

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu YILDIZHAN SAĞER

**MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇOK KATLI
ÇELİK YAPILARIN 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM
YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZİ VE TASARIMI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2021

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇOK KATLI ÇELİK
YAPILARIN 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE
GÖRE ANALİZİ VE TASARIMI**

Burcu YILDIZHAN SAĞER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 20/08/2021 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Beytullah TEMEL
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
ÜYE

.....
Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZİ VE TASARIMI

Burcu YILDIZHAN SAĞER

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Beytullah TEMEL
Yıl: 2021, Sayfa: 191
Jüri : Prof. Dr. Beytullah TEMEL
: Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

Bu çalışmada, moment aktaran ve merkezi çaprazlı çok katlı çelik yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. 5 ve 10 katlı konut tipi binaların boyutlandırılmasında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği 2016 (ÇYTHYE-2016) ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kullanılmıştır. 5 katlı yapıların doğrusal deprem yükü hesaplarında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Yapılarda Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemine göre yük birleşimleri oluşturularak tasarım yapılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı binaların modellemesi ve yapısal analizlerinde SAP2000 v.20.0 paket programından faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Katlı Çelik Yapılar, Moment Aktaran Sistem, Merkezi Çaprazlı Sistem, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemi.

ABSTRACT

MSc THESIS

DESIGN OF MOMENT RESISTING AND CONCENTRICALLY BRACED STEEL STRUCTURES ACCORDING TO TURKISH BUILDING EARTHQUAKE CODE-2018 (TBEC-2018)

Burcu YILDIZHAN SAĞER

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Supervisor	: Prof. Dr. Beytullah TEMEL Year: 2021, Pages: 191
Jury	: Prof. Dr. Beytullah TEMEL : Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY : Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

In this study, design of moment resisting and concentrically braced multi-storey steel structures were made according to Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). Design Rules of Calculation and Construction Requirements of Steel Structures Codes-2016 and Turkish Building Earthquake Code-2018 are used for the dimensioning of the 5 and 10 storey type of house buildings. Equivalent Seismic Load Method has been used for linear earthquake load calculations of 5-storey building and also Mode Combination Method has been used for 10-storey building. These structures have been designed by generating load combinations according to Load and Resistance Factor Design Method.

SAP2000 v.20.0 program has been used for design and structural analysis of moment resisting and concentrically braced steel frame systems with high ductility level.

Keywords: Multi-storey Steel Structures, Moment Resisting System, Concentrically Braced System, Turkish Building Earthquake Code-2018, Load and Resistance Factor Design Method.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çelik yapı üretimi artmakta; depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı son derece önem kazanmaktadır. Çelik yapılar, betonarmeye göre daha az kolonlarla ve geniş açıklıklarla geçilmeye olanak sunduğundan mimari açıdan estetik tasarımlar yapma imkânı sağlar. Taşıyıcı elemanlar fabrikasyon üretim olduğundan yapım aşaması daha kısa sürmekte, hava koşullarından etkilenmeler betonarme yapılara nazaran daha az olmaktadır. Çelik yapılar sünek davranış gösterdiğinden büyük şekil değiştirme kapasitesine sahip olmakta; dolayısıyla oluşabilecek farklı zemin oturmaları ve deprem etkilerinden daha az ölçüde etkilenmektedir.

Bu tez çalışmasında, 5 katlı ve 10 katlı ikişer adet moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik taşıyıcılı yapıların 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHYE-2016) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018) kullanılarak binaların taşıyıcı sistemleri boyutlandırılmıştır.

Söz konusu binalar konut olarak kullanılmakta olup, 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Tablo 3.1'e göre bina kullanım sınıfı 3 (BKS=3), bina önem katsayısı ise 1 ($I=1.0$) olarak alınmıştır.

Yapıların, Elazığ ilinde 38.604675° enleminde ve 39.28091° boylamında inşa edilmesi varsayılmış; yerel zemin sınıfı ise ZC “çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” olarak seçilmiştir.

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ve ZC yerel zemin sınıfı için elde edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS}=1.337$ değerinde olup 2018 Türkiye Bina

Deprem Yönetmeliği Tablo 3.2'ye göre $S_{DS}=1.337 \geq 0.75$ olduğundan Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 olarak alınmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı binaların kolonları S355, kirişler ve çaprazlar S275 yapısal çelik sınıfında olup, kolon ve kirişler I kesit çaprazlar ise kutu profillerden teşkil edilmiştir. Kiriş kolon birleşimi bulon malzeme sınıfı 10.9 olup yüksek dayanımlı bulon kullanılmıştır.

5 ve 10 katlı tasarlanan binalar X yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, Y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. Binalar 24 metre eninde 30 metre boyunda olup, her kat inşaat alanı 720 metrekaredir. 5 katlı yapının toplam alanı 3600 metrekare, 10 katlı yapının toplam inşaat alanı 7200 metrekaredir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 4 metredir.

Yapılara etki eden sabit ve hareketli yüklerin belirlenmesinde “TS 498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” kullanılmıştır. Deprem yükleri ve spektrumlarının belirlenmesinde “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)”, çelik taşıyıcılı elemanların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ve tasarım sürecinde “Çelik Yapıların Tasarım Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE 2016)” yönetmelikleri kullanılmıştır. Binaların doğrusal deprem hesaplarında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemleri kullanılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı binaların modellemesi ve yapısal analizleri SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

Dört farklı yapı örneğine ait yer değiştirme sonuçları, görelî kat ötelemeleri ve ikincil mertebe etkileri incelenerek TBDY-2018 yönetmelik sınır koşul değerlerini sağlayıp sağlamadığı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen ve beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Beytullah TEMEL'e, İnş. Müh. Erdem FİTİL'e ve İnş. Müh. Mohammad Yatim SAMİM'e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün zorluklara katlanarak beni yetiştiren, maddi ve manevi her türlü desteğini sunan, tüm hayatım boyunca yanımda olan anneme, babama ve canım kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bana her konuda destek olan, bana hep inanan ve benim de kendime inanmamı sağlayan, her daim yanımda olan sevgili eşim Yakup SAĞER'e teşekkür ederim. Bu tezi canımdan çok sevdiğim oğluma ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Yapılar Hakkında Bilgiler.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1. Giriş.....	13
3.2. Yükler ve Kullanılan Standartlar	13
3.2.1. Sabit ve Hareketli Yükler	13
3.2.2. Rüzgar Yükleri	14
3.2.3. Deprem Yükleri	21
3.2.3.1. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I).....	21
3.2.3.2. Deprem Tasarım Sınıfı (DTS).....	22
3.2.3.3. Bina Yükseklik Sınıfı.....	25
3.2.3.4. Bina Performans Hedefleri.....	25
3.2.3.5. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi	27
3.2.3.6. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu	28
3.2.3.7. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	29
3.2.3.8. Düzensizlik Kontrolleri.....	31
3.2.3.9. Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı.....	34

3.2.3.10. Yatay Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları	36
3.2.3.11. Mod Birleştirme Yöntemi	37
3.2.3.12. Düşey Deprem Etkisi	38
3.3. Yük Birleşimleri.....	39
3.4. Yapısal Analizler	41
3.4.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	41
3.4.2. İkinci Mertebe Etkileri.....	43
4. YAPI ÖRNEKLERİ VE BOYUTLANDIRMA HESAPLARI	47
4.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi.....	47
4.1.2. Yükler ve Kullanılan Standartlar	50
4.1.2.1. Sabit ve Hareketli Yükler.....	50
4.1.2.2. Rüzgar Yükleri	52
4.1.2.3. Deprem Yükleri	56
4.1.3. Yük Birleşimleri	67
4.1.4. Yapısal Analizler	70
4.1.4.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	70
4.1.4.2. İkinci Mertebe Etkileri	72
4.1.5. Boyutlandırma Hesapları	74
4.1.5.1. İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması	74
4.1.5.2. Çapraz Elemanların Boyutlandırılması	79
4.1.5.3. Merkezi Çaprazlı Çerçeveselerde Kolon Boyutlandırılması	84
4.1.5.4. Merkezi Çaprazlı Çerçeveselerde Çaprazların Orta Noktalarına Bağlandığı Kirişlerin Boyutlandırılması	101
4.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi	110
4.2.1. Yükler ve Kullanılan Standartlar	114
4.2.1.1. Sabit ve Hareketli Yükler.....	114
4.2.1.2. Rüzgar Yükleri	115
4.2.1.3. Deprem Yükleri	116
4.2.3. Yük Birleşimleri	125

4.2.4. Yapısal Analizler	128
4.2.4.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	128
4.2.4.2. İkinci Mertebe Etkileri	129
4.2.5. Sistem Rijitliği Arttırılmış Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sisteminin Analizi	131
4.2.5.1. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu	133
4.2.5.2. Düzensizlik Kontrolleri	134
4.2.5.3. Yapısal Analizler Sonucu Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü ve İkinci Mertebe Etkileri	135
4.3. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi..	136
4.3.1. Yükler ve Kullanılan Standartlar	141
4.3.1.1. Sabit ve Hareketli Yükler	141
4.3.1.2. Rüzgar Yükleri	141
4.3.1.3. Deprem Yükleri	146
4.3.2. Yapının Analizi	148
4.3.2.1. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu	148
4.3.2.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	149
4.3.2.3. Düzensizlik Kontrolleri	150
4.3.2.4. Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri	152
4.3.2.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	154
4.3.2.6. İkinci Mertebe Etkileri	156
4.4. Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi.	157
4.4.1. Yükler ve Kullanılan Standartlar	159
4.4.1.1. Sabit ve Hareketli Yükler	159
4.4.1.2. Rüzgar Yükleri	160
4.4.1.3. Deprem Yükleri	160
4.4.1.3.1. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)	160
4.4.2. Yapının Analizi	162

4.4.2.1. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu	162
4.4.2.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	163
4.4.2.3. Düzensizlik Kontrolleri	163
4.4.2.4. Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri	165
4.4.2.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü.....	167
4.3.2.6. İkinci Mertebe Etkileri	168
5. ÖRNEK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	171
5.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar	171
5.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 10 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar	177
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	185
KAYNAKLAR	189
ÖZGEÇMİŞ	191

ÇİZELGELER DİZİNİ**SAYFA**

Çizelge 1. 1.	Sıcak Haddelenmiş Yapısal Çeliklerde Karakteristik Akma Gerilmesi, F_y ve Çekme Dayanımı, F_u (ÇYTHYE)	6
Çizelge 1. 2.	Bulonların Karakteristik Akma Gerilmeleri, F_{yb} ve Çekme Dayanımları, F_{ub} (ÇYTHYE)	6
Çizelge 3. 1.	TS 498 Düzgün Yayılı Düşey Hareketli Yük Hesap Değeri	14
Çizelge 3. 2.	Arazi Kategorileri ve Arazi Parametreleri (TS-EN 1991-1-4)	17
Çizelge 3. 3.	A-B-C-D-E Tipi Düşey Duvarlar için Tavsiye Edilen Dış Basınç Katsayısı Değerleri	19
Çizelge 3. 4.	Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY-2018)	22
Çizelge 3. 5.	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı (FS)	24
Çizelge 3. 6.	1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1)	24
Çizelge 3. 7.	Deprem Tasarım Sınıfları (TBDY-2018)	25
Çizelge 3. 8.	Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) (TBDY-2018)	25
Çizelge 3. 9.	Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$) (TBDY-2018)	26
Çizelge 3. 10.	Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$) (TBDY-2018)	26
Çizelge 3. 11.	Eşdeğer Deprem Yükünün Uygulanabileceği Binalar (TBDY-2018)	27
Çizelge 3. 12.	Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Bina Sistemleri için Taşıyıcı Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı	30
Çizelge 3. 13.	Planda ve Düşeyde Düzensizlik Durumları	33
Çizelge 4. 1.	Normal Kat Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri	51

Çizelge 4. 2.	Çatı Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri.....	52
Çizelge 4. 3	X ve Y Doğrultusundaki Rüzgar Kuvvetleri İçin Dış Basınç Katsayıları	54
Çizelge 4. 4.	Net Basınç Katsayıları.....	55
Çizelge 4. 5.	b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu).....	56
Çizelge 4. 6 .	b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu).....	56
Çizelge 4. 7.	38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 5 Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Yapıya ait Bilgiler.....	57
Çizelge 4. 8.	Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıya ait Sabit ve Hareketli Yük Değerleri	58
Çizelge 4. 9.	Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıya ait Kat Ağırlık ve Kat Kütleleri.....	59
Çizelge 4. 10.	Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıda Katlara ait Fiktif Kuvvet F_{fi} Değerleri	60
Çizelge 4. 11.	X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$	61
Çizelge 4. 12.	Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$	61
Çizelge 4. 13.	X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği.....	63
Çizelge 4. 14.	X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	63
Çizelge 4. 15.	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü Değerleri	66
Çizelge 4. 16.	Katlara Etkiyen NG fiktif yük değerleri.....	70
Çizelge 4. 17.	Katlara Etkiyen NQ, NQR, NS fiktif yük değerleri.....	70
Çizelge 4. 18.	(X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	72
Çizelge 4. 19.	(Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	72
Çizelge 4. 20.	(X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	73

Çizelge 4. 21.	(Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	73
Çizelge 4. 22.	1/B-C aksında yer alan merkezi çapraz elamanların olası iç kuvvet dayanımları.....	87
Çizelge 4. 23.	Normal Kat Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri	114
Çizelge 4. 24.	Çatı Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri.....	115
Çizelge 4. 25.	b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu).....	116
Çizelge 4. 26.	b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu).....	116
Çizelge 4. 27.	38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 5 Katlı Moment Aktaran Çelik Çerçeve Yapıya ait Bilgiler.....	117
Çizelge 4. 28.	Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıya ait Sabit ve Hareketli Yük Değerleri.....	118
Çizelge 4. 29.	Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıya ait Kat Ağırlık ve Kat Kütleleri.....	118
Çizelge 4. 30.	Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıda Katlara ait Fiktif Kuvvet Ffi Değerleri	119
Çizelge 4. 31.	X Doğrultusu için Fiktif Yükler Ffi(x) ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri dfi(x).....	119
Çizelge 4. 32.	Y Doğrultusu için Fiktif Yükler Ffi(y) ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri dfi(y).....	120
Çizelge 4. 33.	X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği.....	122
Çizelge 4. 34.	X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	122
Çizelge 4. 35.	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü Değerleri	124
Çizelge 4. 36.	Katlara Etkiyen NG fiktif yük değerleri.....	127
Çizelge 4. 37.	Katlara Etkiyen NQ, NQr, NS fiktif yük değerleri.....	128
Çizelge 4. 38.	(X) doğrultusu için etkin görelı kat ötelemeleri kontrolü.....	129
Çizelge 4. 39.	(Y) doğrultusu için etkin görelı kat ötelemeleri kontrolü.....	129

Çizelge 4. 40.	(X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	130
Çizelge 4. 41.	(Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	130
Çizelge 4. 42.	X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$	133
Çizelge 4. 43.	Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$	133
Çizelge 4. 44.	X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği.....	134
Çizelge 4. 45.	X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	134
Çizelge 4. 46.	Sistem rijitliği artırılmış moment aktaran sistemde (X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü	135
Çizelge 4. 47.	Sistem rijitliği artırılmış moment aktaran sistemde (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü	135
Çizelge 4. 48.	(X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	136
Çizelge 4. 49.	(Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	136
Çizelge 4. 50.	38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 10 Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveî Yapıya ait Bilgiler.....	146
Çizelge 4. 51.	Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Yapıya ait Periyod Değerleri ve Kütle Katılım Oranları	149
Çizelge 4. 52.	X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği.....	151
Çizelge 4. 53.	X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	151
Çizelge 4. 54.	Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Yapının Kütle Hesabı	153
Çizelge 4. 55.	(X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	155
Çizelge 4. 56.	(Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	155
Çizelge 4. 57.	(X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	156
Çizelge 4. 58.	(Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	157

Çizelge 4. 59.	38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 10 Katlı Moment Aktaran Çelik Çerçeveli Yapıya ait Bilgiler.....	160
Çizelge 4. 60.	Moment Aktaran Çelik Çerçeveli 10 Katlı Yapıya ait Periyod Değerleri ve Kütle Katılım Oranları	162
Çizelge 4. 61.	X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği	164
Çizelge 4. 62.	X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	164
Çizelge 4. 63.	(X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	167
Çizelge 4. 64.	(Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	168
Çizelge 4. 65.	(X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	168
Çizelge 4. 66.	(Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri.....	169
Çizelge 5. 1.	(X) Yönü Katlara Göre Yerdeğıştirmeler.....	171
Çizelge 5. 2.	(X) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri	172
Çizelge 5. 3.	(X) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$	172
Çizelge 5. 4.	(Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğıştirmeler.....	173
Çizelge 5. 5.	(Y) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri	174
Çizelge 5. 6.	(Y) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$	175
Çizelge 5. 7.	(X) Yönü Katlara Göre Yerdeğıştirmeler, u_i	177
Çizelge 5. 8.	(X) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri	178
Çizelge 5. 9.	(X) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$	179
Çizelge 5. 10.	(Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğıştirmeler, $u_i(y)$	180
Çizelge 5. 11.	(Y) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Sonuçları.....	181
Çizelge 5. 12.	(Y) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$	182



ŞEKİLLER DİZİNİ**SAYFA**

Şekil 3 1	Binanın h ve b değerlerine bağlı, $q_p(z)$ hız kaynaklı rüzgar basıncı profili (TS-EN 1991-1-4 Kısım 7).....	19
Şekil 3 2	A-B-C-D-E Tipi Düşey Duvarlar	20
Şekil 4 1	5 Katlı Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli.....	47
Şekil 4 2	5 Katlı Yapıya ait Normal Kat Planı.....	48
Şekil 4 3	5 Katlı Yapıya ait A ve D Aksları Sistem Enkesitleri	49
Şekil 4 4	Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemde Burkulma Anına Karşılık Gelen Mekanizma Durumu	84
Şekil 4 5	Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemde Burkulma Sonrasına Karşılık Gelen Mekanizma Durumu	85
Şekil 4 6	5 Katlı Yapıda Çapraz Elemanlara ait Hesaplanan İç Kuvvetler.....	88
Şekil 4 7	1. Kat 1/B-C Aksında Bulunan Kirişe Etki Eden İç Kuvvetler	102
Şekil 4 8	5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli.....	111
Şekil 4 9	5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı	112
Şekil 4 10	5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Sistem Enkesiti	113
Şekil 4 11	5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı	132
Şekil 4 12	10 Katlı Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli.....	138
Şekil 4 13	10 Katlı Yapıya ait Normal Kat Planı.....	139
Şekil 4 14	10 Katlı Yapıya ait A ve D Aksları Sistem Enkesitleri	140
Şekil 4 15	10 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli.....	158
Şekil 4 16	10 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı	159
Şekil 5 1	(X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları	171
Şekil 5 2	(X) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Sonuçları	172
Şekil 5 3	(X) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları.....	173

Şekil 5 4	(Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları	174
Şekil 5 5	(Y) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Sonuçları	175
Şekil 5 6	(Y) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları.....	176
Şekil 5 7	(X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları	178
Şekil 5 8	(X) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Sonuçları	179
Şekil 5 9	(X) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları.....	180
Şekil 5 10	(Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları	181
Şekil 5 11	(Y) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Sonuçları	182
Şekil 5 12	(Y) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları.....	183

SİMGELER VE KISALTMALAR

A_g	: Kompozit elemanın toplam enkesit alanı
B_2	: Yatay ötelenmesi önlenmemiş sistem genelindeki (P- Δ) etkilerini göz önüne alan artırma katsayısı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
C_b	: Moment düzeltme katsayısı
c_{dir}	: Doğrultu katsayısı
C_h	: Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı katsayı
c_{pi}	: İç basınç katsayısı
c_{pnet}	: Net basınç katsayısı
$c_o(z)$	: Orografi katsayısı
$c_r(z)$	: Z metre yükseklikteki engebelilik katsayısı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
c_{season}	: Mevsim katsayısı
C_w	: Çarpılma sabiti
DD1	: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketi
DD-2	: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi
DD-3	: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketin
:	

DD-4	Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketi
d_{fi}	: Taşıyıcı sistemin kat kütle merkezlerine etkitilen F_{fi} fiktif kuvvetleri altındaki yapısal analiz ile bulunan yer değiştirmeleri
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
e	: %5lik ek dışmerkezlik
$E_d^{(X)}$	: %5 dışmerkezlik etkisindeki (X) yönlü deprem kuvveti
$E_d^{(Y)}$	: $\pm$ %5 dışmerkezlik etkisindeki (Y) yönlü deprem kuvveti
$E_d^{(Z)}$	: Düşey deprem etkisi
F_1	: 1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_{cre}	: Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_{iE}	: Kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_{fi}	: Fiktif kuvvetler
F_y	: Karakteristik akma gerilmesi
F_u	: Karakteristik çekme dayanımı
F_s	: Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı
G	: Sabit yükler
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
GÖ	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
H	: Yatay zemin itkisi
h_i	: İ'inci katın yüksekliği
i_{ts}	: Etkin atalet yarıçapı

J	: Burulma sabiti
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
k_r	: Arazi katsayısı
K_x	: X eksenini etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı
L_c	: Eleman burkulma boyu
L_p	: Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen uzunluk değeri
L_r	: Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk değeri
$I_v(z)$	: Z metre yükseklikteki türbülans şiddeti
M_{ib}	: Ek kat burulma momenti
M_d	: Tasarım eğilme momenti dayanımı
M_n	: Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı
$m_{txn}^{(x)}$	: (X) eksenini doğrultusunda ninci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
$m_{tyn}^{(Y)}$	: (Y) deprem doğrultusu için binanın y eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
n	: Hareketli yük kütle katılım katsayısı
N_i	: (İ) kat düzeyine etkitilecek yatay fiktif yük değeri
η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
P_1	: Burkulma anına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti
P_2	: Burkulma sonrasına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti
P_{1t}	: Yapı sisteminin yatay ötelenmesi sonucu YDKT veya GKT yük birleşimleri altında oluşan eksenel kuvvet

P_{ns}	: Elemanın enkesit basınç kuvvet dayanımı
P_{nt}	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eksenel kuvveti
P_r	: İkinci mertebe etkilerini içeren eksenel kuvvet dayanımı
$q_p(z)$	: Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı
	:
Q	: Hareketli yük
Q_r	: Çatı katı hareketli yük
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R	: Taşıyıcı davranış katsayısı
S	: Kar yükü etkisi
$S_{ac}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivme
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivme
$S1$	: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
SS	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T_A	: Yatay tasarım köşe periyotları
T_B	: Yatay tasarım köşe periyotları
T_p	: Bina hakim doğal titreşim periyodunu
T_{pA}	: Ampirik hakim doğal titreşim periyodu
$YDKT$	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
Y_i	: YDKT veya GKT yük birleşimleri ile belirlenen, (i) katı döşemesine etkiyen toplam düşey yük
YM	: Yeterli titreşim modu sayısı
	: Arazi kategorisi II’de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte
V_b	yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgar yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgar hızı
$V_{b,0}$	: Rüzgar hızının temel değeri

$V_m(z)$	: Yer seviyesinden z metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı
V_n	: Karakteristik kesme kuvveti dayanımı
V_t	: Modal analizle elde edilen toplam deprem yükü
V_{tE}	: Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
w	: Toplam rüzgar yükü
w_e	: Dış rüzgar basıncı
w_i	: İç rüzgar basıncı
W_{ex}	: X-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti
W_{px}	: X eksen etrafında plastik mukavemet momenti
z_0	: Engbelilik uzunluğu
$\Delta F_{NE}(x)$	: Binanın n'inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükü
Δ_i	: Birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında ardışık katlar arası azaltılmış görelî kat ötelemeleri
β_{tE}	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
δ_i	: İ'inci katındaki kolon ve perdeler için etkin görelî kat ötelemesi
λ	: Binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD2 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranı
$\theta_{II,i}$	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir i'inci kattaki ikinci mertebe gösterge değeri



1. GİRİŞ

1.1 Genel

Çelik yapılar hafifliği, nakliye kolaylığı, hızlı yapı üretimi, denetlenebilir olması, depreme dayanıklılığı ve çok katlı bina yapımına uygunluğu vb. nedenlerle ülkemizde ve dünyada tercih edilmektedir. Ülkemizde yapı çeliği daha çok demiryolu ve köprü yapımında, baraj kapaklarında, endüstri yapıları ve büyük açıklıklı yapılarda kullanılırken, çok katlı çelik yapıların uygulamaları ise son derece azdır. Bunun nedeni; çelik yapı başlangıç maliyetlerinin betonarme yapılara göre daha yüksek olması, çelik yapı konusunda yetişmiş teknik ve ara eleman eksikliği ve ülkemizde betona dayalı yapı kültürünün oturmuş olması gibi durumlardır.

Çelik yapılar, betonarmeye göre daha az kolonlarla ve geniş açıklıklarla geçilmeye olanak sunduğundan mimari açıdan estetik tasarımlar yapma imkânı sağlar. Taşıyıcı elemanlar fabrikasyon üretim olduğundan yapım aşaması daha kısa sürmekte, hava koşullarından etkilenmeler betonarme yapılara nazaran daha az olmaktadır. Çelik yapılar sünek davranış gösterdiğinden büyük şekil değiştirme kapasitesine sahip olmakta; dolayısıyla oluşabilecek farklı zemin oturmaları ve deprem etkilerinden daha az ölçüde etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı, son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çelik yapı üretimi artmakta; depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı son derece önem kazanmaktadır.

Deprem mühendisliği ve jeolojik alanlardaki bilimsel çalışmaların artışı, teknolojik alandaki gelişmelerin son yıllarda hız kazanması ile 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin (2007-DBYBHY) yetersiz kaldığı görülmüş; 01.01.2019 tarihinde 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018-TBDY) yürürlüğe girmiştir.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde bina tasarımında ve deprem yükleri hesaplarında önemli değişiklikler yapılmış, pek çok konu daha kapsamlı hale getirilmiştir.

2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (2007-DBYBHY) deprem bölgeleri 5 ayrı kategoride (I, II, III, IV, V) sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma 1996 Deprem Bölgeleri Haritası kullanılarak yapılmış; belirli bölgeler için aynı deprem ivme değerleri belirlenmiştir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde ise deprem bölgeleri ortadan kaldırılarak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanıma girmiştir. Bu uygulama ile her coğrafi nokta için enlem ve boylam değerleri girilerek noktasal spektral ivme katsayıları (S_1 , S_s) bilgisine ulaşılması sağlanmıştır. Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s) ve 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1) değerleri yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1) ile çarpıldığında tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{Ds} ve S_{D1}) ulaşılmaktadır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{Ds}) ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}) değerleri ile deprem tasarım sınıfları belirlenmekte ve tasarım ivme spektrumu hesaplarında kullanılmaktadır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018 TBDY) düşey elastik tasarım ivme spektrumu kavramı ortaya çıkmış olup, bu kavram 2007 Deprem Yönetmeliğinde (2007-DBYBHY) boyutsuz spektral ivme katsayısı olarak geçmektedir.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde EZ olarak düşey deprem etkisi de yükleme kombinasyonları hesaplarına dahil edilmiştir. 2007 Deprem Yönetmeliğinde ise X ve Y doğrultularında yükleme durumları (EX ve EY) bulunmakta olup, düşey deprem etkisi gözardı edilmekteydi.

2007 Deprem Yönetmeliğinde (2007-DBYBHY) deprem yer hareketi düzeyi tek olup, 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde ise deprem yer hareketi düzeyi DD1 (50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketi), DD2 (50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi – standart tasarım deprem yer hareketi), DD3 (50 yılda aşılma olasılığının

%50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketi) ve DD4 (50 yılda aşılma olasılığının %68, 30 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketi) olarak dört gruba ayrılmıştır.

2018 Deprem Yönetmeliğinde (2018 TBDY) öncelikle bina kullanım sınıfı (BKS) ardından deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfı (BYS) belirlenerek bina performans hedefi ve uygulama tasarımı yapılır. 2007 Deprem Yönetmeliğinde bu kavramlar bulunmamaktadır. Bina kullanım sınıfı üçe (BKS=1,2,3), deprem tasarım sınıfı bina kullanım sınıfına bağlı olarak sekize (BKS=1 ise DTS=1a,2a,3a,4a; BKS=2,3 ise DTS=1,2,3,4), bina yükseklik sınıfı ise sekize (BYS=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmalar bina performans hedefleri ve performans düzeylerini belirlemektedir. Bina performans hedeflerine göre bina performans düzeyleri 2018 Deprem Yönetmeliğinde dört kategoriye ayrılmış olup bunlar; Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi, Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyidir. 2007 Deprem Yönetmeliğinde ise bu sınıflandırma binada oluşabilecek hasar durumuna göre Hemen Kullanım Performans Düzeyi, Can Güvenliği Performans Düzeyi ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi olarak üç kategoriye ayrılmıştır.

2018 Deprem Yönetmeliğinde yerel zemin grupları kaldırılmış yerel zemin sınıfları altı farklı grupta ele alınmıştır. Bu zemin sınıfları içinde bulunan ZF sınıfına ait sahaya özel araştırma ve değerlendirme şartı getirilmiştir.

Çelik yapılar, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 9'da "Deprem Etkisi Altında Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar" başlığı altında incelenmiş olup 2016 yılında yayımlanan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği ile uyum içerisindedir.

Ülkemizde yapısal çelik tasarımı ile ilgili TS 648 "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" standardı 1980'de yayımlanmıştır. Bu standardın büyük bölümü güvenlik gerilmeleri ile tasarım yaklaşımına dayanan AISC/ASD (1978)

yönetmeliğinin esasları çerçevesinde hazırlanmış olup, yapısal çeliğin kullanımında ülkemizde gözlenen hızlı gelişimin aksine günümüze kadar güncellenmemiştir. Yapısal çelik tasarımı ile ilgili 1980 standardının yetersizliği ve 1997 yılından itibaren, bir önceki 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'in değiştirilmesi ile yürürlüğe giren deprem yönetmeliklerinden sonra ortaya çıkan gereksinimler doğrultusunda, yapısal çelik tasarımı güncel hesap ve uygulama kuralları ile yapım kontrol esaslarını düzenleyen güncel bir çelik yönetmeliğine ihtiyaç duyulmuş ve 4 Şubat 2016 tarihinde Resmi Gazetede Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği yayınlanarak 1 Eylül 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Yorgun, Topkaya ve Vatansever, 2017).

Çelik Yapılar Yönetmeliğinde “GKT - Güvenlik Katsayıları ile Tasarım” ve “YDKT - Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım” şeklinde iki farklı tasarım yöntemi uygulanmakta olup, bu tasarım yöntemlerine yeni deprem yönetmeliğinde de (2018-TBDY) yer verilmiştir.

Bu tez çalışması, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı ve moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan geometrisi düzenli ve simetrik 5 ve 10 katlı iki adet yapının ÇYTHYE ve 2018-TBDY yönetmelikleri çerçevesinde tasarımını içermektedir. Yapıların tasarımı, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemine göre yapılmıştır.

1.2 Yapılar Hakkında Bilgiler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı ve moment aktaran çelik yapıların Elazığ ilinde 38.604675° enleminde ve 39.28091° boylamında inşa edileceği varsayılmış olup, binalar “çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” olan ZC yerel zemin sınıfındadır.

5 ve 10 katlı tasarlanan binaların birbirine dik her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden teşkil edilmiş olup, basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulması

halinde dahi sistemde önemli seviyede dayanım kaybı olmayacak şekilde boyutlandırılması yapılmıştır (Aydinoğlu, Özer, Celep ve Özaydın, 2018).

Binaların kolon ve kirişleri I kesitli profillerden, çaprazlar ise kutu profillerden oluşturulmuştur. Kolonlar S355 yapısal çelik sınıfında olup, Çelik Yapılar Yönetmeliği Tablo 2.1A'ya göre karakteristik akma gerilmesi (F_y) 355 N/mm² ve çekme dayanımı (F_u) 510 N/mm² değerindedir. Kirişler ve çaprazlar ise S275 yapısal çelik sınıfında olup karakteristik akma gerilmesi (F_y) 275 N/mm² ve çekme dayanımı 430 N/mm²'dir. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi (F_y) ve çekme dayanımı (F_u) değerlerinin değişimi karakteristik kalınlığa (t) bağlı olarak Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çapraz kiriş kolon birleşimlerinde ve çapraz uç birleşimlerde bulon sınıfı 10.9 olup yüksek dayanımlıdır. Çizelge 1.2'de bulon sınıfına göre karakteristik akma gerilmeleri (F_{yb}) ve çekme dayanımı (F_{ub}) değerleri yer almaktadır. Bu çizelgeye göre 10.9 bulon sınıfı için karakteristik akma gerilmesi (F_{yb}) 900 Mpa ve çekme dayanımı (F_{ub}) 1000 Mpa değerindedir. E550 kaynak metal sınıfı seçilmiştir.

5 ve 10 katlı tasarlanan iki bina örneğinde genel analiz yöntemi ile tasarım yapılmıştır. Genel analiz yöntemi tüm çelik yapı sistemlerinin stabilite tasarımına uygulanabilmekte olup, bu yöntem ile gerekli dayanımın hesabı ikinci mertebe hesabı uygulanarak elde edilmektedir. Sistem hesabında, geometrik ön kusurlar için kullanılan fiktif yükler ÇYTHYE 6.2.2.2'de açıklandığı gibi şekil değiştirmemiş orjinal sistem üzerine etkitilecektir. Fiktif yükler, her kat düzeyinde sisteme etkitilecek olup bu yükler yapı sistemine etkiyen tüm düşey ve yatay yük birleşimlerine eklenecektir.

5 ve 10 katlı tasarlanan binalar X yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, Y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. Binalar 24 metre eninde 30 metre boyunda olup, her kat inşaat alanı 720 metrekaredir. 5 katlı yapının toplam alanı 3600 metrekare, 10 katlı yapının toplam inşaat alanı 7200 metrekaredir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 4 metredir.

Çizelge 1.1 Sıcak Haddelenmiş Yapısal Çeliklerde Karakteristik Akma Gerilmesi, F_y ve Çekme Dayanımı, F_u (ÇYTHYE)

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Çizelge 1.2 Bulonların Karakteristik Akma Gerilmeleri, F_{yb} ve Çekme Dayanımları, F_{ub} (ÇYTHYE)

Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
F_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
F_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Binalar her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmakta olup basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulmasında dahi sistemde önemli derecede dayanım kaybı oluşturmayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Binaların kolon ve kirişleri I kesitli profillerden, çaprazları ise kutu profillerden oluşturulmuştur. Çelik kirişlerin düşey yükler altında betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışması hesaba katılmayacaktır. 2 metre aralıklarla teşkil edilen ikincil kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır.

5 ve 10 katlı kullanım amacı konut olarak tasarlanan binalara ait gerekli dayanımı belirlemek amacıyla karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimlerinde Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi (YDKT) kullanılmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanan 5 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında ise Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür araştırması yapıldığında, konu ile ilgili tez çalışmalarının henüz kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinin (ÇYTHYE-2016) 1 Şubat 2016, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin (TBDY-2018) ise 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, her iki yönetmeliğin de henüz yeni olmasıdır. İlgili yönetmeliklerin yürürlüğe girmesi ile yönetmelik maddelerinin daha iyi anlaşılabilmesi adına seminerler ve kitaplar hazırlanmıştır.

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü ile İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi arasındaki protokolle hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu”nda (2017), ÇYTHYE-2016 Yönetmeliği esaslarına yönelik yapı elemanları ve birleşimlerine ait örnekler Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımları ile ele alınarak çözümlenmiştir.

Yorgun, Topkaya ve Vatansever (2017) tarafından hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Ders Notları”nda ÇYTHYE-2016 yönetmeliği maddeleri açıklanmış, maddeler ile ilgili örneklerle yer verilmiştir.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası tarafından 2018 tarihinde yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine ait bölümler ele alınmış ve örnekler çözülmüştür. TBDY-2018 Bölüm 9 “Deprem Etkisi Altında Çelik Binaların Tasarımı için Özel Kurallar” Başlığı altında süneklik düzeyi yüksek moment aktaran, merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı üç farklı çelik çerçeveli bina sistemi ele alınmış; bu binalara ait taşıyıcı sistem hesabı ve tasarımı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılmıştır.

Tütüncü (2019), yüksek lisans tez çalışmasında çok katlı çelik bir yapının TBDY-2018'e göre tasarımını ele almıştır. Tasarımı yapılan çelik yapı 10 katlı olup; boyuna yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çerçevelerden, enine yönde süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden oluşturulmuştur. Yapı, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre tasarlanmış, Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine göre hesapları yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Öz (2018) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan 5 katlı bir yapı ele alınmış; bu yapıların Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) Yöntemine göre tasarımı yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Uz (2020) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde çok katlı bir çelik yapının TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016 yönetmelikleri kullanılarak modellenmesi ele alınmıştır. Çalışmada, 5 katlı ve 13 katlı moment aktaran, X çapraz sistemli ve V çapraz sistemli yapılar tasarlanmış; yapıların performansları incelenmiştir. Bu yapıların analizleri ETABS programında yapılmıştır.

Aktaş (2019), yüksek lisans tez çalışmasında çelik yapılarda Yük ve Dayanım Katsayıları (YDKT) ile tasarım ile Güvenlik Katsayıları ile tasarım (GKT) karşılaştırması yapmıştır. Bu tez çalışmasında iki adet çelik yapı ele alınmış ve yapı kesitleri kıyaslanarak hangi yöntemin daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir.

Kulak (2019) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında çelik yapıların zaman tanım alanında analizi ve spektrum eşleştirme parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

Nowbahari (2021) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında burulma düzensizliği bulunan çok katlı çelik yapıların 2018 Deprem Yönetmeliğine göre analizi ve tasarımı incelenmiştir. A1 türü burulma düzensizliği

bulunan 10 farklı merkezi çelik çaprazlı modelin analizi ETABS programında yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemlerine göre modellerin periyotları, ağırlıkları, taban kesme kuvvetleri, maksimum ve minimum tepe noktası yer değiştirmeleri ve burulma düzensizlikleri incelenerek 10 farklı modelden en ideal performansı gösteren model irdelenmiştir.

Literatür incelendiğinde, güncel yönetmelikler çerçevesinde hazırlanan tez çalışmalarında ele alınan çok katlı çelik yapı modellerinin deprem hesaplarında genel olarak Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında 5 katlı modellerin çözümü Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile 10 katlı modellerin çözümü ise Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacaktır. Moment aktaran çerçeve sistemler ile merkezi çaprazlı çerçeve sistemler arasında karşılaştırmalar yapılacaktır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Giriş

Bu bölümde, 4. Bölümde analizi ve tasarımı yapılan süneklik düzeyi yüksek moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı bina örnekleri için kullanılan standartlardan ve ilgili yönetmelik maddelerinden bahsedilmiştir.

3.2 Yükler ve Kullanılan Standartlar

Yapıların tasarımı ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında karakteristik yük değerleri olarak “TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” standardından faydalanılmıştır. Kar yükü hesabında “TS EN 1991-1-3”, rüzgar yükü hesabında “TS EN 1991-1-4” standartları kullanılmıştır. Deprem yüklerinin hesabında ve karakteristik değerlerin belirlenmesinde “2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ilgili maddeleri kullanılmıştır.

3.2.1 Sabit ve Hareketli Yükler

TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” Standardında sabit yük “Zati yük, kiriş, kolon, döşeme, çatı gibi taşıyıcı elemanların ve bunların sıva, kaplama vs. gibi tamamlayıcı kısımlarının ağırlıklarıdır.”; hareketli yük ise “Zati yüklerin dışındaki, insan, mobilya, yük taşımayan hafif bölme duvarları, depolama malzemesi, makina, araç, gereç, vinç, rüzgar, kar gibi yüklerdir.” şeklinde tanımlanmıştır.

Elazığ ilinde bulunan 5 ve 10 katlı yapıların tasarımı için kar yükünün belirlenmesinde TS EN 1991-1-3 standardı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1’de TS 498’de bulunan düzgün yayılı düşey hareketli yük hesap değerleri verilmiştir.

Çizelge 3 1 TS 498 Düzgün Yayılı Düşey Hareketli Yük Hesap Değeri

Kullanma Şekli				Hesap Değeri
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	kN/m ²
1		Çatı arası odalar		1,5
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m ² 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	Hesap Değeri kN/m ²
3	Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik (bahçe yapılması)	Hastanelerin mutfakları, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, anfiler	Konut Merdivenleri	3,5
4		- Camiler - Tiyatro ve sinemalar, - Spor dans ve sergi salonları, - Tribünler (oturma yeri sabit olan) - Toplantı ve bekleme salonları - Mağazalar, - Lokantalar - Kütüphaneler - Arşivler - Hafif ağırlıklı atölyeler - Büyük mutfaklar, kantinler - Mezbahalar - Fırınlar, - Büyükbaş hayvan ahırları - Balkonlar 10 m²'ye kadar - Büro, hastane okul, tiyatro sinema kütüphane depo vb. genel yapı koridorları	Umuma açık yapılarda büro hastane okul, tiyatro, kütüphane kitaplık vb.	5
5		- Tribünler (oturma yeri sabit olmayan)		7,5
6		- Garajlar (Toplam ağırlığı 2,5 tona kadar olan araçlar için)		5

3.2.2 Rüzgar Yükleri

Rüzgar yükü etkileri, TS 498 Standardında oldukça basit olarak ve yapı sistemi geometrisine bağlı yayılışı da yeterince detaylı tanımlanmaksızın verilmiştir. Özellikle yüksek binalarda ve farklı geometriye sahip yapı sistemlerinde rüzgar yükü yayılışına bağlı olarak meydana gelecek etkilerin ve bu etkiler altında oluşacak iç kuvvetlerin uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. TS 498 Standardının bu konudaki yetersizliği, Yönetmelik 1.3'te

TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 ün referans verilmesi ile giderilmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

TS EN 1991-1-4 Standardı yüksekliği en fazla 200 metre olan binaların ve inşaat mühendisliği işlerinin, 200 metreden daha az açıklıklı köprülerin yapısal tasarımında her bir yük tesir alanı dikkate alınarak doğal rüzgar etkilerinin belirlenmesi için gerekli bilgileri kapsamaktadır. Rüzgar etkileri zamana bağlı değişkenlik göstermekte olup, yapının hem dış yüzeyine doğrudan basınç etkisi gösterir hem de dış yüzeyin gözenekli olması, dış cephede açıklıkların bulunması vb. nedenleriyle iç yüzeye doğrudan veya dolaylı olarak etkir.

Rüzgar basınç kuvvetleri yapının yüzey alanına dik kuvvetler oluşturacak şekilde etkiye yapar. TS EN 1991-1-4'te rüzgar etkisinin, en kritik türbülanslı rüzgar tesirlerine eşdeğer tesirler meydana getiren basitleştirilmiş basınç ve kuvvet grupları şeklinde temsil edildiği belirtilmiştir. Rüzgar tesirlerinin (yapı tepkisi) ise yapının şekline, boyutuna ve dinamik özelliklerine bağlı olduğu açıklanmıştır. Rüzgar tesirleri veya yapının tepkisi hesaplanırken tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı (q_p), kuvvet ve basınç katsayıları ile yapısal katsayı dikkate alınmaktadır.

Ortalama rüzgar hızı yüksekliğe bağlı değişim göstermekte olup, arazi engebeliliğine, o arazinin orografik özelliklerine ve esas rüzgar hızına bağlıdır. Bir arazide yer seviyesinden z metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı $V_m(z)$ formülü Denklem 3.1'de gösterilmiştir.

$$V_m(z) = c_r(z) c_o(z) V_b \quad (3.1)$$

Bu denkleme göre $c_r(z)$ engebelilik katsayısını, $c_o(z)$ orografi katsayısını, V_b değeri de arazi kategorisi II'de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgar yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgar hızını ifade etmektedir.

$$V_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0} \quad (3.2)$$

Esas rüzgar hızı V_b , Denklem 3.2’de görüldüğü gibi doğrultu katsayısı c_{dir} , mevsim katsayısı c_{season} ve $V_{b,0}$ esas rüzgar hızının temel değerine bağlıdır. TS EN 1991-1-4’te rüzgar hızının temel değeri $V_{b,0}$, “Yılın herhangi bir bölümünden ve rüzgar yönünden bağımsız olarak, çayır gibi az bitki örtüsüne ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı mesafe bulunan engellere sahip kırsal alanda yer seviyesinden 10 m yukarıdaki karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgar hızı” olarak tanımlanmış ve ÇYTHYE-2016 Bölüm 5.3’te bu değer 28 m/sn’den ve binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgara maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına etkiyen rüzgar yüklerinin 0,50 kN/m²’den az olmaması gerektiği belirtilmiştir. TS EN 1991-1-4’te doğrultu katsayısı c_{dir} , mevsim katsayısı c_{season} için tavsiye edilen değerler 1,0 olarak belirlenmiştir. Bu durumda esas rüzgar hızı $V_b=28$ m/sn olacaktır.

Denklem 3.1’de bulunan $c_o(z)$ orografî katsayısının ilgili standartta aksi belirtilmedikçe 1,0 alınması gerektiği bildirilmiştir. $c_r(z)$ z metre yükseklikteki engebelilik katsayısına ait formül ise Denklem 3.3’te gösterilmiştir.

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (3.3)$$

Bu denklemde z metre yükseklikteki engebelilik katsayısı $c_r(z)$, engebelilik uzunluğu (z_0) ve arazi katsayısına (k_r) bağlı olarak değişmektedir. Arazi katsayısı k_r ’ye bağlı formül Denklem 3.4’te gösterilmiştir.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}} \right)^{0.07} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te belirtilen z_0 değeri ile Denklem 3.3'te belirtilen z_{min} değeri arazi kategorisine bağlı olup, Çizelge 3.2'de arazi kategorileri ve parametre değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Arazi Kategorileri ve Arazi Parametreleri (TS-EN 1991-1-4)

	Arazi Kategorisi	z_0 (m)	z_{min} (m)
0	Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0,003	1
I	Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0,01	1
II	Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0,05	2
III	Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan(kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
IV	Yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1,0	10

Yüzeylere etkiyen iç ve dış rüzgar basınçlarının bulunabilmesi için tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı $q_p(z)$ ile z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $l_v(z)$ değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. TS EN 1991-1-4'te (z) metre yükseklikteki türbülans şiddeti $l_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranı olarak tanımlanmış olup, Denklem 3.5'te gösterilmiştir. TS EN 1991-1-4'te türbülans katsayısının $k_1=1,0$ olarak alınması tavsiye edilmiştir.

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (3.5)$$

(z) metre yükseklikteki tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı $q_p(z)$ formülü Denklem 3.6’da gösterilmiştir.

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)]^{1/2} \rho v_m^2(z) \quad (3.6)$$

TS EN 1991-1-4’te ρ katsayısı “fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı hava yoğunluğu” olarak tanımlanmış olup $1,25 \text{ kg/m}^3$ alınması tavsiye edilmiştir.

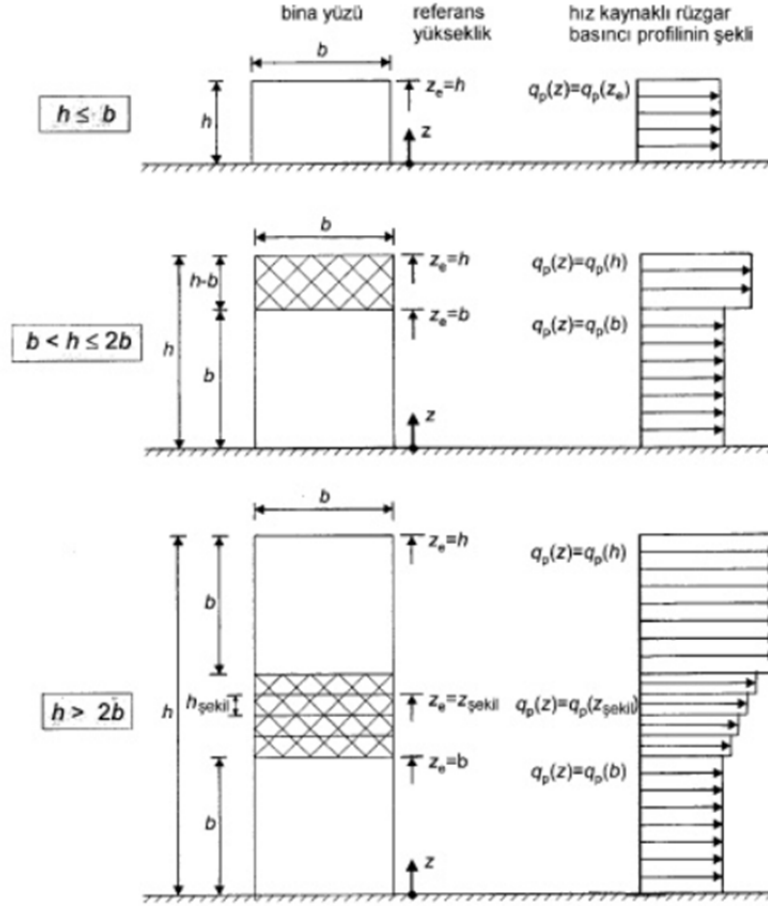
Dış ve iç rüzgar basınçlarının ikisi birlikte dikkate alınarak yapı yüzeyi üzerindeki rüzgar etkileri belirlenir. Dış ve iç yüzeylere etkiyen rüzgar basınçları ve tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı $q_p(z)$ değeri, binanın h ve b değerine bağlı olup $q(z)$ için kullanılması gereken değerler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Dış w_e ve iç w_i rüzgar basınçlarına ait formüller Denklem 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad (3.7)$$

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (3.8)$$

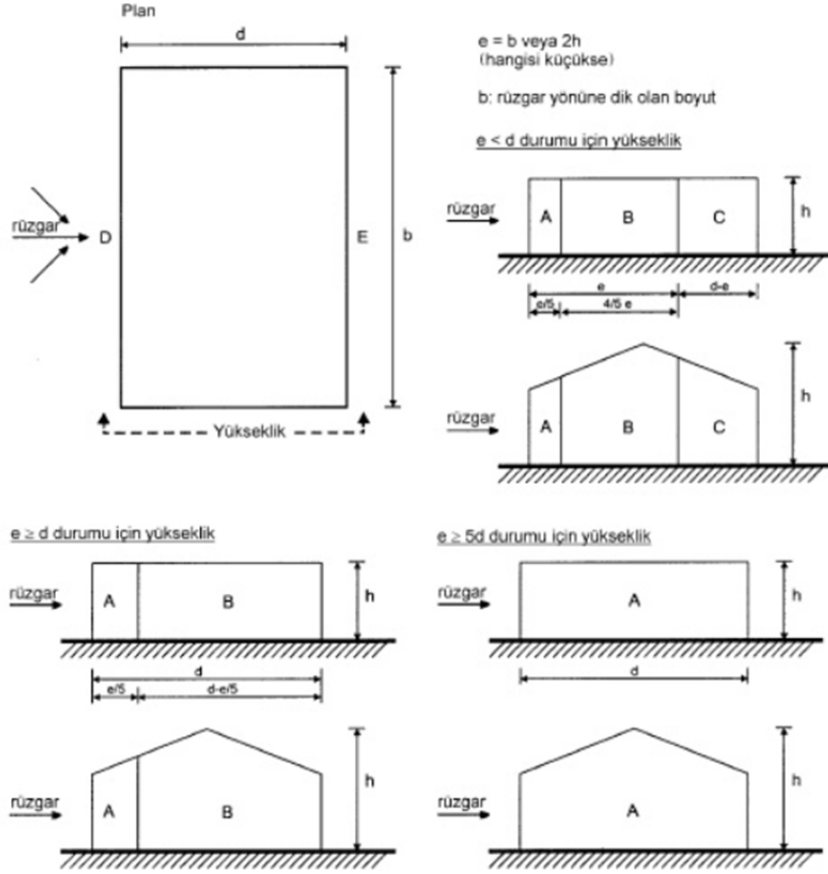
Denklem 3.7’de belirtilen c_{pe} dış basınç değeri, binanın rüzgar etkime doğrultusuna dik boyut için h/d oranına bağlı olup Şekil 3.2 ve Çizelge 3.3’te alınması gereken $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri belirtilmiştir.



Şekil 3.1 Bina h ve b değerlerine bağlı, qp(z) hız kaynaklı rüzgar basıncı profili (TS-EN 1991-1-4 Kısım 7)

Çizelge 3.3 A-B-C-D-E Tipi Düşey Duvarlar için Tavsiye Edilen Dış Basınc Katsayısı Değerleri

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,3	



Şekil 3.2 A-B-C-D-E Tipi Düşey Duvarlar

Net basınç katsayısı c_{pnet} 'in bulunabilmesi için iç basınç katsayısının da bilinmesine gerek duyulmaktadır. Buna göre iç basınç katsayısı c_{pi} değeri TS EN 1991-1-4'te belirtildiğine göre en olumsuz koşul olan +0,2 ve -0,3 değerlerinde alınmalıdır.

Taşıyıcı sisteme etkileyen toplam rüzgar yükü w formülü aşağıdaki Denklem 3.9'da gösterilmiştir.

$$w = q(z)(c_{pe} - c_{pi})A_{ref} = q(z)(c_{pnet})A_{ref} \quad (3.9)$$

$$A_{ref} = b \times h \quad (3.10)$$

Taşıyıcı sisteme etkiyen toplam rüzgar yükü değeri, katlara yükseklikleri oranında dağıtılarak taşıyıcı sisteme yanal yük olarak etkitilmektedir.

3.2.3 Deprem Yükleri

4. Bölümde yer alan süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı ve moment aktaran 5 ve 10 katlı konut binalarına ait deprem yükleri ile spektrumlarının belirlenmesinde 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinden (TBDY 2018) yararlanılmıştır. Bu bölümde çelik yapılarla ilgili deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için TBDY-2018’de yer alan esaslardan bahsedilmiştir.

3.2.3.1 Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)

Binaların kullanım amacına göre bina kullanım sınıfları ve buna bağlı olarak bina önem katsayıları üç gruba ayrılmakta olup, Çizelge 3.4’te gösterilmiştir. Deprem sonrası kullanımı gerekli binalar / insanların uzun süreli ve yoğun bulunduğu binalar, insanların kısa süreli ve yoğun bulunduğu binalar ve diğer binalar olmak üzere kullanım amaçlarına göre Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.4 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY-2018)

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 eşyaların 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 kıışlalar, 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 Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

3.2.3.2 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Bina Kullanım Sınıfı ve DD2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına (S_{DS}) bağlı olarak Deprem Tasarım Sınıfları oluşturulmuştur.

TBDY-2018’de DD1, DD2, DD3 ve DD4 olmak üzere dört farklı deprem yer hareketi düzeyinden bahsedilmiştir. *DD1 Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma

periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini niteler. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılır.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini niteler. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılır.

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini niteler.

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini niteler. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılır.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile birlikte AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması da (<https://tdth.afad.gov.tr/>) kullanıma girmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları uygulaması ile dört ayrı deprem yer hareketi düzeyi için her coğrafi noktanın enlem ve boylam değerleri girilerek noktasal spektral ivme katsayıları (S_1 , S_S) bilgisine ulaşılır.

Bir yapının deprem tasarım sınıfının belirlenebilmesi için Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından DD2 deprem yer hareketi düzeyinde *Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı* (S_S) ve *1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı* (S_1) parametrelerine ulaşılmalıdır.

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve *1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı* (S_1) değerleri *yerel zemin etki katsayıları* (F_S ve F_1) ile çarpıldığında *tasarım spektral ivme katsayılarına* (S_{DS} ve S_{D1}) ulaşmaktadır. Tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS} ve S_{D1}) ait formüller Denklem 3.11 ve 3.12’de gösterilmiştir.

$$S_{DS}=S_S * F_s \quad (3.11)$$

$$S_{DI}=S_I \cdot F_I \quad (3.12)$$

Yerel zemin etki katsayıları (F_S ve F_I) değerleri yerel zemin sınıflarına bağlı olup Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_S)

Yerel Zemin Sınıfı	$S_s \leq 0,25$	$S_s=0,50$	$S_s=0,75$	$S_s=1,00$	$S_s=1,25$	$S_s \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 3.6 1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_I)

Yerel Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0,10$	$S_1=0,20$	$S_1=0,30$	$S_1=0,40$	$S_1=0,50$	$S_1 \geq 0,60$
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.					

Bina deprem tasarım sınıfı (DTS), bina kullanım sınıfı (BKS) ve kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_{DS}) değerlerine bağlı olup Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Deprem Tasarım Sınıfları (TBDY-2018)

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

3.2.3.3 Bina Yükseklik Sınıfı

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde tasarımı yapılan binalar, bina tabanından itibaren ölçülen H_N yüksekliği esas alınmak üzere, deprem tasarım sınıflarına (DTS) bağlı olarak sekize ayrılmıştır.

Çizelge 3.8’de bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.8 Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) (TBDY-2018)

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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

3.2.3.4 Bina Performans Hedefleri

2018 TBDY kapsamında bulunan yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalara uygulanmak üzere DD1, DD2, DD3 ve DD4 deprem yer hareketi düzeyleri ile DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a ile 1a,2a deprem tasarım sınıfları için tanımlanan performans hedefleri Çizelge 3.9 ve

Çizelge 3.10’da gösterilmiştir. Çizelge 3.9 bina yükseklik sınıfı 2 ve daha yüksek ($BYS \geq 2$) binalara, Çizelge 3.10 bina yükseklik sınıfı 1 ($BYS=1$) olan yüksek binalara aittir.

Çizelge 3.9 Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$) (TBDY-2018)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a, 2, 2a, 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	DGT	KH	DGT
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

Çizelge 3.10 Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$) (TBDY-2018)

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	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

Çizelge 3.9 ve 3.10’da da görüldüğü üzere bina performans hedeflerine esas bina performans düzeyleri; kesintisiz kullanım (KK), sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçmenin önlenmesi (GÖ) olmak üzere dörde ayrılmaktadır.

Kesintisiz kullanım performans (KK) düzeyinde, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı kabul edilmektedir.

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyinde, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, kısacası doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı kabul edilmektedir.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyinde, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında hasarın çok ağır olmadığı ve çoğunlukla onarılmasının mümkün olduğu kabul edilmektedir.

Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyinde, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde hasarın meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu performans düzeyinde binanın kısmen ya da tamamen göçmesi önlenmiştir.

3.2.3.5 Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi

Binaların değerlendirme/tasarım yaklaşımında Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile *Modal Hesap Yöntemleri* olmak üzere iki farklı doğrusal hesap yöntemi bulunmaktadır. Modal Hesap Yöntemleri, *Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Mod Toplama Yöntemi* olarak ikiye ayrılmakta olup tüm binalar için kullanılabilir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulanmasında ise bazı kıstaslar bulunmaktadır. Bu yöntemin uygulanabileceği binalar Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3 11 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar (TBDY-2018)

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	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

3.2.3.6 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulandığı tüm binalarda, gözönüne alınan doğrultularda *binanın hakim doğal titreşim periyodunu* (T_p) gösteren denklem aşağıda yer almaktadır.

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'te m_i değeri toplam kat kütlelerini, F_{fi} değeri x ve y doğrultularında kat kütle merkezlerine etkitilen fiktif kuvvetleri, d_{fi} değeri ise taşıyıcı sistemin kat kütle merkezlerine etkitilen F_{fi} fiktif kuvvetleri altındaki yapısal analiz ile bulunan yer değiştirmeleri göstermektedir.

Ampirik hakim doğal titreşim periyodunun formülü Denklem 3.14'te yer almaktadır. Binanın hakim doğal titreşim periyodunun (T_p) en büyük değeri, ampirik hakim doğal titreşim periyodunun (T_{pA}) 1.4 katından daha büyük olmayacaktır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.14)$$

TBDY-2018'e göre Denklem 3.14'te yer alan C_t *Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı* değeri betonarme çerçevelerden oluşan binalarda 0.1, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda 0.08 ve diğer tüm binalarda 0.07 olarak alınacaktır.

Toplam kat kütlelerini (m_i) gösteren formül Denklem 3.15'te gösterilmiş olup w_i toplam kat ağırlıklarını, Q_i katların toplam sabit ve hareketli yüklerini, n ise hareketli yük kütle katılım katsayısını temsil etmektedir.

$$m_i = \frac{w_i}{g} = \frac{1}{g} [G_i + nQ_i] \quad (3.15)$$

Denklem 3.13'ten görüldüğü üzere, bina hakim doğal hakim titreşim periyodunun hesaplanabilmesi için kat kütle merkezlerine etkitilen F_{fi} *fiktif kuvvetlerinin* bilinmesine ihtiyaç vardır. Binanın i 'inci katına etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} formülü her iki doğrultu için Denklem 3.16'da yer almaktadır.

$$F_{fi} = F_0 \frac{m_i x h_i}{\sum_{j=1}^N m_j x h_j} \quad (3.16)$$

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde i 'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} değerini bulmak için, F_0 yerine herhangi bir değer verilebileceği belirtilmiştir.

3.2.3.7 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Bina taşıyıcı sistemleri *süneklik düzeyi yüksek, süneklik düzeyi karma ve süneklik düzeyi sınırlı* olmak üzere süneklik düzeyi bakımından üçe ayrılmaktadır. TBDY 2018 4.3.4.2'de birbirine dik doğrultularda taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerinin aynı olması zorunluluğundan bahsedilmiş; ancak farklı taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve bunlara karşılık gelen dayanım fazlalığı katsayısı D 'ye sahip olabilecekleri belirtilmiştir. Çizelge 3.12'de süneklik düzeyi yüksek çelik bina sistemleri için taşıyıcı davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Bina Sistemleri için Taşıyıcı Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C1. Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
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	8	3	$BYS \geq 2$
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	6	2.5	$BYS \geq 2$
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	-

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, sistemin doğal titreşim periyodu T ile spektrum köşe periyodu T_B 'nin durumuna bağlı olup denklemi aşağıda yer almaktadır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.17)$$

$$R_a(T) = D + \left[\frac{R}{I} - D \right] \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.18)$$

Denklem 3.17 ve 3.18’de R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D dayanım fazlalığı katsayısını, I bina önem katsayısını ve T bina titreşim periyodunu ifade etmektedir. T_A ve T_B yatay tasarım köşe periyotları olup S_{DS} ve S_{D1} ’e bağlı olarak aşağıda tanımlanmaktadır.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.19)$$

3.2.3.8 Düzensizlik Kontrolleri

Bina taşıyıcı sistemlerinde planda ve düşeyde düzensizlik durumlarından olabildiğince kaçınılmalı, yapı taşıyıcı sistemi olabildiğince sade, düzenli ve simetrik olarak tasarlanmalıdır. Taşıyıcı sistemin planda düzenli ve simetrik düzenlenmesi ile kütle, rijitlik ve dayanıma bağlı dışmerkezliliklerin oluşması önlenerek düşey taşıyıcı sistem elemanlarına döşeme yükleri optimum şekilde aktarılabilir. Kat rijitliği ve dayanımında ani değişimler sonucunda oluşabilecek yumuşak kat ve zayıf kat kavramlarının önüne geçebilmek amacıyla taşıyıcı sistem düşey doğrultuda da düzenli bir şekilde düzenlenmelidir.

Taşıyıcı sistem elemanları tercihen birbirine dik asal doğrultularda düzenlenmeli ve birbirine yakın dayanım ve rijitliğe sahip olmalıdır. Yeterli burulma dayanımı ve rijitliği sağlanarak, burulma düzensizliğinden kaçınılmalıdır.

Döşemeler yüksek düzlem içi rijitliğe ve yeterli dayanıma sahip olmalı, düzlem içi kuvvetler döşemelerden düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılmalıdır. Döşemelerde büyük boşluklardan kaçınılmalı; kaçınılamadığı durumlarda eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına

aktarılmasını sağlamak üzere boşluk kenarlarında yeterli dayanıma sahip yatay elemanlar yerleştirilmelidir.

TBDY-2018, Bölüm 3.6’da “Deprem Etkisi Altında Düzensiz Binalar” konusu *planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler* olarak maddeler halinde incelenmiştir. Planda ve düşey doğrultudaki düzensizlik durumları Çizelge 3.13’te gösterilmiştir.

Düşeyde düzensizlik durumlarından *B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)* betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapılar için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir. Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak *B3 türü düzensizlik* bulunmamaktadır.

Çizelge 3.11’de eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği koşullar açıklanmıştır. Bu koşullardan biri *A1 ve B2 türü düzensizlikler* olup, deprem yönteminin seçiminde etkilidir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2$ koşulunun sağlanması gerekmektedir. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} formülü Denklem 3.20’de gösterilmektedir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{max} / (\Delta_i^{(x)})_{ort} < 2.0 \quad (3.20)$$

Çizelge 3.13 Planda ve Düşeyde Düzensizlik Durumları

Planda Düzensizlik Durumları	A1	Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelemesinin o katta ve o doğrultudaki ortalama görelî ötelemesine oranının 1.2'den büyük olması durumudur. $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{max}/(\Delta_i^{(x)})_{ort} > 1.2$
	A2	Döşeme Süreksizliği: Boşluk alanları toplamının brüt kat alanının üçte birinden fazla olması durumu. Döşemede düzlem içi rijitlik ve dayanımda ani azalmaların olması durumu. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistemlere aktarılmasını zorlaştıran yerel döşeme boşluklarının bulunmasıdır.
	A3	Planda Çıkıntılar Bulunması: Kat planında bulunan çıkıntıların, binanın o katında aynı doğrultudaki toplam plan boyutundan %20 daha fazla olması durumudur.
Düşeyde Düzensizlik Durumları	B1	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda görülen düzensizlik durumu olup, x ve y deprem doğrultusunun herhangi birinde, bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranının 0,80'den küçük olması durumudur
	B2	Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): x ve y deprem doğrultusundan herhangi biri için, i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst kat veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölümünün 2'den büyük olması durumudur. $\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)}/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}^{(x)}/h_{i+1})_{ort} > 2$
	B3	Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Kolon ve perdelerin bazı katlarda kaldırılarak kirişlere veya guseli kolonların ucuna oturtulması veya üstteki perdenin altta kolonlara oturtulması durumudur.

B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolünde birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bir kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst kat veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölümünün 2'den küçük olmasına dikkat edilir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için bu düzensizlik koşulunun sağlanması gerekmekte olup formülü Denklem 3.21'de gösterilmiştir.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)}/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}^{(x)}/h_{i+1})_{ort} > 2 \quad (3.21)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)}/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}^{(x)}/h_{i-1})_{ort} > 2$$

Deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfının uygun olması ile birlikte A1 ve B2 türü düzensizliklerin bulunmaması eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceğini göstermektedir.

3.2.3.9 Eşdeğer Deprem Yükü Hesabı

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği sınırlı olan binalar için üç yöntemin (mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında çözümleme yöntemine göre) en kullanışlı ve faydalısı olarak bilinmektedir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliğin kontrollü şekilde istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması ve istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlemelere ihtiyaç duyulmaksızın uygulanabilmektedir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzenli olan yapılarda yapı davranışını iyi temsil eder (Celep, Kumbasar, 2004).

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilme koşulları Çizelge 3.11’de belirtilmiş olup, ilk olarak *toplam yatay eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)* V_{iE} hesaplanacak, daha sonra bu kuvvet katlara dağıtılarak *katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri* F_{iE} bulunacaktır.

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yükü

Birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binaya etkiyen depremler için ayrı ayrı uygulanacak olup, gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) formülü Denklem 3.22’de gösterilmiştir.

$$V_{iE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.22)$$

Denklem 3.22’de, m_t binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün ton cinsinden toplam kütesini, $S_{aR}(T_p^{(X)})$ azaltılmış tasarım spektral ivmesini, $T_p^{(X)}$ (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Azaltılmış tasarım spektral ivme formülü $S_{aR}(T)$ Denklem 3.23’de gösterilmiştir.

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)})/R_a(T_p^{(X)}) \quad (3.23)$$

Denklem 2.2.’de bulunan $S_{ae}(T_p^{(X)})$ yatay elastik tasarım spektral ivmesini ifade etmekte olup formülü aşağıda yer almaktadır.

$$S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1}/(T_p^{(X)}) \quad (3.24)$$

Katlara Etkiyen Yatay Eşdeğer Deprem Yükleri

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı için binanın N’inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükü (X) ve (Y) doğrultuları için ayrı ayrı hesaplanır; kalan kısım binanın N’inci katı da dahil olmak üzere bina katlarına dağıtılır.

Binanın N’inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükü formülü aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 N V_{tE}^{(x)} \quad (3.25)$$

Toplam eşdeğer yükünün bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri cinsinden formülü Denklem 3.26’da yer almaktadır.

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (3.26)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün, $\Delta F_{NE}(x)$ tepe kuvveti dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına Denklem 3.27 ile dağıtılacaktır.

$$F_{iE}^{(x)} = [V_{iE}^{(x)} - \Delta F_{NE}^{(x)}] x (m_i H_i / \sum m_j H_j) \quad (3.27)$$

3.2.3.10 Yatay Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları

Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri F_i kat kütle merkezlerine etkiğinde, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmediği durumlarda, deprem etkisi katları öteleme yer değiştirmesinin yanında, kata etkileyen burulma momenti nedeniyle dönme yer değiştirmesine zorlar. Bu durum da, katlar arası yer değiştirmeyi artırırken kiriş ve kolonlarda ek eğilme momentlerinin oluşmasına sebep olur (Celep, Kumbasar, 2004). Bu nedenle TBDY 4.5.10'da deprem hesabının, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmeleri şartı ile kat kütle merkezinde tanımlanan kat kütlesi esas alınarak yapılması gerektiği ve kat kütle merkezine etkileyen yatay deprem yüklerinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm\%$ 5'i kadar kaydırılarak yapılması gerektiği belirtilmiştir.

TBDY-2018, 4.5.10.2.c maddesinde “Deprem hesabının eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılması durumunda deprem yükünün kaydırılması yerine, kat kütle merkezine etkileyen eşdeğer deprem yükü F_{iE} ile birlikte ek kat burulma momentinin gözönüne alınmasının uygun olacağı” belirtilmiştir. Ek kat burulma momenti formülü Denklem 3.28'de gösterilmiş olup e , %5lik ek dışmerkezliği göstermektedir.

$$M_{ib}^{(x)} = F_{iE}^{(x)} x e \quad (3.28)$$

3.2.3.11 Mod Birleştirme Yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi ve *Mod Toplama Yöntemi* deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas almakta olup TBDY Bölüm 4'te bulunan her türlü bina için uygulanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesabında *Mod Birleştirme Yöntemi* kullanılmış olduğundan, bu yöntemden bahsedilecektir.

TBDY-2018, 4.8.2.1 maddesine göre Mod Birleştirme Yönteminde verilen deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan faydalanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değeri bu yöntem ile hesaplanmaktadır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan, ancak eşzamanlı olmayan enbüyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilmektedir.

TBDY-2018, 4.8.1.2 maddesine göre Modal Hesap Yöntemlerinde (Mod Birleştirme ve Mod Toplama Yöntemleri) hesaba katılması gereken *yeterli titreşim modu sayısı* Y_M , (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan *taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamı* bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmamalıdır. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan bütün modlar gözönüne alınacaktır.

$$\sum_{n=1}^{Y_M} m_{txn}^{(x)} \geq 0,95m_t \quad \sum_{n=1}^{Y_M} m_{tyn}^{(y)} \geq 0,95m_t \quad (3.29)$$

Denklem 3.29'da bulunan $m_{txn}^{(x)}$, (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenli doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerini; $m_{tyn}^{(y)}$, (Y) deprem doğrultusu için binanın y eksenli doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerini simgelemektedir. m_t ise binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütleleridir.

En genel mod birleştirme kuralı olarak *Tam Karesel Birleştirme Kuralı* uygulanmakta olup Mod Birleştirme Yöntemine göre deprem hesabı detayları TBDY 2018 Ek 4B’de yer almaktadır.

TBDY-2018, 4.8.4 maddesine göre Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen *toplam deprem yükünün*, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen *toplam eşdeğer deprem yükünden (taban kesme kuvvetinden)* az olması halinde, β_{tE} , *eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı* kullanılarak mod birleştirme yöntemiyle bulunan toplam deprem yükü büyütülecektir.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \geq 1.0 \quad (3.30)$$

Denklem 3.30’da yer alan V_{tE} , eşdeğer deprem yüküne göre hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvvetini); V_t ise modal analizle elde edilen toplam deprem yükünü göstermektedir. A1, B2, B3 türü düzensizliklerden en az birinin bulunması halinde γ_E çarpanı 0,90; düzensizliklerin hiçbirinin bulunmaması halinde γ_E çarpanı 0,80 olarak alınacaktır.

3.2.3.12 Düşey Deprem Etkisi

Düşey deprem etkisi, ilk defa 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde ele alınmıştır. TBDY-2018, 4.4.3.1’de “*DTS=1, 1a, 2 ve 2a olarak sınıflandırılan ve açıklığı 20 metre veya daha fazla kirişleri içeren binalar ile açıklığı 5 metre veya daha fazla konsolları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak sadece bu elemanlar için 2.3.5’te tanımlanan düşey elastik ivme spektrumu’na ve mod birleştirme yöntemine göre yapılacaktır. Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır.*” ifadesi geçmektedir. Bu tanımın dışında kalan taşıyıcı sistem kısımlarında ve binalarda düşey deprem etkisi özel bir hesap yapılmaksızın yaklaşık olarak ele alınacaktır.

Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, Denklem 3.31'e göre yaklaşık olarak hesaplanacak ve sabit yük G 'ye dahil edilerek düşey yük+deprem kombinasyonlarında kullanılacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) \times S_{DS} \times G \quad (3.31)$$

3.3 Yük Birleşimleri

Sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgar yüklerinin belirlenmesi ve bu yüklerin birleştirilerek bina taşıyıcı sistemine etkilmesi ÇYTHYE-2016 5.3.1, TBDY-2018 4.4 ve 9.2.5 maddelerine uygun olarak gerçekleştirilecektir.

Binalara ait çelik yapı elemanlarının tasarımı *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemine (YDKT)* göre yapılacak olup, bu tasarım yönteminde gerekli dayanım ÇYTHYE-2016 5.3.1'de belirtilen yük birleşimleri kullanılacaktır. Bu yük birleşimleri şöyledir;

- (1) $1.4G$
- (2) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8 W)$
- (4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6) $0.9G + 1.6W$
- (7) $0.9G + 1.0W$

TBDY-2018 4.4'te yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi, düşey deprem etkisi ve deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesinden bahsedilerek aşağıdaki yük birleşimleri tanımlanmıştır. Bu yük birleşimlerinde Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H yatay zemin etkisini göstermektedir.

- (1) $E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)}$
- (2) $E_d^{(H)} = \pm 0,3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$
- (3) $E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G$
- (4) $G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)}$
- (5) $0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)}$

TBDY-2018, 4.4.4.2'ye göre çelik yapılarda *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT) yapılırken $G+Q+0.2S+E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$ yük birleşiminde G yerine $1.2G$ alınmalıdır. TBDY-2018, 9.2.5'te ise YDKT ile tasarım yapılırken hareketli yük değerinin 5.0 kN/m^2 ' ye eşit veya daha küçük olması durumunda $G+Q+0.2S+E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$ yük birleşimindeki Q değeri %50 oranında azaltılabilecektir. Ancak bu azaltma, garajlar ve insanların yoğun olarak bulunduğu binalar için geçerli olmamaktadır.

TBDY-2018, 9.2.6'da dayanım fazlalığı katsayısı ile büyütülen deprem etkileri açıklanmış; buna göre *düşey yük+deprem yükü birleşimlerinde*, deprem etkileri dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak yeni iç kuvvetler elde edilmiştir. Bu iç kuvvetler, kapasite tasarım ilkesi gereği, akma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük olmayacaktır. Dayanım fazlalığı katsayısı, akma dayanımının tasarım dayanımına oranla fazlalığını ifade etmektedir.

Yukarıdaki yük birleşimlerinde kullanılan G sabit yükleri, Q normal kat hareketli yüklerini, Q_r çatı katı hareketli yüklerini, W_x ve W_y (X) ve (Y) doğrultularındaki rüzgar kuvvetlerini simgelemektedir. $E_d^{(X)} \pm \%5$ dışmerkezlilik etkisindeki (X) yönlü deprem kuvvetini, $E_d^{(Y)} \pm \%5$ dışmerkezlilik etkisindeki (Y) yönlü deprem kuvvetini göstermektedir.

Düşey yük birleşimlerinde görülen N_G , N_{Qr} , N_s ve N_Q değerleri fiktif yüklerdir. Sistem önkusurlarını temsil eden fiktif yükler, şekildeğiştirmemiş sistem üzerine etkitilecektir. Tüm yatay ve düşey yük birleşimlerine eklenecek olan fiktif yükler, YDKT yük birleşimleri veya GKT yük birleşimlerinin 1.6 katına eşit

yüklemelerden dolayı ve azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe yerdeğiştirmelerin birinci mertebe yerdeğiştirmelere oranı olan $B2$ katsayısının 1.7 değerine eşit veya daha küçük olması halinde sadece düşey yük olarak etkitilecektir.

Fiktif yüklere ait formül Denklem 3.32’de gösterilmiştir.

$$N_i = 0,002 \alpha Y_i \quad (3.32)$$

Denklem 3.32’de görülen N_i , (i) kat düzeyine etkitilecek yatay fiktif yük değerini; α katsayısı, YDKT’de 1,0 GKT’de 1,6 değerini; Y_i ise YDKT veya GKT yük birleşimleri ile belirlenen, (i) katı döşemesine etkileyen toplam düşey yükü ifade etmektedir. Denklemde yer alan $0,002$ katsayısı, 1/500 oranındaki sistem ön kusurunu ifade etmekte olup daha farklı oranda geometrik ön kusurların bulunması halinde sınır değeri geçmemek üzere uygun şekilde değiştirilebilecektir.

3.4 Yapısal Analizler

Yapıların analizi ve tasarımında 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmıştır. Yapının tasarımında her iki yönetmelikte de belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

3.4.1 Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

TBDY-2018, 4.9.1’de etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması ele alınmıştır. Buna göre birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında herhangi bir kolon ya da perde için, ardışık iki kat arasındaki yatay yerdeğiştirme farkını gösteren *azaltılmış görelî kat ötelemesi* denklemi aşağıda yer almaktadır.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (3.33)$$

Denklem 3.33'te bulunan u_i ve u_{i-1} , birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katları arasında $\pm\%5$ ek dışmerkezlilikle uygulanan azaltılmış deprem yükleri altında, yapı sisteminin analizi ile elde edilen maksimum yatay yer değiştirmelerinin her kattaki değerini göstermektedir.

Etkin görelî kat ötelemelerinin hesabında, bina hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)}$ 'in en büyük değerinin T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha büyük olması koşulu ile minimum eşdeğer deprem yükü koşulunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

TBDY-2018, 4.9.1.2'ye göre birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binanın i 'inci katındaki kolon ve perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, δ_i denklemi aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$\delta_i = (R/I)\Delta_i \quad (3.34)$$

Denklem 3.34'te bulunan Δ_i , birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında ardışık katlar arası azaltılmış görelî kat ötelemelerini, (R/I) ise deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultuları için, binanın i 'inci katındaki kolon veya perdede, Denklem 3.34 ile hesaplanan etkin görelî kat ötelemelerinin o kattaki en büyük değeri $\delta_{i,max}$ gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0.016K \quad (3.35)$$

Denklem 3.35'te bulunan etkin görelî kat ötelemelerinin o kattaki en büyük değeri $\delta_{i,max}$ için TBDY-2018, 4.9.1.3.b maddesi esas alınmıştır. Aynı denklemde bulunan λ ve K katsayıları için TBDY-2018, 4.9.1.4 maddesi geçerli olup; λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD2 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. Denklem 3.35'te yer alan K katsayısı ise çelik binalarda 0,5 olarak alınacaktır. λ katsayısına ait formül aşağıda yer almaktadır.

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T_p)_{DD3}}{S_{ae}(T_p)_{DD2}} \quad (3.36)$$

3.4.2 İkinci Mertebe Etkileri

Deprem yükleri altındaki katlar arası yer değiştirmeler ve bunlardan oluşan kat toplam yatay yerdeğiştirmelerinin özellikle narin yapılarda hesap edilmesi taşıyıcı olmayan elemanda hasarın sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkilerinin gözönüne alınması açısından gereklidir. Yatay yer değiştirmeler sonucu ortaya çıkan ve düşey yüklerin ek eğilme momenti oluşturmaya sebep olan bu duruma *P-Δ etkisi* denmektedir (Celep, Kumbasar, 2004).

P-Δ etkileri ikinci mertebe etkiler olup bazı durumlarda çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Yüksek yapılarda, kat yereğiştirmesi büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu yerlerde, kat yerdeğiştirmeleri daha fazla büyüyeceğinden ikinci mertebe etkileri dikkate alınmalıdır (Mertol, Mertol, 2002). Çelik yapılar, betonarme yapılara kıyasla daha narin yapıda ve genellikle daha fazla yükseklikte tasarlandığından, P-Δ etkileri yani ikinci mertebe etkileri daha ön plandadır.

Katların birbirine göre olan yerdeğiştirmeleri, deprem etkisindeki hasarla ilgili olduğu için sınırlandırılmaları yönetmeliklerde öngörülmüştür. (Celep, Kumbasar, 2004) Yürürlükte olan TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016

yönetmeliklerinde yapı elemanları tasarımında ikinci mertebe etkileri ele alınmış ve belirli sınırlamalar getirilmiştir.

TBDY-2018, 4.9.2'ye göre gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir i 'inci kattaki *ikinci mertebe gösterge değeri* $\theta_{II,i}$ aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i h_i} \quad (3.37)$$

Denklem 3.37'de bulunan $(\Delta_i)_{orb}$ i 'inci katta bulunan kolonlarda (X) ve (Y) deprem doğrultularında hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini; w_k , hareketli yük kütle katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan k 'ıncı kata etkiyen toplam ağırlığı; V_i (X) ve (Y) deprem doğrultularında i 'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvvetini; h_i ise i 'inci katın yüksekliğini sembolize etmektedir.

TBDY-2018, 4.9.2.2'de "Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}$ 'lerin maksimum değeri $\theta_{II,max}$ 'ın aşağıda verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında gözönüne alınması gerekli değildir." ifadesi geçmektedir.

$$\theta_{II,max} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.38)$$

TBDY-2018, 4.9.2.3'te belirtildiği üzere Denklem 3.38'deki koşulun sağlanamaması durumunda, gözönüne alınan (X) ve (Y) deprem doğrultuları için tüm iç kuvvetler aşağıda tanımlanan *ikinci mertebe büyütme katsayısı* β_{II} ile çarpılarak artırılmalı ya da taşıyıcı sistem rijitlik ve dayanımı uygun şekilde artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$$\beta_{I_{lmax}} = 0,88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{I_{lmax}} \geq 1 \quad (3.39)$$

Denklem 3.38 ve 3.39’da bulunan C_h katsayısı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı bir katsayı olup, çelik binalar için $C_h=1$ olarak alınmalıdır.

ÇYTHYE-2016 6.1’de “Yapı sistemlerinin stabilite tasarımının, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini göz önüne alan ikinci mertebe teorisine göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvet büyüklüklerinin elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırılmasını öngörmektedir.” ifadesi geçmekte olup sınır koşul değeri sağlansa dahi tasarımda ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması gerekliliği belirtilmiştir.

Çelik yapıların boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmış olup tüm kontroller bu yönetmelik çerçevesinde yapılacaktır.

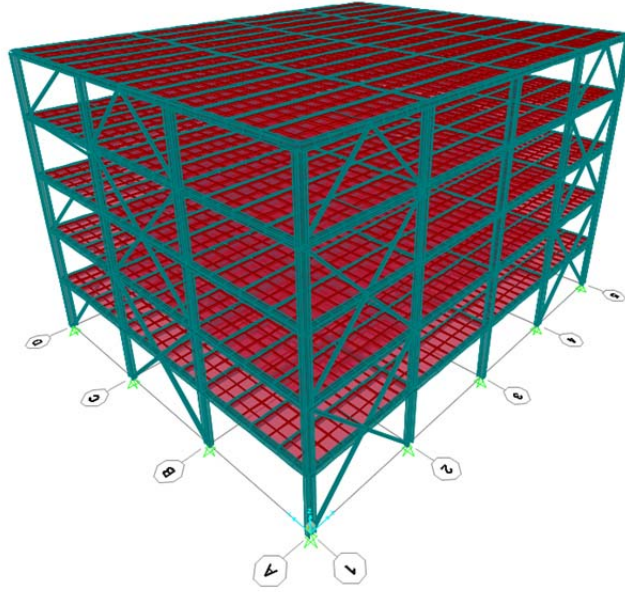


4. SAYISAL UYGULAMALAR VE BOYUTLANDIRMA HESAPLARI

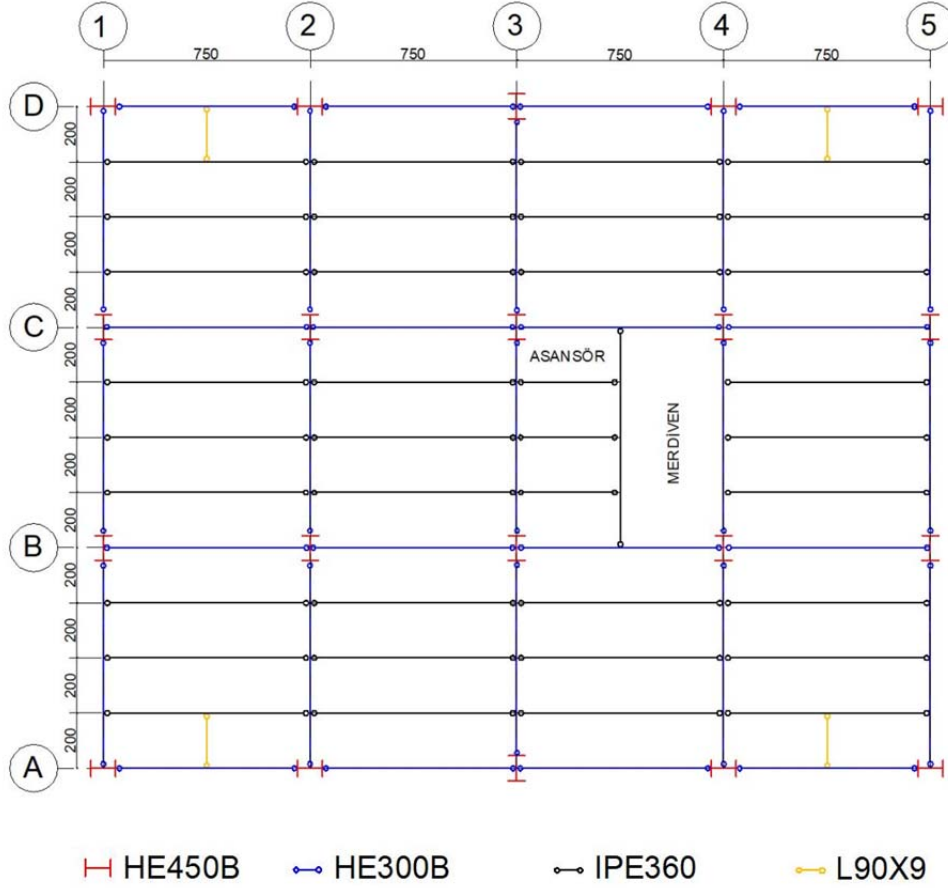
Bu bölümde dört farklı örnek problem çözülecektir.

4.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup, x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kirişlerin kolonlara ve çaprazların düğüm noktalarına bağlantısı mafsallıdır. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele her iki eksen yönünde mafsallı mesnetlenmiştir. Şekil 4.1’de 5 katlı yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli, Şekil 4.2’de normal kat planı, Şekil 4.3’te ise yapının sistem enkesitleri yer almaktadır. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

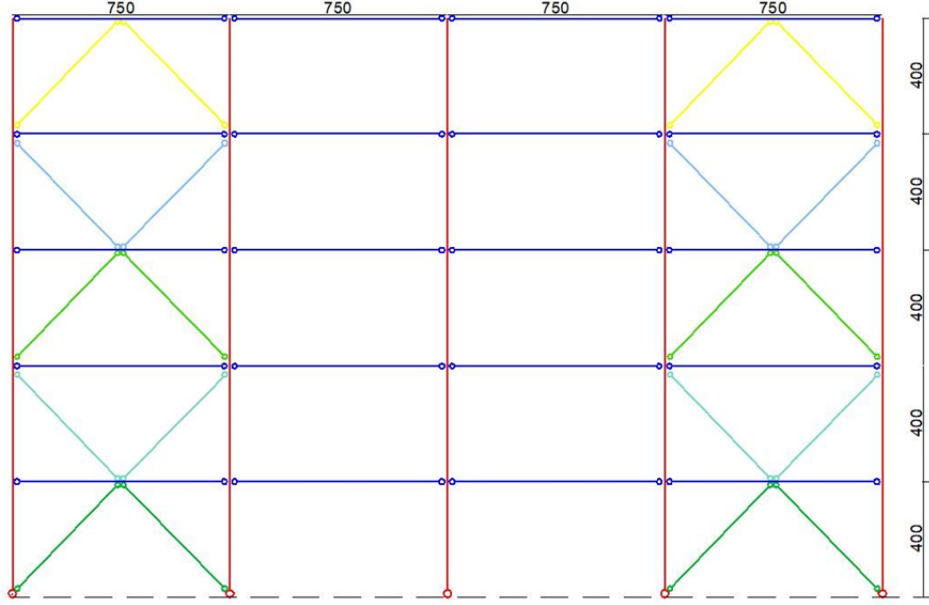


Şekil 4.1 5 Katlı Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli



Şekil 4.2 5 Katlı Yapıya ait Normal Kat Planı

Konut olarak tasarlanan 5 katlı yapıda kolonlar HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ise değişken kesitli kutu profiller olup, A ve D akslarında 140x140x14.2 mm, 140x140x12.5 mm, 140x140x10 mm, 125x125x8 mm ve 125x125x6.3 mm; 1 ve 5 akslarında 160x160x16 mm, 160x160x14.2 mm, 140x140x12.5 mm, 125x125x8 mm'dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır.



HE450B HE300B 140X140X14.2 140X140X12.5
 140X140X10 125X125X8 125X125X6.3

Şekil 4.3 5 Katlı Yapıya ait A ve D Aksları Sistem Enkesitleri

Yapının analizi ve tasarımında 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmıştır. Yapının tasarımında her iki yönetmelikte de belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

X yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, Y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşturulan 24 metre eninde 30 metre boyunda 5 katlı süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli yapının kolon ve kirişleri I kesitli profillerden, çaprazları ise kutu profillerden oluşturulmuştur. Bu bölümde sabit ve

hareketli yükler, deprem yükleri ve rüzgar yükleri hesaplanmış; ÇYTHYE-2016 ve TBDY-2018 yönetmelikleri altında sisteme ait yük kombinasyonları oluşturularak sistemin analizi SAP2000 v20 programında yapılmıştır. Yapıya ait analiz sonuçları değerlendirilerek, göreceli kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri kontrol edilmiştir.

Genel analiz yöntemi kullanılarak tasarımı yapılan binanın gerekli dayanım hesabı ikinci merteye teorisi uygulanarak elde edilmiştir. Elemanların gerekli dayanımları, azaltılmış eleman rijitlikleri ve ikinci merteye etkileri göz önünde tutularak yapısal analizler ile elde edilmiştir. Sistem hesabında geometrik ön kusurları temsil eden ve Denklem 3.16'daki formüle göre hesaplanan fiktif yükler ile doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri temsil eden rijitlik azaltılması ÇYTHYE-2016, 6.2.3'e göre hesaplanmıştır.

Fiktif yüklerin hesabı Bölüm 4.1.2.3'te yapılmış olup her kat düzeyinde sisteme etkilmiştir. Her kat düzeyindeki düğüm noktalarına, bu noktalara etkiyen düşey yüklerle orantılı olarak dağıtılan fiktif yükler, yapısal stabilite açısından en olumsuz etkileri oluşturacak doğrultuda uygulanmıştır.

4.1.2 Yükler ve Kullanılan Standartlar

4.1.2.1 Sabit ve Hareketli Yükler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı yapıya ait normal kat döşemelerinin sabit ve hareketli yük değerleri Çizelge 4.1'de, çatı döşemesinin sabit ve hareketli yük değerleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde normal katlarda toplam sabit yükün 4,90 kN/m² çatı katında ise 4,0 kN/m² olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1'de TS 498'de bulunan düzgün yayılı düşey hareketli yük hesap değerleri verilmiştir. 5 katlı bina konut olarak tasarlandığından hareketli yük hesap değeri oda, koridor ve çatıda 2 kN/m² olarak alınmış ve alansal üniform yayılı yük olarak modele tanımlanmıştır.

Normal katlarda dış duvar yükü 3 kN/m, Çatı katında parapet yükü 2 kN/m hesaplanmış ve çizgisel üniform yayılı yük olarak sistem modeline aktarılmıştır.

Elazığ ilinde bulunan 5 katlı yapının tasarımı için kar yükünün belirlenmesinde TS EN 1991-1-3 standardı kullanılmıştır. Bu standarda göre yerleşmiş kar tipi için karın ortalama gevşek yığın birim hacim ağırlığı 2 kN/m³ olarak alınmıştır. Maksimum kar yüksekliği 0,80 m olarak alındığından karakteristik zemin kar yükü (S_k) değeri $2 \text{ kN/m}^3 * 0,80 \text{ m} * 0,80 = 1,30 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4 1 Normal Kat Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

		Br.Ağ.	En*Boy		
NORMAL KAT DÖŞEMESİ	Kaplama (TS ISO 9194:1997 - 25 kN/m ³)	25,00	0,02	:	0,50 kN/m ²
	Trapez sac+betonarme döşeme (TS ISO 9194:1997 betonarme betonu 25 kN/m ³)			:	2,10 kN/m ²
	Asma tavan+tesisat			:	0,50 kN/m ²
	Bölme Duvarlar			:	1,00 kN/m ²
	Çelik Konstrüksiyon (kolonlar)			:	0,80 kN/m ²
	TOPLAM ÖLÜ YÜK (G)			:	4,90 kN/m²
	HAREKETLİ YÜK (Q) (TS 498-1997 konut oda ve koridorları hareketli yük değeri 2,0 kN/m ²)			:	2,00 kN/m²
	DIŞ DUVAR YÜKÜ (Normal katlarda) (TS ISO 9194:1997 Dış cephe tuğlası: 19 kN/m ³ + Sıva)	20,00	0,15	:	3,00 kN/m

Çizelge 4 2 Çatı Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

		Br.Ağ.	En*Boy			
ÇATI DÖŞEMESİ	Kaplama (TS ISO 9194:1997 - 25 kN/m ³)	25,00	0,02	:	0,50	kN/m ²
	İzolasyon	20,00	0,02	:	0,40	kN/m ²
	Trapez sac+betonarme döşeme (TS ISO 9194:1997 betonarme betonu 25 kN/m ³)			:	2,10	kN/m ²
	Asma tavan+tesisat			:	0,50	kN/m ²
	Çelik Konstrüksiyon			:	0,50	kN/m ²
	TOPLAM ÖLÜ YÜK (G)			:	4,00	kN/m²
	HAREKETLİ YÜK (Q) (TS 498-1997 konut oda ve koridorları hareketli yük değeri 2,0 kN/m ²)			:	2,00	kN/m²
	KAR YÜKÜ (S) (2,00 kN/m ³ * 0,80 m)*0,80	2,00	0,80*0,80	:	1,30	kN/m ²
	PARAPET YÜKÜ	20,00	0,10*1,00	:	2,00	kN/m

4.1.2.2 Rüzgar Yükleri

Elazığ ilinde bulunan 5 katlı yapının tasarımı için rüzgar yüklerinin belirlenmesinde TS EN 1991-1-4 Standardı kullanılmış; Bölüm 3.2.2’de rüzgar yükü etkileri ve formüllerinden bahsedilmiştir.

Denklem 3.4’te bulunan $z_{0,II}$ değeri 0,05 olup Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi Arazi Kategorisi-II’deki z_0 engebелilik uzunluğu değeridir. z_{max} değeri 200 metre olarak alınmalıdır.

Çizelge 3.2’ye göre 5 katlı konut olarak tasarlanan yapının arazi kategorisi IV “Yüzeyinin en az % 15’i, yükseklik ortalaması 15 m’yi aşan binalarla kaplı alan” olarak düşünülmüş olup z_0 değeri 1 metre, z_{min} değeri ise 10 metre alınmıştır. TS EN 1991-1-4 Standardına göre konut olarak kullanılan yapıya ait bilgilerin özeti ve arazi katsayısı, engebелilik katsayısı, ortalama rüzgar hızı değerleri aşağıda yer almaktadır.

Kategori	:IV		
z_0	:1	m	z :20 m
$z_{\min}$	:10	m	$V_{b,0}$:28 m/sn
$z_{0,II}$	:0,05	m	$c_0(z)$:1

Denklem 3.4'te arazi katsayısı formülü; $k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right) 0.07$

$$k_r = 0.19 \left(\frac{1,0}{0,05} \right) 0.07 = 0,234$$

Denklem 3.3'te engelbelilik katsayısı; $c_r(z) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$, $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$c_r(z) = 0,234 * \ln \left(\frac{20}{1} \right) = 0,702; z_{\min}=10m \leq z=20m \leq z_{\max}=200m$$

Denklem 3.2'de z metre yükseklik için ortalama rüzgar hızı formülü $V_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0}$ olarak verilmiştir.

TS EN 1991-1-4'te doğrultu katsayısı c_{dir} , mevsim katsayısı c_{season} için tavsiye edilen değerler 1,0 olarak belirlenmiştir. ÇYTHYE-2016, 5.3'te esas rüzgar hızının $V_b=28$ m/sn olarak alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu denkleme göre 5 katlı binaya ait esas rüzgar hızı aşağıda hesaplanmıştır.

$$V_m(z)=0,702 \times 1 \times 28 = 19,656 \text{ m/sn}$$

TS EN 1991-1-4'te türbülans katsayısının $k_1=1,0$ olarak alınması tavsiye edilmiş olup 20 metre yükseklikteki binaya ait türbülans şiddeti Denklem 3.5 kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$lv(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{20}{1,0}\right)} = 0,334$$

20 metre yüksekliğindeki 5 katlı yapıya ait tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı değeri $q_p(z)$, Denklem 3.6 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. TS EN 1991-1-4'te ρ katsayısı “fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı hava yoğunluğu” olarak tanımlanmış olup $1,25 \text{ kg/m}^3$ alınması tavsiye edilmiştir.

$$q_p(z) = [1 + 7lv(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho v_m^2(z)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,334] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 19,656^2 \cdot 10^{-3} = 0,806 \text{ kN/m}^2$$

20 metre yüksekliğindeki yapıda dış w_e ve iç w_i rüzgar basınçlarına ait formüller Denklem 3.7 ve 3.8'de verilmiş olup c_{pe} dış basınç değeri, binanın rüzgar etkiye doğrultusuna dik boyut için h/d oranına bağlıdır. Şekil 3.2 ve Çizelge 3.3'te h/d oranına bağlı olarak alınması gereken $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri belirtilmiştir.

X doğrultusundaki rüzgar kuvvetine dik boyut $b=24$ metre, $d=30$ metre, $h=20$ metre için h/d oranı,

$$0,25 \leq h/d = 0,667 < 1,00 \text{ değerindedir.}$$

Y doğrultusundaki rüzgar kuvvetine dik boyut $b=30$ metre, $d=24$ metre, $h=20$ metre için h/d oranı,

$$0,25 \leq h/d = 0,833 < 1,00 \text{ değerindedir.}$$

Çizelge 4.3 X ve Y Doğrultusundaki Rüzgar Kuvvetleri İçin Dış Basınç Katsayıları

Bölge	D	E
c_{pe}	+0,8	-0,5

Net basınç katsayısı c_{pnet} 'in bulunabilmesi için iç basınç katsayısının da bilinmesine gerek duyulmaktadır. Buna göre iç basınç katsayısı c_{pi} değeri TS EN 1991-1-4'te belirtildiğine göre en olumsuz koşul olan +0,2 ve -0,3 değerlerinde alınmalıdır. Bu durumda net basınç katsayısı c_{pnet} değeri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Net Basınç Katsayıları

Bölge	D	E
$c_{pnet}=c_{pe}-(+0,2)$	0,6	-0,7
$c_{pnet}=c_{pe}-(-0,3)$	1,1	-0,2

$h=20$ metre $b=30$ ve 24 metre olan bina $h \leq b$ koşulunu sağladığından rüzgar yükü bina yüksekliği boyunca üniform yayılı olacaktır. Taşıyıcı sisteme etkileyen toplam rüzgar yükü hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$w = q(z)(c_{pe} - c_{pi})A_{ref} = q(z)(c_{pnet})A_{ref}$$

$$A_{ref} = b \times h$$

$$w = 0,806 \times [1,1 - (-0,02)] \times A_{ref} = 1,047 \times A_{ref} \text{ kN/m}^2$$

Katlara etkileyen toplam rüzgar kuvveti değerleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar Kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	50,27
4. kat	4,00	100,55
3. kat	4,00	100,55
2. kat	4,00	100,55
1. kat	4,00	100,55
Toplam		452,47

Çizelge 4.6 b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar Kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	62,84
4. kat	4,00	125,69
3. kat	4,00	125,69
2. kat	4,00	125,69
1. kat	4,00	125,69
Toplam		565,59

4.1.2.3 Deprem Yükleri

Bu bölümde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı çelik çerçeveli yapıya ait deprem yükleri ile spektrumlarının hesapları TBDY-2018 esaslarına göre yapılacaktır.

4.1.2.3.1 Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)

5 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan Çizelge 3.4 incelendiğinde bina kullanım sınıfının BKS=3 ve bina önem katsayısının ise I=1 olduğu görülmektedir.

4.1.2.3.2 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında bulunan süneklik düzeyi yüksek 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapı ZC “Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” yerel zemin sınıfında olup, DD2 deprem yer hareketi düzeyi için ilgili haritadan elde edilen değerler Çizelge 4.7’de yer almaktadır.

Çizelge 4 7 38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 5 Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Yapıya ait Bilgiler

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
KısaPer.Böl. İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn. Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s \cdot F_s$ Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 \cdot F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46

Çizelge 4.7’de bilgileri verilen binanın, bina kullanım sınıfı BKS=3 ve kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_{DS}=1,34$ olduğundan deprem tasarım sınıfı Çizelge 3.6’ya göre DTS=1 olmaktadır.

4.1.2.3.3 Bina Yükseklik Sınıfı

Tasarımı yapılan 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapıda kat yükseklikleri 4 metre olup, bina tabanından itibaren toplam H_N yüksekliği 20 metredir. Deprem tasarım sınıfı DTS=1 olan binanın toplam yüksekliği $17,5 < H_N=20 \leq 28$ olduğundan Çizelge 3.8’e göre bina yükseklik sınıfı BYS=5 olmaktadır.

4.1.2.3.4 Bina Performans Hedefleri

Tasarımı yapılan 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapının deprem tasarım sınıfı DTS=1 ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım (DGT) olarak Çizelge 3.9’da görülmektedir.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyinde, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında hasarın çok ağır olmadığı ve çoğunlukla onarılmasının mümkün olduğu kabul edilmektedir.

4.1.2.3.5 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

24x30 metre ebatlarında merkezi çaprazlı 5 katlı çelik yapıya ait sabit ve hareketli yük değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmiş olup söz konusu yapıya ait kat ağırlıkları ve kat kütleleri hesabı için bu yükler kullanılmıştır. Çizelge 4.9’da ise yapıdaki tüm katlara ait kat ağırlık ve kat kütleleri sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4 8 Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıya ait Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

Yükler:	
G1 - Çelik Yapı Toplam Ölü Yük (Normal Kat)	4,90 kN/m ²
Q1 - Hareketli Yük	2,00 kN/m ²
G2 - Çelik Yapı Toplam Ölü Yük(Çatı)	4,00 kN/m ²
G3 - Çelik Yapı dış duvar yükü (Normal Kat)	3,00 kN/m
G4 - Çatı katı parapet yükü	2,00 kN/m
S - Kar Yükü	1,30 kN/m ²

Çizelge 4.9 Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıya ait Kat Ağırlık ve Kat Kütleleri

	En (m)	Boy (m)	G1-G2 (kN/m ²)	S(kN/m ²) Q(kN/m ²)	n	G3 (kN/m)	w _i (kN)	m _i (kN-s ² /m)
Çatı	24	30	4	1,3-2	0,3	2	3808,80	388,26
4	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
3	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
2	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
1	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
Toplam							20944,80	2135,05

Birinci katın ve çatı katının kat ağırlığı ve kütlesi hesapları Denklem 3.15 kullanılarak aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

$$m_i = \frac{w_i}{g} = \frac{1}{g} [G_i + nQ_i]$$

$$w_1 = (24 \times 30) \times (4,9 + 2 \times 0,3) + 2 \times (24 + 30) \times 3 = 4284 \text{ kN}$$

$$m_1 = w_1 / g = 4284 / 9,81 = 436,70 \text{ kN-s}^2/\text{m}$$

$$w_{\text{ç}} = (24 \times 30) \times (4,0 + 3,3 \times 0,3) + 2 \times (24 + 30) \times 2 = 3808,80 \text{ kN}$$

$$m_{\text{ç}} = w_{\text{ç}} / g = 3808,80 / 9,81 = 388,26 \text{ kN-s}^2/\text{m}$$

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde i'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} değerini bulmak için, F_0 yerine herhangi bir değer verilebileceği belirtilmiş olup 5 katlı çelik bina için F_0 değeri 500 kN alınarak, katlara etkiyen F_{fi} fiktif kuvveti değerleri Denklem 3.16'ya göre hesaplanmış ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

$$F_{fi} = F_0 \frac{m_i x h_i}{\sum_{j=1}^N m_j x h_j}$$

Çizelge 4.10 Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapıda Katlara ait Fiktif Kuvvet F_{fi} Değerleri

Kat No	w _i (kN)	H _i (m)	w _i H _i (kNm)	F _{fi} (kN)
Çatı	3808,8	20	76176,00	153,87
4	4284	16	68544,00	138,45
3	4284	12	51408,00	103,84
2	4284	8	34272,00	69,23
1	4284	4	17136,00	34,61
Toplam	20945		247536,00	500,00

5 katlı yapı için hesaplanan F_{fi} fiktif yük değerleri SAP2000 programında kat kütle merkezlerine x ve y doğrultularında etkililerek analiz yapılmış; analiz sonucunda x ve y yönlü yatay yer değiştirmeler d_{fi}(x) ve d_{fi}(y) bulunmuştur. X doğrultusu için fiktif yükler F_{fi}(x) ve buna bağlı kat yerdeğiştirmeleri d_{fi}(x) Çizelge 4.11’de, y doğrultusu için fiktif yükler F_{fi}(y) ve buna bağlı kat yerdeğiştirmeleri d_{fi}(y) Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Çizelge 4.11 ve 4.12’deki değerlere göre Denklem 3.13 kullanılarak x ve y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyotları $T_p^{(x)}$ ve $T_p^{(y)}$ hesaplanacaktır.

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2}$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

Çizelge 4.11’e göre x doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,01262}{1,34238} \right]^{1/2} = 0,6091 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 1,4 \times 0,08 \times (20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4 \times T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 0,6091 \text{ sn'dir.}$$

Çizelge 4.12'ye göre Y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(Y) = 2\pi \left[\frac{0,02596}{1,92641} \right]^{1/2} = 0,7293 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 1,4 \times 0,08 \times (20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4 \times T_{pA}^{(y)} \text{ olduğundan } T_p^{(y)} = 0,7293 \text{ sn'dir.}$$

Çizelge 4.11 X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$

Kat No	$F_{fi}^{(X)}$	$d_{fi}^{(x)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(x)2}$	$F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(x)}$
Çatı	153,87	0,0038	388,26	0,00559	0,58362
4	138,45	0,0031	436,70	0,00410	0,42408
3	103,84	0,0022	436,70	0,00205	0,22502
2	69,23	0,0013	436,70	0,00077	0,09166
1	34,61	0,0005	436,70	0,00012	0,01800
Toplam	500,00			0,01262	1,34238

Çizelge 4 12 Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$

Kat No	$F_{fi}^{(y)}$	$d_{fi}^{(y)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(y)2}$	$F_{fi}^{(y)} d_{fi}^{(y)}$
Çatı	153,87	0,0054	388,26	0,01149	0,83720
4	138,45	0,0043	436,70	0,00823	0,60116
3	103,84	0,0031	436,70	0,00426	0,32429
2	69,23	0,002	436,70	0,00170	0,13665
1	34,61	0,0008	436,70	0,00027	0,02710
Toplam	500,00			0,02596	1,92641

4.1.2.3.6 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı tasarlanan yapı süneklik düzeyi bakımından yüksek sünek, bina yükseklik sınıfı BYS ise 5'tir. Söz konusu yapıya ait taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=5$, dayanım fazlalığı katsayısının ise $D=2$ olduğu Çizelge 3.11'den görülmektedir.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevesi 5 katlı yapıda deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$,

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

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

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(x) = 0,6091 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(y) = 0,7293 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn olduğundan,}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{R_x}{I} = \frac{R_y}{I} = \frac{5}{1} = 5 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

4.1.2.3.7 Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı dikdörtgen plana sahip olup herhangi bir çıkma yoktur. Dolayısıyla Çizelge 3.13'te görülen *A3 planla çıkıntıların bulunması düzensizlik* durumu bulunmamaktadır. Yapıda merdiven ve asansör boşlukları da dahil olmak üzere döşemede boşluk alanları toplamı brüt kat alanının üçte birinden daha az olduğundan *A2 döşeme süreksizliği* de yoktur.

Düşeyde düzensizlik durumlarından *B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)* betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapı için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir. Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak *B3 türü düzensizlik* bulunmamaktadır.

Çizelge 3.11’de eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği koşullar açıklanmıştır. Bu koşullardan biri *A1* ve *B2* türü düzensizlikler olup, deprem yönteminin seçiminde etkilidir.

5 katlı yapı için *A1* türü burulma düzensizliği durumu incelenmiş olup Çizelge 4.13’te *x* ve *y* doğrultuları için burulma düzensizliği koşulu kontrolleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği

Kat	$\Delta_i^{(x)}$ maks	$\Delta_i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta_i^{(y)}$ maks	$\Delta_i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,000730	0,00069	1,0526	≤ 2	0,00111	0,00105	1,0572	≤ 2
4	0,000916	0,00087	1,0505	≤ 2	0,00128	0,0012	1,0612	≤ 2
3	0,000875	0,00083	1,0517	≤ 2	0,00129	0,00122	1,0607	≤ 2
2	0,000838	0,00080	1,0521	≤ 2	0,00127	0,00119	1,0611	≤ 2
1	0,000545	0,00052	1,0501	≤ 2	0,00083	0,00079	1,0591	≤ 2

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı yapıda *x* ve *y* doğrultuları için *B2* türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolleri Denklem 3.21 kullanılarak her kat için yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.14’te gösterilmiştir.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{ort} > 2$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{ort} > 2$$

Çizelge 4.13 X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Kat	$(\Delta_i(x)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(x)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta_i(y)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(y)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,000173	-	-	≤ 2	0,00026	-	-	≤ 2
4-3	0,000218	0,00022	0,7953	≤ 2	0,0003	0,0003	0,8731	≤ 2
3-2	0,000208	0,00021	1,0481	≤ 2	0,00031	0,00031	0,9848	≤ 2
2-1	0,000199	0,00020	1,0446	≤ 2	0,0003	0,0003	1,0218	≤ 2
1-Zemin	0,000130	0,00013	1,5347	≤ 2	0,0002	0,0002	1,5181	≤ 2

Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 incelendiğinde, tasarımı yapılan 5 katlı yapıda A1 türü burulma düzensizliği ve B2 türü rijitlik düzensizliğinin bulunmadığı görülmektedir. Deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfının uygun olması ile birlikte A1 ve B2 türü düzensizliklerin de bulunmayışı eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceğini göstermektedir.

4.1.2.3.8 Eşdeğer Deprem Yükü Hesabı

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı yapıda eşdeğer deprem yükü hesabı için ilk olarak *toplam yatay eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_{tE}* hesaplanacak, daha sonra bu kuvvet katlara dağıtılarak *katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri F_{iE}* bulunacaktır.

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yükü

(X) ve (Y) deprem doğrultularında 5 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveli binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükleri hesabı aşağıda yer almaktadır.

(X) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,069 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(X)} = 0,6091 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1}/(T_p^{(X)}) = 0,46/0,6091 = 0,756$$

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)})/R_a(T_p^{(X)}) = 0,776/5 = 0,1512$$

$$m_t = 2135,05 \text{ t (Çizelge 4.7)}$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = 2135,05 \times 0,1512 \times 9,81 \geq 0,04 \times 2135,05 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(X)} = 3166,742 \text{ kN} \geq 1119,96 \text{ kN} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

(Y) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(Y)} = 0,7293 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{D1}/(T_p^{(Y)}) = 0,46/0,7293 = 0,631$$

$$S_{aR}(T_p^{(Y)}) = S_{ae}(T_p^{(Y)})/R_a(T_p^{(Y)}) = 0,631/5 = 0,1263$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 2135,05 \times 0,1263 \times 9,81 \geq 0,04 \times 2135,05 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 2644,9230 \text{ kN} \geq 1119,96 \text{ kN} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Katlara Etkiyen Yatay Eşdeğer Deprem Yükleri

5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapının çatı katına (tepesine) etkiyen (X) ve (Y) yönlü eşdeğer deprem yükü değerleri Denklem 3.25 yardımıyla,

$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 N V_{tE}^{(x)}$$

$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 \times 5 \times 3166,7417 = 118,753 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}(y) = 0,0075 \times 5 \times 2644,9230 = 99,185 \text{ kN} \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

5 katlı yapının tüm katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

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

$$F_{iE}^{(x)} = [V_{tE}^{(x)} - \Delta F_{NE}^{(x)}] \times (m_i H_i / \sum m_j H_j)$$

$$F_{iE}^{(x)} = [3166,7417 - 118,753] \times (m_i H_i / \sum m_j H_j) = 3047,989 \times (m_i H_i / \sum m_j H_j)$$

$$F_{iE}^{(y)} = [2644,9230 - 99,185] \times (m_i H_i / \sum m_j H_j) = 2545,738 \times (m_i H_i / \sum m_j H_j)$$

Çizelge 4.14 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü Değerleri

KAT	w _i (kN)	H _i (m)	w _i H _i (kNm)	w _i H _i /Σw _j H _j	F _{IE} (x)	F _{IE} (y)
Çatı	3808,8	20	76176	0,3077	1056,73	882,60
4	4284	16	68544	0,2769	844,00	704,93
3	4284	12	51408	0,2077	633,00	528,70
2	4284	8	34272	0,1385	422,00	352,46
1	4284	4	17136	0,0692	211,00	176,23
Σ	20944,8		247536	1	3166,7417	2644,9230

4.1.2.3.9 Yatay Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları

30 metre boyunda 24 metre eninde olan 5 katlı yapıda (X) ve (Y) doğrultularındaki ek dışmerkezlikler,

$$e^{(x)} = \pm 0,05 \times 30 = \pm 1,50 \text{ metre}$$

$$e^{(y)} = \pm 0,05 \times 24 = \pm 1,20 \text{ metre olarak hesaplanmıştır.}$$

4.1.2.3.10 Düşey Deprem Etkisi

Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, Denklem 3.31'e göre yaklaşık olarak hesaplanacak ve sabit yük G'ye dahil edilerek düşey yük+deprem kombinasyonlarında kullanılacaktır.

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

$$G(1.2 + 0.3(2/3) \times 1,337) = 1,467G$$

$$G(0.9 - 0.3(2/3) \times 1,337) = 0,633G \text{ olacaktır.}$$

Bu durumda merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı yapıya ait düşey yük+deprem etkisini içeren yük kombinasyonları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} \text{Düşey Yük+Deprem Birleşimleri:} \quad & 1,467G + 0,5Q + 0,2S \pm Ed(X) \pm 0,3Ed(Y) \\ & 1,467G + 0,5Q + 0,2S \pm 0,3Ed(X) \pm Ed(Y) \\ & 0,633G \pm Ed(X) \pm 0,3Ed(Y) \\ & 0,633G \pm 0,3Ed(X) \pm Ed(Y) \end{aligned}$$

4.1.3 Yük Birleşimleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı yapının taşıyıcı sisteminin sabit ve hareketli yükleri ile deprem ve rüzgar kuvvetlerinin belirlenmesinin ardından; *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarımı (YDKT)* yapılarak ÇYTHYE-2016 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine uygun şekilde aşağıda yer alan yük birleşimleri oluşturulmuştur.

1. Düşey Yük Birleşimleri:

- $1,4 (G+N_G)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q_r+ N_{Qr})$
- $1,2(G+N_G)+1,6(S+ N_s)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q+ N_Q)+0,5(Q_r+ N_{Qr})$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q+ N_Q)+0,5(S+N_s)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q_r+ N_{Qr})+1,0(Q+ N_Q)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(S+N_s)+1,0(Q+ N_Q)$

2. Düşey Yük+Deprem Birleşimleri

- $1,467G+0,5Q+0,2S+E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $0,633G+E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G+E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$

- $0,633G-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G+0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $0,633G+0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $0,633G-0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $0,633G-0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$

3. Düşey Yük+Artırılmış Deprem Yüğü Birleşimleri

- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-E_d^{(X)}-0,3 E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$

4. Düşey Yük+Rüzgar Birleşimleri

- $1,2G+1,6Qr+0,8W_x$
- $1,2G+1,6Qr-0,8W_x$
- $1,2G+1,6Qr+0,8W_y$
- $1,2G+1,6Qr-0,8W_y$

- $1,2G+1,0Q+0,5Q_r+1,6W_x$
- $1,2G+1,0Q+0,5Q_r-1,6W_x$
- $1,2G+1,0Q+0,5Q_r+1,6W_y$
- $1,2G+1,0Q+0,5Q_r-1,6W_y$
- $0,9G+1,6 W_x$
- $0,9G-1,6 W_x$
- $0,9G+1,6 W_y$
- $0,9G-1,6 W_y$

TBDY-2018, 9.2.6’da dayanım fazlalığı katsayısı ile büyütülen deprem etkileri açıklanmış; buna göre *düşey yük+deprem yükü birleşimlerinde*, deprem etkileri dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak yeni iç kuvvetler elde edilmiştir. Bu iç kuvvetler, kapasite tasarım ilkesi gereği, akma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük olmayacaktır. Dayanım fazlalığı katsayısı, akma dayanımının tasarım dayanımına oranla fazlalığını ifade etmektedir. Çizelge 3.12’ye göre dayanım fazlalığı katsayısı $D=2$ olarak alınmıştır.

Yukarıdaki yük birleşimlerinde kullanılan G sabit yükleri, Q normal kat hareketli yüklerini, Q_r çatı katı hareketli yüklerini, W_x ve W_y (X) ve (Y) doğrultularındaki rüzgar kuvvetlerini simgelemektedir. $E_d^{(X)} \pm \%5$ dışmerkezlilik etkisindeki (X) yönlü deprem kuvvetini, $E_d^{(Y)} \pm \%5$ dışmerkezlilik etkisindeki (Y) yönlü deprem kuvvetini göstermektedir.

Düşey yük birleşimlerinde görülen N_G , N_{Qr} , N_s ve N_Q değerleri fiktif yüklerdir. Denklem 3.30’da fiktif yük formülü verilmiştir.

Çizelge 4.16’da tasarımı yapılan 5 katlı yapıya ait katlara etkiyen N_G fiktif yük değerleri, Çizelge 4.17’de ise N_Q , N_{Qr} ve N_s fiktif yük değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 4 15 Katlara Etkiyen N_G fiktif yük değerleri

Kat	En (m)	Boy (m)	G1-G2 (kN/m ²)	G3 (kN/m)	Gi (kN)	N_G (kN)
Çatı	24	30	4	2	3096	6,192
4	24	30	4,9	3	3852	7,704
3	24	30	4,9	3	3852	7,704
2	24	30	4,9	3	3852	7,704
1	24	30	4,9	3	3852	7,704

Çizelge 4 16 Katlara Etkiyen N_O , N_{O_r} , N_S fiktif yük değerleri

Kat	En (m)	Boy (m)	S(kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Si(kN)	Qi(kN)	N_s (kN)	N_{O_r} (kN)
Çatı	24	30	1,3	2	936	1440	1,872	2,88
4	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
3	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
2	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
1	24	30	-	2	-	1440	0	2,88

4.1.4 Yapısal Analizler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 5 katlı yapının analizi ve tasarımında 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmıştır. Yapının tasarımında her iki yönetmelikte de belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

4.1.4.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Süneklik düzeyi yüksek 5 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveli binanın $Tp^{(x)}$ ve $Tp^{(y)}$ periyotları Bölüm 4.1.2.3.5'te hesaplanmıştır. Elazığ ilinde 38.604675° enleminde ve 39.28091° boylamında bulunan bina için AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak DD3 (50 yılda

aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketi) deprem düzeyi için S_{D1} ve S_{DS} değerleri bulunarak her bir doğrultu için λ değerleri aşağıda hesaplanacaktır.

$$Tp^{(x)}=0,5936; Tp^{(y)}=0,7179$$

$$\text{DD2 depremi için: } S_{D1}=0,4605$$

$$S_{DS}=1,3368$$

$$\text{DD3 depremi için: } S_{D1}=0,163$$

$$S_{DS}=0,541$$

$$\lambda_x = \frac{0,268}{0,756}=0,354; \lambda_y = \frac{0,224}{0,631}=0,354$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD2}=0,4605/0,6091=0,756$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD2}=0,4605/0,7293=0,631$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD3}=0,163/0,6091=0,268$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD3}=0,163/0,7293=0,224$$

Bulunan λ_x ve λ_y değerleri ile birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularında $\pm\%5$ ek dışmerkezlilikle katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin analizi ile elde edilen u_i ve u_{i-1} yatay yer değiştirmeleri, etkin görel kat ötelemelerinin o kattaki en büyük değeri olan δ_i değeri ve Denklem 3.33'ten faydalanılarak; etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü yapılmıştır. Çizelge 4.18 (X) doğrultusu için etkin görel kat ötelemeleri kontrolünü, Çizelge 4.19 (Y) doğrultusu için etkin görel kat ötelemeleri kontrolünü göstermektedir. Kontrollerde (X) ve (Y) doğrultuları için en büyük etkin görel kat ötelemeleri değerleri, Denklem 3.35'te yer alan 0,008 değerini aşmamalıdır.

$$\delta_i=(R/I)\Delta_i$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}}{h_i} \leq 0.016K$$

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T_p)_{DD3}}{S_{ae}(T_p)_{DD2}}$$

Çizelge 4 17 (X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(x)	$\Delta i(x)$	$\delta i(x)=(R/I)\Delta i(x)$	$\lambda(\delta i(x)/h_i)$
Çatı (3716)	4	0,025787	0,005032	0,02516	0,00223
4 (2723)	4	0,020755	0,006152	0,03076	0,00272
3 (1730)	4	0,014603	0,005708	0,02854	0,00253
2 (737)	4	0,008895	0,00543	0,02715	0,00240
1 (6991)	4	0,003465	0,003465	0,017325	0,00153

Çizelge 4 18 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(y)	$\Delta i(y)$	$\delta i(Y)=(R/I)\Delta i(y)$	$\lambda(\delta i(y)/h_i)$
Çatı (3716)	4	0,031032	0,006333	0,031665	0,00280
4 (2723)	4	0,024699	0,007054	0,03527	0,00312
3 (1730)	4	0,017645	0,006549	0,032745	0,00290
2 (737)	4	0,011096	0,006734	0,03367	0,00298
1 (6991)	4	0,004362	0,004362	0,02181	0,00193

Çizelge 4.18 ve 4.19 incelendiğinde (X) ve (X) yönündeki en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin 0,008 değerini aşmadığı, sınır koşulların sağlandığı görülmüştür.

4.1.4.2 İkinci Mertebe Etkileri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı yapının her bir i'inci kattaki *ikinci mertebe gösterge değeri* $\theta_{II,i}$ hesabı, TBDY-2018, 4.9.2'ye göre hesaplanacaktır.

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

$$\theta_{II,max} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R}$$

Çizelge 4.20ve Çizelge 4.21’de yer alan (X) ve (Y) doğrultularına ait ikinci mertebe gösterge değerleri Denklem 3.37 ve 3.38 yardımıyla hesaplanmıştır.

Denklem 3.38 ve 3.39’da bulunan C_h katsayısı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı bir katsayı olup, çelik binalar için $C_h=1$ olarak alınmalıdır.

$$\theta_{II,max(x)} = 0,001122 \leq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

$$\theta_{II,max(y)} = 0,002015 \leq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

Çizelge 4.19 (X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(x)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(x)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,0006935	3808,8	1056,73	4	0,000625
4 (2723)	0,000872	8092,8	1900,74	4	0,000928
3 (1730)	0,000832	12376,8	2533,74	4	0,001016
2 (737)	0,0007965	16660,8	2955,74	4	0,001122
1 (6991)	0,000519	20944,8	3166,74	4	0,000858

Çizelge 4.20 (Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(y)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(y)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,001049	3808,8	882,60	4	0,001132
4 (2723)	0,0012015	8092,8	1587,53	4	0,001531
3 (1730)	0,00122	12376,8	2116,23	4	0,001784
2 (737)	0,001194	16660,8	2468,69	4	0,002015
1 (6991)	0,0007a865	20944,8	2644,92	4	0,001557

Çizelge 4.20 ve 4.21’de hesaplanan en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin sınır koşul değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrolü Denklem 3.38 kullanılarak yapılmıştır. (X) ve (Y) doğrultularına ait en büyük ikinci mertebe gösterge değerleri yapının ikinci katında ortaya çıkmış olup sınır koşul değerlerini sağladığı görülmektedir.

Yapı bu sınır koşul değerini sağlasa dahi, ÇYTHYE-2016, 6.1’de “Yapı sistemlerinin stabilite tasarımının, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini göz önüne alan ikinci mertebe teorisine göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvet büyüklüklerinin elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırılmasını öngörmektedir.” ifadesi geçtiğinden tasarımda ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

4.1.5 Boyutlandırma Hesapları

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı çelik çerçeveli yapıya ait Şekil 4.2’de normal kat planı Şekil 4.3’te ise sistem enkesiti görülmekte olup, kolonlar HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ise değişken kesitli kutu profiller olup A ve D akslarında 140x140x14.2 mm, 140x140x12.5 mm, 140x140x10 mm, 125x125x8 mm ve 125x125x6.3 mm; 1 ve 5 akslarında 160x160x16 mm, 160x160x14.2 mm, 140x140x12.5 mm ve 125x125x8 mm’dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır. Çizelge 1.1’de söz konusu çelik sınıflarına ait karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u değerleri gösterilmiştir.

4.1.5.1 İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması

İkincil döşeme kirişi IPE360 seçilmiş olup profil kesit özellikleri aşağıda yer almaktadır.

Çelik sınıfı: S275 ($F_y=275 \text{ N/mm}^2$, $F_u=430 \text{ N/mm}^2$)

Çelik elastisite modülü $E=200000 \text{ Mpa}$

$A=$	72,7 cm ²	$d=$	360 mm	$t_w=$	8mm
$t_f=$	12,7 mm	$b=$	170 mm	$r =$	18mm.
$h =$	298 mm	$G=$	57,1 kg/m	$w_1=$	90mm

$W_{px}=1019 \text{ cm}^3$	$W_{py}=191,1 \text{ cm}^3$	$J=37,32 \text{ cm}^4$
$J_y=1040 \text{ cm}^4$	$J_x=16270 \text{ cm}^4$	$W_x=904 \text{ cm}^3$
$W_y=123 \text{ cm}^3$	$S_x=510 \text{ cm}^3$	$i_x=15 \text{ cm}$
$i_y=3,79 \text{ cm}$		

IPE360 ikincil döşeme kirişleri, HE300B ana kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenmiş olup; düşey yük birleşimi (1.2G+1.6Q+0.5Qr) ve işletme yükleri (G+Q) altında gerekli kontrolleri yapılacaktır.

4.1.5.1.1 İkincil Döşeme Kirişlerinin Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Yerel Burkulma Sınır Durumu için Enkesit Sınıflandırılması

ÇYTHYE-2016 5.4.1’de “Yerel Burkulma Sınır Durumu için Enkesit Sınıflandırılması” tanımı yapılmıştır. Bu maddeye göre, eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *narin ve narin olmayan enkesitler* olarak ikiye ayrılmıştır. Eğilme momentinden oluşan basınç gerilmeleri etkisindeki enkesit parçaları ise, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesit parçaları* olarak üçe ayrılmıştır. Genişlik (çap) / kalınlık oranı λ , λ_p sınır değerini aşmayan enkesit parçaları *kompakt* olarak tanımlanmakta; tüm enkesit parçaları kompakt sınıfında olan ve başlıkları gövde veya gövdelere sürekli birleştirilen enkesitler ise *kompakt enkesit* olarak sınıflandırılmaktadırlar. Genişlik (çap) / kalınlık oranı λ_p sınırını aşan; fakat λ_r değeri aşılmayan enkesit parçaları *kompakt olmayan* enkesit parçaları; genişlik (çap) / kalınlık oranı, λ_r değerini aşan enkesit parçaları ise *narin* olarak tanımlanmaktadırlar.

İkincil döşeme kirişlerinde başlık parçası ve gövde parçası için ayrı ayrı kontroller yapılacaktır. ÇYTHYE-2016 Tablo 5.1B “Eğilme Momentinin Basınç

Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik/Kalınlık Oranları” referans alınmıştır.

IPE 360 profilinde başlık parçası ve gövde parçası için ayrı ayrı kontroller yapılacaktır. ÇYTHYE-2016 Tablo 5.1B “*Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik/Kalınlık Oranları*” referans alınmıştır.

Başlık parçası için;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{bf}{2tf} = \frac{170}{2 \times 12,7} = 6,693$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{(E/F_y)} = 0,38 \sqrt{(200000/275)} = 10,248$$

$$\lambda_r = 1 \sqrt{(E/F_y)} = 1 \sqrt{(200000/275)} = 26,968$$

$\lambda \leq \lambda_p$ ve $\lambda_p \leq \lambda_r$ olduğundan başlık parçası kompakt kesittir.

IPE 360 profili *kompakt kesit* olduğundan yerel burkulmalar kesit moment ve dönme kapasitesine ulaşınca meydana gelecektir. Bu durumda akma sınır durumunda ve yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımının bilinmesi gerekmektedir.

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı ; M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 1019 / 1000 = 280,23 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

ÇYTHYE-2016 9.2.2’de yanal burulmalı burkulma sınır durumu tanımlanmış olup, göçme sınır durumları için karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n durumları aşağıda belirtilmiştir. Bu maddede L_b , basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğunu ifade etmektedir.

Kirişin basınç başlığı, çelik ankrajlar yardımıyla kiriş boyunca betonarme döşemeye bağlı olduğundan $L_b=0$ olarak alınacaktır.

- $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun göz önüne alınmasına gerek yoktur. ($M_n = M_p$)
- $L_p < L_b \leq L_r$ ise karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n ;

$$M_n = C_p * (M_p - (M_p - 0,7x F_y x W_{ex}) * (L_b - L_p) / (L_r - L_p)) \leq M_p$$
- $L_b > L_r$ ise karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n ;

$$M_n = F_{cr} * W_{ex} \leq M_p$$

$$L_p = 1,76x i_y x \sqrt{(E/F_y)} = 1,76x 37,9x \sqrt{(200000/275)} = 1799 \text{ mm}$$

$L_b = 0 < L_p = 1799 \text{ mm}$ olduğundan yanal burulmalı burkulma sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

$$M_n = M_p = 280,23 \text{ kNm olarak alınacaktır.}$$

4.1.5.1.2 İkincil Döşeme Kirişlerinin Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Kontrolü

Yapılan analizler sonucunda IPE360 ikincil kirişleri için 1.2G+1.6Q yük birleşimi altında en yüksek eğilme momenti dayanımı, M_u değeri 81,007 kNm olarak bulunmuştur.

$$M_u = 81,007 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi_b x M_n = 0,90x 280,23 = 252,2 \text{ kNm}$$

$$M_u / M_d = 81,007/252,2 = 0,312 < 1 \text{ olduğu için uygundur.}$$

4.1.5.1.3 İkincil Döşeme Kirişlerinin Karakteristik Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

ÇYTHYE-2016, 10.2.1'e göre gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki çift simetri eksenli I-enkesitler ile tek simetri eksenli I ve U enkesitlerde, çekme alanı katkısı göz önüne alınmadığında, *karakteristik kesme kuvveti dayanımı*, V_n denklemi aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$V_n = 0,6 x F_y x A_w x C_{v1} \quad (4.1)$$

Ayrıca I enkesitli hadde profillerinin gövdelerinde,

$$\frac{h}{t_w} = 2,24 \times \sqrt{(E/F_y)} \text{ olması durumunda YDKT için } \phi_v = 1.0, C_{vl}=1.0$$

olarak alınacaktır.

IPE360 ikincil döşeme kirişi için;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{298}{8} = 37,25 \leq 2,24 \times \sqrt{(E/F_y)} = 2,24 \times \sqrt{(200000/275)} = 60,41$$

olduğundan $\phi_v = 1.0$, $C_{vl}=1.0$ olarak alınacaktır.

$$A_w = d \times t_w = 360 \times 8 = 2880 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{vl} = 0,6 \times 275 \times 2880 \times 10^{-3} \times 1 = 475,20 \text{ kN}$$

4.1.5.1.4 İkincil Döşeme Kirişlerinin Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

Yapılan analizler sonucunda IPE360 ikincil kirişleri için 1.2G+1.6Q yük birleşimi altında en yüksek kesme kuvveti dayanımı, V_u değeri 52,145 kN olarak bulunmuştur.

$$V_u = 52,145 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v \times V_n = 1,00 \times 475,20 = 475,20 \text{ kN}$$

$$V_u / V_d = 52,145 / 475,20 = 0,11 < 1 \text{ olduğu için uygundur.}$$

4.1.5.1.5 Sehim Kontrolü

Kirişte sehim kontrolleri ÇYTHYE-2016, 15.2’de “Düşey Yerdeğiştirme (Sehim) Kontrolleri” başlığı altında ele alınmıştır. Bu maddeye göre, yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi, fonksiyonlarının olumsuz etkilenmemesi ve ikinci mertebe değerlerinin aşırı değerler almaması için düşey yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Bu maddeye göre sabit ve hareketli yükler altında, ÇYTHYE-2016, 15.1’de belirtilen (G+Q) yük birleşimleri altında, hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınır değerini aşmamalıdır.

Yapılan analizler sonucunda IPE360 ikincil kirişleri için (G+Q) yük birleşimi altında en yüksek düşey yerdeğiştirme Δ_{maks} değeri 0,030043 metre olarak bulunmuştur.

$$\Delta_{maks}=0,030043 \text{ m}, L=7,50 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta_{maks}}{L} = 0,004 < 1/300 \text{ olduğu için koşulu sağlamaktadır.}$$

4.1.5.2 Çapraz Elemanların Boyutlandırılması

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı çelik çerçeveseli yapıda çapraz elemanlar değişken kesitli kutu profillerden seçilmiştir. A/1-2, A/4-5 ve D/1-2 ve D/4-5 akslarında 1. katta 140x140x14.2 mm, 2. katta 140x140x12.5 mm, 3. katta 140x140x10 mm, 4. katta 125x125x8 mm ve 5. katta 125x125x6.3 mm S275 çelik sınıfında kutu profil kullanılmıştır. 1/B-C ve 5/B-C akslarında ise çapraz elemanlar 1. katta 160x160x16 mm, 2 ve 3. katlarda 160x160x14.2 mm, 4. katta 140x140x12.5 mm ve 5. katta 125x125x8 mm ebatlarında kutu profildir. Çaprazlar kolon ve kirişlere iki ucu mafsallı olarak bağlanmıştır.

4.1.5.2.1 Enkesit koşulları

1. katta 1/B-C akslarında bulunan 160x160x16 mm kutu profil çaprazların enkesit özellikleri aşağıda yer almaktadır.

$A_g = 8556,74 \text{ mm}^2$	$i_x = 57,56 \text{ mm}$	$i_y = 57,56 \text{ mm}$
$B=160 \text{ mm}$	$H=160 \text{ mm}$	$t=16 \text{ mm}$
$L=5657 \text{ mm}$ (Çapraz eleman boyu)		
$F_y=275 \text{ N/mm}^2$	$F_u=430 \text{ N/mm}^2$	

$$b=B-3t=160-3 \times 16=112 \text{ mm}$$

$$h=H-3t=160-3 \times 16=112 \text{ mm}$$

Süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan sistem elemanları enkesitlerine ait başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranı λ_{hd} , TBDY-2018 Tablo 9.3'te belirtilen sınır durumlarını aşmamalıdır.

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{112}{16} = 7$$

$$\lambda_{hd} = 0,55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,55 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 14,83$$

$\lambda = 7 < \lambda_{hd} = 14,83$ süneklik düzeyi yüksek durum için uygundur.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumuna göre narin ve narin olmayan enkesitler olarak ÇYTHYE-2016 Tablo 5.1A'da verilen sınır durumlara göre ikiye ayrılırlar. Üniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu enkesitlerin gövde ve başlıkları b/t değeri, $1,40\sqrt{(E/F_y)}$ sınır değerine göre kesit narin veya narin değildir.

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{112}{16} = 7$$

$$\lambda_r = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 37,76$$

$\lambda = 7 < \lambda_r = 37,76$ olduğundan kesit narin değildir.

TBDY-2018 9.6.3.1 maddesine göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin çapraz elemanlarında narinlik oranı $KL/i \leq 200$ koşulunu sağlamalıdır. Buna göre;

$$\lambda_x = \frac{KL}{i_x} = \frac{(1.0)(5657)}{(57,56)} = 98,28 \leq 200$$

$$\lambda_y = \frac{KL}{i_y} = \frac{(1.0)(5657)}{(57,56)} = 98,28 \leq 200$$

4.1.5.2.2 Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

ÇYTHYE-2016 8.2'ye göre narin olmayan enkesitli elemanların eksenel basınç kuvveti altındaki karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n , kayıpsız enkesit alanı, A_g ile kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} değerlerinin çarpımına eşittir.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (4.2)$$

Kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} denklemi aşağıda yer almaktadır.

$$\frac{L_c}{i} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) \times F_y \quad (4.3)$$

$$\frac{L_c}{i} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = (0,877) \times F_e \quad (4.4)$$

Denklem 4.3 ve 4.4'te yer alan F_y , yapısal çelik karakteristik akma gerilmesini, F_e , elastik burkulma gerilmesini simgelemektedir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi, F_e denklemi aşağıda yer almaktadır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{L_c}{i} \right]^2} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te yer alan L_c , eleman burkulma boyunu, i ise atalet yarıçapını simgelemektedir.

160x160x16 mm kutu profil için kritik burkulma gerilmesi F_{cr} ;

$$\frac{L_c}{i} = \frac{KL}{i} = \frac{(1,0)(5657)}{(57,56)} = 98,28 < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127,02 \text{ olduğundan Denklem}$$

(4.3) kullanılacaktır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{L_c}{i}\right]^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{\left[\frac{5657}{57,56}\right]^2} = 204,37 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) x F_y = \left(0,658^{275,00/204,37}\right) x 275 = 156,58 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n

$P_n = F_{cr} \times A_g = 156,58 \times 8556,74/1000 = 1339,83 \text{ kN}$ değerinde bulunur.

$P_d = 0,90 \times P_n = 0,90 \times 1339,83 = 1205,84 \text{ kN}$

4.1.5.2.3 Gerekli Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı, P_r

TBDY-2018, 9.6.3.3'te “Çaprazlar 9.2.5'te verilen deprem etkisi içeren yük birleşimleri dikkate alınarak boyutlandırılacaktır.” ifadesi geçmektedir. 1. Kat 1/B-C aksları arasında bulunan 160x160x16 mm kutu profilden teşkil edilen çaprazda oluşan en elverişsiz iç kuvvet $1,467G+0.5Q+0.2S-0.3E_dX+E_dY$ yük birleşiminde meydana gelmiştir.

Eksenel basınç kuvveti değerleri;

Sadece düşey yükler etkisinde ($1,467G+0.5Q+0.2S$) $P_{nt}=250,03 \text{ kN}$,

Sadece yatay yükler etkisinde ($-0.3E_dX+E_dY$) $P_{lt}=1018,46 \text{ kN}$ değerlerini almaktadır.

ÇYTHYE-2016, 6.5.2'de sistem elemanlarının ikinci mertebe etkilerini içeren gerekli eksenel kuvvet dayanımı için aşağıda yer alan formül verilmiştir.

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da yer alan B_2 katsayısı, yatay ötelenmesi önlenmemiş sistemde ikincil mertebe etkilerini göz önüne alan arttırma katsayısını ifade etmekte olup ÇYTHYE-2016, 6.5.2.2'ye göre hesaplanmaktadır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1 \quad (4.7)$$

Denklem 4.7’de bulunan P_{kat} , söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına etkiyen toplam düşey yükünü; $P_{e,kat}$ ise gözönüne alınan yanal yerdeğiştirmeler doğrultusunda o kata ait elastik burkulma yükünü ifade etmektedir. Elastik burkulma yükü, $P_{e,kat}$ formülü Denklem 4.8’de gösterilmiştir.

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (4.8)$$

Formülde yer alan L , kat yüksekliğini; Δ_H , göz önüne alınan doğrultuda seçilen yatay yükler altında, sistem rijitliği kullanılarak hesaplanan birinci mertebe görelî kat ötelemesini; H , göz önüne alınan doğrultuda Δ_H görelî kat ötelemesini hesaplamak için kullanılan yatay yüklerden oluşan kat kesme kuvvetini; R_M ise $P-\delta$ nın $P-\Delta$ üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayıyı simgelemektedir.

$$R_M = 1.0$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$P_{kat} = 1,467(3096 + 3 \times 3852) + 0,5 \times (4 \times 1440) + 0,2 \times 936 = 24562 \text{ kN}$$

$$H = 3166,74 \text{ kN (Eşdeğer deprem yükü hesabında } F_{iE}(x) \text{ toplamı)}$$

$$\Delta_H = 0,003343 \text{ m} = 3,34 \text{ mm}$$

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} = 1,0 \times \frac{3166,74 \times 4000}{0,003343} = 3838473 \text{ kN}$$

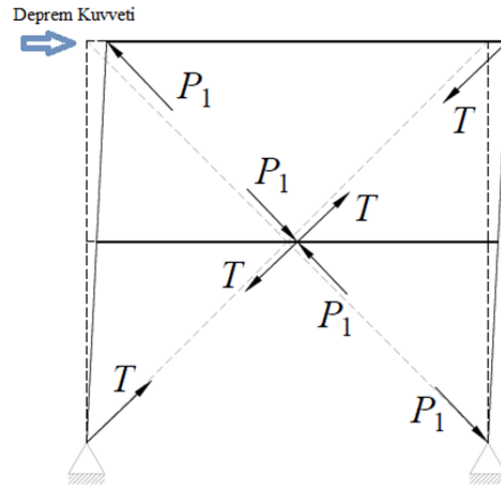
$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 24562}{3838473}} = 1,006 > 1$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} = 250,03 + 1,006 \times 1018,46 = 1275,09 \text{ kN}$$

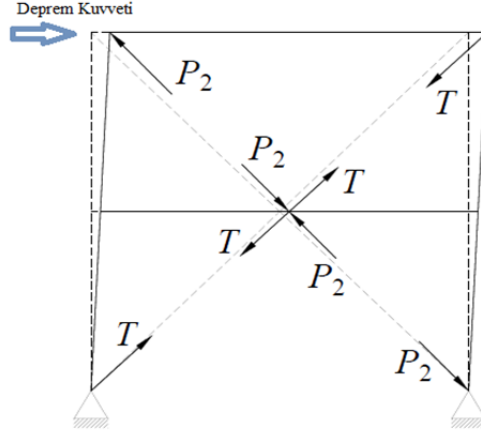
4.1.5.3 Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemde Kolon Boyutlandırılması

4.1.5.3.1 Mekanizma Durumu ile Uyumlu Kolon İç Kuvvetleri Hesabı

TBDY-2018, 9.6.2 “Sistem Analizi” başlığında, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemlerde kolon, kiriş ve çaprazların boyutlandırılmasında gerekli dayanımların 9.2.6’da belirtilen dayanım fazlalığı katsayısı ile büyütülen deprem etkileri altında hesaplanması gerekliliği belirtilmiştir. TBDY-2018, 9.6.2.2’de eksenel basınç kuvveti etkisinde çapraz elemanların burkulma anına ve burkulma sonrasına karşı gelen tipik mekanizma durumunda çapraz elemanların plastikleşmesine neden olan olası eksenel çekme ve basınç kuvveti dayanımları ele alınmıştır. Eksenel basınç kuvveti etkisinde çapraz elemanların burkulma anına karşı gelen tipik mekanizma durumu Şekil 4.4’te, burkulma sonrasına karşı gelen tipik mekanizma durumu ise Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemde Burkulma Anına Karşılık Gelen Mekanizma Durumu



Şekil 4.5 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemde Burkulma Sonrasına Karşılık Gelen Mekanizma Durumu

Şekil 4.4 ve 4.5'te bulunan çapraz elemanların iç kuvvetleri olan eksenel çekme kuvveti (T), burkulma anına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti (P_1) ve burkulma sonrasına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti (P_2) denklemleri aşağıda yer almaktadır.

$$T = R_{yx} F_{yx} A_g \quad (4.9)$$

$$P_1 = 1,14 \times F_{cre} \times A_g \quad (4.10)$$

$$P_2 = 0,30 \times (1,14 \times F_{cre} \times A_g) \quad (4.11)$$

F_{cre} : olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesini, A_g : kompozit elemanın toplam enkesit alanını ifade etmektedir. Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesini gösteren denklem aşağıda yer almaktadır.



$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{R_y F_y}{F_e} \right] R_y F_y$$

(4.12)

Merkezi çaprazlı çerçevenin 160x160x16 mm kutu profilden teşkil edilmiş çaprazlarına ait kesit özellikleri şöyledir:

$$A_g = 8556,7432 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 28351265,67 \text{ mm}^4$$

$$i_x = 57,561 \text{ mm}$$

$$I_y = 28351265,67 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 57,561 \text{ mm}$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$b = B - 3t = 160 - 3 \times 16 = 112 \text{ mm}$$

$$h = H - 3t = 160 - 3 \times 16 = 112 \text{ mm}$$

TBDY-2018, Tablo 9.2'den S275 çeliğinden imal edilen hadde profilleri ve levhalar için *olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı* olan R_y değeri 1,3'tür.

160x160x16 mm kutu profilden oluşan çaprazların olası eksenel çekme kuvveti hesabı Denklem 4.9 kullanılarak yapılmıştır.

$$T = 1,3 \times 275 \times 8556,743 / 1000 = 3059,036 \text{ kN}$$

Denklem 4.10 ve 4.11 yardımıyla çapraza ait burkulma anına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti (P_1) ve burkulma sonrasına karşılık gelen eksenel basınç kuvveti (P_2) hesabı aşağıdadır.

$$l/B-C \text{ aksları arasında yer alan çapraz elemanın boyu } L = 5656,85 \text{ mm.}$$

$$\text{Etkili boy uzunluğu } 5656,85 \times 0,85 = 4808,32 \text{ mm}$$

$$L_c = K \times L = 1 \times 4808,32 = 4808,32 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{K L}{i} = \frac{1 \times 4808,32}{57,56} = 83,534$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(83,534)^2} = 282,88 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{R_y F_y}{F_e} \right] R_y F_y = \left[0,658 \frac{1,3 \times 275}{282,88} \right] (1,3)(275) = 210,65 \text{ N/mm}^2$$

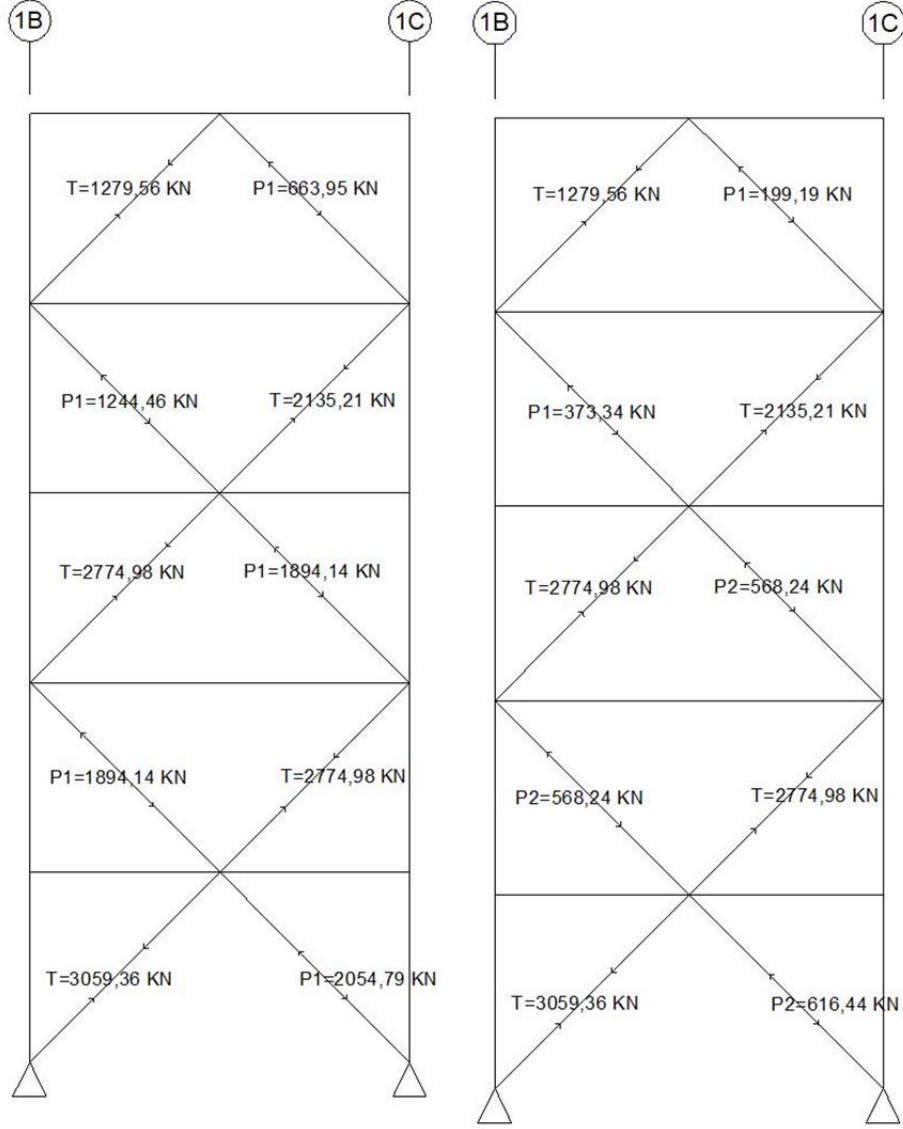
$$P_1 = 1,14 \times F_{cre} \times A_g = 1,14 \times 210,65 \times 8556,74 / 1000 = 2054,79 \text{ kN}$$

$$P_2 = 0,30 \times (1,14 \times F_{cre} \times A_g) = 0,30 \times 2054,79 = 616,44 \text{ kN}$$

5 katlı merkezi çaprazlı sistemde çapraz elemanlara ait hesaplanan iç kuvvetler (T , P_1 ve P_2) Çizelge 4.22'de yer almaktadır.

Çizelge 4.21 1/B-C aksında yer alan merkezi çapraz elamanların olası iç kuvvet dayanımları

katlar	çapraz eleman (kutu kesit)				Ag	t	i _x	i _y	L _c / i	F _e	F _{cr}	T	P ₁	P ₂	
	B		H												t
	(mm)		(mm)												(mm)
					(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)		N/mm ²	N/mm ²	(KN)	(KN)	(KN)	
1. kat	160	.	160	.	16	8556,74	16	57,56	57,56	83,53	282,883	210,6	3059,036	2054,792	616,438
2. kat	160	.	160	.	14,2	7762,17	14,2	58,46	58,46	82,26	291,734	214,1	2774,977	1894,143	568,243
3. kat	160	.	160	.	14,2	7762,17	14,2	58,46	58,46	82,26	291,734	214,1	2774,977	1894,143	568,243
4. kat	140	.	140	.	12,5	5972,62	12,5	51,11	51,11	94,08	223,035	182,8	2135,212	1244,465	373,339
5. kat	125	.	125	.	8	3579,18	8	47,19	47,19	101,9	190,107	162,7	1279,559	663,949	199,185



Durum - 1

Durum - 2

Şekil 4.6 5 Katlı Yapıda Çapraz Elemanlara ait Hesaplanan İç Kuvvetler

Şekil 4.6’da burkulma anına (Durum-1) ve burkulma sonrasına (Durum-2) karşılık gelen olası eksenel kuvvet dayanımı değerleri gösterilmiştir. Mekanizma durumu ile uyumlu kolon iç kuvvetleri (P_y , V_y) değerleri aşağıda hesaplanmıştır. Kirişin orta noktasında birleşen çaprazların, bu noktada oluşturdukları bileşke düşey kuvvet değerleri P_y ve bu kuvvetlerin kiriş uç noktalarında meydana getirdikleri kesme kuvvet değerleri ise V_y ’dir.

Durum 1:

$$1. \text{ kat: } P_y = (2774,98 - 1894,14 - 3059,04 + 2054,79) * \sin(45) = -87,26 \text{ kN}$$

$$V_y = -87,26/2 = -43,63 \text{ kN}$$

$$3. \text{ kat: } P_y = (2135,21 - 1244,47 - 2774,98 + 1894,14) * \sin(45) = 7,01 \text{ kN}$$

$$V_y = 7,01/2 = 3,51 \text{ kN}$$

$$5. \text{ kat: } P_y = (0 + 0 - 1279,56 + 663,95) * \sin(45) = -435,30 \text{ kN}$$

$$V_y = -435,30/2 = -217,65 \text{ kN}$$

Durum 2:

$$1. \text{ kat: } P_y = (2774,98 - 568,24 - 3059,04 + 616,44) * \sin(45) = -166,78 \text{ kN}$$

$$V_y = -166,78/2 = -83,39 \text{ kN}$$

$$3. \text{ kat: } P_y = (2135,21 - 373,34 - 2774,98 + 568,24) * \sin(45) = -314,56 \text{ kN}$$

$$V_y = -314,56/2 = -157,28 \text{ kN}$$

$$5. \text{ kat: } P_y = (0 + 0 - 1279,56 + 199,19) * \sin(45) = -763,94 \text{ kN}$$

$$V_y = -763,94/2 = -381,97 \text{ kN}$$

1. kat 1C aksında bulunan kolon için yukarıdaki mekanizma durumları esas alınarak eksenel çekme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır.

Durum-1 (Burkulma Anı):

$$P_{1emh}=(-663,95-2135,21-1894,14-2774,98-2054,79)\sin 45+(-43,63+3,51-217,65)=-6991,61 \text{ kN}$$

$$T_{1emh}=(1279,56+1244,46+2774,98+1894,14+3059,04)\sin 45+(-43,63+3,51-217,65)=6991,61 \text{ kN}$$

Durum-2 (Burkulma Sonrası):

$$P_{2emh}=(-199,18-2135,21-568,24-2774,98-616,44)\sin 45+(-83,39-157,28-381,97)=-5073,211 \text{ kN}$$

$$T_{2emh}=(1279,56+373,34+2774,98+568,24+3059,04)\sin 45+(-83,39-157,28-381,97)=5073,211 \text{ kN}$$

4.1.5.3.2 Deprem Etkileri ile Kolon İç Kuvvetleri Hesabı

Kolon profili HE450B seçilmiş olup profil kesit özellikleri aşağıda yer almaktadır.

Çelik sınıfı: S355 ($F_y=355 \text{ N/mm}^2$, $F_u=510 \text{ N/mm}^2$)

Çelik elastisite modülü $E=200000 \text{ Mpa}$

$A =$	218 cm^2	$d=450 \text{ mm}$	$b=300 \text{ mm}$
$t_w =$	14 mm	$t_f=26 \text{ mm}$	$h=344 \text{ mm}$
$i_y=$	$7,33 \text{ cm}$	$I_x =79890 \text{ cm}^4$	$I_y=11720 \text{ cm}^4$
$W_x =$	3550 cm^3	$W_y =781 \text{ cm}^3$	$S_x=1990 \text{ cm}^3$
$J =$	$440,5 \text{ cm}^4$	$C_w =5258 \times 10^3 \text{ cm}^6$	$w_l= 120 \text{ mm}$
$W_{px}=$	3982 cm^3	$W_{py}=1198 \text{ cm}^3$	$i_x=19,1 \text{ cm}$
$r =$	27 mm	$L_x=4000 \text{ mm}$	

Birinci kat kat 1C aksında bulunan kolon için tasarım dayanım kontrolü, TBDY-2018, 9.3.1.3 maddesine göre deprem etkisini içeren en elverişsiz koşullar dikkate alınarak yapılacaktır. TBDY-2018, 9.3.1.3'e göre en elverişsiz iç kuvvetler

aşağıdaki yük birleşimleri dikkate alınarak elde edilecek kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve eğilme momenti değerleridir.

- $1,467G+0,5Q+0,2S\pm E_d^{(X)}\pm 0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G\pm E_d^{(X)}\pm 0,3E_d^{(Y)}$
-

Merkezi çaprazlı 5 katlı yapıda kolonlara ait gerekli dayanımlar, TBDY 9.2.6'ya göre dayanım fazlalığı katsayısı ile büyütülen iç kuvvetlerin aşağıda tanımlanan yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilecektir.

- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G\pm 2(0,3E_d^{(X)}\pm E_d^{(Y)})$

ÇYTHYE-2016 6.5.2'de belirtilen yaklaşık ikinci mertebe analizi hesap esaslarında ikinci mertebe etkilerini içeren *eksenel kuvvet dayanımı*, P_r aşağıdaki denklemle hesaplanacaktır.

$$P_r = P_{nt} + B_2 \times P_{lt} \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'te bulunan B_2 katsayısı, yatay ötelenmesi önlenmemiş sistem genelindeki (P- Δ) etkilerini göz önüne alan bir artırma katsayısını; P_{nt} , yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eksenel kuvveti göstermektedir. Yapı sisteminin yatay ötelenmesi sonucu YDKT veya GKT yük birleşimleri altında eksenel kuvvet ise P_{lt} olarak Denklem 4.13'te görülmektedir.

P_{nt} değeri sadece düşey yüklerden oluşan $(1,467G+0,5Q+0,2S)$ yük birleşimlerinden; P_{lt} değeri ise sadece yatay yük etkisinde oluşan $(0,3E_d^{(X)}\pm E_d^{(Y)})$ yük birleşimlerinden elde edilmektedir.

Merkezi çaprazlı 5 katlı yapıda sadece düşey yüklerden oluşan (1,467G+0,5Q+0,2S) yük birleşimi altında 1. Kat 1/C aksındaki kolonda oluşan aksel basınç kuvveti, P_{nt}

$$P_{nt}=1128,28 \text{ kN}$$

Sadece yatay yüklerden oluşan ($0,3E_d^x+E_d^y$) yük birleşimi altında 1. Kat 1/C aksındaki kolonda oluşan aksel basınç kuvveti, P_{lt}

$$P_{lt}= 1645,91 \text{ kN değerindedir.}$$

Yatay ötelenmesi önlenmemiş sistemde ikincil mertebe etkilerini göz önüne alan arttırma katsayısı B_2 katsayısı,

$$B_2=1,0064 \text{ değerindedir.}$$

İkinci mertebe etkilerini içeren *eksel kuvvet dayanımı*, P_r Denklem 4.13 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$P_r=1128,28+1,0064 \times 1645,91=2784,79 \text{ kN}$$

ÇYTHYE-2016, 6.2.3'te genel analiz yöntemine göre ikinci mertebe teorisine göre hesapta, eleman rijitliklerinin azaltılması durumu açıklanmıştır. Buna göre, eğilme rijitliklerinin yapısal stabilite üzerinde etkili olduğu tüm elemanlarda, aksel kuvvet düzeyine bağlı olarak, eğilme rijitlikleri τ_b katsayısı ile çarpılacaktır.

$$\alpha P_r / P_{ns} \leq 0.5 \text{ için } \tau_b=1.0 \text{ alınacaktır.}$$

P_r , YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli aksel basınç kuvveti dayanımını, P_{ns} , elemanın enkesit basınç kuvvet dayanımını ifade etmekte olup P_{ns} formülü aşağıda yer almaktadır.

$$P_{ns}= F_y \times A_g \quad (4.14)$$

$$P_{ns}= F_y \times A_g=355 \times 21800/1000=7739 \text{ kN}$$

$$\alpha P_r / P_{ns}=1 \times 2784,79/7739=0,36 \leq 0.5 \text{ olduğu için } \tau_b=1.0 \text{ alınmıştır.}$$

Dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülmesiyle elde edilen kolon eksenel basınç kuvveti,

$$P_{Emh} = D \times B_2 \times P_{lt} = 2 \times 1,0064 \times 1645,91 = 3313,02 \text{ kN}$$

TBDY-2018, 9.6.2.4'te kolon, kiriş ve birleşimlerin gerekli dayanımlarının belirlenmesinde deprem etkileri yerine, mekanizma durumları ile uyumlu iç kuvvetlerden en elverişsiz olanının kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

$$P_{Emh} = 3313,02 \text{ kN} < P_{lemh} = 6991,61 \text{ kN}$$

$$P_{uc} = P_{nt} + D \times B_2 \times P_{lt} = 1128,28 + 2 \times 1,0064 \times 1645,91 = 4441,30 \text{ kN}$$

$P_{lemh} = 6991,61 \text{ kN} > P_{uc} = 4441,30 \text{ kN}$ olduğundan kullanılacak $P_{uc} = 4441,30 \text{ kN}$ olacaktır.

4.1.5.3.3 Kolon Enkesit Koşulları

TBDY-2018, Tablo 9.3'e göre HE450B kolonu başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranı λ_{hd} sınır değeri aşmamalıdır.

$$b/(2x t_f) = 300 / (2 \times 26) = 5,77$$

$$\lambda_{hd} = 0,30 \times \sqrt{(E / F_y)} = 0,30 \times \sqrt{(200000 / 355)} = 7,12$$

$5,77 < 7,12$ süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu uygundur.

$$C_a = \frac{P_{uc}}{c(F_y A)} = \frac{4441,30}{0,90(355 \times 21800 \times 0,001)} = 0,638 > 0,125$$

$$\lambda_{hd} = 0,77 \times \sqrt{(E / F_y)} \times (2,93 - C_a) = 0,77 \times \sqrt{(200000 / 355)} \times (2,93 - 0,64)$$

$$\lambda_{hd} = 41,90$$

$$\lambda_{hd} = 1,49 \times \sqrt{(E / F_y)} = 1,49 \times \sqrt{(200000 / 355)} = 35,37$$

$$\text{gövde parçası için } h/t_w = 344/14 = 24,57$$

$24,57 < 41,90 > 35,37$ olduğundan süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu uygundur.

4.1.5.3.4 Kolon Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı

(x) eksenini etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu:

Eğilmeli burkulma, basınç elemanının burulma veya çarpılma olmadan eğilme şekil değiştirmesi ile ortaya çıkan burkulma şeklidir. ÇYTHYE-2016, Bölüm 8’de eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarım esasları ele alınmış; Denklem 4.12 ve 4.13 ile *kritik burkulma gerilmesi*, F_{cr} hesabı yapılmıştır. K_x , x eksenini etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısını; L_c , eleman burkulma boyunu; i_x ise atalet yarıçapını ifade etmektedir. *Kritik burkulma gerilmesi*, F_{cr} hesabında bulunan F_e , elastik burkulma gerilmesi formülü Denklem 4.5’te gösterilmiştir.

$$K_x = 1$$

$$\lambda_x = \frac{L_{cx} - K_x x L}{i_x} = \frac{1x 4000}{19,10x10} = 20,94$$

Denklem 4.3 kullanılarak;

$$4,71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111,80 > 20,94 \text{ olduğu için } F_{cr} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 x 200000}{20,94^2} = 4500,70 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{crx} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{355/4500,70}) x 355 = 343,47 \text{ N/mm}^2$$

(y) eksenini etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cy} - K_y x L}{i_y} = \frac{1x 4000}{73,30x10} = 54,57$$

Denklem 4.3 kullanılarak;

$$4,71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111,80 > 54,57 \text{ olduğu için } F_{cr} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 x 200000}{54,57^2} = 662,85 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cry} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{355/662,85}) x 355 = 283,71 \text{ N/mm}^2$$

(z) ekseninde burulmalı burkulma sınır durumu;

ÇYTHYE-2016, 8.2.2’de burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu ele alınmıştır. Elemanın kayma merkezinden geçen boyuna ekseninde dönmesiyle oluşturduğu burulmalı burkulma sınır durumunda, *elastik burkulma gerilmesi*, F_{ez} aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır. Denklem 4.15’te bulunan G , *yapısal çelik kayma modülünü* (77200 Mpa); J , *burulma sabitini*; C_w ise *çarpılma sabitini* göstermektedir.

$$K_z=1,0$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_c z^2} + GJ \right) \left(\frac{1}{I_x + I_y} \right) \quad (4.15)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 200000 \times 5258 \times 10^9}{4000^2} + 77200 \times 4405000 \right) \left(\frac{1}{798900000 + 117200000} \right) = 1079,3 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y/F_e = 355/1079,30 = 0,33 < 2,25$$

$$F_{crz} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{355/1079,30}) x 355 = 309,34 \text{ N/mm}^2$$

ÇYTHYE-2016, 8.1.2’de “*Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n değeri eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.*” ifadesi geçmektedir. Bu maddeye göre y ekseninde etrafındaki kritik eğilmeli burkulma gerilmesi değeri $F_{cry} = 283,7 \text{ N/mm}^2$ olarak en küçük çıktığından eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabı bu değere göre yapılacaktır.

Kullanılacak kritik burkulma gerilmesi, $F_{cr}=283,71 \text{ N/mm}^2$

$P_n=A_g \times F_c=21800 \times 283,71/1000=6184,91 \text{ kN}$

$P_d= \chi P_n=0,90 \times 6184,91=5566,42 \text{ kN}$

4.1.5.3.5 Kolon Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

ÇYTHYE-2016, Bölüm 9’da eğilme etkisindeki elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ’nin olası her bir göçme sınır durumu için hesaplanan dayanımların en küçüğü olarak alınması gerektiğinden bahsedilmiştir. *Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n hesabı aşağıdaki denklemden gösterilmiştir.*

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16’da M_n , karakteristik eğilme momenti dayanımını; M_p , plastik eğilme momentini, W_{px} ise x eksenini etrafında plastik mukavemet momentini göstermektedir. HE450B profilinden teşkil edilmiş 1. Kat 1/C aksında bulunan kolona ait akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı değeri,

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px}=355 \times 3982/1000=1413,61 \text{ kNm}.$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n değeri, basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu L_b ve moment düzeltme katsayısı C_b ’ye bağlı olarak değişmektedir.

- $L_b \leq L_p$ ise $M_n=M_p$ olarak alınacak olup, bu sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.
- $L_p < L_b \leq L_r$ ise karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n ;

$$M_n = C_b \times (M_p - (M_p - 0,7x F_y \times W_{ex}) \times (L_b - L_p) / (L_r - L_p)) \leq M_p \quad (4.17)$$

- $L_b > L_r$ ise karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n ;

$$M_n = F_{cr} \times W_{ex} \leq M_p \quad (4.18)$$

L_p , akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen uzunluk değeri olup formülü aşağıda yer almaktadır.

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.19)$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 73,3 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3062 \text{ mm}$$

$L_b = 4000 \text{ mm} \geq L_p = 3062 \text{ mm}$ olduğundan yanal burulmalı burkulma sınır durumu göz önüne alınmalıdır.

Denklem 4.17'de bulunan L_r , elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk değerini ifade etmekte olup formülü aşağıda yer almaktadır.

$$L_r = 1,95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0,7 F_y} \times \sqrt{\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_o} + \left(\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_o}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 x F_y}{E}\right)^2} \quad (4.20)$$

Denklem 4.20'de bulunan c katsayısı çift simetri eksenli I enkesitlerde 1 olarak alınmaktadır. W_{ex} , x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti; J , burulma sabiti; h_o , enkesit başlıklarının ağırlık merkezleri arasındaki uzaklığını ve i_{ts} , etkin atalet yarıçapını simgelemektedir. Enkesit başlıklarının ağırlık merkezleri

arasındaki uzaklığını (h_o) ve çift simetri eksenli I enksitlerde etkin atalet yarıçapını (i_{ts}) gösteren formüller aşağıda yer almaktadır.

$$h_o = d - t_f \quad (4.21)$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12x \left(1 + \frac{1}{6} x \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} \quad (4.22)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki uzunluk boyunca, eğilme momenti yayılışına olumlu katkıda bulunan ve Denklem 4.17’de eğilme momenti denkleminde de görülen C_b , *moment düzeltme katsayısı* formülü aşağıda yer almaktadır.

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{maks}}{2,5 \times M_{maks} + 3xM_A + 4xM_B + 3xM_C} \quad (4.23)$$

HE450B kolonuna ait etkin atalet yarıçapı (i_{ts}) ve elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk değeri (L_r) hesabı;

$$h_o = d - t_f = 450 - 26 = 424 \text{ mm}$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12x \left(1 + \frac{1}{6} x \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12x \left(1 + \frac{1}{6} x \frac{344x14}{300x26} \right)}} = 82,46 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95x82,46 \times \frac{200000}{0,7 \times 355} \times \sqrt{\frac{440,5x10000 \times 1}{3550x1000x424} + \left(\frac{440,5x10000 \times 1}{3550x1000x424} \right)^2 + 6,76x \left(\frac{0,7x355}{200000} \right)^2}$$

$L_r = 11046,61 \text{ mm}$ olarak hesaplanır.

$L_p = 3062 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} < L_r = 11046,61 \text{ mm}$ olduğundan *karakteristik eğilme momenti dayanımı* Denklem 4.17’deki formül kullanılarak hesaplanacaktır.

$M_{maks}=63,61 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti dayanımı)

$M_A = 47,71 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 1/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$M_B = 31,80 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 1/2 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$M_C = 15,90 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 3/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$$C_b = \frac{12,5 \times 63,61}{2,5 \times 63,61 + 3 \times 47,71 + 4 \times 31,80 + 3 \times 15,90} = 1,67$$

$$M_n = 1,67 \times (1413,61 - (1413,61 - 0,7 \times 355 \times 3550 / 1000) \times (4000 - 3062) / (11046,61 - 3062))$$

$$M_n = 2251,97 \text{ kNm}$$

$2251,97 \text{ kNm} > M_p = 1413,61 \text{ kNm}$ olduğundan karakteristik eğilme momenti dayanımı $M_{nx} = 1413,61 \text{ kNm}$ olarak alınacaktır. Tasarım eğilme momenti dayanımı;

$$M_{dx} = \Phi_b * M_{nx} = 0,90 \times 1413,61 = 1272,25 \text{ kNm}$$

4.1.5.3.6 Kolonun Zayıf Yönde Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının

Belirlenmesi

ÇYTHYE-2016, Tablo 5.1B – Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik/Kalınlık Oranları

$$\lambda = b / t = b_f / (2 \times t_f) = 300 / (2 \times 26) = 5,77$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{E / F_y} = 0,38 \times \sqrt{(200000 / 355)} = 9,02$$

$$\lambda_r = 1,00 \times \sqrt{E / F_y} = 1,00 \times \sqrt{(200000 / 355)} = 23,74$$

$\lambda = 5,77 < \lambda_p = 9,02 < \lambda_r = 23,74$ olduğu için başlık parçası kompakt kesittir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı; M_n değeri hesabı aşağıdadır.

$$M_n = M_p = F_y \times W_{py} = 355 \times 1198 / 1000 = 425,29 \text{ kNm}$$

$$1,6 \times F_y \times W_{ey} = 1,6 \times 355 \times 781 / 1000 = 443,608 \text{ kNm}$$

$$425,29 \text{ kNm} < 443,608 \text{ kNm}$$

$$\text{Dayanım tahkikinde kullanılacak } M_{nx} = 425,29 \text{ kNm}$$

$$M_{dy} = \Phi_b \times M_{ny} = 0,9 \times 425,29 = 382,761 \text{ kNm}$$

4.1.5.3.7 Eğilme Momenti ve Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Tasarım Dayanımı Kontrolü

TBDY-2018, 9.3.1.3 (a) maddesinde de belirtildiği gibi deprem etkisini içeren yük birleşimleri dikkate alınarak belirlenecek en elverişsiz iç kuvvetler ile tasarım dayanımı kontrolü yapılacaktır.

Yapılan analiz neticesinde elde edilen en elverişsiz iç kuvvetler;

$$M_{rx} = 29,22 \text{ KNm}$$

$$M_{ry} = 63,61 \text{ KNm}$$

$$V_u = 15,90 \text{ KN}$$

$$P_u / P_d = 4441,3 / 5566,42 = 0,798 > 0,2$$

$$\frac{P_u}{P_d} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{dx}} + \frac{M_{ry}}{M_{dy}} \right) = 0,798 + \frac{8}{9} \left(\frac{29,22}{1272,25} + \frac{63,61}{382,76} \right) = 0,966 < 1 \quad (\text{Uygun})$$

$$\frac{P_u}{2 \times P_d} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{dx}} + \frac{M_{ry}}{M_{dy}} \right) = \frac{4441,3}{2 \times 5566,42} + \left(\frac{29,22}{1272,25} + \frac{63,61}{382,76} \right) = 0,6 < 1 \quad (\text{Uygun})$$

4.1.5.3.8 Sadece Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Dayanım Kontrolü

Eksenel basınç dayanımı P_d değeri, TBDY-2018, 9.3.1.3(b) maddesine göre eksenel kuvvet dayanım kontrolü için $1,467G + 0,5Q + 0,2S + D(\pm E_d^{(x)} \pm$

$0,3E_d^{(y)}$ yük birleşimi altındaki eksenel basınç kuvveti P_{uc} değerinden büyük olmalıdır.

$$P_n = A_g * F_c = 21800 \times 283,7 / 1000 = 6184,90 \text{ kN}$$

$$P_d = \phi \times P_n = 0,9 \times 6184,91 = 5566,40 \text{ kN} > P_{uc} = 4441,30 \text{ kN} \quad (\text{Uygun})$$

4.1.5.3.9 Kolonun Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

ÇYTHYE-2016, 10.2.1'de çift simetri eksenli I-enkesitler ve tek simetri eksenli I ve U enkesitlerde çekme alanı katkısı göz önüne alınmadığında, karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n

$$V_n = 0,60 \times F_y \times A_w \times C_{vl} \quad (4.24)$$

C_{vl} değeri, ÇYTHYE 10.2.1(a) maddesine göre $h/tw < 2,24 \times \sqrt{(E/F_y)}$ olması durumunda 1 olarak alınabilecektir.

$$h / tw = 344 / 14 = 24,57$$

$$2,24 \times \sqrt{(E / F_y)} = 2,24 \times \sqrt{(200000 / 355)} = 53,17$$

$24,57 < 53,17$ olduğundan $C_{vl} = 1.0$ olarak alınabilecektir.

$$V_n = 0,60 \times F_y \times A_w \times C_{vl} = 0,6 \times 355 \times 344 \times 14 \times 1 / 1000 = 1025,81 \text{ kN}$$

$$V_d = \Phi V \times V_n = 1 \times 1025,808 = 1025,81 \text{ kN}$$

$$V_u / V_d = 15,902 / 1025,81 = 0,016 < 1 \quad (\text{Uygun})$$

4.1.5.4 Merkezi Çaprazlı Çerçeveselerde Çaprazların Orta Noktalarına

Bağlandığı Kirişlerin Boyutlandırılması

1/B-C aksında bulunan ve çaprazların orta noktalarına bağlandığı HE300B kirişine ait özellikler aşağıda yer almaktadır.

Çelik sınıfı = S275

t = 19 mm

$$F_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 149 \text{ cm}^2$$

$$d = 300 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 11 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$h = 208 \text{ mm}$$

$$i_x = 13 \text{ cm}$$

$$i_y = 7,58 \text{ cm}$$

$$J_x = 25170 \text{ cm}^4$$

$$J_y = 8560 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 1680 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 571 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 934 \text{ cm}^3$$

$$J = 185 \text{ cm}^4$$

$$w_l = 120 \text{ mm}$$

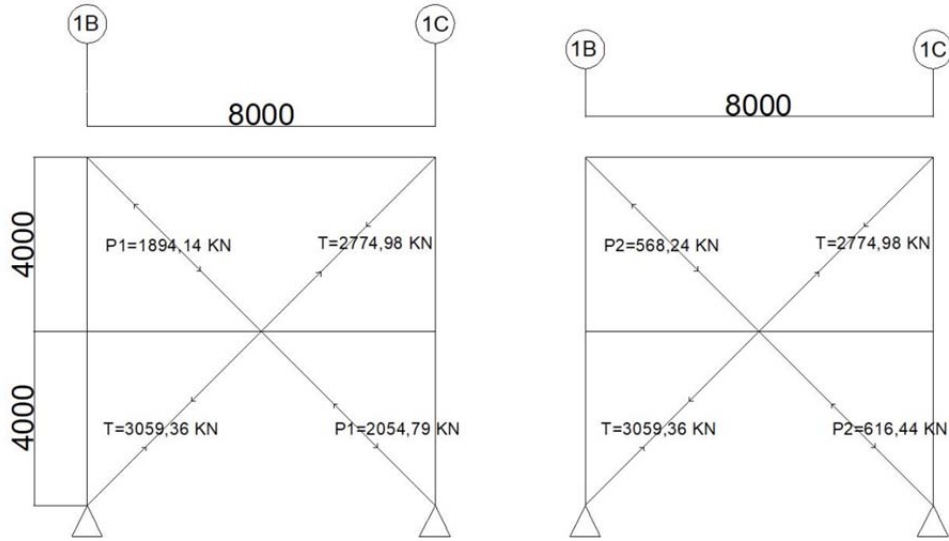
$$C_w = 1688 \cdot 103 \text{ cm}^6$$

$$W_{px} = 1869 \text{ cm}^3$$

$$W_{py} = 870,1 \text{ cm}^3$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

4.1.5.4.1 Mekanizma Durumu ile Uyumlu Kiriş İç Kuvvetleri Hesabı



Durum – 1

Durum – 2

Şekil 4.7 1. Kat 1/B-C Aksında Bulunan Kirişe Etki Eden İç Kuvvetler

TBDY-2018, 9.6.2.3'te belirtildiği üzere kolon, kiriş ve birleşimlerin eksenel kuvvetleri, mekanizma durumlarındaki denge denklemleri esas alınarak hesaplanacaktır. Şekil 4.4 ve 4.5'te mekanizma durumları, Denklem 4.9, 4.10 ve 4.11'de ise mekanizma durumlarına karşılık gelen yüksek sünek sistemde çaprazlara ait iç kuvveti gösterir denklemler verilmiştir.

Şekil 4.7'de 1. kat 1/B-C aksında bulunan kirişe etki eden burkulma anına (Durum-1) ve burkulma sonrasına (Durum-2) karşılık gelen olası eksenel basınç ve eksenel çekme kuvvet dayanımı değerleri gösterilmiştir. Buna göre, söz konusu kirişin gerekli dayanımının belirlenmesinde mekanizma durumu ile uyumlu hesaplanan iç kuvvetlerden en elverişsiz olanları kullanılarak iç kuvvet değerleri hesaplanmıştır.

$$P_x = (\cos 45^\circ) (\Sigma \text{kirişin altındaki çaprazlar}/2 - \Sigma \text{kirişin üstündeki çaprazlar}/2)$$

Durum 1:

$$1. \text{ kat: } P_y = (-2774,98 + 1894,14 + 3059,04 - 2054,79) * \sin(45) = 87,26 \text{ kN}$$

$$V_y = 87,26/2 = 43,63 \text{ kN}$$

$$M_y = P_y \times L/4 = 87,26 \times 8/4 = 174,527 \text{ kNm}$$

$$P_x = (\cos 45^\circ) \left[\frac{3059,036 + 2054,792}{2} - \frac{2774,977 + 1894,143}{2} \right] = 157,23 \text{ kN}$$

Durum 2:

$$1. \text{ kat: } P_y = (-2774,98 + 568,24 + 3059,04 - 616,44) * \sin(45) = 166,78 \text{ kN}$$

$$V_y = 166,78/2 = 83,39 \text{ kN}$$

$$M_y = 166,78 \times L/4 = 166,78 \times 8/4 = 333,562 \text{ kNm}$$

$$P_x = (\cos 45^\circ) \left[\frac{3059,036 + 616,438}{2} - \frac{2774,977 + 568,243}{2} \right] = 117,470 \text{ kN}$$

4.1.5.4.2 Kiriş Enkesit Koşulları

Kirişte oluşan iç kuvvetler,

$$P_u=157,23 \text{ kN}$$

$$M_u=333,56 \text{ kN}$$

$$V_u=83,39 \text{ kN}$$

1. kat 1/B-C aksında bulunan HE 300B kirişine ait başlık ve gövde kesiti için narinlik oranları TBDY-2018, 9.2.7 enkesit koşullarına göre Tablo 9.3'te λ_{hd} sınır değerini aşmamalıdır.

Başlık kesiti için;

$$b/(2t_f) = 300 / (2 \times 19) = 7,89$$

$$\lambda_{hd} = 0,30x\sqrt{(E / F_y)} = 0,30x\sqrt{(200000 / 275)}=8,09$$

$$7,89 < 8,09 \quad \text{süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu}$$

uygundur.

$$C_a = \frac{P_{uc}}{c(F_y A)} = \frac{157,23}{0,90(275 \times 149 \times 100 \times 0,001)} = 0,043 < 0,125$$

$$C_a < 0,125 \text{ için } \lambda_{hd} = 2,45x\sqrt{(E / F_y)} \times (1 - 0,93 C_a)$$

$$\lambda_{hd} = 2,45x\sqrt{(E / F_y)} \times (1 - 0,93 C_a) = 2,45x\sqrt{(200000 / 275)} \times (1 - 0,93 \times 0,043)$$

$$\lambda_{hd} = 63,45$$

$$\lambda_{hd} = 1,49x\sqrt{(E / F_y)} = 1,49x\sqrt{(200000 / 275)} = 40,18$$

Gövde parçası için;

$$h/t_w = 208/11 = 18,91$$

$18,91 < 63,45 > 40,18$ olduğundan süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu uygundur.

4.1.5.4.3 Kirişin Tasarım Eksenel Basınç Dayanımı

(x) ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu;

$$K_x = 1$$

$$\lambda_x = \frac{L_{cx} - K_x x L}{i_x} = \frac{1 \times 8000}{13,00 \times 10} = 61,54$$

Denklem 4.3 kullanılarak;

$$4,71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127,02 > 61,54 \text{ olduğu için } F_{cr} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{61,54^2} = 521,24 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{crx} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{275/521,24}) \times 275 = 220,51 \text{ N/mm}^2$$

(y) ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu;

$$\Lambda_y = \frac{L_{cy} - K_y x L}{i_y} = \frac{1 \times 8000}{75,80 \times 10} = 105,54$$

Denklem 4.3 kullanılarak;

$$4,71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127,02 > 105,54 \text{ olduğu için } F_{cr} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{105,54^2} = 177,21 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cry} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{355/177,21}) \times 275 = 143,63 \text{ N/mm}^2$$

(z) ekseninde burulmalı burkulma sınır durumu;

$$K_z = 1,0$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \left(\frac{1}{I_x + I_y} \right)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \times 200000 \times 1688 \times 10^9}{8000^2} + 77200 \times 1850000 \right) \left(\frac{1}{251700000 + 85600000} \right) = 577,77 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y/F_e = 275/577,77 = 0,476 < 2,25$$

$$F_{crz} = \left(0,658^{F_y/F_e} \right) x F_y = (0,658^{275/577,77}) x 275 = 225,33 \text{ N/mm}^2$$

ÇYTHYE-2016, 8.1.2’de “*Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n değeri eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.*” ifadesi geçmektedir. Bu maddeye göre y eksenini etrafındaki kritik eğilmeli burkulma gerilmesi değeri $F_{cry}=143,63 \text{ N/mm}^2$ olarak en küçük çıktığından eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabı bu değere göre yapılacaktır.

Kullanılacak kritik burkulma gerilmesi, $F_{cr}=143,63 \text{ N/mm}^2$

$$P_n = A_g x F_c = 14900 x 143,63 / 1000 = 2140,11 \text{ kN}$$

$$P_d = \phi P_n = 0,90 x 2140,11 = 1926,10 \text{ kN}$$

4.1.5.4.4 Kirişte Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Enkesit Sınıflandırması

ÇYTHYE-2016, Tablo 5.1B – Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik/Kalınlık Oranları

Başlık parçası için;

$$\lambda = b / t = b_f / (2 x t_f) = 300 / (2 x 19) = 7,89$$

$$\lambda_p = 0,38 x \sqrt{ (E / F_y) } = 0,38 x \sqrt{ (200000 / 275) } = 10,25$$

$$\lambda_r = 1,00 x \sqrt{ (E / F_y) } = 1,00 x \sqrt{ (200000 / 275) } = 26,97$$

$\lambda = 7,89 < \lambda_p = 10,25 < \lambda_r = 26,97$ olduğu için başlık parçası kompakt kesittir.

Gövde parçası için;

$$h / t_w = 208 / 11 = 18,91$$

$$\lambda_p = 3,76 x \sqrt{ (E / F_y) } = 3,76 x \sqrt{ (200000 / 275) } = 101,40$$

$$\lambda_r = 5,70 x \sqrt{ (E / F_y) } = 5,70 x \sqrt{ (200000 / 275) } = 153,72$$

$\lambda = 18,91 < \lambda_p = 101,40 < \lambda_r = 153,72$ olduğu için gövde parçası kompakt kesittir.

4.1.5.4.5 Kirişte Stabilite Bağlantısı

TBDY-2018, 9.2.8.1'e göre süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi sınırlı olarak tasarlanan çelik kirişlerin alt ve üst başlıkları, aşağıda verilen koşulları sağlayacak şekilde yanal burkulmaya karşı desteklenmelidir.

Yanal destek elemanları arasındaki en büyük uzaklık aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$L_b \leq 0,086 \times i_y \times \frac{E}{F_y} \quad (4.25)$$

$L_b = 4000 \text{ mm} \leq 0,086 \times i_y \times \frac{E}{F_y} = 0,086 \times 75,80 \times \frac{200000}{275} = 4740,95 \text{ mm}$ koşulu sağlanmaktadır.

4.1.5.4.6 Kirişte Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n hesabı Denklem 4.16'da gösterilmiştir.

HE300B profilinden teşkil edilmiş 1. Kat 1/B-C aksında bulunan kirişe ait akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı değeri,

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 1869 / 1000 = 513,98 \text{ kNm}.$$

L_p , akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen uzunluk değeri Denklem 4.19 yardımıyla aşağıda hesaplanmıştır.

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 7,58 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 359,77 \text{ mm}$$

$L_b = 4000 \text{ mm} \geq L_p = 359,77 \text{ mm}$ olduğundan yanal burulmalı burkulma sınır durumu göz önüne alınmalıdır.

HE300B kirişine ait etkin atalet yarıçapı (i_{ts}) ve elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk değeri (L_r) hesabı;

$$h_o = d - t_f = 300 - 19 = 281 \text{ mm}$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12x\left(1 + \frac{1}{6}x\frac{ht_w}{b_ft_f}\right)}} = \frac{300}{\sqrt{12x\left(1 + \frac{1}{6}x\frac{208x11}{300x19}\right)}} = 83,84 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95x83,84 \times \frac{200000}{0,7 \times 275} \times \sqrt{\frac{185x10000 \times 1}{1680x1000x281} + \left(\frac{185x10000 \times 1}{1680x1000x281}\right)^2} + 6,76x\left(\frac{0,7x275}{200000}\right)^2$$

$L_r = 15723,73 \text{ mm}$ olarak hesaplanır.

$L_p = 359,77 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} < L_r = 15723,73 \text{ mm}$ olduğundan karakteristik eğilme momenti dayanımı Denklem 4.17'deki formül kullanılarak hesaplanacaktır.

$M_{maks} = 57,45 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti dayanımı)

$M_A = 46,17 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 1/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$M_B = 45,20 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 1/2 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$M_C = 22,40 \text{ kNm}$ (kolon uzunluğunun 3/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri)

$$C_b = \frac{12,5 \times 57,45}{2,5 \times 57,45 + 3 \times 46,17 + 4 \times 45,20 + 3 \times 22,40} = 1,355$$

$$M_n = 1,355 \times (513,975 - (513,975 - 0,7 \times 275 \times 1680 / 1000) \times (4000 - 3598) / (15723,73 - 3597,75)) = 687,67 \text{ kNm}$$

$M_n = 687,67 \text{ kNm} > M_p = 513,975 \text{ kNm}$ olduğundan karakteristik eğilme momenti dayanımı $M_{nx} = 513,975 \text{ kNm}$ olarak alınacaktır. Tasarım eğilme momenti dayanımı;

$$M_{dx} = \Phi_b * M_{nx} = 0,90 \times 513,975 = 462,578 \text{ kNm}$$

4.1.5.4.7 Kirişte Eğilme Momenti ve Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Dayanımı Kontrolü

$$P_u / P_d = 157,23 / 1926,10 = 0,082 < 0,2$$

$$\frac{P_u}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{rx}}{M_{dx}} + \frac{M_{ry}}{M_{dy}} \right] = 0,082 + (8/9)(333,562/462,578 + 0) = 0,72 < 1,00$$

$$\frac{P_u}{2P_d} + \left[\frac{M_{rx}}{M_{dx}} + \frac{M_{ry}}{M_{dy}} \right] = \frac{157,23}{2 \times 1926,10} + \left[\frac{333,562}{462,578} + 0 \right] = 0,76 < 1,00 \text{ (Uygun)}$$

$$P_n = A_g \times F_c = 14900 \times 143,63 / 1000 = 2140,11 \text{ kN}$$

$$P_d = \Phi_x P_n = 0,90 \times 2140,11 = 1926,10 > P_u = 157,23 \text{ (Uygun)}$$

4.1.5.4.8 Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

ÇYTHYE-2016, 10.2.1.a'ya göre $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{(E/F_y)}$ olması halinde; $\phi_v = 1,00$ (YDKT) ve $C_{vI} = 1,0$ olarak alınacaktır.

$$208/11 = 18,91 \leq 2,24 \sqrt{(200000/275)} = 60,41$$

$$V_n = 0,60 \times F_y \times A_w \times C_{vI} = 0,60 \times 275 \times 11 \times 208 \times 1,00 / 1000 = 377,52 \text{ kN}$$

$$V_d = \Phi_v \times V_n = 1,0 \times 377,52 = 377,52 \text{ kN}$$

$$V_u / V_d = 83,39 / 377,52 = 0,22 < 1,00 \text{ (Uygun)}$$

4.1.5.4.9 Kirişte Kullanılabilirlik Sınır Durumunun Kontrolü

Düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolleri, sabit ve hareketli yükler altında, ÇYTHYE-2016, 15.1’de belirtilen (G+Q) yük birleşimleri altında, hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınır değerini aşmamalıdır.

Yapılan analizler sonucunda 1. kat 1/B-C aksında bulunan HE300B kirişi için (G+Q) yük birleşimi altında en yüksek düşey yerdeğiştirme Δ_{maks} değeri 0,0015 metre olarak bulunmuştur.

$$\Delta=0,0015 \text{ m}, L=4,00 \text{ m}$$

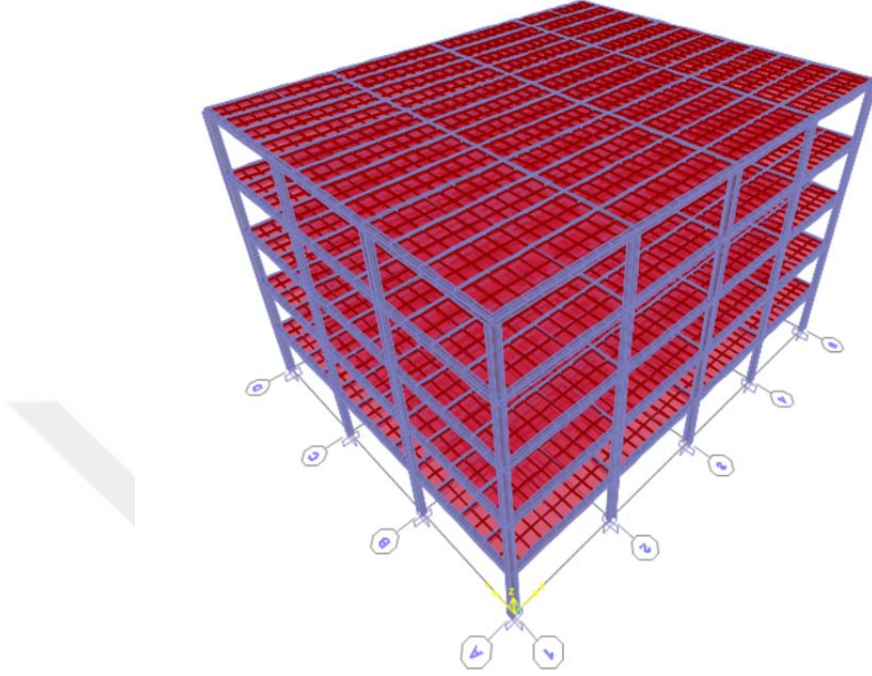
$$\Delta_{maks} = \frac{L}{300} = \frac{4}{300}=0,0133 \text{ m}$$

$$0,0015 \text{ m} < 0,0133 \text{ m olduğu için koşulu sağlamaktadır.}$$

4.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

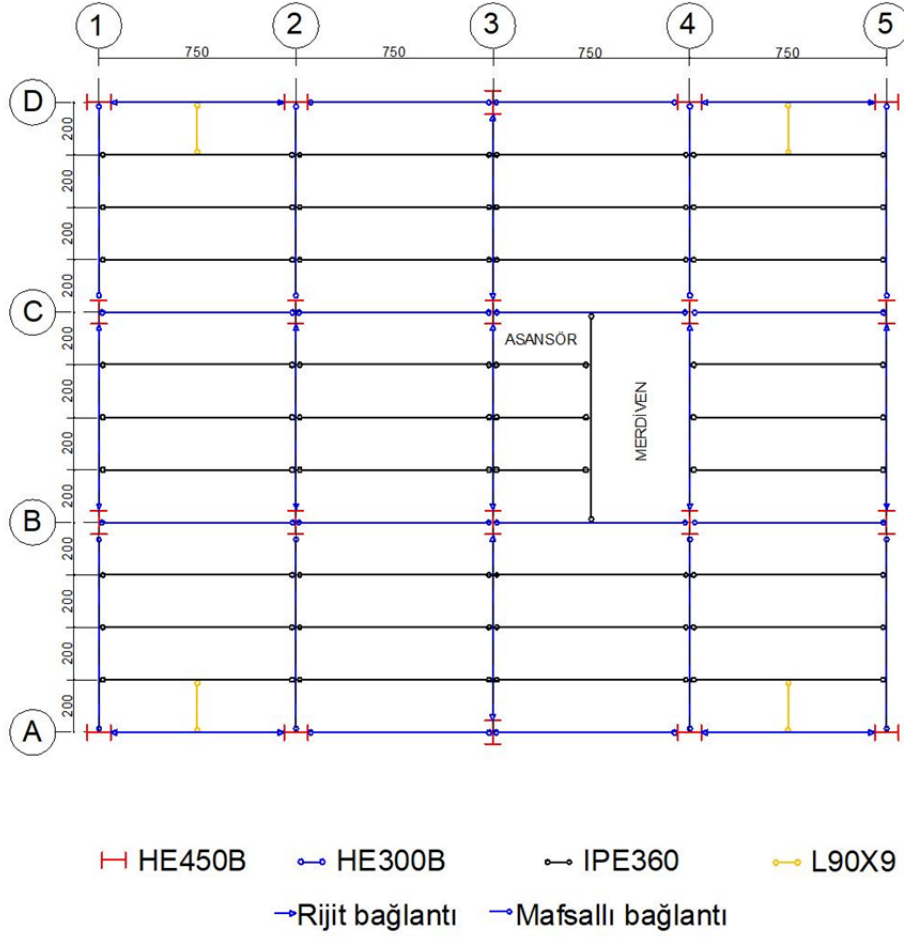
İkinci örnekte her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı ele alınmıştır. Bu örnekteki yapı ilk örnekteki yapı ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür.

Şekil 4.8’de 5 katlı yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli, Şekil 4.9’da normal kat planı, Şekil 4.10’da ise yapının sistem enkesitleri yer almaktadır. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

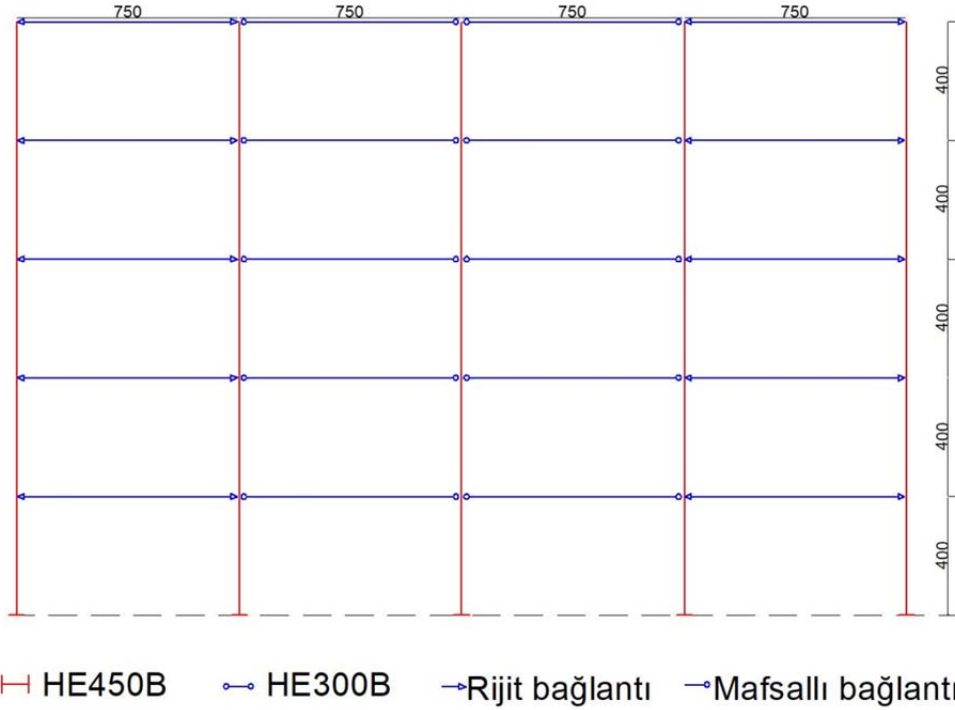


Şekil 4.8 5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli

Söz konusu yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı, kolon zayıf eksen doğrultusunda mafsallı, kuvvetli eksen doğrultusunda ankastre olarak bağlanmıştır. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele ankastre mesnetlenmiştir.



Şekil 4.9 5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı



Şekil 4.10 5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Sistem Enkesiti

Konut olarak tasarlanan 5 katlı moment aktaran çelik çerçeveli yapıda kolonlar HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiş olup, sonuçların karşılaştırılması açısından ilk örnekteki yapı ile aynı profiller seçilmiştir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları S275 çelik sınıfındadır.

Yapının tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

4.2.1 Yükler ve Kullanılan Standartlar

4.2.1.1 Sabit ve Hareketli Yükler

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran 5 katlı yapıya ait normal kat döşemelerinin sabit ve hareketli yük değerleri Çizelge 4.23'te, çatı döşemesinin sabit ve hareketli yük değerleri ise Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Bu örnekte yapıya ait merkezi çaprazlar iptal edildiğinden normal katlarda toplam sabit yük değeri $4,80 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.22 Normal Kat Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

		Br.Ağ.	En*Boy			
NORMAL KAT DÖŞEMESİ	Kaplama (TS ISO 9194:1997 - 25 kN/m ³)	25,00	0,02	:	0,50	kN/m ²
	Trapez sac+betonarme döşeme (TS ISO 9194:1997 betonarme betonu 25 kN/m ³)			:	2,10	kN/m ²
	Asma tavan+tesisat			:	0,50	kN/m ²
	Bölme Duvarlar			:	1,00	kN/m ²
	Çelik Konstrüksiyon (kolonlar)			:	0,70	kN/m ²
	TOPLAM ÖLÜ YÜK (G)			:	4,80	kN/m²
	HAREKETLİ YÜK (Q) (TS 498-1997 konut oda ve koridorları hareketli yük değeri 2,0 kN/m ²)			:	2,00	kN/m²
	DIŞ DUVAR YÜKÜ (Normal katlarda) (TS ISO 9194:1997 Dış cephe tuğlası: 19 kN/m ³ + Sıva)	20,00	0,15	:	3,00	kN/m

Çizelge 4.23 Çatı Döşemesi Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

		Br.Ağ.	En*Boy			
ÇATI DÖŞEMESİ	Kaplama (TS ISO 9194:1997 - 25 kN/m ³)	25,00	0,02	:	0,50	kN/m ²
	İzolasyon	20,00	0,02	:	0,40	kN/m ²
	Trapez sac+betonarme döşeme (TS ISO 9194:1997 betonarme betonu 25 kN/m ³)			:	2,10	kN/m ²
	Asma tavan+tesisat			:	0,50	kN/m ²
	Çelik Konstrüksiyon			:	0,50	kN/m ²
	TOPLAM ÖLÜ YÜK (G)			:	4,00	kN/m²
	HAREKETLİ YÜK (Q) (TS 498-1997 konut oda ve koridorları hareketli yük değeri 2,0 kN/m ²)			:	2,00	kN/m²
	KAR YÜKÜ (S) (2,00 kN/m ³ * 0,80 m)*0,80	2,00	0,80*0,80	:	1,30	kN/m ²
	PARAPET YÜKÜ	20,00	0,10*1,00	:	2,00	kN/m

4.2.1.2 Rüzgar Yükleri

Elazığ ilinde bulunan 5 katlı yapının tasarımı için rüzgar yüklerinin belirlenmesinde TS EN 1991-1-4 Standardı kullanılmış; Bölüm 3.2.2’de rüzgar yükü etkileri ve formüllerinden bahsedilmiştir.

Bu örnekteki yapı 20 metre yükseklikte 24 x 30 metre boyutlarında olup, ilk örnekteki yapı ile aynı özelliklere ve aynı koordinatlara sahip olduğundan katlara etkileyen toplam rüzgar kuvveti değerleri ilk örnekteki gibi hesaplanmıştır. Çizelge 4.25 ve 4.26’da yüzeye dik olarak etkileyen rüzgar kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.24 b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar Kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	50,27
4. kat	4,00	100,55
3. kat	4,00	100,55
2. kat	4,00	100,55
1. kat	4,00	100,55
Toplam		452,47

Çizelge 4.25 b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar Kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	62,84
4. kat	4,00	125,69
3. kat	4,00	125,69
2. kat	4,00	125,69
1. kat	4,00	125,69
Toplam		565,59

4.2.1.3 Deprem Yükleri

4.2.1.3.1 Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)

5 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan Çizelge 3.4 incelendiğinde bina kullanım sınıfının BKS=3 ve bina önem katsayısının ise I=1 olduğu görülmektedir.

4.2.1.3.2 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında bulunan süneklik düzeyi yüksek 5 katlı moment aktaran çelik çerçeveli yapıya ait DD2 deprem yer hareketi düzeyi için ilgili haritadan elde edilen değerler Çizelge 4.27’de yer almaktadır.

Çizelge 4 26 38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 5 Katlı Moment Aktaran Çelik Çerçeve Yapıya ait Bilgiler

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
KısaPer.Böl. İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn. Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s \cdot F_s$ Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 \cdot F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) (Çizelge 3.6)	1

4.2.1.3.3 Bina Yükseklik Sınıfı

Beş katlı moment aktaran çelik çerçeve yapıda kat yükseklikleri 4 metre olup binanın toplam yüksekliği $17,5 < H_N=20 \leq 28$ olduğundan Çizelge 3.7'ye göre bina yükseklik sınıfı $BYS=5$ olmaktadır.

4.2.1.3.4 Bina Performans Hedefleri

Söz konusu yapının deprem tasarım sınıfı $DTS=1$ ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım (DGT) olarak Çizelge 3.9'da görülmektedir.

4.2.1.3.5 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

24x30 metre ebatlarında moment aktaran çelik çerçeve 5 katlı yapıya ait sabit ve hareketli yük değerleri Çizelge 4.28'da gösterilmiş olup söz konusu yapıya ait kat ağırlıkları ve kat kütleleri hesabı için bu yükler kullanılmıştır. Çizelge 4.29'da ise yapıdaki tüm katlara ait kat ağırlık ve kat kütleleri sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.27 Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıya ait Sabit ve Hareketli Yük Değerleri

Yükler:	
G1 - Çelik Yapı Toplam Ölü Yük (Normal Kat)	4,80 kN/m ²
Q1 - Hareketli Yük	2,00 kN/m ²
G2 - Çelik Yapı Toplam Ölü Yük(Çatı)	4,00 kN/m ²
G3 - Çelik Yapı dış duvar yükü (Normal Kat)	3,00 kN/m
G4 - Çatı katı parapet yükü	2,00 kN/m
S - Kar Yükü	1,30 kN/m ²

Çizelge 4.28 Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıya ait Kat Ağırlık ve Kat Kütleleri

	En (m)	Boy (m)	G1-G2 (kN/m ²)	S(kN/m ²) Q(kN/m ²)	n	G3 (kN/m)	wi (kN)	mi (kN-s ² /m)
Çatı	24	30	4	1,3-2	0,3	2	3808,80	388,26
4	24	30	4,8	2	0,3	3	4212,00	429,36
3	24	30	4,8	2	0,3	3	4212,00	429,36
2	24	30	4,8	2	0,3	3	4212,00	429,36
1	24	30	4,8	2	0,3	3	4212,00	429,36
Toplam							20656,80	2105,69

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde i'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} değerini bulmak için, F_0 yerine herhangi bir değer verilebileceği belirtilmiş olup 5 katlı çelik bina için F_0 değeri 500 kN alınarak, katlara etkiyen F_{fi} fiktif kuvveti değerleri Denklem 3.16'ya göre hesaplanmış ve Çizelge 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29 Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapıda Katlara ait Fiktif Kuvvet F_{fi} Değerleri

Kat No	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kNm)	F_{fi} (kN)
Çatı	3808,8	20	76176,00	155,68
4	4212	16	67392,00	137,73
3	4212	12	50544,00	103,30
2	4212	8	33696,00	68,86
1	4212	4	16848,00	34,43
Toplam	20656,80		244656,00	500,00

X doğrultusu için fiktif yükler $F_{fi}(x)$ ve buna bağlı kat yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$ Çizelge 4.31’de, y doğrultusu için fiktif yükler $F_{fi}(y)$ ve buna bağlı kat yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$ Çizelge 4.32’de gösterilmiştir. Çizelge 4.31 ve 4.32’deki değerlere göre Denklem 3.13 kullanılarak x ve y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyotları $T_p^{(x)}$ ve $T_p^{(y)}$ hesaplanmıştır.

Çizelge 4.30 X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$

Kat No	$F_{fi}^{(X)}$	$d_{fi}^{(x)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(x)2}$	$F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(x)}$
Çatı	155,68	0,0387	388,26	0,58215	6,02823
4	137,73	0,0337	429,36	0,48620	4,63469
3	103,30	0,0259	429,36	0,28695	2,67041
2	68,86	0,0159	429,36	0,10916	1,09804
1	34,43	0,0058	429,36	0,01445	0,19977
Toplam	500,00			1,47892	14,63114

Çizelge 4.31 Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$

Kat No	$F_{fi}^{(y)}$	$d_{fi}^{(y)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(y)2}$	$F_{fi}^{(y)} d_{fi}^{(y)}$
Çatı	155,68	0,0304	388,26	0,35865	4,73158
4	137,73	0,0263	429,36	0,29793	3,62803
3	103,30	0,0202	429,36	0,17454	2,08266
2	68,86	0,0124	429,36	0,06570	0,85185
1	34,43	0,0045	429,36	0,00856	0,15370
Toplam	500,00			0,90537	11,44782

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2}$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

Çizelge 4.31'e göre X doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{1,47892}{14,63114} \right]^{1/2} = 1,9976 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} > 1,4x T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

Çizelge 4.32'ye göre Y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(Y) = 2\pi \left[\frac{0,90537}{11,44782} \right]^{1/2} = 1,7670 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(y)} > 1,4x T_{pA}^{(y)} \text{ olduğundan } T_p^{(y)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

4.2.1.3.6 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Moment aktaran çelik çerçeveli 5 katlı tasarlanan yapı süneklik düzeyi bakımından yüksek sünek, bina yükseklik sınıfı BYS ise 5'tir. Söz konusu yapıya ait taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=8$, dayanım fazlalığı katsayısının ise $D=3$

olduğu Çizelge 3.12'den görülmektedir. Bina önem katsayısı I ise yapı konut olduğu için 1 olarak alınmıştır.

Bu örnekteki yapıda deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$,

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

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

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(x) = 1,0592 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(y) = 1,0592 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn olduğundan,}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{R_x}{I} = \frac{R_y}{I} = \frac{8}{1} = 8 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

4.2.1.3.7 Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveli 5 katlı yapı dikdörtgen plana sahip olup yapıda herhangi bir çıkma olmadığından *A3 planda çıkıntıların bulunması düzensizlik* durumu bulunmamaktadır. Yapıda merdiven ve asansör boşlukları da dahil olmak üzere döşemede boşluk alanları toplamı brüt kat alanının üçte birinden daha az olduğundan *A2 döşeme süreksizliği* de yoktur.

Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak *B3 türü düzensizlik* bulunmamaktadır. *B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)* betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapı için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir.

Çizelge 4.33'de bu örnekteki yapı için *A1 türü burulma düzensizliği* durumu kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 4.32 X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği

Kat	$\Delta_i^{(x)}$ maks	$\Delta_i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta_i^{(y)}$ maks	$\Delta_i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,005415	0,00507	1,0671	≤ 2	0,00461	0,00406	1,1356	≤ 2
4	0,008311	0,00780	1,0652	≤ 2	0,00706	0,00621	1,1376	≤ 2
3	0,010550	0,00991	1,0647	≤ 2	0,00895	0,00785	1,1399	≤ 2
2	0,010791	0,01014	1,064	≤ 2	0,0091	0,00798	1,1409	≤ 2
1	0,006163	0,00580	1,0625	≤ 2	0,00515	0,00451	1,1406	≤ 2

Moment aktaran çelik çerçeve 5 katlı yapıda x ve y doğrultuları için B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolleri Denklem 3.21 kullanılarak her kat için yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.34’de gösterilmiştir.

Çizelge 4 33 X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Kat	$(\Delta_i(x)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(x)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta_i(y)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(y)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,001278	-	-	≤ 2	0,00102	-	-	≤ 2
4-3	0,001951	0,00195	0,655	≤ 2	0,00155	0,00155	0,6535	≤ 2
3-2	0,002831	0,00283	0,689	≤ 2	0,00196	0,00196	0,7911	≤ 2
2-1	0,002536	0,00254	1,1166	≤ 2	0,002	0,002	0,9838	≤ 2
1-Zemin	0,001450	0,00145	1,7485	≤ 2	0,00113	0,00113	1,7683	≤ 2

Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34 incelendiğinde, yapıda *A1 türü burulma düzensizliği* ve *B2 türü rijitlik düzensizliğinin* bulunmadığı görülmekte olup, eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilecektir.

4.2.1.3.8 Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü

(X) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,069 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(X)} = 1,0592 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1}/(T_p^{(X)}) = 0,46/1,0592 = 0,435$$

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)})/R_a(T_p^{(X)}) = 0,435/8 = 0,0543$$

$$m_t = 2105,69 \text{ t}$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = 2105,69 \times 0,0543 \times 9,81 \geq 0,04 \times 2105,69 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(X)} = 1122,567 \geq 1104,560 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

(Y) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(Y)} = 1,0592 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{D1}/(T_p^{(Y)}) = 0,46/1,0592 = 0,435$$

$$S_{aR}(T_p^{(Y)}) = S_{ae}(T_p^{(Y)})/R_a(T_p^{(Y)}) = 0,435/8 = 0,0543$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 2105,69 \times 0,0543 \times 9,81 \geq 0,04 \times 2105,69 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 1122,567 \geq 1104,560 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Katlara Etkiyen Yatay Eşdeğer Deprem Yükleri

5 katlı moment aktaran çerçeve sisteme sahip çelik yapının çatı katına (tepesine) etkiyen (X) ve (Y) yönlü eşdeğer deprem yükü değerleri Denklem 3.25 yardımıyla,

$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 N V_{tE}^{(x)}$$

$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 \times 5 \times 1122,567 = 42,096 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}(y) = 0,0075 \times 5 \times 1122,567 = 42,096 \text{ kN} \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

5 katlı yapının tüm katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri Çizelge 4.35'te gösterilmiştir.

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

$$F_{iE}^{(x)} = [V_{iE}^{(x)} - \Delta F_{NE}^{(x)}] x (m_i H_i / \sum m_j H_j)$$

$$F_{iE}^{(x)} = F_{iE}^{(y)} = [1122,567 - 42,096] x (m_i H_i / \sum m_j H_j) = 1080,470 x (m_i H_i / \sum m_j H_j)$$

Çizelge 4.34 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükü Değerleri

KAT	w _i (kN)	H _i (m)	w _i H _i (kNm)	w _i H _i /Σw _j H _j	F _{iE} (x)	F _{iE} (y)
Çatı	3808,8	20	76176	0,3114	378,51	378,51
4	4212	16	67392	0,2755	297,62	297,62
3	4212	12	50544	0,2066	223,22	223,22
2	4212	8	33696	0,1377	148,81	148,81
1	4212	4	16848	0,0689	74,41	74,41
Σ	20656,8		244656	1	1122,5667	1122,5667

4.2.1.3.9 Yatay Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları

30 metre boyunda 24 metre eninde olan 5 katlı yapıda (X) ve (Y) doğrultularındaki ek dışmerkezlikler aşağıdadır.

$$e^{(x)} = \pm 0,05 \times 30 = \pm 1,50 \text{ metre}$$

$$e^{(y)} = \pm 0,05 \times 24 = \pm 1,20 \text{ metre}$$

4.2.1.3.10 Düşey Deprem Etkisi

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

$$G(1.2 + 0.3(2/3) x 1,337) = 1,467G$$

$G(0.9 - 0.3(2/3) x 1,337) = 0,633G$ olarak düşey yük+deprem birleşimi kombinasyonlarında kullanılacaktır.

<i>Düşey</i>	<i>Yük+Deprem</i>	<i>Birleşimleri:</i>
$1,467G+0,5Q+0,2S\pm Ed(X)\pm 0,3Ed(Y)$		
		$1,467G+0,5Q+0,2S\pm 0,3Ed(X)\pm Ed(Y)$
		$0,633G\pm Ed(X)\pm 0,3Ed(Y)$
		$0,633G\pm 0,3Ed(X)\pm Ed(Y)$

4.2.3 Yük Birleşimleri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve 5 katlı yapıya ait oluşturulan yük kombinasyonları birinci örnekteki yapının yük kombinasyonları ile aynı olup aşağıda yer almaktadır.

1. Düşey Yük Birleşimleri:

- $1,4 (G+N_G)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q_r+ N_{Qr})$
- $1,2(G+N_G)+1,6(S+ N_s)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q+ N_Q)+0,5(Q_r+ N_{Qr})$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q+ N_Q)+0,5(S+N_s)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(Q_r+ N_{Qr})+1,0(Q+ N_Q)$
- $1,2(G+N_G)+1,6(S+N_s)+1,0(Q+ N_Q)$

2. Düşey Yük+Deprem Birleşimleri

- $1,467G+0,5Q+0,2S+E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $1,467G+0,5Q+0,2S-0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$

- $0,633G+E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G+E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G+0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $0,633G+0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$
- $0,633G-0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)}$
- $0,633G-0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)}$

3. Düşey Yük+Artırılmış Deprem Yüğü Birleşimleri

- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-E_d^{(X)}-0,3 E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-0,3E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $1,467G+0,5Q+0,2S+2(-0,3E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-E_d^{(X)}+0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-E_d^{(X)}-0,3E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-0,3 E_d^{(X)}+E_d^{(Y)})$
- $0,633G+2(-0,3 E_d^{(X)}-E_d^{(Y)})$

4. Düşey Yük+Rüzgar Birleşimleri

- $1,2G+1,6Qr+0,8W_x$
- $1,2G+1,6Qr-0,8W_x$
- $1,2G+1,6Qr+0,8W_y$
- $1,2G+1,6Qr-0,8W_y$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr+1,6W_x$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr-1,6W_x$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr+1,6W_y$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr-1,6W_y$
- $0,9G+1,6 W_x$
- $0,9G-1,6 W_x$
- $0,9G+1,6 W_y$
- $0,9G-1,6 W_y$

Çizelge 4.36’da tasarımı yapılan 5 katlı moment aktaran çelik yapıya ait katlara etkileyen N_G fiktif yük değerleri, Çizelge 4.37’de ise N_Q , N_{Qr} ve N_S fiktif yük değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.35 Katlara Etkiyen NG fiktif yük değerleri

Kat	En (m)	Boy (m)	G1-G2 (kN/m ²)	G3 (kN/m)	Gi (kN)	N _G (kN)
Çatı	24	30	4	2	3096	6,192
4	24	30	4,8	3	3780	7,56
3	24	30	4,8	3	3780	7,56
2	24	30	4,8	3	3780	7,56
1	24	30	4,8	3	3780	7,56

Çizelge 4.36 Katlara Etkiyen NQ, NQr, NS fiktif yük değerleri

Kat	En (m)	Boy (m)	S(kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Si(kN)	Qi(kN)	N _s (kN)	N _Q (kN)
Çatı	24	30	1,3	2	936	1440	1,872	2,88
4	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
3	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
2	24	30	-	2	-	1440	0	2,88
1	24	30	-	2	-	1440	0	2,88

4.2.4 Yapısal Analizler

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve 5 katlı yapının modellenmesi ve yapısal analizleri SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

4.2.4.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

$$T_p^{(x)}=1,0592; T_p^{(y)}=1,0592$$

$$\underline{DD2 \text{ depremi için: } S_{D1}=0,4605}$$

$$S_{DS}=1,3368$$

$$\underline{DD3 \text{ depremi için: } S_{D1}=0,163}$$

$$S_{DS}=0,541$$

$$\lambda_x = \frac{0,154}{0,435}=0,354; \lambda_y = \frac{0,154}{0,435}=0,354$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD2}=0,4605/1,0592=0,435$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD2}=0,4605/1,0592=0,435$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD3}=0,163/1,0592=0,154$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD3}=0,163/1,0592=0,154$$

Çizelge 4.38 (X) doğrultusu için, Çizelge 4.39 (Y) doğrultusu için etkin göreli kat ötelemeleri kontrolünü göstermektedir. En büyük kat ötelemeleri değerleri, TBDY-2018 4.9.1.3 (b)'ye göre 0,008 değerini aşmamalıdır.

Çizelge 4 37 (X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(x)	$\Delta i(x)$	$\delta i(x)=(R/I)\Delta i(x)$	$\lambda(\delta i(x)/h_i)$
Çatı (3716)	4	0,095307	0,012724	0,101792	0,00901
4 (2723)	4	0,082583	0,019486	0,155888	0,01379
3 (1730)	4	0,063097	0,024361	0,194888	0,01725
2 (737)	4	0,038736	0,024706	0,197648	0,01749
1 (6991)	4	0,01403	0,01403	0,11224	0,00993

Çizelge 4 38 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(y)	$\Delta i(y)$	$\delta i(Y)=(R/I)\Delta i(y)$	$\lambda(\delta i(y)/h_i)$
Çatı (3716)	4	0,078296	0,010363	0,082904	0,00734
4 (2723)	4	0,067933	0,016219	0,129752	0,01148
3 (1730)	4	0,051714	0,020133	0,161064	0,01425
2 (737)	4	0,031581	0,020235	0,16188	0,01432
1 (6991)	4	0,011346	0,011346	0,090768	0,00803

Çizelge 4.38 ve 4.39 incelendiğinde (X) ve (X) yönündeki en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin 0,008 değerini aştığı görülmektedir.

TBDY-2018, 4.9.1.6 maddesine göre Denk.(4.34)'te verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir.

Bu örnekte, süneklik düzeyi yüksek 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapı örneği ile karşılaştırma yapılabilmesi açısından merkezi çaprazlar kaldırılmış; aynı kesitler kullanılarak moment aktaran sisteme dönüştürülmüştür. Ancak görelî kat ötelemesi değerlerinin yönetmelik koşullarını sağlamaması nedeniyle, sistem rijitliği artırılacak ve analizler tekrarlanacaktır.

4.2.4.2 İkinci Mertebe Etkileri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran 5 katlı yapının ikinci mertebe etkileri Denklem 3.37 ve 3.38 yardımıyla hesaplanmış; bulunan sonuçlar Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.39 (X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(x)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(x)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,0051105	3808,8	378,51	4	0,012856
4 (2723)	0,0078025	8020,8	676,13	4	0,02314
3 (1730)	0,009909	12232,8	899,35	4	0,033695
2 (737)	0,010142	16444,8	1048,16	4	0,03978
1 (6991)	0,0058005	20656,8	1122,57	4	0,026684

Çizelge 4.40 (Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(y)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(y)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,0040625	3808,8	378,51	4	0,01022
4 (2723)	0,0062165	8020,8	676,13	4	0,018436
3 (1730)	0,0078585	12232,8	899,35	4	0,026722
2 (737)	0,0079875	16444,8	1048,16	4	0,031329
1 (6991)	0,004517	20656,8	1122,57	4	0,02078

Çizelge 4.40 ve 4.41’de hesaplanan en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin sınır koşul değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrolü Denklem 3.36 kullanılarak yapılmıştır.

$$\theta_{II,max(x)} = 0,03978 \leq 0,12 \frac{3}{1 \times 8} = 0,045$$

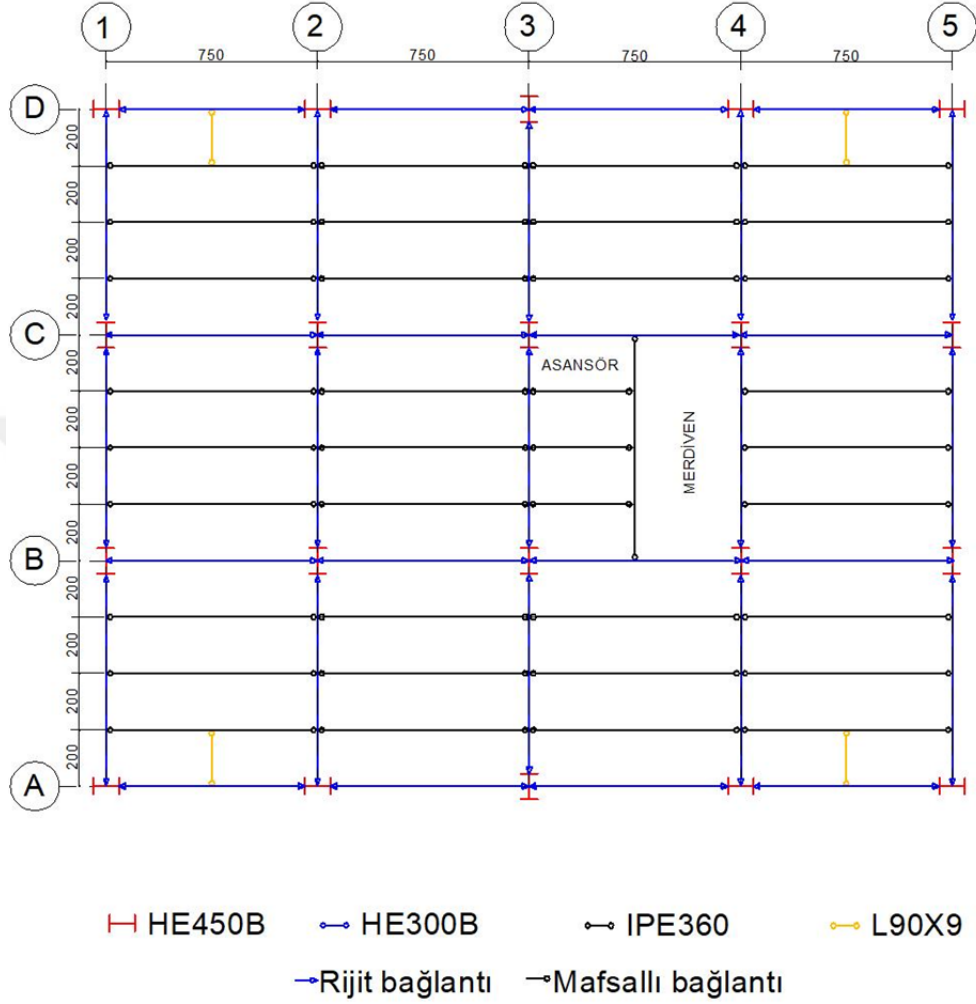
$$\theta_{II,max(y)} = 0,03133 \leq 0,12 \frac{3}{1 \times 8} = 0,045$$

(X) ve (Y) doğrultularına ait en büyük ikinci mertebe gösterge değerleri yapının ikinci katında ortaya çıkmış olup, sınır koşul değerlerini sağladığı görülmektedir. Yapı bu sınır koşul değerini sağlasa dahi, ÇYTHYE-2016 6.1 maddesi gereğince tasarımda ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

4.2.5 Sistem Rijitliği Arttırılmış Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı**Sisteminin Analizi**

İkinci örnekte her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı ele alınmış; ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı zayıf eksen doğrultusunda mafsallı, güçlü eksen doğrultusunda rijit bağlanmıştır. Ancak yapısal analizler sonrasında görelî kat ötelemeleri değerleri TBDY-2018, 4.9.1.3(b)'ye göre 0,008 değerlerini aştığından, TBDY-2018, 4.9.1.6 maddesi gereğince sistem rijitliği arttırılarak yeniden analiz yapılacaktır.

Sistem rijitliğini arttırmak için, ana kirişlerin hepsi kolonlara rijit bağlanmış, betonarme döşeme kalınlığı 28 cm'ye çıkarılmıştır. Kolon, ana kiriş, ikincil döşeme kirişleri ve yanal destek elemanlarına ait kullanılan profillerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Şekil 4.11'de kirişlerin kolonlara rijit bağlandığı moment aktaran sisteme ait normal kat planı görülmektedir.



Şekil 4.11 5 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı

Bu örnekte görelî kat ötelemeleri sınır değerini geçmemek için sadece sistem rijitliği artırıldığından, rüzgar yükleri, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, düşey deprem etkileri ve yapısal analizdeki yük kombinasyonları aynı sonuçları verecektir. Kat yerdeğiştirmeleri değişeceğinden, bina doğal titreşim periyoduna ve düzensizlik kontrollerine bakılacak; eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizler tekrarlanarak görelî kat ötelemeleri değerleri kontrol edilecektir.

4.2.5.1 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

Sistem rijitliği arttırılmış moment aktaran 5 katlı çelik yapıya ait bina doğal titreşim periyodu hesabı aşağıda yer almaktadır. Katlara etkiyen fiktif kuvvet değerleri aynı olup Çizelge 4.30’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.41 X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi(x)}$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi(x)}$

Kat No	$F_{fi}^{(x)}$	$d_{fi}^{(x)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(x)2}$	$F_{fi}^{(x)} d_{fi}^{(x)}$
Çatı	155,68	0,0174	388,26	0,11782	2,71194
4	137,73	0,0156	429,36	0,10442	2,14787
3	103,30	0,0124	429,36	0,06639	1,28449
2	68,86	0,0082	429,36	0,02886	0,56462
1	34,43	0,0034	429,36	0,00505	0,11803
Toplam	500,00			0,32254	6,82695

Çizelge 4.42 Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi(y)}$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi(y)}$

Kat No	$F_{fi}^{(y)}$	$d_{fi}^{(y)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(y)2}$	$F_{fi}^{(y)} d_{fi}^{(y)}$
Çatı	155,68	0,0121	388,26	0,05648	1,87765
4	137,73	0,0108	429,36	0,05040	1,49215
3	103,30	0,0086	429,36	0,03209	0,89299
2	68,86	0,0057	429,36	0,01403	0,39363
1	34,43	0,0024	429,36	0,00252	0,08336
Toplam	500,00			0,15551	4,73978

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2}$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

Çizelge 4.42’ye göre X doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,32254}{6,82695} \right]^{1/2} = 1,366 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$T_p^{(x)} > 1,4x T_{pA}^{(x)}$ olduğundan $T_p^{(x)} = 1,0592$ sn'dir.

Çizelge 4.43'e göre Y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(Y) = 2\pi \left[\frac{0,15551}{4,7398} \right]^{1/2} = 1,138 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$T_p^{(y)} > 1,4x T_{pA}^{(y)}$ olduğundan $T_p^{(y)} = 1,0592$ sn'dir.

4.2.5.2 Düzensizlik Kontrolleri

Bu örnekteki yapı da diğer örnekteki yapılarla aynı olduğundan A2, A3 ve B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır. Çizelge 4.44'te A1 türü burulma düzensizliği, Çizelge 4.45'te ise B2 türü rijitlik düzensizliği sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.43 X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği

Kat	$\Delta i^{(x)}$ maks	$\Delta i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta i^{(y)}$ maks	$\Delta i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,001936	0,00183	1,0605	≤ 2	0,0014	0,00122	1,1512	≤ 2
4	0,003355	0,00316	1,0619	≤ 2	0,00249	0,00218	1,1424	≤ 2
3	0,004498	0,00423	1,0625	≤ 2	0,00332	0,00292	1,1378	≤ 2
2	0,005065	0,00477	1,0623	≤ 2	0,00376	0,00329	1,143	≤ 2
1	0,003634	0,00343	1,0609	≤ 2	0,00278	0,00243	1,142	≤ 2

Çizelge 4.44 X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Kat	$(\Delta_i(x)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(x)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta_i(y)/h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i-1}(y)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,000456	-	-	≤ 2	0,0003	-	-	≤ 2
4-3	0,000790	0,00079	0,5778	≤ 2	0,00054	0,00054	0,559	≤ 2
3-2	0,001210	0,00121	0,653	≤ 2	0,00073	0,00073	0,7452	≤ 2
2-1	0,001192	0,00119	1,0147	≤ 2	0,00082	0,00082	0,886	≤ 2
1-Zemin	0,000856	0,00086	1,3919	≤ 2	0,00061	0,00061	1,3542	≤ 2

4.2.5.3 Yapısal Analizler Sonucu Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü ve İkinci Mertebe Etkileri

$$\lambda_x = \frac{0,154}{0,435} = 0,354; \lambda_y = \frac{0,154}{0,435} = 0,354$$

Çizelge 4 45 Sistem rijitliği artırılmış moment aktaran sistemde (X) doğrultusu için etkin göreli kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(x)	$\Delta i(x)$	$\delta i(x)=(R/I)\Delta i(x)$	$\lambda(\delta i(x)/hi)$
Çatı (3716)	4	0,0424	0,0046	0,0368	0,00326
4 (2723)	4	0,0378	0,0078	0,0624	0,00552
3 (1730)	4	0,03	0,011	0,088	0,00779
2 (737)	4	0,019	0,0108	0,0864	0,00765
1 (6991)	4	0,0082	0,0082	0,0656	0,00580

Çizelge 4.46 ve 4.47 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek 5 katlı moment aktaran çelik çerçeveli yapının rijitliği arttırılarak TBDY-2018, 4.9.1.6 maddesi koşulunun sağlandığı ve katlara ait göreli kat ötelemeleri değerinin 0,008 sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.46 Sistem rijitliği artırılmış moment aktaran sistemde (Y) doğrultusu için etkin göreli kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(x)	$\Delta i(x)$	$\delta i(x)=(R/I)\Delta i(x)$	$\lambda(\delta i(x)/hi)$
Çatı (3716)	4	0,0316	0,0036	0,0288	0,00255
4 (2723)	4	0,028	0,006	0,048	0,00425
3 (1730)	4	0,022	0,0074	0,0592	0,00524
2 (737)	4	0,0146	0,00848	0,06784	0,00600
1 (6991)	4	0,00612	0,00612	0,04896	0,00433

Çizelge 4.47 (X) doğrultusu için ikinci mertbe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(x)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(x)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,0018255	3808,8	378,51	4	0,004592
4 (2723)	0,0031595	8020,8	676,13	4	0,00937
3 (1730)	0,0042335	12232,8	899,35	4	0,014396
2 (737)	0,004768	16444,8	1048,16	4	0,018702
1 (6991)	0,0034255	20656,8	1122,57	4	0,015758

Çizelge 448 (Y) doğrultusu için ikinci mertbe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(y)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(y)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (3716)	0,001217	3808,8	378,51	4	0,003062
4 (2723)	0,002177	8020,8	676,13	4	0,006456
3 (1730)	0,0029215	12232,8	899,35	4	0,009934
2 (737)	0,0032975	16444,8	1048,16	4	0,012934
1 (6991)	0,002435	20656,8	1122,57	4	0,011202

$$\theta_{II,max(x)} = 0,018702 \leq 0,12 \frac{3}{1 \times 8} = 0,045$$

$$\theta_{II,max(y)} = 0,012934 \leq 0,12 \frac{3}{1 \times 8} = 0,045$$

Çizelge 4.48 ve 4.49'daki ikinci mertbe gösterge değerlerinde ise en büyük değerler yapının ikinci katında çıkmış olup sınır koşul değerlerini sağlamaktadır. Rijitliğin artırılması ile ikinci mertbe değerlerinde büyük oranda düşüş gözlemlenmiştir.

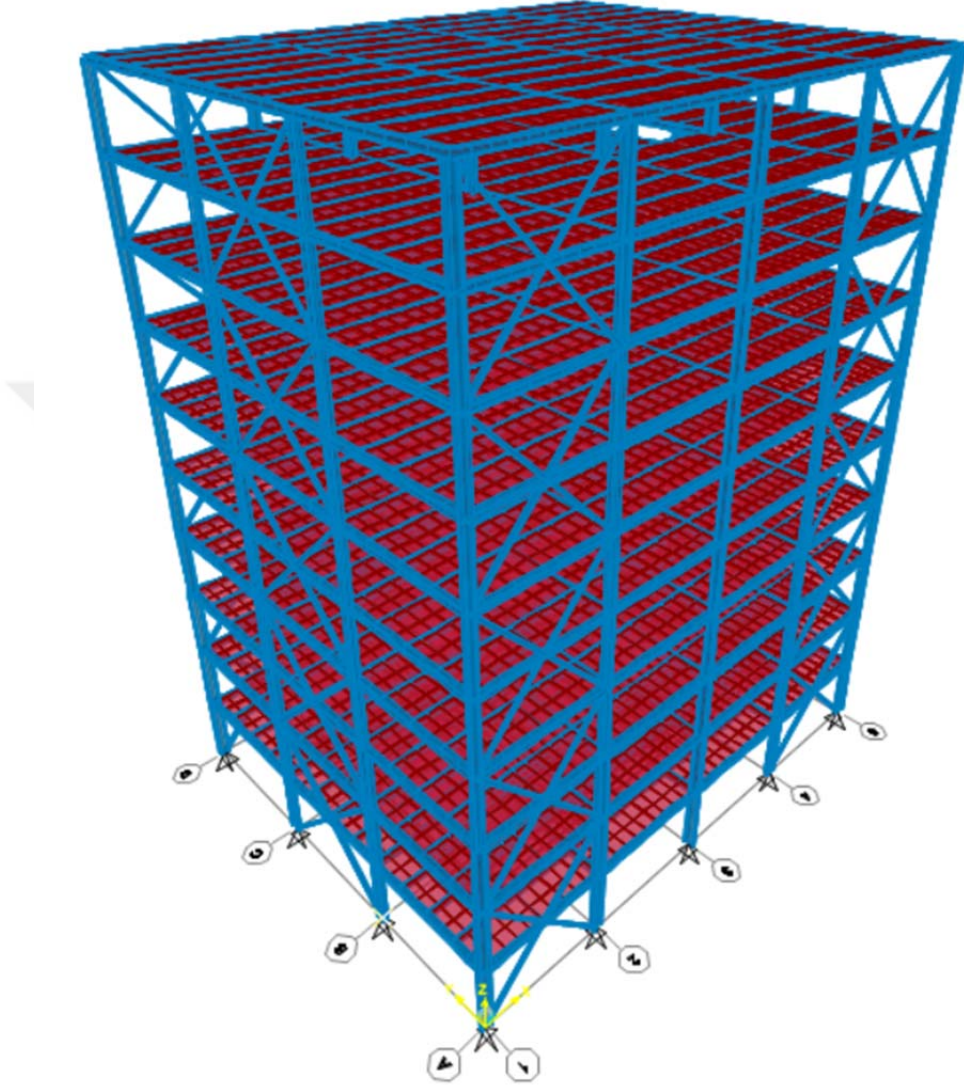
4.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 10 katlı yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kirişlerin kolonlara ve çaprazların düğüm noktalarına

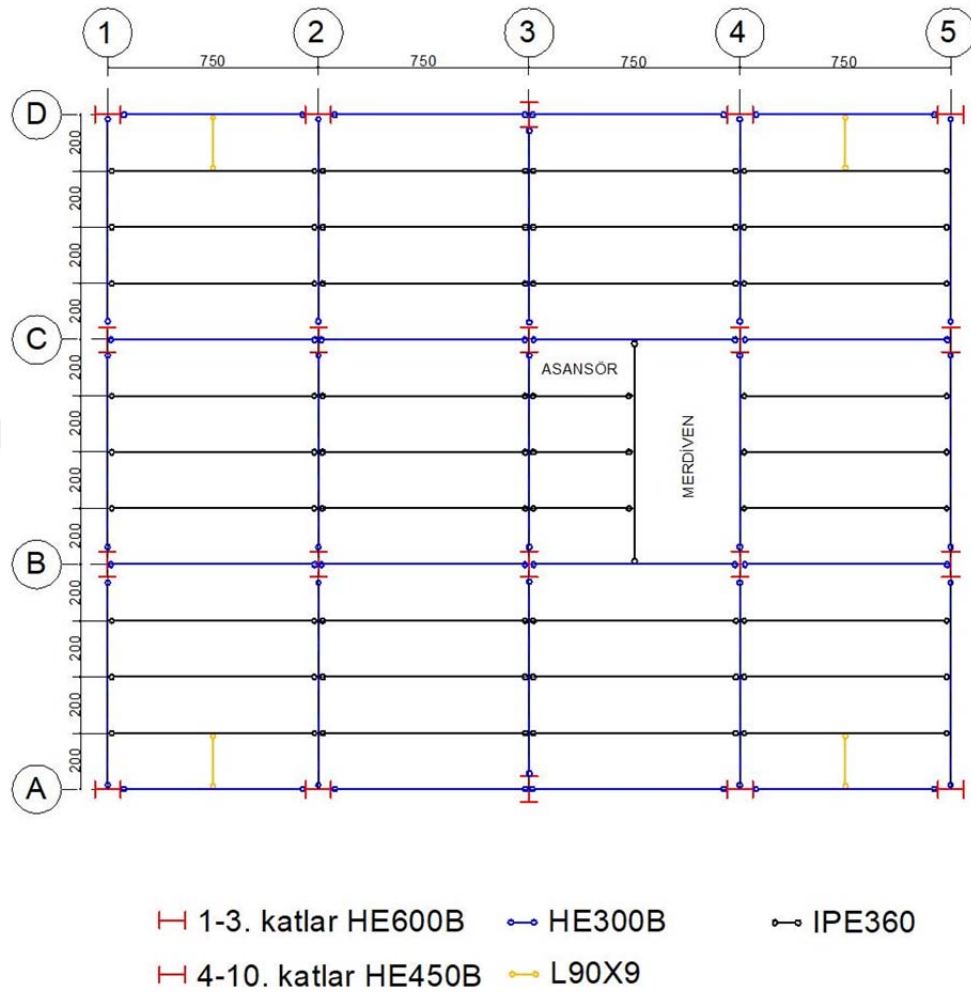
bağlantısı mafsallıdır. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele her iki eksen yönünde mafsallı mesnetlenmiştir. Şekil 4.12’de 10 katlı yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli, Şekil 4.13’te normal kat planı, Şekil 4.14’te ise yapının sistem enkesitleri yer almaktadır. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

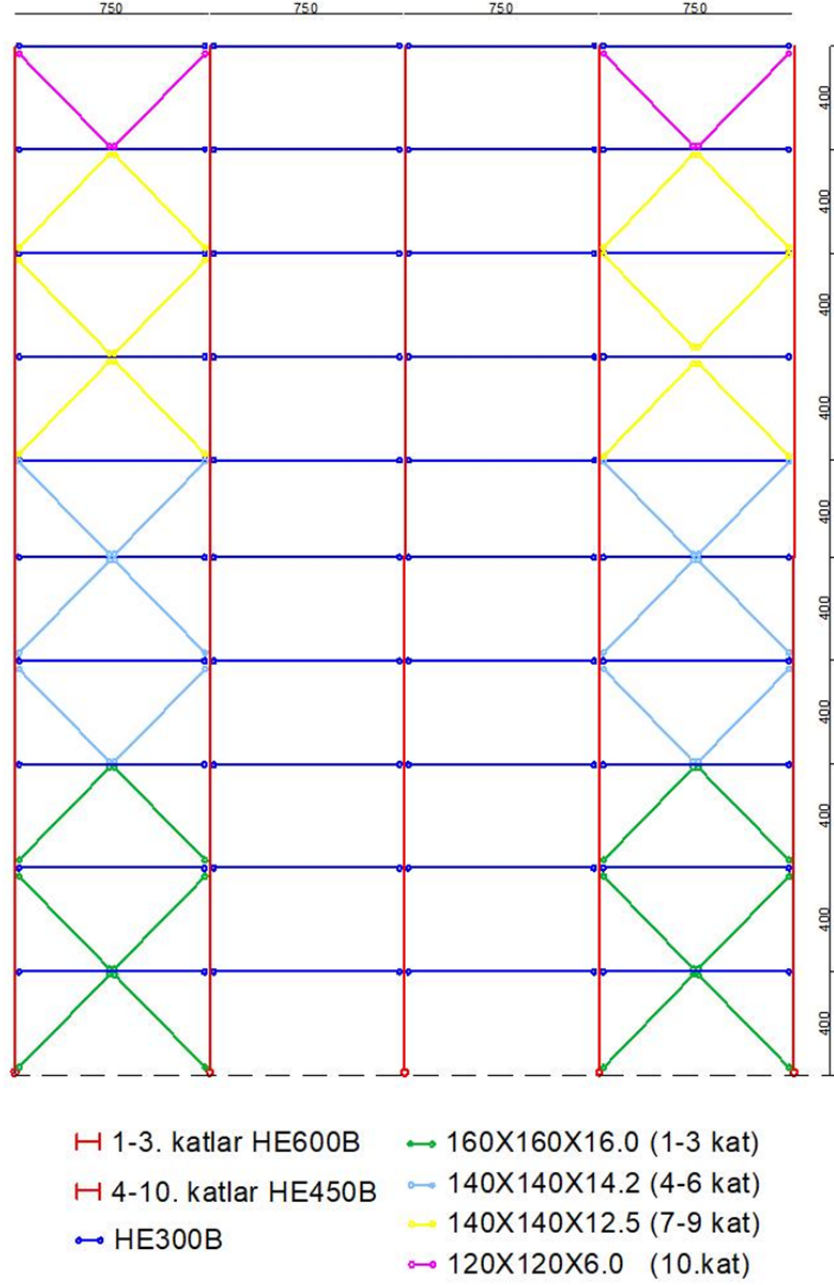
Konut olarak tasarlanan 10 katlı yapıda kolonlar 1-3. katlar arası HE600B, 4-10. katlar arası HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ise değişken kesitli kutu profiller olup A ve D akslarında 1-3 katları arası 160x160x16mm, 4-6 katları arası 140x140x14.2 mm, 7-9 katları arası 140x140x12,5 mm ve 10. katta 120x120x6 mm’dir. 1 ve 5 akslarında ise 1-3 katları arası 180x180x20 mm, 4 ve 5. Katlarda 160x160x14.2 mm, 6-8 katları arası 140x140x12.5 mm, 9. katta 140x140x10 mm ve 10. katta 120x120x6 mm’dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır.

Yapının analizi ve tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Modal Analiz Yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4.12 10 Katlı Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli





Şekil 4.14 10 Katlı Yapıya ait A ve D Aksları Sistem Enkesitleri

4.3.1 Yükler ve Kullanılan Standartlar

4.3.1.1 Sabit ve Hareketli Yükler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 10 katlı yapıya ait normal kat ve çatı katı döşemelerinin sabit ve hareketli yük değerleri merkezi çaprazlı 5 katlı yapı örneği ile aynıdır. Normal katlarda toplam sabit yük $4,90 \text{ kN/m}^2$, çatı katında ise $4,0 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Hareketli yük $2,00 \text{ kN/m}^2$, kar yükü ise $1,30 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Çizelge 4.1 ve 4.2’de normal kat ve çatı katı döşemesine ait sabit ve hareketli yük değerleri detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

4.3.1.2 Rüzgar Yükleri

Elazığ ilinde bulunan 10 katlı yapının tasarımı için rüzgar yüklerinin belirlenmesinde TS EN 1991-1-4 Standardı kullanılmış; Bölüm 3.2.2’de rüzgar yükü etkileri ve formüllerinden bahsedilmiştir. Yapıya ait bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Kategori	:IV		
z_0	:1	m	z :20 m
$z_{\min}$	:10	m	$V_{b,0}$:28 m/sn
$z_{0,II}$	:0,05	m	$c_0(z)$:1

Denklem 3.4’te arazi katsayısı formülü; $k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}} \right) 0.07$

$$k_r = 0.19 \left(\frac{1,0}{0,05} \right) 0.07 = 0,234 \text{ değerindedir.}$$

Merkezi çaprazlı 10 katlı yapı 24x30 metre ebatlarında 40 metre yükseklikte olup, Şekil 3.1’e göre binanın h ve b değerlerine bağlı, $q_p(z)$ hız kaynaklı rüzgar basıncı hesabı $b \leq h \leq 2b$ koşuluna göre yapılmalıdır. (TS-EN 1991-1-4 Kısım 7)

SAP2000 programında (X) ve (Y) yönlerinde yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri cephe kolonlarına yayılı yük olarak etkitilecek olup hesaplar buna göre yapılmıştır.

(X) Yönü Rüzgar Kuvveti Hesabı:

$$b=24 \text{ m}, d=30 \text{ m}, h=40 \text{ m}$$

Denklem 3.3'te *engebelilik katsayısı*; $c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$, $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$c_r(24) = 0,234 * \ln\left(\frac{24}{1}\right) = 0,745; \quad z_{\min}=10\text{m} \leq z=24\text{m} \leq z_{\max}=200\text{m}$$

$$c_r(40) = 0,234 * \ln\left(\frac{40}{1}\right) = 0,864; \quad z_{\min}=10\text{m} \leq z=40\text{m} \leq z_{\max}=200\text{m}$$

(z) metre yükseklik için ortalama rüzgar hızı; $V_m(z) = c_r(z) c_0(z) V_b$

$$V_m(24) = 0,745 \times 1 \times 28 = 20,852 \text{ m/sn}$$

$$V_m(40) = 0,864 \times 1 \times 28 = 24,204 \text{ m/sn}$$

(z) metre yükseklik için türbülans şiddeti; $lv(z) = \frac{k1}{c0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$

$$lv(24) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{24}{1,0}\right)} = 0,315$$

$$lv(40) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{40}{1,0}\right)} = 0,271$$

$q_p(z)$ Tepe kaynaklı hız basıncı; $q_p(z) = [1 + 7lv(z)] * 1/2 * \rho v_m^2(z)$

$$q_p(24) = [1 + 7 \times 0,315] \times 1/2 \times 1,25 \times 20,852^2 \times 10^{-3} = 0,870 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(40) = [1 + 7 \times 0,271] \times 1/2 \times 1,25 \times 24,204^2 \times 10^{-3} = 1,061 \text{ kN/m}^2$$

40 metre yüksekliğindeki yapıda dış w_e ve iç w_i rüzgar basınçlarına ait formüller Denklem 3.7 ve 3.8’de verilmiş olup c_{pe} dış basınç değeri, binanın rüzgar etkiye doğrultusuna dik boyut için h/d oranına bağlıdır. Şekil 3.2 ve Çizelge 3.3’te h/d oranına bağlı olarak alınması gereken $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri belirtilmiştir.

X doğrultusundaki rüzgar kuvvetine dik boyut $b=24$ metre, $d=30$ metre, $h=40$ metre için h/d oranı,

$$1,00 \leq h/d = 1,333 < 5,00 \text{ değerindedir.}$$

Rüzgar kuvvetleri için yaklaşma ve uzaklaşma katsayıları;

Bölge	D	E
c_{pe}	+0,8	-0,5

Net basınç katsayısı c_{pnet} ‘in bulunabilmesi için iç basınç katsayısının da bilinmesine gerek duyulmaktadır. Buna göre iç basınç katsayısı c_{pi} değeri TS EN 1991-1-4’te belirtildiğine göre en olumsuz koşul olan +0,2 ve -0,3 değerlerinde alınmalıdır.

Bölge	D	E
$c_{pnet}=c_{pe}-(+0,2)$	0,6	-0,7
$c_{pnet}=c_{pe}-(-0,3)$	1,1	-0,2

$h=40$ metre ve $b=24$ olan bina $h \leq b$ koşulunu sağladığından rüzgar yükü bina yüksekliği boyunca üniform yayılı olacaktır. Taşıyıcı sisteme etkiyen toplam rüzgar yükü hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$w = q(z)(c_{pe} - c_{pi})A_{ref} = q(z)(c_{pnet})A_{ref}$$

$$A_{ref} = b \times h$$

Rüzgar basınç yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 1,1=7,66 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 1,1=9,34 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 0,2=1,39 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 0,2=1,70 \text{ kN/m}$$

(Y) Yönü Rüzgar Kuvveti Hesabı;

$$b=30 \text{ m, } d=24 \text{ m, } h=40 \text{ m}$$

Denklem 3.3'te *engebelilik katsayısı*; $c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$, $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$c_r(30) = 0,234 * \ln\left(\frac{30}{1}\right) = 0,797$$

$$c_r(40) = 0,234 * \ln\left(\frac{40}{1}\right) = 0,864$$

(z) metre yükseklik için ortalama rüzgar hızı; $V_m(z) = c_r(z) c_0(z) V_b$

$$V_m(30) = 0,797 \times 1 \times 28 = 22,316 \text{ m/sn}$$

$$V_m(40) = 0,864 \times 1 \times 28 = 24,204 \text{ m/sn}$$

*(z) metre yükseklik için türbülans şiddeti; $lv(z) = \frac{k1}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$*

$$lv(30) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{30}{1,0}\right)} = 0,294$$

$$lv(40) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{40}{1,0}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z) \text{ Tepe kaynaklı hız basıncı; } q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho v_m^2(z)$$

$$q_p(30) = [1 + 7 \cdot 0,294] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 22,316^2 \cdot 10^{-3} = 0,952 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(40) = [1 + 7 \cdot 0,271] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 24,204^2 \cdot 10^{-3} = 1,061 \text{ kN/m}^2$$

Y doğrultusundaki rüzgar kuvvetine dik boyut b=30 metre, d=24 metre, h=40 metre için h/d oranı,

$$1,00 \leq h/d = 1,667 < 5,00 \text{ değerindedir.}$$

Rüzgar kuvvetleri için yaklaşma ve uzaklaşma katsayıları;

Bölge	D	E
c_{pe}	+0,8	-0,5

Net basınç katsayısı c_{pnet} ;

Bölge	D	E
$c_{pnet} = c_{pe} - (+0,2)$	0,6	-0,7
$c_{pnet} = c_{pe} - (-0,3)$	1,1	-0,2

h=40 metre ve b=30 olan bina $h \leq b$ koşulunu sağladığından rüzgar yükü bina yüksekliği boyunca üniform yayılı olacaktır.

Taşıyıcı sisteme etkiyen toplam rüzgar yükü hesabı;

$$w = q(z)(c_{pe} - c_{pi})A_{ref} = q(z)(c_{pnet})A_{ref}$$

$$A_{ref} = b \cdot x \cdot h$$

Rüzgar basınç yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 1,1=7,85 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 1,1=8,75 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 0,2=1,43 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 0,2=1,59 \text{ kN/m}$$

4.3.1.3 Deprem Yükleri

4.3.1.3.1 Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)

10 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan bina kullanım sınıfı BKS=3 ve bina önem katsayısı ise I=1'dir.

4.3.1.3.2 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

Çizelge 4.49 38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 10 Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Yapıya ait Bilgiler

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
KısaPer.Böl. İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn. Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s \cdot F_s$ Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 \cdot F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) (Çizelge 3.6)	1

4.3.1.3.3 Bina Yükseklik Sınıfı

10 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve yapıda kat yükseklikleri 4 metre olup binanın toplam yüksekliği $28 < H_N=40 \leq 42$ olduğundan Çizelge 3.8'e göre bina yükseklik sınıfı BYS=4 olmaktadır.

4.3.1.3.4 Bina Performans Hedefleri

Söz konusu yapının deprem tasarım sınıfı DTS=1 ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım (DGT) olarak Çizelge 3.9'da görülmektedir.

4.3.1.3.5 Düşey Deprem Etkisi

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

$$G(1.2 + 0.3(2/3) \times 1.337) = 1.467G$$

$G(0.9 - 0.3(2/3) \times 1.337) = 0.633G$ olarak düşey yük+deprem birleşimi kombinasyonlarında kullanılacaktır.

4.3.1.3.6 Yük Birleşimleri1. Düşey Yük Birleşimleri:

- $1.4 G$
- $1.2G + 1.6Q$
- $1.2G + Q$

2. Düşey Yük+Deprem Birleşimleri

- $1.467G + 0.5Q + 0.2S \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)}$
- $1.467G + 0.5Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$
- $0.633G \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)}$
- $0.633G \pm 0.3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$

3.Düşey Yük+Rüzgar Birleşimleri

- $1,2G+1,6Qr\pm0,8W_x$
- $1,2G+1,6Qr\pm0,8W_y$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr\pm1,6W_x$
- $1,2G+1,0Q+0,5Qr\pm1,6W_y$
- $0,9G\pm1,6 W_x$
- $0,9G\pm1,6 W_y$

4.3.2 Yapının Analizi

Süneklik düzeyi yüksek 10 katlı merkezi çaprazlı yapının analizi ve tasarımı Yükleme ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

4.3.2.1 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

TBDY-2018, 4.8.1.2 maddesine göre Mod Birleştirme Yönteminde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamı bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmamalıdır. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan tüm modlar hesaba katılacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 10 katlı yapının SAP2000 programında analizi ile hesaplanan yapı periyodları ve buna bağlı kütle katılım oranları aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 4.50 Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Yapıya ait Periyod Değerleri ve Kütle Katılım Oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,694176	2E-07	0,6832	0,000	0,683
2	1,362557	0,68972	2E-07	0,690	0,683
3	0,930528	1E-06	5E-06	0,690	0,683
4	0,455875	1,4E-08	0,2138	0,690	0,897
5	0,364669	0,20217	7E-09	0,892	0,897
6	0,293333	5,8E-06	1E-07	0,892	0,897
7	0,279767	1,1E-06	8E-05	0,892	0,897
8	0,274398	0,06003	9E-07	0,952	0,897
9	0,266984	2,1E-07	0,0332	0,952	0,930
10	0,255797	9,4E-07	0,0197	0,952	0,950

Çizelge 4.51'e göre bina hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)}=1,363$ sn, $T_p^{(y)}=1,694$ sn olarak elde edilmiştir.

TBDY-2018, 4.7.3.2'ye göre binanın hakim doğal titreşim periyodu T_p 'in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri, TBDY-2018, 4.7.3.4'te verilen T_{pA} ampirik titreşim periyodunun 1.4 katından daha fazla olamaz.

$$T_{pA}^{(x)}=0,08x(40)^{3/4}=1,272 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4x \quad T_{pA}^{(x)}=1,4x1,272=1,781 \text{ olduğundan } T_p^{(x)}=1,363 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4x \quad T_{pA}^{(y)}=1,4x1,272=1,781 \text{ olduğundan } T_p^{(y)}=1,694 \text{ sn'dir.}$$

4.3.2.2 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Merkezi çaprazlı 10 katlı yapıya ait taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=5$, dayanım fazlalığı katsayısı ise $D=2$ 'dir.

Bu örnekteki yapıda deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$,

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

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

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(x) = 1,363 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(y) = 1,694 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn olduğundan,}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{R_x}{I} = \frac{R_y}{I} = \frac{5}{1} = 5 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

4.3.2.3 Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 10 katlı yapı dikdörtgen plana sahip olup yapıda herhangi bir çıkma olmadığından *A3 planda çıkıntıların bulunması düzensizlik* durumu bulunmamaktadır. Yapıda merdiven ve asansör boşlukları da dahil olmak üzere döşemede boşluk alanları toplamı brüt kat alanının üçte birinden daha az olduğundan *A2 döşeme süreksizliği* de yoktur.

Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak *B3 türü düzensizlik* bulunmamaktadır. *B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)* betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapı için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir.

Çizelge 4.52’de bu örnekteki yapı için *A1 türü burulma düzensizliği* durumu kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 4.51 X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği

Kat	$\Delta i^{(x)}_{maks}$	$\Delta i^{(x)}_{ort}$	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta i^{(y)}_{maks}$	$\Delta i^{(y)}_{ort}$	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,006002	0,00599	1,00142	≤ 2	0,00736	0,00732	1,0053	≤ 2
9	0,005992	0,00598	1,0015	≤ 2	0,00784	0,00779	1,0067	≤ 2
8	0,006247	0,00624	1,0016	≤ 2	0,00791	0,00785	1,0078	≤ 2
7	0,005936	0,00593	1,0016	≤ 2	0,00764	0,00757	1,0086	≤ 2
6	0,005799	0,00579	1,00164	≤ 2	0,00756	0,0075	1,0084	≤ 2
5	0,005018	0,00501	1,0016	≤ 2	0,00643	0,00638	1,0076	≤ 2
4	0,005029	0,00502	1,00169	≤ 2	0,00626	0,00621	1,0077	≤ 2
3	0,003652	0,00365	1,00165	≤ 2	0,00448	0,00444	1,0083	≤ 2
2	0,003602	0,00360	1,00167	≤ 2	0,00427	0,00423	1,0097	≤ 2
1	0,002122	0,00212	1,00189	≤ 2	0,00255	0,00252	1,0131	≤ 2

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 10 katlı yapıda x ve y doğrultuları için B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolleri Denklem 3.21 kullanılarak her kat için yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.53'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.52 X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Kat	$(\Delta i^{(x)}/h_i)_{ort}$	$(\Delta i^{(x)}/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta i^{(y)}/h_i)_{ort}$	$(\Delta i^{(y)}/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-9	0,001498	-	-	≤ 2	0,00183	-	-	≤ 2
9-8	0,001496	0,00150	1,00175	≤ 2	0,00195	0,00195	0,94	≤ 2
8-7	0,001559	0,00156	0,95928	≤ 2	0,00196	0,00196	0,9924	≤ 2
7-6	0,001482	0,00148	1,05239	≤ 2	0,00189	0,00189	1,036	≤ 2
6-5	0,001447	0,00145	1,02366	≤ 2	0,00188	0,00188	1,0099	≤ 2
5-4	0,001253	0,00125	1,15559	≤ 2	0,00159	0,00159	1,1758	≤ 2
4-3	0,001255	0,00126	1,19381	≤ 2	0,00155	0,00155	1,1779	≤ 2
3-2	0,000912	0,00091	1,37699	≤ 2	0,00111	0,00111	1,3983	≤ 2
2-1	0,000899	0,00090	1,0139	≤ 2	0,00106	0,00106	1,0511	≤ 2
1-Zemin	0,000530	0,00053	1,69783	≤ 2	0,00063	0,00063	1,6804	≤ 2

Çizelge 4.52 ve Çizelge 4.53 de incelendiğinde, yapıda herhangi bir düzensizliğin bulunmadığı görülmektedir.

4.3.2.4 Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri

TBDY-2018, 4.8.4 maddesine göre Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen *toplam deprem yükünün*, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen *toplam eşdeğer deprem yükünden (taban kesme kuvvetinden)* az olması halinde, β_{tE} , *eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı* kullanılarak mod birleştirme yöntemiyle bulunan toplam deprem yükü büyütülecektir.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \geq 1.0$$

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 10 katlı yapıya ait mod birleştirme yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükleri;

$$V_t(x) = 2596,90 \text{ kN}$$

$$V_t(y) = 2164,40 \text{ kN}$$

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü V_{tE} ;

$$V_{tE}^{(X)} = m_r S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi, m_t hesabı Çizelge 4.54'te görülmektedir.

Çizelge 4.53 Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Yapının Kütle Hesabı

	En (m)	Boy (m)	G1-G2 (kN/m ²)	S(kN)- Q(kN/m ²)	n	G3 (kN/m)	wi (kN)	mi (kN- s ² /m)
Çatı	24	30	4	1,30-2,00	0,3	2	3808,80	388,26
9	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
8	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
7	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
6	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
5	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
4	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
3	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
2	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
1	24	30	4,9	2	0,3	3	4284,00	436,70
Toplam							42364,80	4318,53

(X) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,069 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(X)} = 1,363 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1}/(T_p^{(X)}) = 0,46/1,363 = 0,338$$

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)})/R_a(T_p^{(X)}) = 0,338/5 = 0,0676$$

$$m_t = 4318,53 \text{ t}$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = 4318,53 \times 0,0676 \times 9,81 \geq 0,04 \times 4318,53 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(X)} = 2863,59 \text{ kN} \geq 2265,33 \text{ kN}$$

(Y) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_B=0,344 \text{ sn} < T_p^{(Y)} = 1,694 \text{ sn} < T_L=6 \text{ sn}'dir.$$

$$S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{DI}/(T_p^{(Y)}) = 0,46/1,694 = 0,272$$

$$S_{aR}(T_p^{(Y)}) = S_{ae}(T_p^{(Y)})/R_a(T_p^{(Y)}) = 0,272/5 = 0,0544$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 4318,53 \times 0,0544 \times 9,81 \geq 0,04 \times 4318,53 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 2303,07 \text{ kN} \geq 2265,33 \text{ kN}$$

Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı, β_{tE} hesabı aşağıda yer almaktadır. A1, B2, B3 türü düzensizliklerden en az birinin bulunması halinde γ_E çarpanı 0,90; düzensizliklerin hiçbirinin bulunmaması halinde γ_E çarpanı 0,80 olarak alınacaktır.

Bu örnekte düzensizliklerin hiçbirisi bulunmadığından γ_E çarpanı 0,80 olarak alınmıştır.

$$\beta_{tE}(x) = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} = \frac{0,80 \times 2863,59}{2596,94} = 0,88 < 1,00$$

$$\beta_{tE}(y) = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} = \frac{0,80 \times 2303,07}{2164,40} = 0,85 < 1,00 \text{ olduğundan } \beta_{te(x)} = \beta_{te(y)} = 1,0$$

alınacaktır. Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle bulunan toplam deprem yükünün büyütülmesine gerek yoktur.

4.3.2.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

$$T_p^{(x)} = 1,363; T_p^{(y)} = 1,694$$

$$\underline{DD2 \text{ depremi için:}} S_{DI} = 0,4605$$

$$S_{DS} = 1,3368$$

$$\underline{DD3 \text{ depremi için:}} S_{DI} = 0,163$$

$$S_{DS} = 0,541$$

$$\lambda x = \frac{0,120}{0,338} = 0,354; \lambda y = \frac{0,096}{0,272} = 0,354$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD2} = 0,461/1,363 = 0,338$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD2} = 0,461/1,694 = 0,272$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD3} = 0,163/1,363 = 0,120$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD3} = 0,163/1,694 = 0,096$$

Çizelge 4.55 (X) doğrultusu için, Çizelge 4.56 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolünü göstermektedir. En büyük kat ötelemeleri değerleri, TBDY-2018, 4.9.1.3 (b)'ye göre 0,008 değerini aşmamalıdır.

Çizelge 4.54 (X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	h_i	$u_i(x)$	$\Delta_i(x)$	$\delta_i(x)=(R/I)\Delta_i(x)$	$\lambda(\delta_i(x)/h_i)$
Çatı (493)	4	0,046708	0,005603	0,028015	0,00248
9 (9602)	4	0,041105	0,005592	0,02796	0,00247
8 (8609)	4	0,035513	0,005687	0,028435	0,00252
7 (7596)	4	0,029826	0,005463	0,027315	0,00242
6 (6577)	4	0,024363	0,005325	0,026625	0,00236
5 (3716)	4	0,019038	0,00483	0,02415	0,00214
4 (2723)	4	0,014208	0,00487	0,02435	0,00215
3 (1730)	4	0,009338	0,00364	0,0182	0,00161
2 (737)	4	0,005698	0,00356	0,0178	0,00158
1 (6991)	4	0,002138	0,002138	0,01069	0,00095

Çizelge 4.55 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	h_i	$u_i(y)$	$\Delta_i(y)$	$\delta_i(y)=(R/I)\Delta_i(y)$	$\lambda(\delta_i(y)/h_i)$
Çatı (493)	4	0,06421	0,00602	0,0301	0,00266
9 (9602)	4	0,05819	0,006943	0,034715	0,00307
8 (8609)	4	0,051247	0,0074	0,037	0,00327
7 (7596)	4	0,043847	0,007766	0,03883	0,00344
6 (6577)	4	0,036081	0,008116	0,04058	0,00359
5 (3716)	4	0,027965	0,007372	0,03686	0,00326
4 (2723)	4	0,020593	0,007352	0,03676	0,00325
3 (1730)	4	0,013241	0,00531	0,02655	0,00235
2 (737)	4	0,007931	0,00508	0,0254	0,00225
1 (6991)	4	0,002851	0,002851	0,014255	0,00126

(X) ve (Y) yönündeki en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin 0,008 sınır değerinin altında kaldığı Çizelgelerden görülmektedir.

4.3.2.6 İkinci Mertebe Etkileri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 10 katlı yapının ikinci mertebe etkileri Denklem 3.37 ve 3.38 yardımıyla hesaplanmış; bulunan sonuçlar Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.58’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.57 ve 4.58’de hesaplanan en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin sınır koşul değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrolü Denklem 3.38 kullanılarak yapılmıştır.

Mod birleştirme yöntemi ile analizi yapılan 10 katlı yapının, ilgili deprem doğrultusundaki azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerleri Δ_{iort} ve azaltılmış kat kesme kuvveti değerleri V_i , SAP2000 analiz programı yardımı ile bulunmuştur. Yapılan hesaplar sonucunda, (X) ve (Y) doğrultularına ait en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin sınır koşul değerlerini sağladığı görülmektedir.

$$\theta_{II,max(x)} = 0,035463 \leq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

$$\theta_{II,max(y)} = 0,041189 \leq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

Çizelge 4.56 (X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(x)}{}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(x)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (493)	0,0059935	3808,8	223,93	4	0,025486
9 (9602)	0,005983	8092,80	341,34	4	0,035463
8 (8609)	0,006237	12376,80	578,37	4	0,033367
7 (7596)	0,0059265	16660,80	700,94	4	0,035217
6 (6577)	0,0057895	20944,80	958,76	4	0,031619
5 (3716)	0,00501	25228,80	1114,03	4	0,028365
4 (2723)	0,0050205	29512,80	1492,06	4	0,024826
3 (1730)	0,003646	33796,80	2000,12	4	0,015402
2 (737)	0,003596	38080,80	2265,80	4	0,015109
1 (6991)	0,002118	42364,80	2596,94	4	0,008638

Çizelge 4.57 (Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(y)}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(y)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (493)	0,0073195	3808,8	226,86	4	0,030721
9 (9602)	0,007787	8092,8	408,64	4	0,038554
8 (8609)	0,0078465	12376,8	618,57	4	0,03925
7 (7596)	0,007574	16660,8	765,91	4	0,041189
6 (6577)	0,0075	20944,8	1036,69	4	0,037882
5 (3716)	0,0063785	25228,8	1131,64	4	0,035551
4 (2723)	0,006214	29512,8	1452,51	4	0,031565
3 (1730)	0,004444	33796,8	1566,26	4	0,023973
2 (737)	0,004228	38080,8	1943,23	4	0,020714
1 (6991)	0,002516	42364,8	2164,40	4	0,012312

4.4 Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

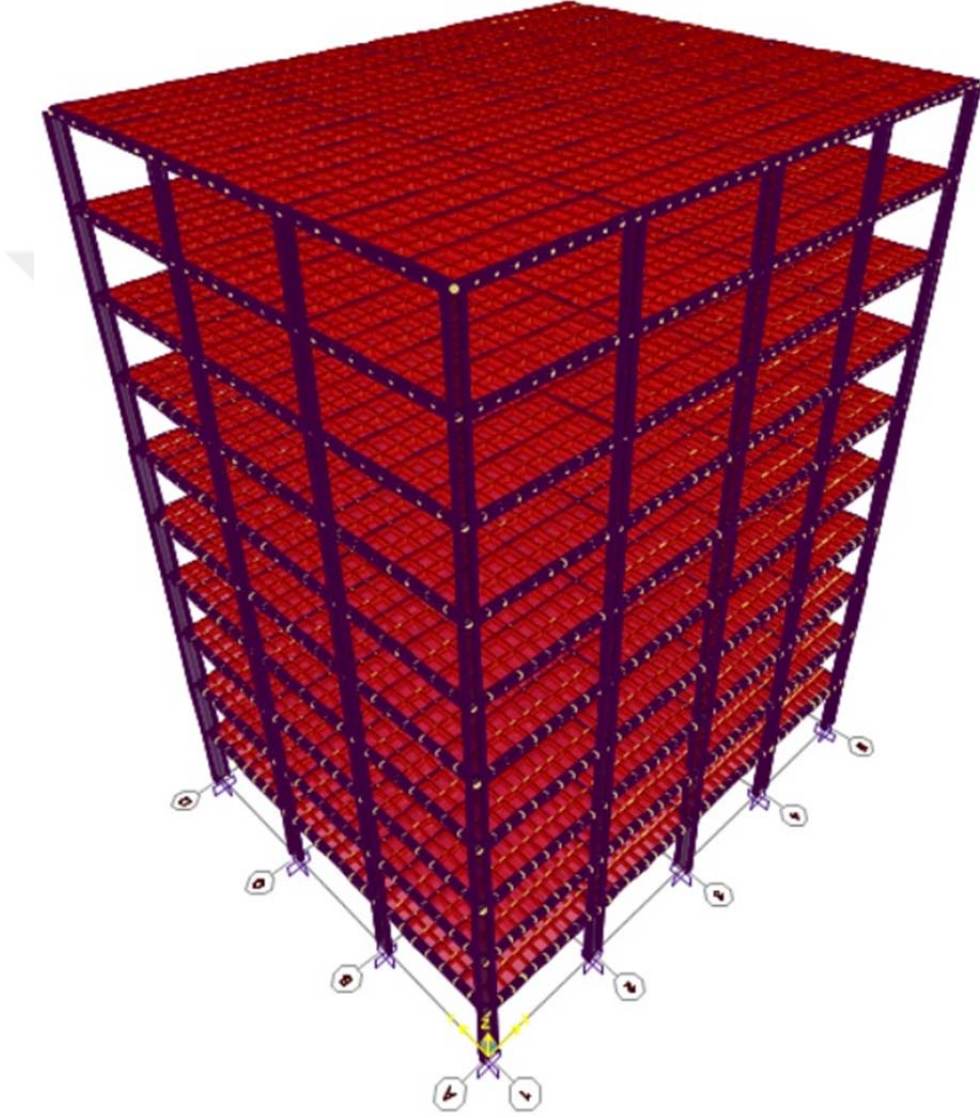
Bu örnekteki yapı 4.3 *Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı örneği* ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür. Yapılan analizler neticesinde merkezi çaprazlı sistemde kullanılan kolon kesitlerinin moment aktaran çerçeve sisteminde kurtarmadığı görüldüğünden kolon kesitleri büyütülmüştür.

Söz konusu yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı her iki eksen doğrultusunda ankastredir. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele ankastre mesnetlenmiştir.

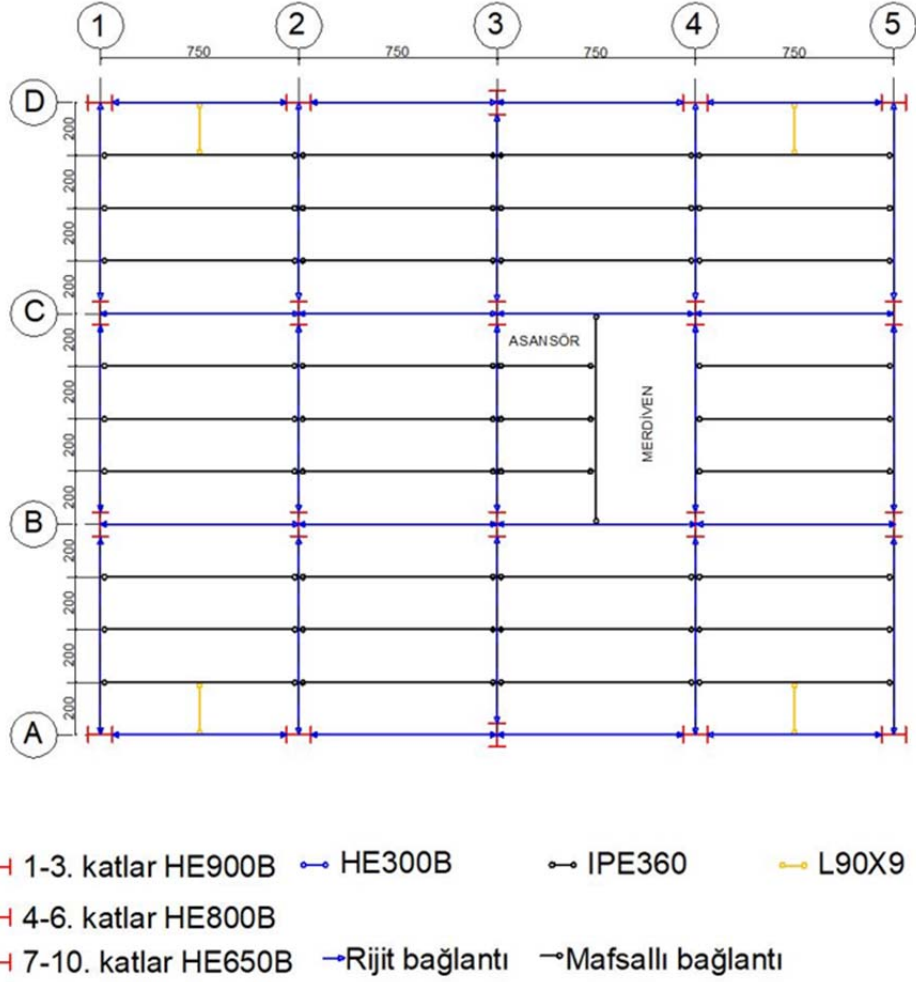
Şekil 4.15'te 10 katlı yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli, Şekil 4.16'da normal kat planı yer almaktadır. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

Konut olarak tasarlanan 10 katlı moment aktaran çelik çerçeveli yapıda kolonlar 1-3 katları arası HE900B, 3-6 katları arası HE800B, 7-10 katları arası HE650B olarak tasarlanmıştır. Ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve

yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları S275 çelik sınıfındadır.



Şekil 4.15 - 10 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait 3 Boyutlu Bilgisayar Hesap Modeli



Şekil 4.16 10 Katlı Moment Aktaran Yapıya Ait Normal Kat Planı

4.4.1 Yükler ve Kullanılan Standartlar

4.4.1.1 Sabit ve Hareketli Yükler

Çizelge 4.1 ve 4.2’de normal kat ve çatı katı döşemesine ait sabit ve hareketli yük değerleri gösterilmiştir. Normal katlarda toplam sabit yük $4,90 \text{ kN/m}^2$, çatı katında ise $4,0 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Hareketli yük $2,00 \text{ kN/m}^2$, kar yükü ise $1,30 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

4.4.1.2 Rüzgar Yükleri

Bu örnekteki yapı 40 metre yükseklikte 24 x 30 metre ebatlarında olup üçüncü örnekteki yapı ile aynı özelliklere ve aynı koordinatlara sahip olduğundan katlara etkiyen toplam rüzgar kuvveti değerleri de aynıdır. Bir önceki örnekte bu değerler hesaplanmıştır.

4.4.1.3 Deprem Yükleri**4.4.1.3.1 Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)**

10 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan bina kullanım sınıfı BKS=3 ve bina önem katsayısı ise $I=1$ 'dir.

4.4.1.3.2 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

Çizelge 4.58 38.604675° Enlemi ve 39.280981° Boylamında Bulunan 10 Katlı Moment Aktaran Çelik Çerçeve Yapıya ait Bilgiler

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
KısaPer.Böl. İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn. Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s \cdot F_s$ Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 \cdot F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) (Çizelge 3.6)	1

4.4.1.3.3 Bina Yükseklik Sınıfı

10 katlı moment aktaran çelik çerçeve yapıda kat yükseklikleri 4 metre olup binanın toplam yüksekliği $28 < H_N=40 \leq 42$ olduğundan Çizelge 3.7'ye göre bina yükseklik sınıfı BYS=4 olmaktadır.

4.3.1.3.4 Bina Performans Hedefleri

Söz konusu yapının deprem tasarım sınıfı DTS=1 ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım (DGT) olarak Çizelge 3.9'da görülmektedir.

4.3.1.3.5 Düşey Deprem Etkisi

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

$$G(1.2+0.3(2/3) \times 1,337)=1,467G$$

$G(0.9-0.3(2/3) \times 1,337)=0,633G$ olarak düşey yük+deprem birleşimi kombinasyonlarında kullanılacaktır.

4.3.1.3.6 Yük Birleşimleri1. Düşey Yük Birleşimleri:

- $1,4 G$
- $1,2G + 1,6Q$
- $1,2G + Q$

2. Düşey Yük+Deprem Birleşimleri

- $1,467G + 0,5Q + 0,2S \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)}$
- $1,467G + 0,5Q + 0,2S \pm 0,3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$
- $0,633G \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)}$
- $0,633G \pm 0,3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$

3. Düşey Yük+Rüzgar Birleşimleri

- $1,2G + 1,6Q_r \pm 0,8W_x$
- $1,2G + 1,6Q_r \pm 0,8W_y$
- $1,2G + 1,0Q + 0,5Q_r \pm 1,6W_x$
- $1,2G + 1,0Q + 0,5Q_r \pm 1,6W_y$
- $0,9G \pm 1,6 W_x$
- $0,9G \pm 1,6 W_y$

4.4.2 Yapının Analizi

Süneklik düzeyi yüksek 10 katlı moment aktaran çelik çerçeve yapılarının analizi ve tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

4.4.2.1 Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve 10 katlı yapının SAP2000 programında analizi ile hesaplanan yapı periyodları ve buna bağlı kütle katılım oranları aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

(X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmamasına dikkat edilmiştir. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan tüm modlar hesaba katılmıştır.

Çizelge 4.60'a göre bina hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)}=1,995$ sn, $T_p^{(y)}=1,516$ sn olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.59 Moment Aktaran Çelik Çerçeve 10 Katlı Yapıya ait Periyot Değerleri ve Kütle Katılım Oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,994877	0,78389	2E-06	0,784	0,000
2	1,51576	1,6E-06	0,7832	0,784	0,783
3	1,387653	1,4E-06	0,0018	0,784	0,785
4	0,650423	0,10406	2E-07	0,888	0,785
5	0,501567	1,3E-07	0,1062	0,888	0,891
6	0,453511	9,1E-08	5E-05	0,888	0,891
7	0,365745	0,04118	4E-08	0,929	0,891
8	0,283166	2,4E-08	0,0411	0,929	0,932
9	0,254571	2,8E-07	3E-06	0,929	0,932
10	0,243786	0,02366	1E-08	0,953	0,932
11	0,19221	5,2E-09	0,0226	0,953	0,955

TBDY-2018, 4.7.3.2'ye göre binanın hakim doğal titreşim periyodu T_p 'in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri, TBDY-2018, 4.7.3.4'te verilen T_{pA} ampirik titreşim periyodunun 1.4 katından daha fazla olamaz.

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(40)^{3/4} = 1,272 \text{ sn}$$

$T_p^{(x)} = 1,995 \text{ sn} > 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$ $T_p^{(x)} = 1,781 \text{ sn'dir.}$

$T_p^{(y)} = 1,516 \text{ sn} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$ $T_p^{(y)} = 1,516 \text{ sn'dir.}$

4.4.2.2 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Moment aktaran çerçeve sistemli 10 katlı yapıya ait taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$, dayanım fazlalığı katsayısı ise $D=3$ 'tür.

Bu örnekteki yapıda deprem yüğü azaltma katsayısı $R_a(T)$,

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

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

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(x) = 1,781 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn}$$

$$T_p(y) = 1,516 \text{ sn} > 0,344 \text{ sn olduğundan,}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{R_x}{I} = \frac{R_y}{I} = \frac{8}{1} = 8 \text{ 'dir.}$$

4.4.2.3 Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve sistemli 10 katlı yapıda *A2 döşeme süreksizliği, A3 planda çıkıntıların bulunması düzensizlik durumu, B1*

komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) ve B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 4.61’de bu örnekteki yapı için A1 türü burulma düzensizliği durumu kontrolü, Çizelge 4.62’de B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolleri yapılmıştır.

Çizelge 4.60 X ve Y Doğrultuları için A1 Türü Burulma Düzensizliği

Kat	$\Delta i^{(x)}_{maks}$	$\Delta i^{(x)}_{ort}$	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta i^{(y)}_{maks}$	$\Delta i^{(y)}_{ort}$	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,002165	0,00216	1,00139	≤ 2	0,00154	0,00152	1,0155	≤ 2
9	0,003135	0,00313	1,0016	≤ 2	0,00247	0,00242	1,0209	≤ 2
8	0,003874	0,00387	1,00155	≤ 2	0,00314	0,00307	1,0223	≤ 2
7	0,004490	0,00448	1,00145	≤ 2	0,00363	0,00354	1,0244	≤ 2
6	0,004711	0,00470	1,00149	≤ 2	0,00363	0,00352	1,0303	≤ 2
5	0,005090	0,00508	1,00148	≤ 2	0,00391	0,00379	1,0311	≤ 2
4	0,005378	0,00537	1,00149	≤ 2	0,00417	0,00404	1,0308	≤ 2
3	0,005315	0,00531	1,0016	≤ 2	0,00411	0,00399	1,0303	≤ 2
2	0,004878	0,00487	1,00154	≤ 2	0,00384	0,00375	1,0248	≤ 2
1	0,002717	0,00271	1,00166	≤ 2	0,00221	0,00217	1,0152	≤ 2

Çizelge 4.61 X ve Y Doğrultuları için B2 Türü Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Kat	$(\Delta i(x)/h_i)_{ort}$	$(\Delta i-1(x)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta i(y)/h_i)_{ort}$	$(\Delta i-1(y)/h_{i-1})_{ort}$	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-9	0,000541	-	-	≤ 2	0,00038	-	-	≤ 2
9-8	0,000783	0,00078	0,69073	≤ 2	0,0006	0,0006	0,6285	≤ 2
8-7	0,000967	0,00097	0,8092	≤ 2	0,00077	0,00077	0,7878	≤ 2
7-6	0,001121	0,00112	0,86272	≤ 2	0,00088	0,00088	0,8672	≤ 2
6-5	0,001176	0,00118	0,95313	≤ 2	0,00088	0,00088	1,0057	≤ 2
5-4	0,001271	0,00127	0,92553	≤ 2	0,00095	0,00095	0,9281	≤ 2
4-3	0,001343	0,00134	0,40261	≤ 2	0,00101	0,00101	0,376	≤ 2
3-2	0,001327	0,00133	1,01197	≤ 2	0,001	0,001	1,0127	≤ 2
2-1	0,001218	0,00122	1,08952	≤ 2	0,00094	0,00094	1,0657	≤ 2
1-Zemin	0,000678	0,00068	1,79558	≤ 2	0,00054	0,00054	1,7226	≤ 2

Koşul değerler sağlandığından bu yapıda *A1 burulma* ve *B2 türü rijitlik düzensizliği* de bulunmamaktadır.

4.4.2.4 Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve sistemli 10 katlı yapıya ait mod birleştirme yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükleri;

$$V_t(x) = 970,83 \text{ kN}$$

$$V_t(y) = 1259,08 \text{ kN}$$

Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi, m_t , 4318,53 kN olarak merkezi çaprazlı 10 katlı yapının kütlesi ile aynıdır.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,069 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,4605}{1,337} = 0,344 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

TBDY-2018, 4.7.1.1 maddesine göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü V_{IE} aşağıdaki koşulu sağlamak zorundadır.

$$V_{IE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad \text{TBDY-2018, Denklem (4.19)}$$

(X) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(X)} = 1,781 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1}/(T_p^{(X)}) = 0,46/1,781 = 0,259$$

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)})/R_a(T_p^{(X)}) = 0,259/8 = 0,0323$$

$$m_t = 4318,53 \text{ t}$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = 4318,53 \times 0,0323 \times 9,81 \geq 0,04 \times 4318,53 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(X)} = 1368,93 \text{ kN} \leq 2265,33 \text{ kN}$$

(Y) doğrultusu için toplam eşdeğer yükü hesabı,

$$T_B = 0,344 \text{ sn} < T_p^{(Y)} = 1,516 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn} \text{ 'dir.}$$

$$S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{D1}/(T_p^{(Y)}) = 0,46/1,516 = 0,304$$

$$S_{aR}(T_p^{(Y)}) = S_{ae}(T_p^{(Y)})/R_a(T_p^{(Y)}) = 0,304/8 = 0,0380$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 4318,53 \times 0,0380 \times 9,81 \geq 0,04 \times 4318,53 \times 1 \times 1,34 \times 9,81$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 1608,85 \text{ kN} \leq 2265,33 \text{ kN}$$

(X) ve (Y) deprem doğrultuları için hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü değerlerinin TBDY-2018, 4.7.1.1 maddesi şartlarını sağlamadığı görülmektedir. TBDY-2018, Denklem (4.19) şartlarının sağlanabilmesi için, yapı periyodu ve deprem yükü azatma katsayısı değerlerinin düşürülmesi gerekmekte olup sistem daha rijit hale getirilmelidir. Moment aktaran çerçeve sisteme merkezi çaprazların ilavesi sistemi daha rijit hale getirecektir.

Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı, β_{tE} hesabı aşağıda yer almakta olup yapı sisteminde herhangi bir düzensizlik bulunmadığından γ_E çarpanı 0,80 olarak alınmıştır.

$$\beta_{tE}(x) = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} = \frac{0,80 \times 1368,93}{970,83} = 1,10 > 1,00$$

$$\beta_{tE}(y) = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} = \frac{0,80 \times 1608,85}{1259,08} = 1,00 \leq 1,00 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu durumda TBDY-2018, 4.8.4.1 maddesine göre mod birleştirme yöntemi ile elde edilen (x) doğrultusundaki tüm azaltılmış iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri $\beta_{ie(x)} = 1,10$ katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

4.4.2.5 Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

$$Tp^{(x)} = 1,781 \text{ sn}; Tp^{(y)} = 1,516 \text{ sn}$$

$$\text{DD2 depremi için: } S_{D1} = 0,4605$$

$$S_{DS} = 1,3368$$

$$\text{DD3 depremi için: } S_{D1} = 0,163$$

$$S_{DS} = 0,541$$

$$\lambda x = \frac{0,092}{0,259} = 0,354; \lambda y = \frac{0,108}{0,304} = 0,354$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD2} = 0,461/1,781 = 0,259$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD2} = 0,461/1,516 = 0,304$$

$$S_{ae}(T_{px})_{DD3} = 0,163/1,781 = 0,092$$

$$S_{ae}(T_{py})_{DD3} = 0,163/1,516 = 0,108$$

Çizelge 4.63 (X) doğrultusu için, Çizelge 4.64 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolünü göstermektedir. En büyük kat ötelemeleri değerleri, TBDY-2018, 4.9.1.3 (b)'ye göre 0,008 değerini aşmamalıdır.

Çizelge 4.62 (X) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(x)	$\Delta i(x)$	$\delta i(x) = (R/I)\Delta i(x)$	$\lambda(\delta i(x)/h_i)$
Çatı (493)	4	0,062421	0,001532	0,012256	0,00108
9 (9602)	4	0,060889	0,002863	0,022904	0,00203
8 (8609)	4	0,058026	0,004418	0,035344	0,00313
7 (7596)	4	0,053608	0,006034	0,048272	0,00427
6 (6577)	4	0,047574	0,007012	0,056096	0,00496
5 (3716)	4	0,040562	0,008125	0,065	0,00575
4 (2723)	4	0,032437	0,009137	0,073096	0,00647
3 (1730)	4	0,0233	0,00942	0,07536	0,00667
2 (737)	4	0,01388	0,008855	0,07084	0,00627
1 (6991)	4	0,005025	0,005025	0,0402	0,00356

Çizelge 4.663 (Y) doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü

Kat	hi	ui(y)	$\Delta_i(y)$	$\delta_i(Y)=(R/I)\Delta_i(y)$	$\lambda(\delta_i(y)/h_i)$
Çatı (493)	4	0,047902	0,001096	0,008768	0,00078
9 (9602)	4	0,046806	0,0022	0,0176	0,00156
8 (8609)	4	0,044606	0,003395	0,02716	0,00240
7 (7596)	4	0,041211	0,004624	0,036992	0,00327
6 (6577)	4	0,036587	0,005224	0,041792	0,00370
5 (3716)	4	0,031363	0,006126	0,049008	0,00434
4 (2723)	4	0,025237	0,006977	0,055816	0,00494
3 (1730)	4	0,01826	0,007204	0,057632	0,00510
2 (737)	4	0,011056	0,006942	0,055536	0,00491
1 (6991)	4	0,004114	0,004114	0,032912	0,00291

(X) ve (Y) yönündeki en büyük görelî kat ötelemeleri 3. katta meydana gelmiş olup 0,008 sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir.

4.3.2.6 İkinci Mertebe Etkileri

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve sistemli 10 katlı yapının ikinci mertebe etkileri Denklem 3.35 ve 3.36 yardımıyla hesaplanmış; bulunan sonuçlar Çizelge 4.65 ve Çizelge 4.66'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.64 (X) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(x)}{}_{ort} (m)$	wk (kN)	$V_i^{(x)} (kN)$	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (493)	0,00216	3808,80	48,97	4	0,0420
9 (9602)	0,00313	8092,80	117,52	4	0,0539
8 (8609)	0,00387	12376,80	201,98	4	0,0593
7 (7596)	0,00448	16660,80	299,83	4	0,0623
6 (6577)	0,00470	20944,80	408,22	4	0,0603
5 (3716)	0,00508	25228,80	525,55	4	0,0610
4 (2723)	0,00537	29512,80	649,80	4	0,0610
3 (1730)	0,00531	33796,80	770,64	4	0,0582
2 (737)	0,00487	38080,80	900,58	4	0,0515
1 (6991)	0,00271	42364,80	970,83	4	0,0296

Çizelge 4.65 (Y) doğrultusu için ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	$\Delta_i^{(y)}{}_{ort}$ (m)	wk (kN)	$V_i^{(y)}$ (kN)	hi	$\theta_{II,max}$
Çatı (493)	0,00152	3808,80	55,79	4	0,0259
9 (9602)	0,00242	8092,80	143,74	4	0,0340
8 (8609)	0,00307	12376,80	255,73	4	0,0371
7 (7596)	0,00354	16660,80	386,22	4	0,0382
6 (6577)	0,00352	20944,80	523,19	4	0,0352
5 (3716)	0,00379	25228,80	672,31	4	0,0356
4 (2723)	0,00404	29512,80	832,45	4	0,0358
3 (1730)	0,00399	33796,80	999,71	4	0,0337
2 (737)	0,00375	38080,80	1098,77	4	0,0324
1 (6991)	0,00217	42364,80	1259,08	4	0,0183

$$\theta_{II,max(x)} = 0,0623 \geq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

$$\theta_{II,max(y)} = 0,0382 \leq 0,12 \frac{2}{1 \times 5} = 0,048$$

Yapılan hesaplar sonucunda, (X) doğrultusuna ait en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin sınır koşul değerlerini sağlamadığı görülmektedir.

TBDY-2018, 4.9.2.2’de tüm katlar için hesaplanan en büyük ikinci mertebe gösterge değerlerinin $\theta_{II,max}$ yukarıda verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınmasının gerekli olmadığı belirtilmiştir.

TBDY-2018, 4.9.2.3 maddesine göre yukarıdaki koşulun sağlanamaması durumunda, gözönüne alınan (X) ve (Y) deprem doğrultuları için tüm iç kuvvetler aşağıda tanımlanan *ikinci mertebe büyütme katsayısı* β_{II} ile çarpılarak artırılmalı ya da taşıyıcı sistem rijitlik ve dayanımı uygun şekilde artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

ÇYTHYE-2016, 6.1 maddesine göre ise sınır koşul değeri sağlansa dahi tasarımda ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması gerekliliği belirtilmiş olduğundan analiz ve hesaplarda ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmıştır.



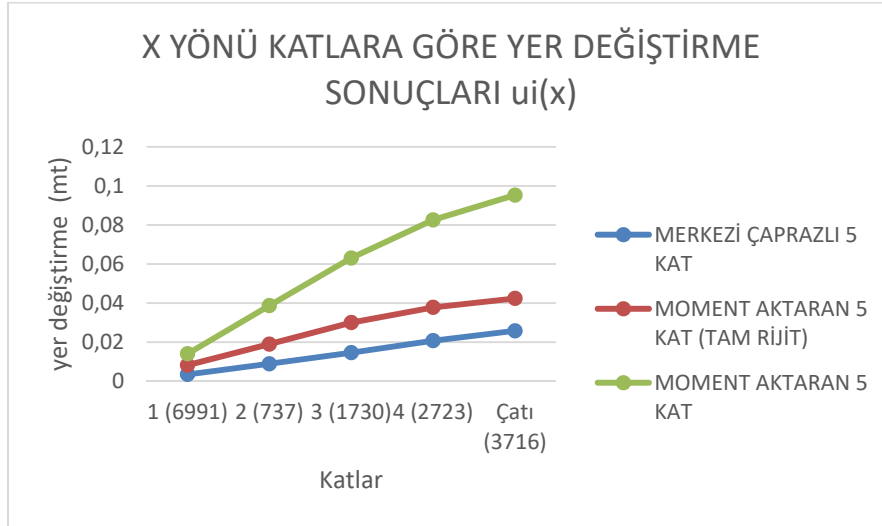
5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve TARTIŞMA

5.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda her iki yapı modeli için katlara göre yer değiştirme u_i , etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerine $\theta_{II,i}$ ait sonuçlar çizelgelerde bir araya getirilerek grafikler yardımıyla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 5.1 (X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirmeler

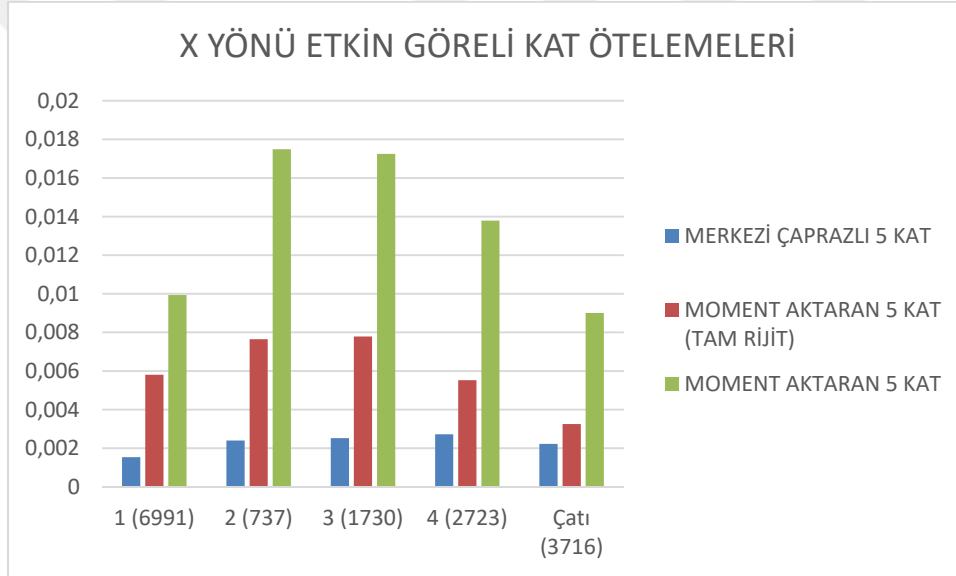
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,025787	0,0424	0,095307
4 (2723)	0,020755	0,0378	0,082583
3 (1730)	0,014603	0,03	0,063097
2 (737)	0,008895	0,019	0,038736
1 (6991)	0,003465	0,0082	0,01403



Şekil 5.1 (X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları

Çizelge 5.2 (X) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri

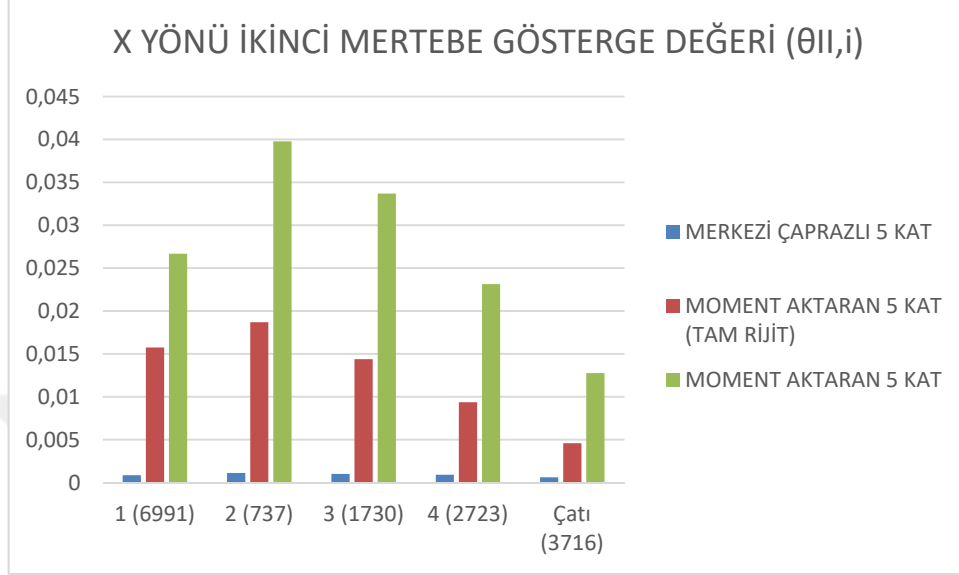
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,00223	0,00326	0,00901
4 (2723)	0,00272	0,00552	0,01379
3 (1730)	0,00253	0,00779	0,01725
2 (737)	0,00240	0,00765	0,01749
1 (6991)	0,00153	0,00580	0,00993



Şekil 5.2 (X) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Sonuçları

Çizelge 5.3 (X) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

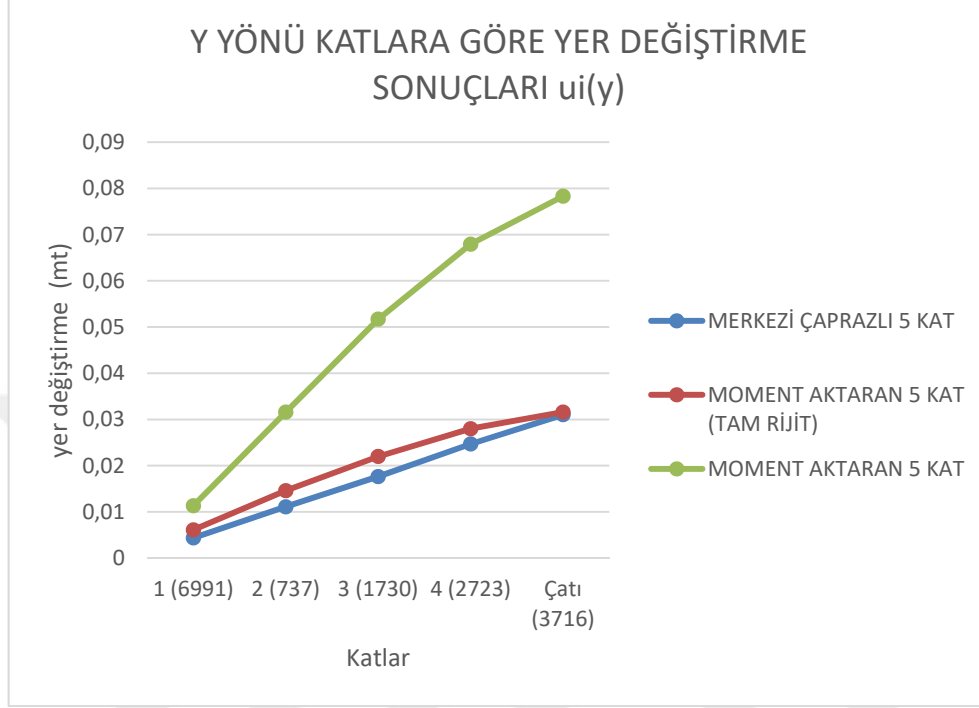
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,000624899	0,004592312	0,012765645
4 (2723)	0,000928183	0,009370088	0,023139773
3 (1730)	0,001016038	0,014395829	0,033695115
2 (737)	0,00112242	0,018701514	0,039779941
1 (6991)	0,000858165	0,015758499	0,026684331



Şekil 5.3 (X) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları

Çizelge 5.4 (Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirmeler

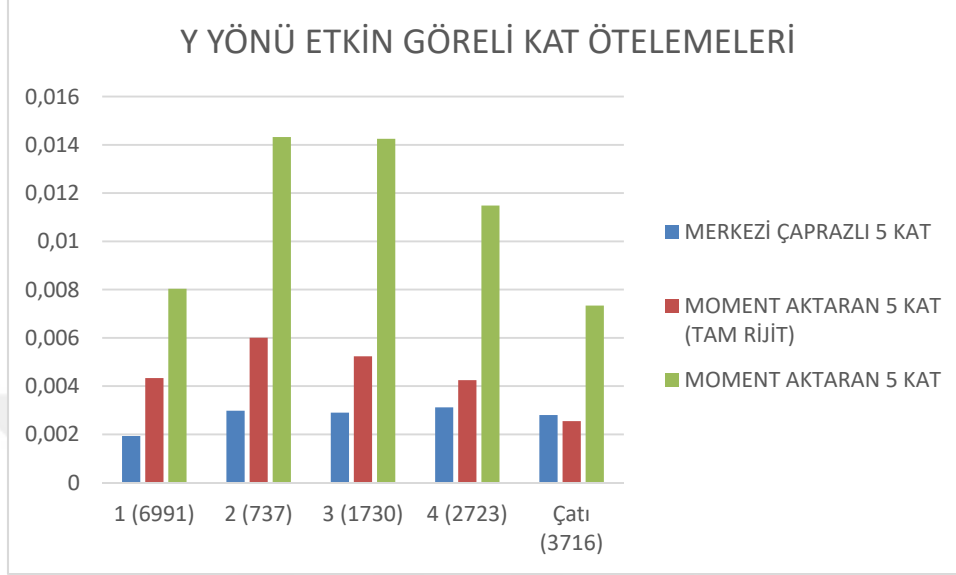
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,031032	0,0316	0,078296
4 (2723)	0,024699	0,028	0,067933
3 (1730)	0,017645	0,022	0,051714
2 (737)	0,011096	0,0146	0,031581
1 (6991)	0,004362	0,00612	0,011346



Şekil 5.4 (Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları

Çizelge 5.5 (Y) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri

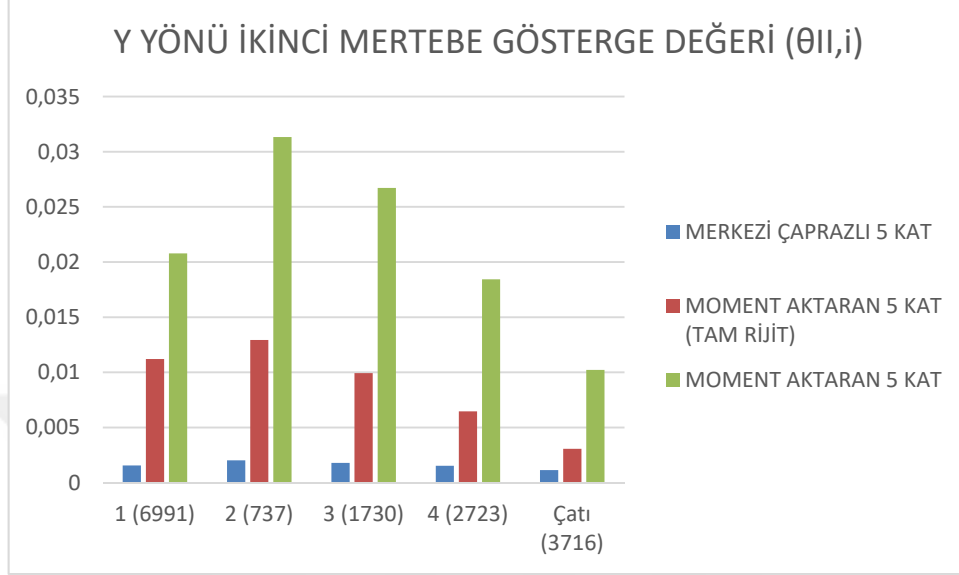
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,00280	0,00255	0,00734
4 (2723)	0,00312	0,00425	0,01148
3 (1730)	0,00290	0,00524	0,01425
2 (737)	0,00298	0,00600	0,01432
1 (6991)	0,00193	0,00433	0,00803



Şekil 5.5 (Y) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Sonuçları

Çizelge 5.6 (Y) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,00113	0,00306	0,01022
4 (2723)	0,00153	0,00646	0,01844
3 (1730)	0,00178	0,00993	0,02672
2 (737)	0,00201	0,01293	0,03133
1 (6991)	0,00156	0,01120	0,02078



Şekil 5.6 (Y) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları

(X) ve (Y) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları grafikleri incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.

(X) ve (Y) yönü etkin görelî kat ötelemeleri grafikleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.

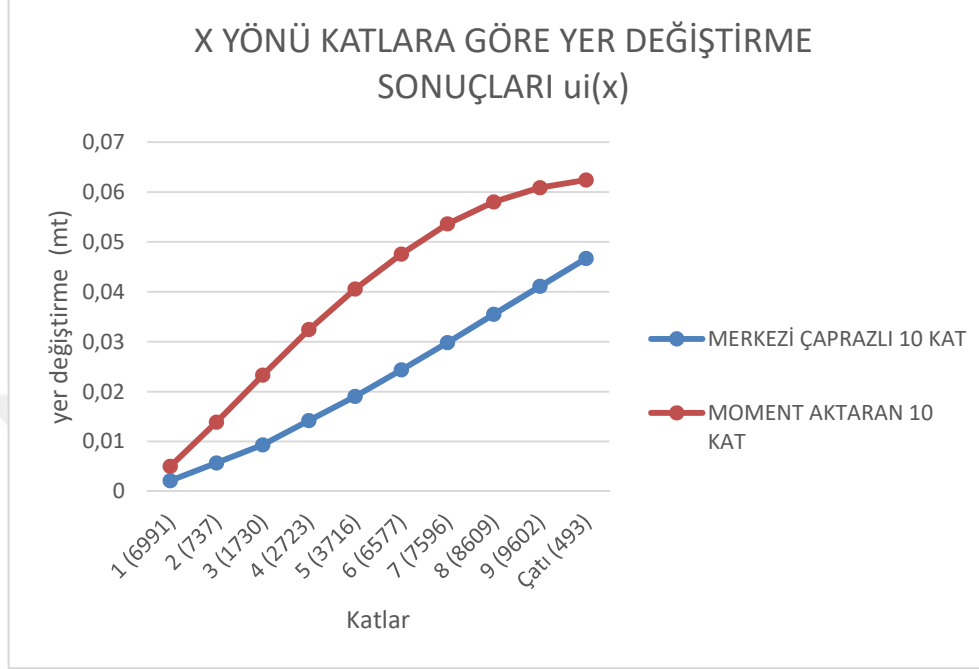
(X) ve (Y) yönü ikinci mertebe gösterge değerlerine ait grafik sonuçları incelendiğinde, moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde bu değerlerin sınır değere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 10 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 10 katlı her iki yapı modeli için elde edilen katlara göre yer değiştirme u_i , etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerine $\theta_{II,i}$ ait sonuçlar çizelgelerde bir araya getirilerek grafikler yardımıyla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 5.7 (X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirmeler, u_i

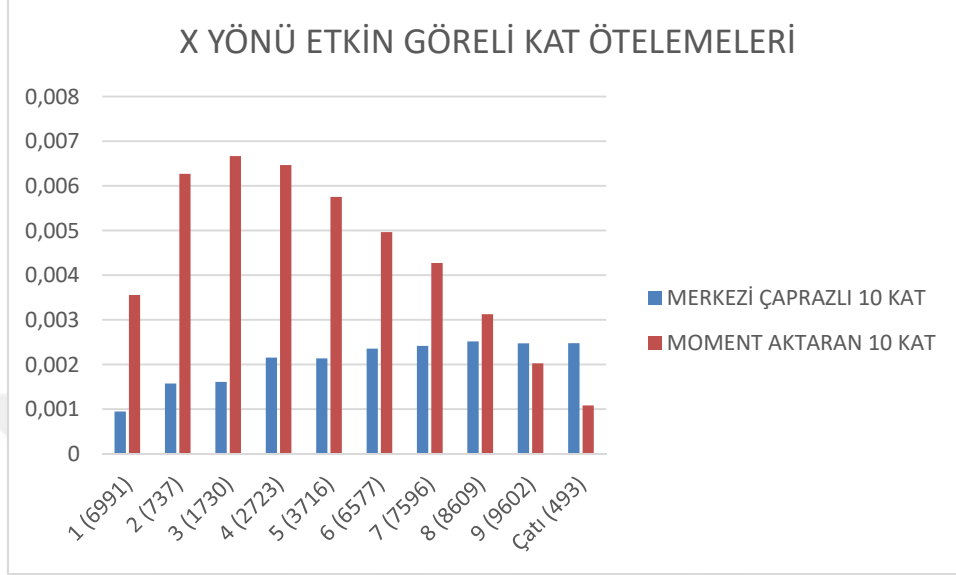
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (493)	0,046708	0,062421
9 (9602)	0,041105	0,060889
8 (8609)	0,035513	0,058026
7 (7596)	0,029826	0,053608
6 (6577)	0,024363	0,047574
5 (3716)	0,019038	0,040562
4 (2723)	0,014208	0,032437
3 (1730)	0,009338	0,0233
2 (737)	0,005698	0,01388
1 (6991)	0,002138	0,005025



Şekil 5.7 (X) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları

Çizelge 5.8 (X) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri

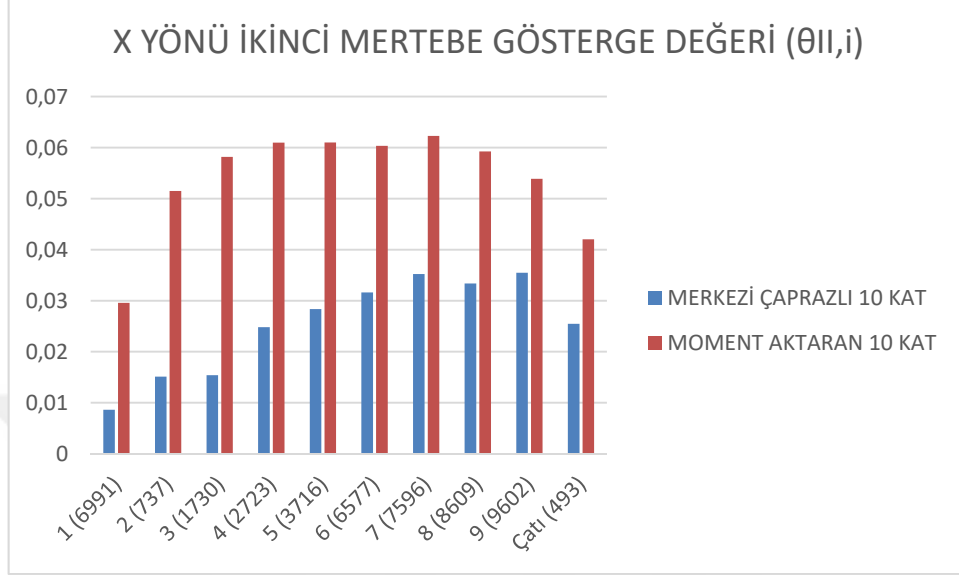
Kat	Merkezi Çaprazlı $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$	Moment Aktaran (Tam rijit) $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$
Çatı (493)	0,00248	0,00108
9 (9602)	0,00247	0,00203
8 (8609)	0,00252	0,00313
7 (7596)	0,00242	0,00427
6 (6577)	0,00236	0,00496
5 (3716)	0,00214	0,00575
4 (2723)	0,00215	0,00647
3 (1730)	0,00161	0,00667
2 (737)	0,00158	0,00627
1 (6991)	0,00095	0,00356



Şekil 5.8 (X) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Sonuçları

Çizelge 5.9 (X) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

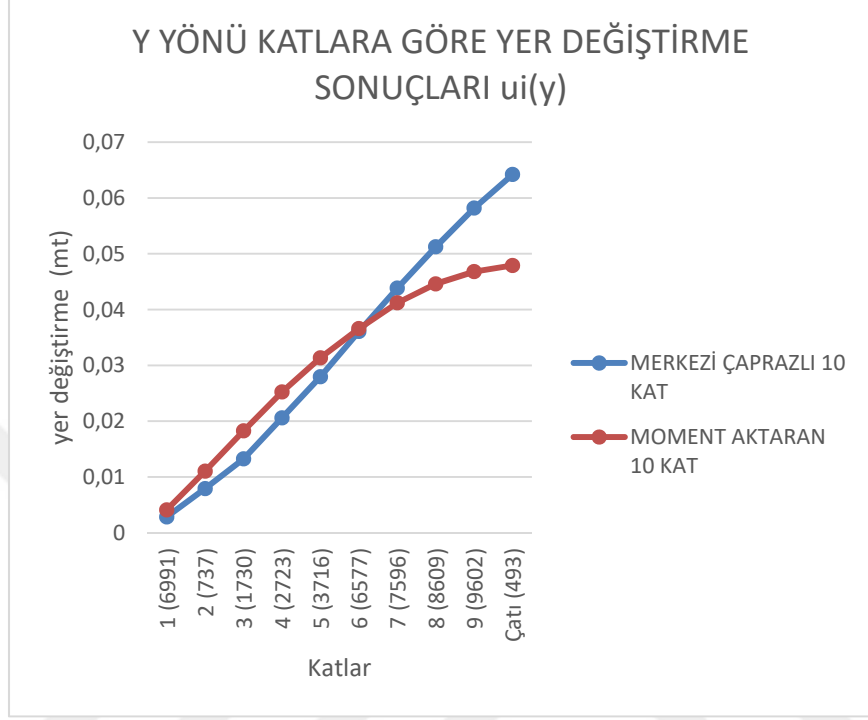
Kat	Merkezi Çaprazlı $\theta_{II,i}$	Moment Aktaran (Tam rijit) $\theta_{II,i}$
Çatı (493)	0,0255	0,0420
9 (9602)	0,0355	0,0539
8 (8609)	0,0334	0,0593
7 (7596)	0,0352	0,0623
6 (6577)	0,0316	0,0603
5 (3716)	0,0284	0,0610
4 (2723)	0,0248	0,0610
3 (1730)	0,0154	0,0582
2 (737)	0,0151	0,0515
1 (6991)	0,0086	0,0296



Şekil 5.9 (X) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları

Çizelge 5.10 (Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirmeler, $u_i(y)$

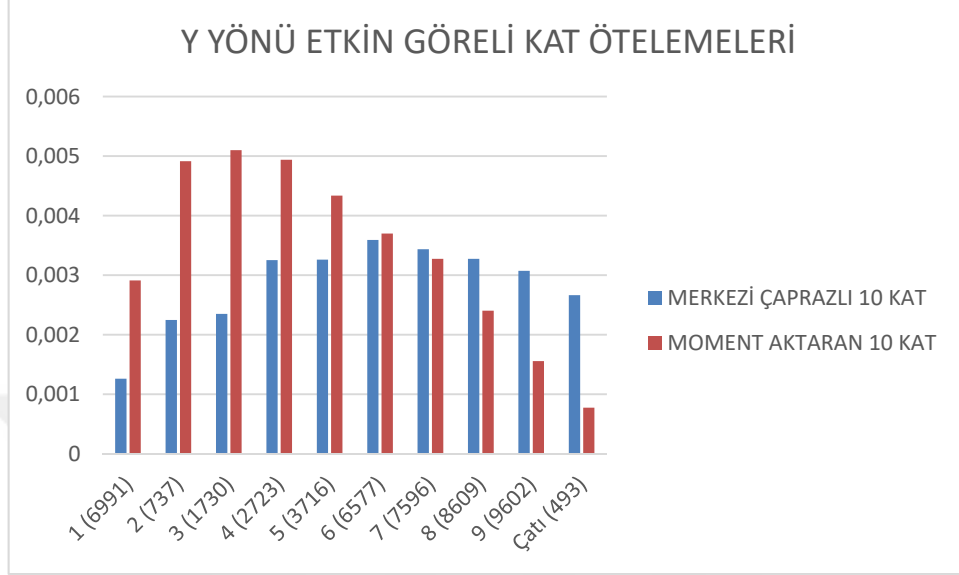
Kat	Merkezi Çaprazlı	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (493)	0,06421	0,047902
9 (9602)	0,05819	0,046806
8 (8609)	0,051247	0,044606
7 (7596)	0,043847	0,041211
6 (6577)	0,036081	0,036587
5 (3716)	0,027965	0,031363
4 (2723)	0,020593	0,025237
3 (1730)	0,013241	0,01826
2 (737)	0,007931	0,011056
1 (6991)	0,002851	0,004114



Şekil 5.10 (Y) Yönü Katlara Göre Yerdeğiştirme Sonuçları

Çizelge 5.11 (Y) Yönü Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Sonuçları

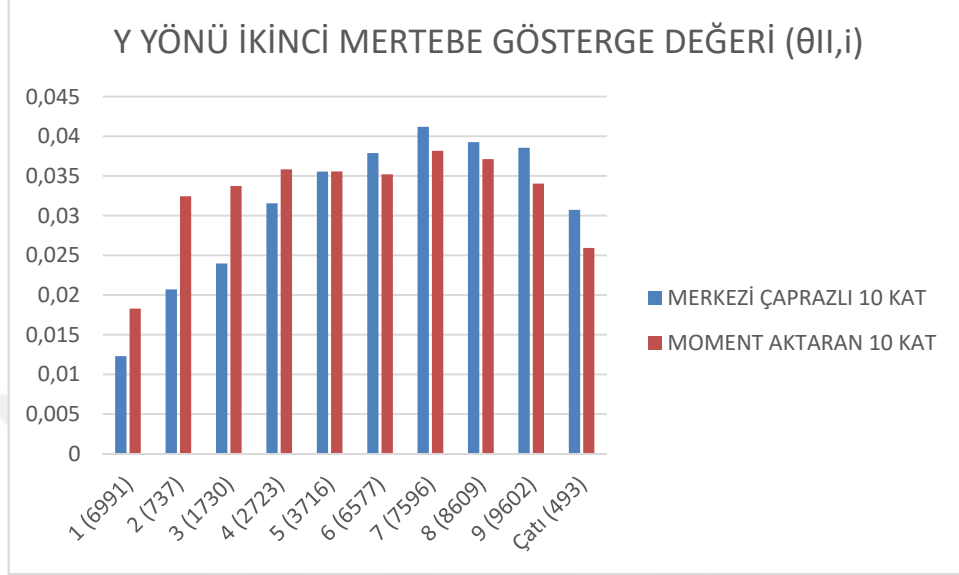
Kat	Merkezi Çaprazlı $\lambda(\delta_i(y)/h_i)$	Moment Aktaran (Tam rijit) $\lambda(\delta_i(y)/h_i)$
Çatı (493)	0,00266	0,00078
9 (9602)	0,00307	0,00156
8 (8609)	0,00327	0,00240
7 (7596)	0,00344	0,00327
6 (6577)	0,00359	0,00370
5 (3716)	0,00326	0,00434
4 (2723)	0,00325	0,00494
3 (1730)	0,00235	0,00510
2 (737)	0,00225	0,00491
1 (6991)	0,00126	0,00291



Şekil 5.11 (Y) Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Sonuçları

Çizelge 5.12 (Y) Yönü İkinci Mertebe Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

Kat	Merkezi Çaprazlı $\theta_{II,i}$	Moment Aktaran (Tam rijit) $\theta_{II,i}$
Çatı (493)	0,0307	0,0259
9 (9602)	0,0386	0,0340
8 (8609)	0,0392	0,0371
7 (7596)	0,0412	0,0382
6 (6577)	0,0379	0,0352
5 (3716)	0,0356	0,0356
4 (2723)	0,0316	0,0358
3 (1730)	0,0240	0,0337
2 (737)	0,0207	0,0324
1 (6991)	0,0123	0,0183



Şekil 5.12 (Y) Yönü İkinci Mertebe Gösterge Değerleri Sonuçları

(X) ve (Y) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları, görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerleri grafikleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (x) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, 5 ve 10 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı dört yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği esaslarına göre tasarımları yapılmıştır. Dört yapı örneğinin de 38.604675° enleminde 39.28091° boylamında ve ZC zemin sınıfında olduğu varsayılmış olduğundan TBDY-2018 deprem parametreleriyle ilgili tüm veriler aynı sonuçları vermiştir.

5 ve 10 katlı yapı modellerinin hepsi 30 metre boyunda 24 metre eninde olup x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla oluşturulan ikincil kirişler de ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi açısından, gerek zemin bilgileri gerek kat planlarının tüm örneklerde aynı olduğu düşünülmüştür.

Süneklik düzeyi yüksek 5 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı yapı sistemlerinin analizleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapılmıştır. Bu iki yapı örneği analiz sonuçları kendi aralarında karşılaştırılarak, moment aktaran sistem ile merkezi çaprazlı sistemin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Birinci örnekte merkezi çaprazlı 5 katlı yapı örneği ele alınmış TBDY-2018 kapsamında modellemesi ve analizleri yapılmış; ÇYTHYE-2016 kapsamında ise kolon, kiriş ve merkezi çaprazların boyutlandırma hesapları ve dayanım kontrolleri yapılmıştır. Yapılan hesaplar neticesinde, kolon, kiriş ve merkezi çaprazlarda kullanılan profillerin ÇYTHYE-2016 yönetmeliği ışığında gerekli koşulları sağladığı gösterilmiştir.

Birinci örnekte, kirişlerin kolonlara ve çaprazların düğüm noktalarına bağlantısı mafsallıdır. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele her iki eksen yönünde mafsallı mesnetlenmiştir.

İkinci örnekte, birinci örnekteki modelin merkezi çaprazları iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür. Ana çerçeve kirişlerin

kolonlara bağlantısı, kolon zayıf eksen doğrultusunda mafsallı, kuvvetli eksen doğrultusunda ankastre olarak bağlanmıştır. Kolonlar ± 0.00 kotunda temele ankastre mesnetlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde, merkezi çaprazlar iptal edilmesine rağmen kolon profillerinin yeterli dayanıma sahip olduğu görüldüğünden kesit büyütülmesine gerek duyulmamıştır. Ancak analizler sonucu yapılan kontrollerde, katlara ait görelî kat ötelemeleri değerlerinin 0,008 değerini aştığı görülmüştür. TBDY-2018 4.9.1.6 maddesine göre koşulun sağlanamaması durumunda taşıyıcı sistemin rijitliğinin artırılması ve analizlerin tekrarlanması istendiğinden, ana çerçeve kirişleri kolonlara ankastre bağlanmış ve döşeme kalınlığı artırılarak sistem daha rijit hale getirilmiştir. Bu sebeple 5. Bölümde yer alan çizelge ve şekillerde 5 katlı moment aktaran çerçeve yapıya ait iki farklı veri bulunmaktadır.

Üçüncü ve dördüncü örnekte süneklik düzeyi yüksek 10 katlı merkezi çaprazlı ve moment aktaran yapı sistemleri incelenmiş; analizleri Mod Birleştirme Yöntemine göre yapılmıştır. Mod birleştirme yöntemine göre her iki yapı örneğinin periyod değerleri kütle katılım oranlarına göre hesaplanmış; analiz sonrasında düzensizlik, taban kesme kuvveti, görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri kontrolleri yapılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek 10 katlı merkezi çaprazlı sistemde kolonlar 1-3. katlar arası HE600B, 4-10. katlar arası HE450B olarak tasarlanmıştır. Süneklik düzeyi yüksek 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemde ise kolonlar 1-3 katları arası HE900B, 3-6 katları arası HE800B, 7-10 katları arası HE650B olarak tasarlanmıştır. Ana kiriş ve ikincil kirişler 5 katlı yapı örneklerindeki profillerle aynıdır.

Süneklik düzeyi yüksek 10 katlı moment aktaran çerçeve sisteminin analizi sonrası taban kesme kuvveti kontrollerinde TBDY-2018, 4.7.1.1 maddesi şartlarının sağlanmadığı görülmüştür. TBDY-2018, 4.7.1.1 ve Denklem (4.19) şartlarının sağlanabilmesi için, yapı sistemi daha rijit hale getirilmelidir. Moment

aktaran çerçeve sistemde kesitler büyütülse dahi bu koşulun sağlanmadığı görülmüş olup merkezi çaprazların ilavesinin sistemi daha rijit hale getireceği ve ilgili yönetmelik koşullarının sağlanacağı düşünülmektedir.

4. Bölümde bulunan *Yapı Örnekleri* ve 5. Bölümde bulunan *Örnek Sonuçlarının Karşılaştırılması* incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Moment aktaran çerçeve sistemlere ait (x) ve (y) yönündeki bina hakim doğal titreşim periyodu, merkezi çaprazlı sistemlere ait bina periyotlarından daha uzun çıkmıştır.

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre analizi yapılan 5 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin 2 kat kadar fazla olduğu görülmüştür. İki modele ait yapı ağırlıkları aynı olup, merkezi çaprazlı sistemde taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen kesme kuvvetlerinin fazla çıkmasının nedeni deprem yükü azaltma katsayısıdır. Merkezi çaprazlı sistemde $R/I = 5$ iken moment aktaran sistemde $R/I = 8$ 'dir. Merkezi çaprazlı sistemler daha rijit olup deprem kuvveti daha fazla bu yapılara etkimektedir.

- Mod Birleştirme Yöntemine göre analizi yapılan 10 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin daha büyük olduğu görülmüştür.

- Yapı modellerinin hiçbirinde A1 türü burulma düzensizliği, B2 türü rijitlik düzensizliği ve diğer düzensizlikler görülmemiştir.

- (X) ve (Y) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları grafikleri incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.

- (X) ve (Y) yönü etkin görel kat ötelemeleri grafikleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.

- (X) ve (Y) yönü ikinci mertebe gösterge değerlerine ait grafik sonuçları incelendiğinde, moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde bu değerlerin sınır değere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (x) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında dört farklı yapı örneği incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemlerde TBDY-2018 yönetmelik sınır koşul değerlerinin daha kolay sağlandığı görülmüştür. Merkezi çaprazların kullanımı ile kolonların daha küçük kesitlerle tasarlanabildiği ve daha ekonomik sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Özellikle kat yüksekliği arttıkça merkezi çaprazların ilavesi sistem rijitliklerinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aktaş, A.Y., 2019. Çelik Yapılarda “Yük Ve Dayanım Katsayıları İle Tasarım (YDKT)” Ve “Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)” Yaklaşımlarının Değerlendirilip Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 105 s.
- Aydınoglu M. N., Özer E., Celep Z., Özaydın K., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- Celep Z., Kumbasar N., 2004. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Profesörleri, İstanbul.
- ÇYTHYE, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, Ankara
- Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., Çağlayan Ö., 2012. Çelik Yapılar. Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- Kulak, M., 2019. Çelik Yapıların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizi ve Spektrum Eşleştirme Parametrelerinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir, 140 s.
- Mertol A., Mertol H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Ankara.
- Nowbahari, F.A., 2021. Burulma Düzensizliği Bulunan Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Analiz ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Sakarya, 99 s.
- Öz D., 2018. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 171 s.

- Özmen G., Orakdöğen E., Darılmaz K., 2018. Örneklerle SAP2000 v.20. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- SAP2000 v20.0.0. Structural Analysis Program Berkeley, California.
- TBDY-2018,2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabı, Ankara.
- TS 498 (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1991-1-3, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1991-1-4, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Etkileri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Tütüncü B., 2019. Çok Katlı Bir Çelik Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e Göre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 179 s.
- Uz A., 2020. Çok Katlı Bir Çelik Yapının TBDY-2019 Ve Çelik Yapılar Yönetmeliği-2016 Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir, 61 s.
- Yorgun C., Topkaya C., Vatansever C., 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Eğitim Ders Notları, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankar

ÖZGEÇMİŞ

2004 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. 2017’de Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2008-2014 yılları arasında özel sektörde çalışmış olup 2014 yılından beri Adana Çevre Şehircilik İl Müdürlüğünde inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve 1 çocuk annesidir.

