılarak;

$$T_A = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 * \frac{0.130}{0.504} = 0.052$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.130}{0.504} = 0.258$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Denklem 3.3-3.6 kullanılarak ve ETABS programından yararlanılarak, DD-1'e ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 4.18'de gösterildiği şekliyle elde edilmiştir.



Şekil 4.18. DD-1 için Yatay Elastik İvme Spektrumu

4.6.5.5. Zaman Tanım Alanında Yapılacak Analizlere Esas Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

TBDY 2018'e göre üçüncü tasarım aşamasında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirmek amacıyla DD-1 'e esas spektrum büyüklükleri ile uyumlu olacak şekilde deprem kayıtlarının seçimi gerçekleştirilmiştir.

Deprem kayıtlarının seçiminde;

- i. Fay hattına olan mesafe,
- ii. Depreme ait kaynak mekanizması,
- iii. Yapının bulunduğu zemine ait yerel zemin sınıfı,
- iv. Deprem dalgalarının yayılımı,

göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerdir. Bununla birlikte; zaman tanım alanında yapılan analizlerde üç boyutlu hesap yapılması nedeniyle her deprem kaydı için elde edilen yatay bileşenlerin spektrumlarının kareleri toplamının karekökü olan bileşke yatay spektrumlar elde edilmiştir. TBDY 2018 esasları dahilinde her bir deprem kaydı için elde edilen bileşke spektrumlara ait genliklerin, yapının üçüncü tasarım aşamasında elde edilen bina hakim titreşim periyodunun (T_p) 0.2 katı ile 1.5 katı arasında DD-1 'de yer alan genliklere oranının 1.3'den küçük olmaması kuralına göre ölçeklendirilen deprem setleri belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde üçüncü tasarım aşamasındaki bina hakim titreşim periyodu 5.73 saniye olarak hesaplanmıştır.

Tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak seçilen ve basit ölçeklendirme metodu ile ölçeklendirilen deprem kayıtları Tablo 4.37'de sunulmaktadır. Deprem kayıtlarının seçiminde ve ölçeklendirilmesinde "Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'ne (PEER)" ait veriler ve ölçeklendirme uygulamaları kullanılmıştır. Deprem kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi aşamaları örnekleme olarak Şekil 4.19-4.21'de sunulmaktadır. Bununla birlikte; deprem kayıtları seçilirken aynı depreme ait kayıtların 3'ten fazla olmaması kuralı da göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 4.37. Tasarım Aşaması III için Seçilen Deprem Kayıtlarına ait Bilgiler

Peer Deprem Kayıt No	Deprem Adı	Depremin Yılı	Depremin Moment Büyüklüğü	Basit Ölçek Katsayısı
1	Helena, Montana-01	1935	6.0	1.56
23	San Francisco	1957	5.28	9.48
3	Humbolt Bay	1937	5.8	5.25
9	Borrego	1942	6.5	1.35
1611	Düzce	1999	7.14	0.52
1612	Düzce	1999	7.14	1.08
4064	Parkfield	2004	6.0	1.69

PEER Ground Motion Database *NGA-West2*
Pacific Earthquake Engineering Research Center

HOME DOCUMENTATION HELP SUBSCRIBE PEER
CINARCOBANOGU91@GMAIL.COM SIGN_OUT

Target Spectrum

Select Spectrum Model
Select models to generate target spectrum: **ASCE Code Spectrum**

[Show/Hide GMM Notation](#)
[Show/Hide GMM Regions](#)
[Show/Hide GMM Figures](#)

ASCE Code Specification

Sds (g) : 0.504
Sd1 (g) : 0.13
TL (sec) : 6

The code specified design response spectrum is in accordance with Code ASCE/SEI7-10 Reference: "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", ASCE, 2010

Load Sample Values Clear

Submit

Şekil 4.19. TBDY 2018'e göre Belirlenen DD-1'e ait Veri Girişi

Edit Search

Load Sample Input Values Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1...RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :

min,max

RJB(km) :

min,max

Rrup(km) :

min,max

Vs30(m/s) :

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :

(≤ 100)

Initial ScaleFactor :

min,max

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Scaling

Scaling Method :

MSE = Computed Weighted Mean Squared Error of record, and suite average, wrt target spectrum.

Weight Function

Used in both search and scaling when computing MSE. Values can be updated for rescaling. Intermediate points are interpolated with $W = \text{fwn}(\log(T))$

Period Points : ($T_1, T_2, \dots, T_n$)

Weights : ($W_1, W_2, \dots, W_n$)

1.20, 1.00

W

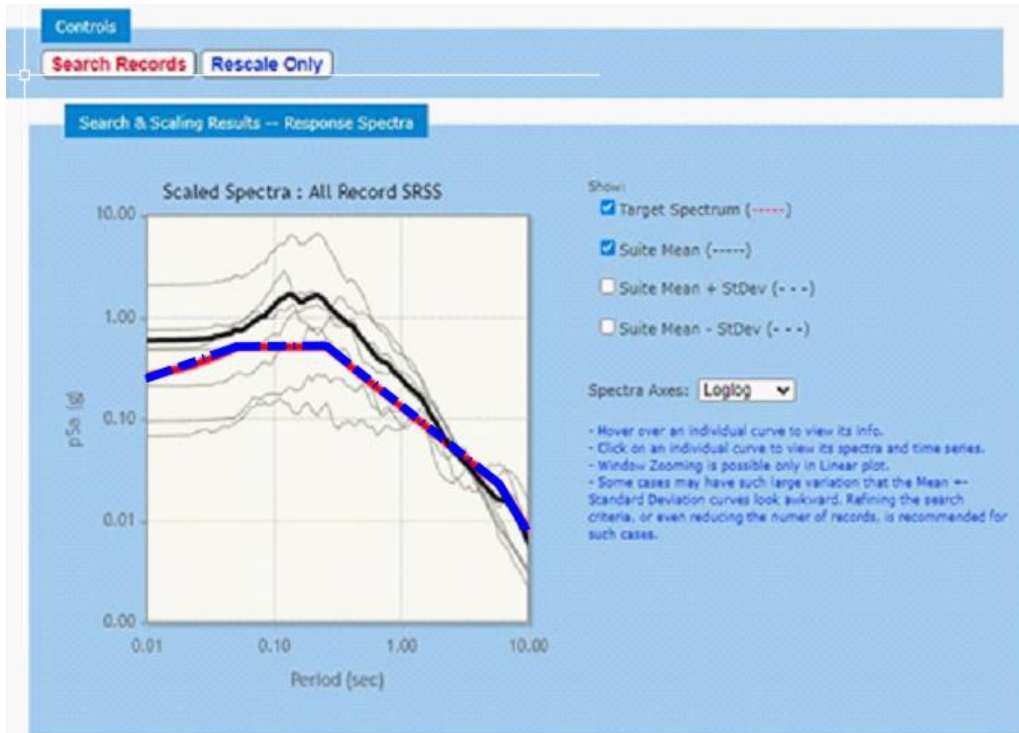
1.00

0.00

0.01 0.10 1.00 10.00

Period (sec)

Şekil 4.20. Deprem Kayıtlarının Seçimi için PEER Arayüzüne Tanıtılan Temel Deprem Parametreleri



Şekil 4.21. Deprem Kayıtlarının PEER Arayüzü Kullanılarak Ölçeklendirilmesi

Şekil 4.21’de yer alan yatay ivme spektrumlarından kesikli mavi çizgi ile gösterilen DD-1’e göre elde yatay elastik ivme spektrumunu temsil ederken, kalın siyah çizgi ile gösterilen spektrum 7 adet deprem kaydına ait ölçeklendirilmiş ivme-zaman verilerinin ortalamasını temsil etmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde; bina hakim doğal titreşim periyodu olan 5.73 saniyenin 0.2 katı ile 1.5 katı arasında DD-1 deprem düzeyindeki tasarım depremine ait ivme spektrumlarının, 7 adet deprem kaydına ait ölçeklendirilmiş ortalama ivme spektrumlarına oranının 1.3’ten küçük olmadığı tespit edilmiştir.

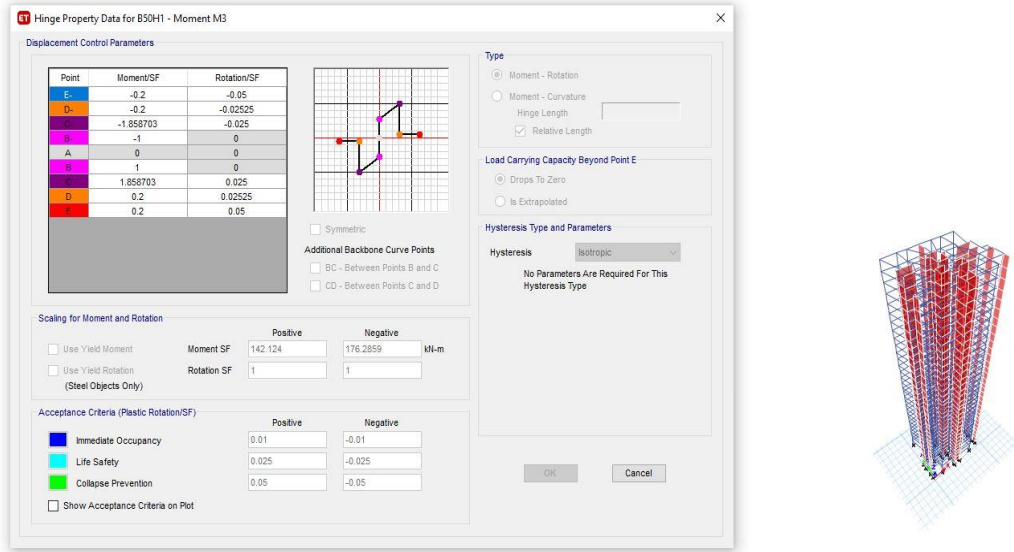
4.6.5.6. Tasarım Aşaması III için Şekil Değiştirme ve İç Kuvvet Taleplerine ait Sınır Değerler

TBDY 2018 esaslarına göre Tasarım Aşaması III’te; DD-1 referans alınarak seçilen ve ölçeklendirilen deprem kayıtlarına ait ivme-zaman verileri kullanılarak, Denklem 4.17’de belirtilen yük kombinasyonu etkisinde taşıyıcı sisteme ait elemanlarda oluşan şekil değiştirme talepleri ile iç kuvvet taleplerinin Denklem 3.23, 3.28 ve 3.29’da belirtilen göçme öncesi sınır değerlerini aşmaması gerekmektedir.

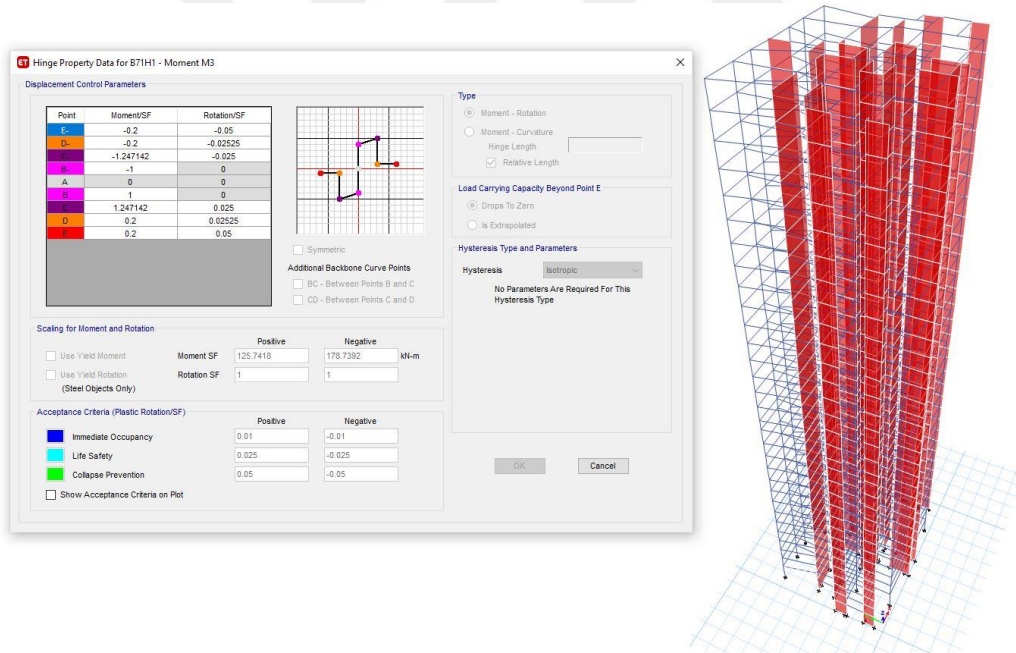
Yayıllı plastik davranış modeline göre lif modeli kullanılarak mafsallı kolon ve perde elemanlarına ait her bir beton ve donatı lifinin birim uzama ve birim kısalma değerinin göçme öncesi sınır değerlerini karşılaması gerekmektedir.

Yığıllı plastik davranış modeli kullanılarak modellenen taşıyıcı sistem elemanlarından kirişler için sınır değerler hesaplanırken de kesite ait plastik dönme sınırının (θ_p^{GO}) kontrol edilmesi gerekmektedir.

ETABS analiz programında modellenen kiriş elemanlarında, plastik mafsallı atamalarının program tarafından otomatik olarak atanabilmesi özelliği kullanılmıştır. Betonarme kiriş elemanlarında, yığıllı plastik davranış modelinin kullanılması nedeniyle mafsallı tanımlaması taşıyıcı elemana ait lokal eksenler baz alınarak 3 yönündeki (M3) moment nedeniyle oluşan dönme oranlarını kontrol etmek amacıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te örnekleme yapılan B1 ve B40 olarak isimlendirilen kirişlerde olduğu gibi tüm kirişlere atanmıştır.



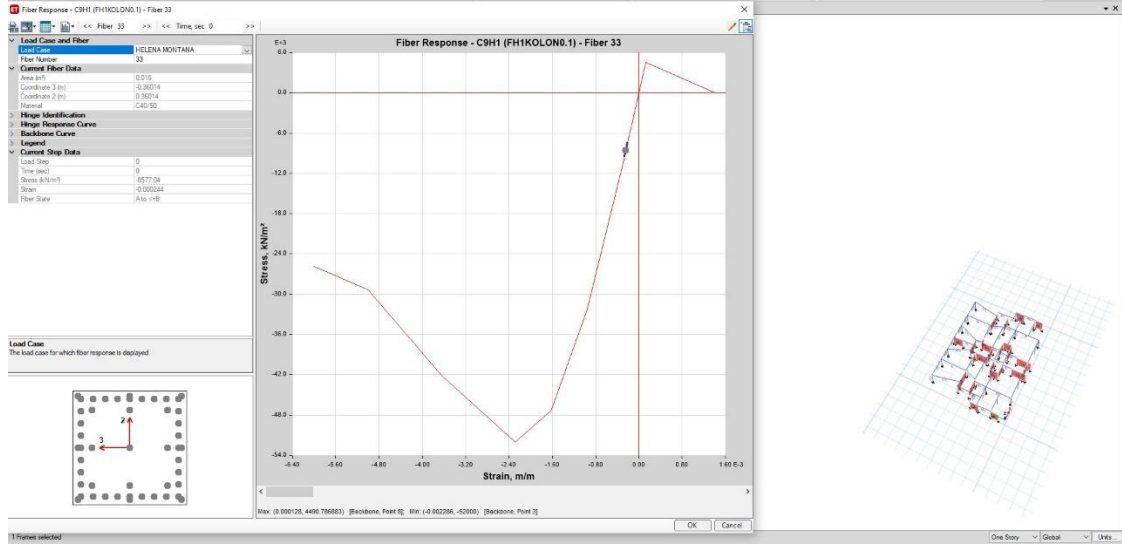
Şekil 4.22. B1 (30*60 cm) Kirişine ait Plastik Mafsall Özellikleri ve Sınır Değerleri



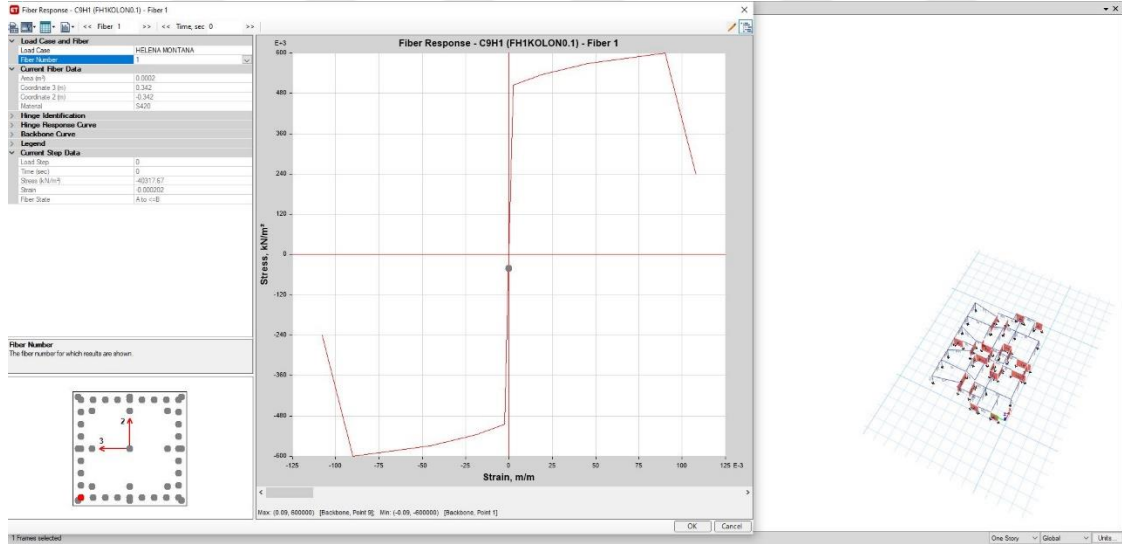
Şekil 4.23. B40 (60*30 cm) Kirişine ait Plastik Mafsall Özellikleri ve Sınır Değerleri

Taşıyıcı sistem elemanlarından kolon ve perdeler ise ETABS analiz programı kullanılarak fiber mafsallar atanmıştır. Yayılı plastik davranış modeli; taşıyıcı elemana ait kesitte bulunan betonun küçük hücrelere bölünerek, kesit içerisinde bulunan donatıların ise teker teker modellendiği mafsall modeli olarak tanımlanmaktadır. TBDY 2018 esaslarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre yapılacak olan analizlerde boşluksuz ve boşluklu

perde elemanlarında kesit hücresi modeli olan yayılı plastik mafsalların kullanımı zorunluluk teşkil etmektedir. Bu nedenle; Şekil 4.24 ve 4.25'te örneklemesi yapıldığı üzere düşey taşıyıcı elemanlarda lif modeli ataması yapılmıştır.



Şekil 4.24. C1 (80*80 cm) Kolonuna ait Betonarme Lif Hücresinin Tanımlanması



Şekil 4.25. C1 (80*80 cm) Kolonuna ait Donatı Lif Modelinin Tanımlanması

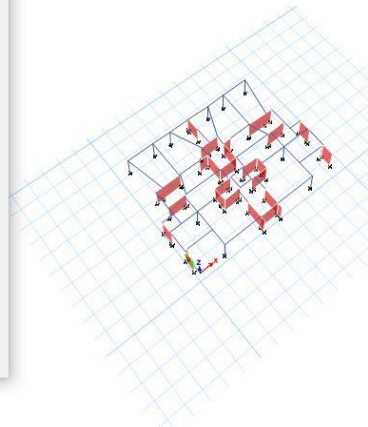
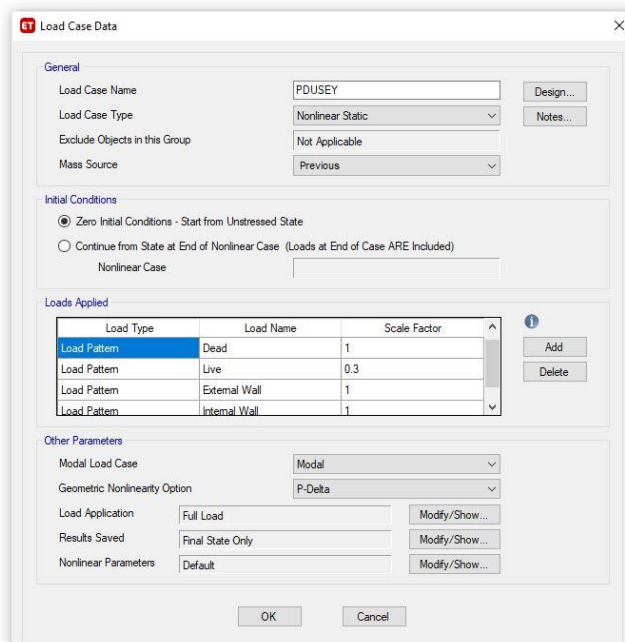
Bölüm 3.5.4.1'de yer alan Denklem 3.23 ve 3.28'de belirtilen göçme öncesi hedefi için beton birim kısalma sınır değeri (ϵ_c^{G0}) ve donatı çeliği birim uzama sınır değeri (ϵ_s^{G0}) ETABS analiz programı tarafından her bir kolon ve perde elemanı için otomatik olarak hesaplanmaktadır.

4.6.5.7. Tasarım Aşaması III için Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi

TBDY 2018 esaslarına göre zaman tanım alanında yapılacak olan analizlerde; DD-I 'e ait spektral ivmeler referans alınarak ölçeklendirilen deprem kayıtlarına ait ivme-zaman verileri kullanılmaktadır. İvme-zaman kayıtlarına ait deprem etkilerinin birbirine dik doğrultuda yer alan X ve Y eksenleri doğrultusunda 0° ve 90° derece döndürülerek eş zamanlı olarak taşıyıcı sisteme etkitimesi gerekmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre yapılacak olan deprem analizi öncesinde statik düşey yüklerin artımsal olarak sisteme etkidiği doğrusal olmayan statik analiz yapılması gerekmektedir. Bu nedenle; Bölüm 4.6.5.5, Tablo 4.37'de yer alan deprem kayıtlarının Denklem 4.17'de yer alan yük kombinasyonu kullanılarak sisteme etkitilmesi öncesinde Şekil 4.26'da gösterildiği üzere başlangıç adımı olarak deprem dışı yükleme oluşturmak amacıyla doğrusal olmayan artımsal statik hesap taşıyıcı sisteme etkitilmiştir. Başlangıç adımı olan deprem dışı yüklemeler zaman tanım alanında taşıyıcı sisteme uygulanacak deprem kaydının ilk adımını oluşturmaktadır.

Tüm bu parametreler göz önüne alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre analizler gerçekleştirilmiştir.

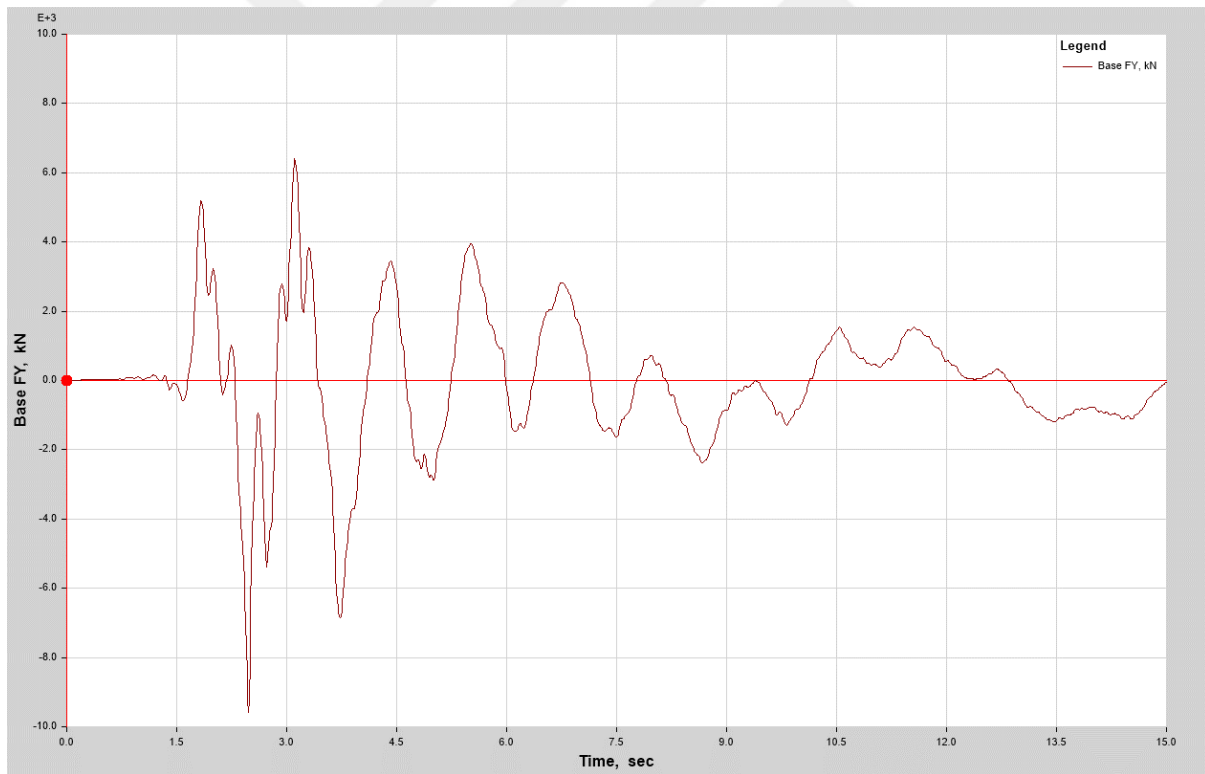


Şekil 4.26. Zaman Tanım Alanında Başlangıç Adımı Olarak Artımsal Statik Hesabın Tanımlanması

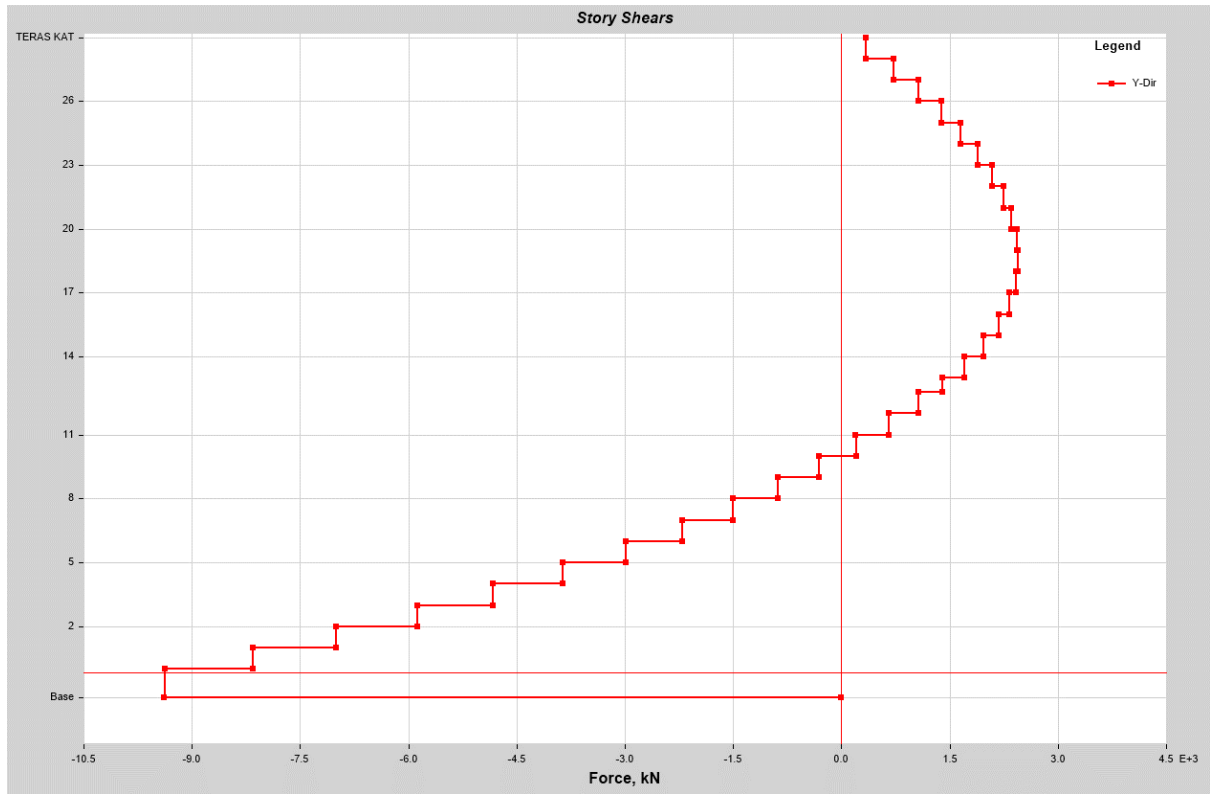
4.6.5.7.1. Tasarım Aşaması III için Elde Edilen Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

TBDY 2018 esasları dahilinde, deprem kayıtlarına ait yapılan analizler neticesinde elde edilen taban kesme kuvvetleri kıyaslandığında; en büyük taban kesme kuvvetinin elde edildiği deprem kaydı PEER deprem kayıt numaralarına göre 1 numaralı deprem kaydı olan Helena, Montana-1 depremi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre; Şekil 4.27’de sunulduğu üzere deprem kaydının 2.48’inci saniyesinde Y yönünde 9588 kN büyüklüğünde taban kesme kuvveti oluşmaktadır. Helena, Montana-1 deprem kaydının 2,48’inci saniyesinde her kat düzeyinde oluşan kesme kuvvetlerinin grafiği ise Şekil 4.28’de sunulmaktadır.

Deprem kayıtları taşıyıcı sisteme uygulanırken, analiz sürelerinin çok uzun olması nedeniyle literatüre göre etkili deprem süresi olarak kabul edilen ivmenin ilk olarak 0.05 g değerine ulaştığı zaman ile son olarak 0.05 g değerine ulaştığı zaman aralıklarına ait deprem kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 4.27. Helena, Montana-1 Deprem Kaydına göre Y Yönünde Oluşan Taban Kesme Kuvveti



Şekil 4.28. Helena, Montana-1 Deprem Kaydının 2.48'inci Saniyesinde Y Yönünde Oluşan Kat Kesme Kuvvetleri

4.6.5.7.2. Tasarım Aşaması III için Elde Edilen Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi

TBDY 2018'e göre üçüncü tasarım aşamasında, seçilen 7 adet deprem kaydının etkisi altında her bir depremden elde edilen görelî kat öteleme değerinin 0.045 değerini, $7 \times 2 = 14$ adet deprem kaydının ortalama görelî kat öteleme değerinin ise 0.03 değerini geçmemesi gerekmektedir. Tasarım Aşaması III için her bir deprem kaydına ait zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler neticesinde; X yönü için elde edilen en büyük görelî kat öteleme değerinin 1612 numaralı PEER deprem kaydı olan Düzce Depremi'nde Tesisat Katı'nda meydana geldiği hesaplanmıştır. Y yönü için elde edilen en büyük görelî kat öteleme değeri de yine 1612 numaralı PEER deprem kaydı olan Düzce Depremi'nde Tesisat Katı'nda meydana gelmiştir. X yönü için elde edilen görelî kat öteleme değeri 0.006 iken Y yönü için elde edilen en büyük görelî kat öteleme değeri 0.005 olarak hesaplanmıştır. Her iki görelî kat öteleme değeri de 0.045 değerinin altında kalmaktadır. $7 \times 2 = 14$ adet deprem kaydına ait ortalama görelî öteleme değerleri ise Tablo 4.38'de sunulmaktadır.

Tablo 4.38. Deprem Kayıtlarına ait Ortalama Görelî Ötelemeler

Kat	Ortalama X	Ortalama Y
Teras Kat	0.0018	0.0025
28	0.0018	0.0025
27	0.0018	0.0025
26	0.0017	0.0025
25	0.0017	0.0024
24	0.0016	0.0019
23	0.0016	0.0019
22	0.0015	0.0016
21	0.0015	0.0016
20	0.0015	0.0014
19	0.0015	0.0013
18	0.0015	0.0014
17	0.0015	0.0013
16	0.0015	0.0013
15	0.0015	0.0013
14	0.0015	0.0014
13	0.0010	0.0010
Tesisat Katı	0.0023	0.0023
12	0.0016	0.0017
11	0.0016	0.0018
10	0.0016	0.0019
9	0.0014	0.0019
8	0.0014	0.0019
7	0.0014	0.0019
6	0.0014	0.0018
5	0.0013	0.0017
4	0.0012	0.0016
3	0.0011	0.0014
2	0.0009	0.0011
1	0.0007	0.0008
Z	0.0003	0.0004

Tablo 4.38’de ki sonuçlardan görüleceği üzere görelî kat öteleme değerleri, Tasarım Aşaması III için sınır değerlerin altında kalmaktadır.

4.6.5.7.3. Tasarım Aşaması III için Betonarme Kirişlerin İç Kuvvet ve Şekil Değiştirme Taleplerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 esaslarına göre sünek davranışa sahip olan betonarme kirişlerde, $7*2=14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için tüm kirişlerde elde edilen en büyük kiriş kesme kuvvetinin mutlak değerlerinin ortalaması alınmalıdır. Elde edilen ortalama kesme kuvveti değerine ise standart sapma eklenerek betonarme kirişe ait kesme kuvveti kapasitesinin (V_r) aşıp aşılmadığı kontrol edilmelidir. Bununla birlikte; ortalama kesme kuvvetine standart sapma eklenerek elde edilen talep kesme kuvveti değerinin, ortalama kesme kuvveti değerinin 1.2 katından küçük ve 1.5 katından büyük olmaması gerekmektedir. Bu hususlar göz önüne alınarak betonarme kirişlere ait ortalama kesme kuvveti ve kesme kuvveti kapasitesi değerleri iki bölüm halinde Tablo 4.39 ve Tablo 4.40'ta sunulmaktadır.

Ayrıca; sünek davranışa sahip olan betonarme kirişlerde , $7*2=14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için elde edilen şekil değiştirmeye esas taleplerin en büyük mutlak değerlerin ortalamasının her bir kiriş için hesaplanan göçme öncesi dönme sınır değerini aşmaması gerekmektedir. Bu kriter göz önüne alınarak betonarme kirişlerde oluşan ortalama dönme talepleri ve dönme sınır değerlerine ait oransal durum Tablo 4.41'de sunulmaktadır.

Tablo 4.39. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-1

Deprem Kaydı	Betonarme Kiriş İsimleri												
	B1 (kN)	B3 (kN)	B5 (kN)	B7 (kN)	B9 (kN)	B11 (kN)	B12 (kN)	B14 (kN)	B16 (kN)	B18 (kN)	B19 (kN)	B20 (kN)	B23 (kN)
Helena, Montana 01	69.45	98.88	89.73	73.80	25.80	35.49	63.53	67.24	26.47	6.51	39.72	13.81	20.16
Helena, Montana 01-90	72.18	99.80	90.30	59.68	24.09	51.74	64.38	68.57	27.21	13.36	37.70	11.90	20.44
San Francisco	69.67	97.73	88.45	63.79	24.08	42.13	63.23	66.96	26.79	9.37	38.72	12.23	21.17
San Francisco 90	71.41	100.1 7	90.66	65.39	24.68	43.18	64.81	68.63	27.46	9.61	39.69	12.54	21.70
Humbolt Bay	70.80	99.40	90.06	66.03	25.08	43.73	64.58	67.85	26.73	9.58	39.15	12.81	21.83
Humbolt Bay 90	71.81	100.0 0	89.22	60.76	24.09	49.03	65.25	68.11	28.74	11.68	39.77	12.17	21.40
Borrego	69.90	98.96	88.12	52.01	21.31	34.31	63.42	67.24	24.95	6.10	35.15	10.48	20.00
Borrego 90	69.65	98.67	88.49	54.22	21.71	33.29	61.63	67.10	25.10	5.40	35.74	10.79	19.70
Düzce-1	70.78	97.26	89.37	62.60	23.67	41.63	64.08	67.88	27.04	8.59	37.49	12.09	20.11
Düzce-1 90	70.19	99.10	89.98	64.64	24.36	39.71	63.55	67.81	26.35	8.01	37.84	12.52	21.58
Düzce-2	70.92	99.62	91.58	74.80	27.67	48.76	65.00	68.82	31.00	13.01	44.68	13.13	24.42
Düzce-2 90	71.35	100.1 4	90.78	78.88	26.61	49.85	66.31	68.91	28.31	12.88	45.76	14.44	25.20
Parkfield	69.29	97.20	87.97	63.45	23.95	41.90	62.89	66.59	26.65	9.32	38.51	12.17	21.05
Parkfield 90	70.67	99.14	89.73	64.72	24.43	42.74	64.15	67.93	27.18	9.51	39.28	12.41	21.47
Vort	70.58	99.01	89.60	64.63	24.40	42.68	64.06	67.83	27.14	9.49	39.23	12.39	21.44
Vort*(1.5)	105.8	148.5	134.4	96.94	36.59	64.02	96.09	101.7 5	40.71	14.24	58.84	18.59	32.17
Vr	319.5	256.7	356.9	319.5	280.8	220.0	407.9	407.9	220.0	169.9	280.4	358.9	203.9

Tablo 4.40. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2

Deprem Kaydı	Betonarme Kiriş İsimleri												
	B25 (kN)	B27 (kN)	B29 (kN)	B30 (kN)	B33 (kN)	B35 (kN)	B37 (kN)	B38 (kN)	B40 (kN)	B42 (kN)	B44 (kN)	B45 (kN)	B46 (kN)
Helena, Montana 01	30.23	84.62	16.36	20.63	45.12	59.32	56.05	132.58	87.64	93.09	26.09	19.59	24.51
Helena, Montana 01- 90°	19.61	85.76	15.86	18.53	47.08	31.83	51.50	132.15	87.54	84.98	28.89	20.76	26.75
San Francisco	24.22	84.05	15.63	18.99	45.61	43.88	52.95	130.60	86.25	90.95	28.21	20.36	25.95
San Francisco 90°	24.82	86.15	16.02	19.47	46.75	44.98	54.28	133.86	88.41	93.23	28.92	20.87	26.60
Humbolt Bay	25.52	85.16	15.88	19.53	46.00	51.14	53.58	132.81	87.69	93.14	28.65	20.21	26.64
Humbolt Bay 90°	29.28	85.58	15.33	19.10	46.45	43.96	54.47	132.27	87.28	92.90	28.96	20.90	26.73
Borrego	15.92	84.73	14.65	17.79	44.51	27.86	51.24	131.93	86.91	92.62	28.38	19.61	26.03
Borrego 90°	15.61	84.65	13.84	18.07	44.24	29.93	51.44	131.96	87.06	92.59	28.30	19.45	25.72
Düzce-1	19.15	85.09	15.10	18.88	46.29	35.47	53.20	132.07	87.37	93.18	28.72	20.35	23.85
Düzce-1 90°	23.03	85.24	15.46	19.23	45.82	46.52	53.47	132.71	87.73	93.26	28.76	20.44	26.63
Düzce-2	26.45	85.74	18.74	19.63	49.27	61.17	55.79	133.50	88.20	94.00	30.20	23.52	28.91
Düzce-2 90°	40.98	86.47	17.39	21.36	48.10	58.18	56.71	133.47	87.98	93.34	29.38	21.77	27.57
Parkfield	24.09	83.60	15.54	18.89	45.36	43.65	52.67	129.89	85.79	90.46	28.06	20.25	25.81
Parkfield 90°	24.57	85.27	15.85	19.27	46.27	44.52	53.72	132.49	87.50	92.27	28.62	20.65	26.33
Vort	24.53	85.15	15.83	19.24	46.20	44.46	53.65	132.31	87.38	92.14	28.58	20.62	26.29
Vort*(1.5)	36.80	127.7	23.75	28.86	69.31	66.69	80.47	198.46	131.0 7	138.2	42.87	30.93	39.4
Vr	203.9	305.9	280.4	356.9	280.4	220.0	305.9	356.9	305.9	356.9	305.9	305.9	305

Tablo 4.41. Betonarme Kirişlere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2

	Betonarme Kiriş İsimleri			
Deprem Kaydı	B7 (kN)	B11(kN)	B25 (kN)	B35 (kN)
Helena, Montana-01	0.016	0	0.026	0.016
San Francisco	0.016	0.007	0.044	0.013
Humbolt Bay	0.013	0	0	0.009
Borrego	0	0	0	0
Düzce-1	0	0	0	0
Düzce-2	0.038	0.013	0.147	0.039
Parkfield	0.021	0.024	0.066	0.006
Ortalama	0.015	0.006	0.040	0.012

Tablo 4.39 ve 4.40 oluşturulurken, kat planının simetrik olması nedeniyle işlem adımını azaltmak amacıyla simetrik kiriş çiftlerinden bir tanesi tablolarlarda kontrol edilmiştir. Tablo 4.39’da görüleceği üzere tüm kirişlerin kesme kapasiteleri beklenen malzeme dayanımları kullanılarak hesaplanmış ve sunulmuştur. Seçilen deprem kayıtlarının etkisi altında en çok zorlanan kirişlerin B3, B5, B38, B40 ve B42 kirişleri olduğu belirlenmiştir. Ancak; en çok zorlanan kirişlerde dahi 1.5 katsayısı ile arttırılmış ortalama kesme kuvveti değerlerinin kirişlere ait kesme kapasitesinin %50 oranında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle; kirişlerde kesme kuvveti kapasitelerin Tasarım Aşaması III için yeterli olduğu görülmektedir.

Tablo 4.41’de sadece plastik dönme talebi olan kirişlere ait veriler sunulmakta olup, Tablo 4.41’de yer almayan kirişlerde dönme talebi/dönme sınır değeri oranı 0 olarak hesaplanmıştır. Bu da, yukarıda belirtilen kirişler haricinde yer alan diğer tüm kirişlerin doğrusal elastik davranış gösterdiği anlamına gelmektedir. Plastik dönme oranı açısından en yüksek değer, Düzce (1612) deprem kaydı etkisi altında B25 kirişinde meydana gelmektedir. Bu değer dahi %14.7 olarak hesaplandığından, tüm kirişler için plastik dönme değerlerinin sınır değerin altında kaldığı söylenebilir.

4.6.5.7.4. Tasarım Aşaması III için Betonarme Kolonların İç Kuvvet ve Şekil Değiştirme Taleplerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 esaslarına göre sünek davranışa sahip olan betonarme kolonlarda, $7 \times 2 = 14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için tüm kolonlarda elde edilen en büyük kolon kesme kuvvetinin mutlak değerlerinin ortalaması alınmalıdır. Elde edilen ortalama kesme kuvveti değerine ise standart sapma eklenerek betonarme kolona ait kesme kuvveti kapasitesinin (V_r) aşıp aşılmadığı kontrol edilmelidir. Bununla birlikte; ortalama kesme kuvvetine standart sapma eklenerek elde edilen talep kesme kuvveti değerinin, ortalama kesme kuvveti değerinin 1.2 katından küçük ve 1.5 katından büyük olmaması gerekmektedir. Bu hususlar göz önüne alınarak betonarme kolonlara ait ortalama kesme kuvveti ve kesme kuvveti kapasitesi değerleri Tablo 4.42’de sunulmaktadır.

Ayrıca; sünek davranışa sahip olan betonarme kolonlarda, $7 \times 2 = 14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için elde edilen şekil değiştirmeye esas taleplerin en büyük mutlak değerlerin ortalamasının her bir kolon için hesaplanan göçme öncesi şekil değiştirme sınır değerini aşmaması gerekmektedir. Bu kriter göz önüne alınarak betonarme kolonlarda oluşan ortalama şekil değiştirme talepleri ve şekil değiştirme sınır değerlerine ait oransal durum Tablo 4.43’te sunulmaktadır.

Tablo 4.42. Betonarme Kolonlara ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler

	Betonarme Kolon İsimleri									
Deprem Kaydı	C1 (kN)	C2 (kN)	C3 (kN)	C4 (kN)	C5 (kN)	C6 (kN)	C7 (kN)	C8 (kN)	C9 (kN)	C10 (kN)
Helena, Montana 01	107.2	117.5	90.5	90.7	154.6	84.0	122.5	147.1	63.3	62.3
Helena, Montana 01-90°	88.3	95.2	79.7	84.2	101.6	71.5	68.7	111.2	61.0	63.0
San Francisco	69.9	75.9	39.8	41.8	79.2	56.0	64.9	81.0	30.2	31.0
San Francisco 90°	63.6	68.1	36.7	40.8	63.6	48.0	48.2	67.1	28.5	28.6
Humbolt Bay	62.9	58.3	19.7	22.0	65.9	54.9	57.1	69.5	21.1	22.4
Humbolt Bay 90°	49.5	64.2	19.4	29.4	55.8	44.1	48.9	63.9	20.8	20.2
Borrego	32.0	34.4	17.3	18.3	32.0	20.7	21.3	33.5	17.1	17.2
Borrego 90°	36.2	37.1	17.6	18.3	35.3	23.5	23.3	34.7	17.4	17.4
Düzce-1	34.3	42.9	18.3	19.4	38.3	26.9	27.9	39.5	18.3	19.0
Düzce-1 90°	42.2	41.8	18.6	19.7	42.8	31.6	34.1	46.7	18.5	19.7
Düzce-2	54.2	70.7	20.8	24.3	63.8	53.7	58.4	71.4	21.7	24.3
Düzce-2 90°	56.4	57.6	27.7	31.6	55.9	42.2	37.4	51.1	22.9	21.3
Parkfield	90.6	90.4	50.7	53.3	77.3	65.4	66.7	80.7	23.2	23.8
Parkfield 90°	92.9	95.0	47.8	50.8	73.8	62.9	64.6	77.4	22.9	22.4
Vort	62.9	67.8	36.1	38.9	67.1	49.0	53.1	69.6	27.6	28.0
Vort*(1.5)	94.3	101.7	54.1	58.3	100.7	73.4	79.7	104.5	41.4	42.1
Vr	2982.9	2982.9	2665.9	2665.9	2569.5	2460.3	2460.3	2569.5	1902	1902

Tablo 4.43. Betonarme Kolonlara ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranları

	Betonarme Kolon İsimleri									
Deprem Kaydı	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Helena, Montana 01	0.021	0.021	0.02	0.02	0.023	0.02	0.02	0.023	0.018	0.018
San Francisco	0.021	0.021	0.022	0.022	0.023	0.019	0.019	0.022	0.019	0.019
Humbolt Bay	0.019	0.019	0.02	0.02	0.022	0.018	0.019	0.022	0.018	0.018
Borrego	0.017	0.017	0.019	0.02	0.018	0.016	0.016	0.02	0.017	0.017
Düzce-1	0.019	0.019	0.021	0.021	0.02	0.018	0.018	0.021	0.017	0.017
Düzce-2	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.02	0.021	0.025	0.021	0.021
Parkfield	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.017	0.016	0.017	0.017	0.017
Ortalama	0.020	0.020	0.021	0.021	0.022	0.018	0.018	0.021	0.018	0.018

Tablo 4.42’den de görüleceği üzere perdeli-çerçevesel taşıyıcı sisteme sahip olan teze konu yapıda, tüm kolonlar çok düşük kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bununla birlikte; şekil değiştirme talebi/ şekil değiştirme sınırı oranı açısından da kolonların %1.8 ile %2.2 arasında çok küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle; taşıyıcı sisteme ait kolonların tamamının göçme öncesi şekil değiştirme sınır değerinin çok altında değerler aldığı ifade edilebilir.

4.6.5.7.5. Tasarım Aşaması III için Betonarme Perdelerin İç Kuvvet ve Şekil Değiştirme Taleplerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 esaslarına göre betonarme perdelerde, $7*2=14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için tüm perdelerde elde edilen en büyük perde kesme kuvvetinin mutlak değerlerinin ortalaması alınmalıdır. Elde edilen ortalama kesme kuvveti değerine ise standart sapma eklenerek betonarme perdeye ait kesme kuvveti kapasitesinin (V_r) aşıp aşılmadığı kontrol edilmelidir. Bununla birlikte; ortalama kesme kuvvetine standart sapma eklenerek elde edilen talep kesme kuvveti değerinin, ortalama kesme kuvveti değerinin 1.2 katından küçük ve 1.5 katından büyük olmaması gerekmektedir. Bu hususlar göz önüne alınarak betonarme perdeler için ortalama kesme kuvveti talebi ve kesme kuvveti kapasitesi değerleri iki bölüm halinde Tablo 4.44 ve Tablo 4.45’te sunulmaktadır.

Ayrıca; betonarme perdelerde, $7*2=14$ adet deprem kaydına ait yapılan analizler sonucunda her bir deprem için elde edilen şekil değiştirmeye esas taleplerin en büyük mutlak değerlerinin ortalamasının her bir perde için hesaplanan göçme öncesi şekil değiştirme sınır değerini aşmaması gerekmektedir. Bu kriter göz önüne alınarak betonarme perdelerde oluşan ortalama şekil değiştirme talepleri ve şekil değiştirme sınır değerlerine ait oransal durum iki bölüm halinde Tablo 4.46 ve Tablo 4.47’de sunulmaktadır.

Tablo 4.44. Betonarme Perdelere ait İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-1

	Betonarme Perde İsimleri							
Deprem Kaydı	P31 (POLİGON) (kN)	P34 (POLİGON) (kN)	P45 (kN)	P46 (kN)	P14 (kN)	P32 (kN)	P33 (kN)	P35 (POLİGON) (kN)
Helena, Montana 01	440.9	380.3	1186	1067	618.1	437.4	372.4	663.5
Helena, Montana 01-90°	255.2	323.9	639.1	517.2	1605	278.8	338.0	1539.1
San Francisco	420.7	411.0	954.8	940.4	1200	406.3	413.5	981.3
San Francisco 90°	284.6	357.8	729.1	788.6	1148	315.8	366.2	1056.3
Humbolt Bay	348.0	357.0	814.4	780.0	1336	357.3	353.1	974.5
Humbolt Bay 90°	247.3	617.0	672.8	1302	1313	266.5	606.5	1094.5
Borrego	74.8	122.9	176.9	271.8	401.3	102.4	150.1	295.8
Borrego 90°	106.4	62.0	247.1	221.7	277.6	134.6	92.5	249.1
Düzce-1	157.1	190.6	350.1	338.0	564.8	179.0	210.7	394.9
Düzce-1 90°	186.6	169.7	381.5	370.9	490.8	204.4	184.5	334.2
Düzce-2	366.4	360.4	623.0	776.9	777.5	377.1	360.0	836.3
Düzce-2 90°	332.8	269.1	794.5	672.4	1025	344.1	276.7	915.1
Parkfield	482.4	415.5	1092	945.4	1637	352.7	391.3	1196.3
Parkfield 90°	331.2	392.9	1004	959.5	1178	391.3	379.5	1285.0
Vort	288.2	316.4	690.5	710.9	969.7	296.3	321.1	844.0
Vort*(1.5)	432.2	474.6	1035	1066	1454	444.4	481.6	1266.0
Vr	1739.3	1739.3	2533	2533	1978	1713	1713	2145.3

Tablo 4.45. Betonarme Perdeler için İç Kuvvet Talepleri ve Sınır Değerler-2

	Betonarme Perde İsimleri									
Deprem Kaydı	P36 (POLİGON) (kN)	P29 (kN)	P30 (kN)	P25 (kN)	P26 (kN)	P6 (kN)	P24 (kN)	P27 (kN)	P23 (kN)	P16 (kN)
Helena, Montana 01	698.9	288.7	360.2	1468.3	1231.7	646.9	541.0	626.9	342.1	528.9
Helena, Montana 01- 90°	1588.0	668.9	738.8	825.3	613.0	1512	1177.1	1264.0	693.3	229.8
San Francisco	1034.6	410.6	506.2	1258.1	1084.3	943.6	780.8	896.8	508.3	435.9
San Francisco 90°	1078.1	454.8	537.1	967.1	928.7	1058	847.1	948.8	521.2	344.2
Humbolt Bay	1016.6	368.8	439.2	1047.1	902.1	843.1	685.0	770.9	426.9	361.6
Humbolt Bay 90°	1138.3	511.1	579.1	895.8	1450.9	1145	978.3	1065.1	601.5	451.7
Borrego	336.2	109.3	178.0	236.8	314.3	297.9	212.1	298.2	154.1	97.6
Borrego 90°	288.6	87.1	156.4	324.9	295.7	261.4	178.2	264.1	133.4	116.9
Düzce-1	431.5	165.5	236.6	427.0	364.3	427.7	333.2	419.2	225.7	152.9
Düzce-1 90°	372.8	99.2	169.9	557.7	409.7	305.3	222.6	308.9	163.8	177.4
Düzce-2	850.2	369.7	442.8	886.6	810.0	794.2	710.0	795.9	503.5	328.4
Düzce-2 90°	953.5	368.9	440.0	992.5	893.5	869.9	634.0	719.5	378.6	339.0
Parkfield	1264.6	522.9	593.1	1526.0	1196.5	1183	988.9	1074.6	606.9	467.9
Parkfield 90°	1187.6	597.2	670.1	1363.1	1099.7	1331	1153.6	1243.8	702.1	450.5
Vort	874.3	358.8	432.0	912.6	828.2	830.1	674.4	764.1	425.8	320.2
Vort*(1.5)	1311.4	538.2	648.0	1368.9	1242.3	1245	1011.6	1146.1	638.7	480.3
Vr	2145.3	2517.8	2517.8	2391.7	2391.7	2047	3566.5	3571.5	2548.5	1921.2

Tablo 4.46. Betonarme Perdelere ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranı-1

	Betonarme Perde İsimleri							
Deprem Kaydı	P31 (POLİGON)	P34 (POLİGON)	P45	P46	P14	P32	P33	P35 (POLİGON)
Helena, Montana 01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
San Francisco	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
Humbolt Bay	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
Borrego	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
Düzce-1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Düzce-2	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Parkfield	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Ortalama	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02

Tablo 4.47. Betonarme Perdelere ait Şekil Değiştirme Talebi/Sınır Değer Oranı-2

	Betonarme Perde İsimleri									
Deprem Kaydı	P36 (POLİGON)	P29	P30	P25	P26	P6	P24	P27	P23	P16
Helena, Montana 01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
San Francisco	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Humbolt Bay	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Borrego	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Düzce-1	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Düzce-2	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03
Parkfield	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Ortalama	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02

Taşıyıcı sisteme ait tüm perde grupları için yapılan incelemelerde maksimum kesme kuvvetlerinin zemin kat düzleminde ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Tablo 4.44-4.45'ten de görüleceği üzere kesme kuvveti kapasitesine göre en çok zorlanan perdelerin P14, P35 ve P36 perdeleri olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvveti değerlerinin kesme kuvveti kapasitesi değerine oranının en yüksek olduğu P14 perdesinde dahi %74 oranında kapasitenin zorlandığı görülmektedir. Bu perdelerin konumuna bakıldığında ise beklendiği üzere asansör perdelerini oluşturan ve yapının tam merkezinde yer alan perdeler olduğu tespit edilmiştir. P14 perdesinin ise; yapının dış kısmında Y yönünde çalışan 2 adet perdeyi birbirine bağlayan ve X yönünde çalışan bir perde olduğu görülmektedir. Tablo 4.46-4.47 incelendiğinde; şekil değiştirme talebi/şekil değiştirme sınır değeri oranının tüm perdeler için %2 ile %3 değerleri arasında olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle; taşıyıcı sisteme ait tüm perdelerin göçme öncesi şekil değiştirme sınır değerinin çok altında kaldığı söylenebilir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Mersin İli, Mezitli İlçesi'nde DBYBHY 2007 esaslarına göre tasarımı ve yapımı tamamlanmış olan Bodrum Kat+Zemin Kat+28 Kat+Tesisat Katı olmak üzere toplam 31 kattan oluşan ve 93 metre yüksekliğe sahip bir yapı, TBDY 2018 kriterleri esas alınarak performans hedeflerinin belirlenmesi amacıyla incelenmiştir.

TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte bina yükseklik sınıfları kavramı ortaya çıkmıştır. Teze konu olan yapı; TBDY 2018 kriterlerine göre BYS=1 sınıfına girmemesine rağmen Mersin İli, Mezitli İlçesi'nde yer alan en yüksek yapı olması nedeniyle Yüksek Yapı olarak göz önüne alınmıştır. Bu nedenle; yüksek yapıların tasarım ve değerlendirilmesi konularında getirilen özel kurallar göz önünde bulundurularak mevcut yapının performans düzeyinin belirlenmesi konusunda analizler ve değerlendirmeler yürütülmüştür. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak yapılan tasarım ve değerlendirmeler için deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili TBDY 2018 esasları dahilinde araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır.

Bu tez kapsamında yürütülen çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

- i. Tasarım Aşaması I kısmının dayanıma göre tasarım ilkeleri kapsamında doğrusal davranışı göz önünde bulundurularak yapılması nedeniyle minimum taban kesme kuvveti kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda; tez çalışmasında mod birleştirme yöntemine göre X ve Y yönünde elde edilen taban kesme kuvvetleri sırasıyla 4.47 ve 4.1 katsayıları ile arttırılarak deprem etkisi sisteme etkitilmiştir.
- ii. TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte yeni bir kavram olarak ortaya çıkan Yüksek Bina tasarımı için uygulanması gereken özel kurallar ve 3 adımdan oluşan tasarım aşamaları irdelenmiştir.
- iii. Tasarım Aşaması I kısmında; dayanıma göre tasarım ilkeleri kapsamında DD-2'de doğrusal davranışı temsil eden analizler TBDY 2018 ilkelerine göre yapılmıştır. DBYBHY 2007 esaslarına göre tasarımı ve yapımı tamamlanmış olan yapıya ait statik projede yer alan kolon, kiriş ve perde donatıları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Yapılan incelemelerde; özellikle kolon ve perdeler için önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Kirişlerde ise; mesnet donatılarında belirli farklar elde edilirken, toplam donatı alanlarının birbirine çok yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.
- iv. Tasarım Aşaması II kısmında; teze konu olan yapının DD-4 etkisinde normal performans hedefi olarak kesintisiz kullanım (KK) performans hedefini karşılayıp karşılamadığı dayanıma göre tasarım ilkeleri dahilinde incelenmiştir. Yapılan analizler ve değerlendirmeler neticesinde; betonarme kolon, kiriş ve perdeler için etki/kapasite oranlarının gerek sünnek davranışa sebep olan eğilme momenti gerekse sünnek olmayan

- davranışa sebebiyet veren kesme kuvveti etkisi altında TBDY 2018'in belirtmiş olduğu sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.
- v. Tasarım Aşaması III kısmında; DD-1'e göre normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyinin yapı tarafından karşılanıp karşılanmadığı hususunda analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Zaman tanım alanına göre yapılan analizlerde TBDY 2018 esaslarına göre seçimi ve ölçeklendirmesi yapılan $7*2=14$ adet deprem kaydının etkisi altında kolon, kiriş ve perde elemanların şekil değiştirme talepleri elde edilmiştir. TBDY 2018'in kritik iç kuvvet olarak belirttiği kesme kuvveti taleplerinin taşıyıcı elemanlara ait kesme kuvveti kapasitesi değerlerini aşıp aşmadığı konusunda hesaplar yapılmıştır.
- vi. Tasarım Aşaması II kısmı için DBYBHY 2007 esaslarına göre tasarımı ve yapımı tamamlanan teze konu yapının, TBDY 2018'in yüksek yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi için getirmiş olduğu özel kurallarda yer alan kriterleri karşılayarak normal performans hedefi olan **"kesintisiz kullanım"** hedefini karşıladığı belirlenmiştir. Ayrıca; Tasarım Aşaması III için beklenen performans hedefi olan **"göçme öncesi performans hedefini"** de karşılamış olduğu yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilmiştir.
- vii. Teze konu olan yapının; TBDY 2018 esasları dahilinde beklenen performans düzeyini karşılamasında, yapının Mersin İli'nde bulunan konumu ve zemin sınıfının önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Yerel zemin sınıfının ZA olması ve yapının inşa edildiği koordinatlara ait harita spektral ivme katsayılarının düşük değerlere sahip olması nedeniyle Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları'ndan (TDTH) elde edilen DD-1, DD-2 ve DD-4'e ait elastik tasarım ivme spektrumuna ait değerler de düşük değerler almıştır. Bu nedenle; deprem tehlikesi açısından daha büyük tasarım ivme spektrumuna sahip bir konumda teze konu olan yapının yapılması veya zemin sınıfı açısından daha zayıf bir zemin üzerinde yapının yer alması durumunda teze ait sonuçların değişmesi de muhtemeldir.
- viii. Mühendislik teknolojisinde yaşanan ciddi gelişmeler neticesinde, bilgisayar programlarından yararlanılarak el ile hesap yapılması mümkün olmayan zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre analizler yapılabilmektedir. Ancak; zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışa göre yapılan analizlerin süresinin çok uzun olması ve veri boyutlarının çok yüksek olması sebebiyle donanım açısından iyi bilgisayarların kullanılması zaman tasarrufu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ATC, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Report (ATC-40). California, Vol. 1, ABD.
- [2] FEMA, 1997. NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Washington D.C.
- [3] FEMA, 2000. Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington D.C.
- [4] Arslan, Y. (2009). Çok Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemler Kullanılarak Belirlenmesi Ve Karşılaştırılması. İTÜ, İstanbul.
- [5] Türkiye Deprem Tehlike Haritası, TDTH 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [6] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [7] Celep, Z. (Ed.) (2015). Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım. İstanbul.
- [8] Sucuoğlu, H. (2015). Performans Esaslı Deprem Mühendisliği, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi
- [9] ETABS Extended 3D Analysis of Building Systems, Nonlinear Version V.18.0.2. Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [10] Willford, M. Whittaker, M. ve Klemencic A. (2008). Recommendations for the Seismic Design of High-Rise Buildings.
- [11] Pacific Earthquake Engineering Center, (PEER). (2017). TBI Tall Buildings Initiative Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings. (Report No: 2017/6). Berkeley, California.
- [12] Stafford, B., Coull, A. (1991). Tall Building Structures: Analysis And Design. Wiley-Interscience.
- [13] Pawar, P., & Jain, S. K. Effect of Shear Wall in Dual Structural System of Tall Buildings: An Overview. Journal of Civil and Construction Engineering, 1(2).
- [14] Aysu, O.B. (1999). Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [15] Özgün, E. (2012). İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Yüksek Bir Binanın Analizi. Esra ÖZGÜN. İTÜ, İstanbul.
- [16] Şancı, E. (2021). Yüksek Yapı Sistemlerinin Performanslarında P-Delta Etkisinin Değerlendirilmesi. Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [17] Gözütok, B. (2011). Betonarme Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. İTÜ, İstanbul.
- [18] Uçar, B. (2019). Betonarme Bir Hastane Binasının DBYBHY 2007 Ve TBDY 2018 Kapsamında Deprem Performansının Değerlendirilmesi. İTÜ, İstanbul.
- [19] Özlü, B. (2015). Çok Katlı Betonarme Binalarda Taşıyıcı Sistem Türlerinin Davranışlarının İncelenmesi. İTÜ, İstanbul.
- [20] Gülsoy, İ. (2003). Betonarme Tüp Sistem Bir Yapının Tasarımı. İTÜ, İstanbul.

- [21] Dhanvijay, V., Telang, D. ve Nair, V. (2015). Comparative Study of Different Codes in Seismic Assessment. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- [22] Feng, D., Liu, W., Masuda, K., Wang, S., & Huan, S. (2006). A Comparative Study of Seismic Isolation Codes Worldwide-Part I: Design Spectrum. 1st ECEES.
- [23] Nemutlu, Ö. F., & Sarı, A. (2019). 2018 Yeni Türk Deprem Yönetmeliği İle Amerikan Deprem Yönetmeliklerinin Deprem Hesapları Açısından Karşılaştırılması. 5. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. ODTÜ, Ankara.
- [24] Tunç, G., & Tanfener, T. (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi. 3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, 1-13.
- [25] Demir, A., & Kayhan, A. H. (2017). Deprem Yönetmeliği 2007 Ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği İle Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [26] Tutkal, V. (2018). Kat Adetleri Farklı Bina Türü Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri İle İrdelenmesi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [27] Demir, A. (2020). Farklı ivme kaydı seçim stratejilerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen ötelenme taleplerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [28] Zengin, E. (2016). A Proposed Ground Motion Selection And Scaling Procedure For Nonlinear Response History Analysis by A Proposed Ground Motion Selection and Scaling Procedure For Nonlinear Response History Analysis. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [29] Erkan, İ. H., & Arslan, M. H. (2011). Betonarme Binaların Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Üzerine Yeni Bir Bakış. Engineering Sciences, 6(4), 1486-1497.
- [30] Sucuoğlu, H. (2019). 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Başlıca Yenilikler. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 1(1), 63-75.