

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇOK KATLI  
ÇELİK YAPILARIN 2018 DEPREM  
YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZ VE TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fahim Ahmad NOWBAHARI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA**

**Ocak 2021**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇOK KATLI  
ÇELİK YAPILARIN 2018 DEPREM  
YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZ VE TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fahım Ahmad NOWBAHARI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 26.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Dr.Öğr. Üyesi**  
**Elif AĞCAKOCA**  
**Jüri Başkanı**

**Dr.Öğr. Üyesi**  
**Zeynep YAMAN**  
**Üye**

**Dr.Öğr. Üyesi**  
**Elif BORU**  
**Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fahım Ahmad NOWBAHARI

26.01.2021

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerim sırasında hiçbir zaman yol göstermekten vazgeçmeyen, bilgisine sıklıkla başvurduğum Dr. Mohammad Manzoor NASERY'a minnetlerimi sunarım.

Son olarak hayatımın her evresinde maddi, manevi desteklerini esirgemeyen ailemin tüm fertlerine teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY .....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Genel Tanıtım .....	1
1.2. Tezin Konusu ve Amacı .....	5
BÖLÜM 2.	
LİTERATRÜR ÇALIŞMASI .....	7
2.1. Çok Katlı Yapılar ile İlgili Çalışmalar .....	7
2.2. Çaprazlar ile İlgili Çalışmalar.....	8
2.3. Düzensiz Yapılarla İlgili Çalışmalar .....	11
BÖLÜM 3.	
TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNİN (TBDY-2018) TASARIM ESASLARI.....	16
3.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.....	16
3.1.1. TBDY-2018’de tanımlanan deprem yer hareketinin düzeyleri (DYHD).....	16
3.1.2. Yer hareketlerin spektrumları.....	17

3.1.3. Harita ve tasarım spektral ivme katsayıları (HSİK) .....	17
3.1.4. Yerel zemin etki katsayıları (YZEK).....	18
3.1.5. Yatay elastik tasarım spektrumu.....	19
3.1.6. Düşey elastik tasarım spektrumu .....	20
3.1.7. Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	21
3.1.8. Bina yükseklik sınıfı (BYS) .....	22
3.2. Düzensiz Binalar.....	22
3.2.1. Düzensiz binalarla ilgili koşullar .....	25
3.3. Bina Taşıyıcı Sistem Tasarım Yöntemleri.....	26
3.3.1. Deprem yükü azaltma katsayısı (DYAK).....	27
3.3.2. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (TSDK) .....	27
3.3.3. Taşıyıcı sisteme göre D ve R katsayıları .....	28
3.4. Deprem Etkisinin Tanımlanması .....	28
3.4.1. Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu.	28
3.4.2. Yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi .....	29
3.4.3. Düşey deprem etkisi .....	29
3.4.4. Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi .....	30
3.5. Kütlelerin Modellenmesi .....	30
3.6. Doğrusal Hesap Yöntemleri .....	30
3.6.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle lineer analiz.....	31
3.6.2. Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı .....	31
3.6.3. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması .....	32
3.6.4. Binanın hâkim doğal titreşim periyotlarının hesaplanması .....	33
3.6.5. Mod birleştirme hesap yöntemi (MBY) .....	33
3.6.5.1. Mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan eşdeğer deprem yöntemine göre kontrolü .....	36
3.7. Görelî Kat Ötelemeleri Hesabı ve Kontrolü .....	37
3.8. İkinci Mertebe Etkileri.....	38

## BÖLÜM 4.

### SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI YAPININ

TBDY-2018'E GÖRE ANALİZİ.....	39
4.1. Analizi Yapılacak Binanın Genel Özellikleri .....	39
4.2. Kullanılan Malzeme.....	41
4.3. Kullanılan Kesitler .....	42
4.4. Tasarımda Kullanılan Yapıya Etkiyen Yükler .....	44
4.4.1. Sabit ve hareketli yükleri.....	44
4.4.2. Rüzgâr yükü.....	44
4.5. Analiz için Bilgisayar Programının Kullanımı .....	49
4.6. Yapının Analizi.....	49
4.6.1. Deprem verileri.....	50
4.6.2. Mod birleştirme yöntemiyle analiz.....	50
4.6.2.1. Deprem yatay yasarım spektrumu.....	50
4.6.2.2. Azaltılmış yatay deprem spektrumu.....	51
4.6.2.3. Düşey deprem etkisi.....	53
4.7. Dayanım Sınır Durumuna Göre Tasarım.....	53
4.7.1. Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) .....	53
4.7.2. Yük kombinasyonları .....	53

## BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR .....	55
5.1. X ve Y Deprem Doğrultusunda Modellerin Periyotları .....	55
5.1.1. Taban kesme kuvvetlerin kontrolü .....	57
5.1.2. Kütle katılım oranı.....	62
5.1.3. Göreli kat ötelemelerin kontrolü.....	62
5.1.4. İkinci mertebe etkisi kontrolü.....	64
5.1.5. Yer değiştirme sonuçları.....	66
5.1.6. Düzensizlik kontrolleri .....	69
5.1.6.1. Burulma düzensizliği kontrolü.....	69
5.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Elde Edilen Analiz Verileri .....	71

5.2.1. X ve Y deprem doğrultusunda modellerin taban kesme kuvvetleri.....	72
5.2.2. Taban kesme kuvvetlerin katlara dağılımı.....	74
5.2.3. Göreli kat ötelemelerin kontrolü oranlarının kontrolü .....	75
5.2.4. İkinci merteye etkisi kontrolü.....	77
5.2.5. X ve Y doğrultuda modellerin maksimum yer değiştirmesi.....	78
5.2.6. Burulma düzensizliği kontrolü .....	81
5.3. Mod Birleştirme ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Hesaplanan Sonuçların Karşılaştırması.....	82
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	95
6.1. Sonuçlar .....	95
6.2. Öneriler .....	98
KAYNAKLAR .....	100
ÖZGEÇMİŞ .....	103



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfın
ÇYTHYE-2016	: 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
DBYBHY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DÇÇ	: Dışmerkez Çelik Çapraz
DETS	: Düşey Elastik Tasarım Spektrumu
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfları
DYHD	: Deprem Yer Hareketi Düzeylerine
EDYY	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
GKT	: Güvenlik Katsayılarıyla Tasarım
HSİK	: Harita Spektral İvme Katsayıları
KTKK	: Karelerinin Toplamının Kare Kökü
MAÇ	: Moment Aktaran Çerçevelere
MBY	: Mod Birleştirme Yöntemi
MÇÇ	: Merkezi Çelik Çapraz
SAP2000	: Structural Analysis Program
ŞGDT	: Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDTH-2018	: Türkiye Deprem Tehlike Haritasında
TKB	: Tam Karesel Birleştirme (TKB)
TS648	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği
TSHK	: Tasarım Spektral İvme Katsayıları
YDKT	: Yüğü Ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım
YETS	: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

YZEK

: Yerel Zemin Etki Katsayılarına

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ) .....	4
Şekil 1.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) .....	4
Şekil 1.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ).....	4
Şekil 3.1. AFAD, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TBDY-2018) .....	16
Şekil 3.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY-2018).....	19
Şekil 3.3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY-2018).....	20
Şekil 3.4. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY-2018) .....	21
Şekil 3.5. A1 Türü Düzensizlik (TBDY-2018).....	24
Şekil 3.6. A2 Türü Düzensizlik (TBDY-2018).....	24
Şekil 3.7. A3 Türü Düzensizlik (TBDY-2018).....	24
Şekil 3.8. B3 Türü Düzensizlik (TBDY-2018) .....	25
Şekil 3.9. Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Dağılımı (TBDY-2018).....	33
Şekil 4.1. Yapı 3D Görüntüsü .....	39
Şekil 4.2. S0 Model Yapı Planı.....	40
Şekil 4.3. Yapı Tipik Enkesit .....	40
Şekil 4.4. Yapı Planında Çapraz Yerleşim Planları .....	41
Şekil 4.5. Rüzgâr Yönü .....	47
Şekil 4.6. Binaya Rüzgâr Yüğü Etkime Şekli, (TS EN 1991-1-4).....	48
Şekil 4.7. DD-2 Deprem Düzeyi Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Sae(T).....	51
Şekil 4.8. DD-2 Deprem Düzeyi için Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	52
Şekil 5.1. Modellerin X Doğrultusunda Hâkim Doğal Titreşim Periyodu .....	56
Şekil 5.2. Modellerin Y Doğrultusunda Hâkim Doğal Titreşim Periyodu .....	57
Şekil 5.3. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY).....	58
Şekil 5.4. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY).....	59
Şekil 5.5. Modellerin X Doğrultusun Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY).....	61



Şekil 5.36. S8 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi.....	91
Şekil 5.37. S9 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi.....	92
Şekil 5.38. S9 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi.....	92
Şekil 5.39. Modellerin Katlarına ait X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY) .....	93
Şekil 5.40. Modellerin Katlarına ait X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	93
Şekil 5.41. Modellerin Katlarına ait Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY) .....	94
Şekil 5.42. Modellerin Katlarına ait Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	94

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Kısa Periyot Bölgesi için YZEK (TBDY-2018).....	18
Tablo 3.2. 1.0 Saniye Periyot için YZEK (TBDY-2018) .....	18
Tablo 3.3. Bina Önem Katsayıları ve Bina Kullanım Sınıfları (TBDY-2018) .....	21
Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY-2018) .....	22
Tablo 3.5. DTS ve BYS'ye Bağlı Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY-2018) .....	22
Tablo 3.6. Düzensiz Binalar (TBDY-2018).....	23
Tablo 3.7. Bina Taşıyıcı Sistemleri için D, R ve İzin Verilen BYS (TBDY-2018) .....	28
Tablo 3.8. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY-2018).....	30
Tablo 3.9. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar (TBDY-2018) .....	31
Tablo 4.1. Sıcakta Haddelenmiş Yapısal Çelik Malzemesinin mekanik özellikleri (ÇYTHYE-2016).....	42
Tablo 4.2. Kolonlarda kullanılan kesitler ve özellikleri.....	42
Tablo 4.3. Ana Kirişlerde kullanılan kesitler ve özellikleri .....	43
Tablo 4.4. Ara Kirişlerde kullanılan kesitler ve özellikleri.....	43
Tablo 4.5. Çaprazlarda kullanılan kesitler ve özellikleri .....	43
Tablo 4.6. Dış Basınç Katsayıları $b=21m$ ve $h/d=1.45$ .....	47
Tablo 4.7. Net basınç katsayıları $b=21m$ $h/d>1$ .....	48
Tablo 4.8. $b = 21m$ genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgâr kuvvetleri....	49
Tablo 5.1. Modellerin Hâkim Doğal Titreşim Periyodu .....	56
Tablo 5.2. $G+0.3Q$ Kat Kütlesi .....	57
Tablo 5.3. Toplam Taban kesme Kuvvetleri (kN) (MBY) .....	58
Tablo 5.4. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvveti Kontrolü (MBY) .....	60

Tablo 5.5. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvveti Kontrolü (MBY) .....	60
Tablo 5.6. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY), ....	60
Tablo 5.7. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Kesme Kuvveti (MBY) .....	61
Tablo 5.8. S0 Modeli Kütle Katılım Oranı (MBY).....	62
Tablo 5.9. S0 Modelinin X Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY) .....	64
Tablo 5.10. S0 modelinin Y Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY) .....	64
Tablo 5.11. Modellerin X ve Y Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY) .....	64
Tablo 5.12. S0 modelinin X Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (MBY) .....	65
Tablo 5.13. S0 modelinin Y Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (MBY) .....	65
Tablo 5.14. Modellerin X ve Y Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (MBY) .....	66
Tablo 5.15. Modellerin X ve Y Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi (cm) (MBY).....	66
Tablo 5.16. Modellerin X Doğrultusu Kat Yer değiştirmesi (cm) (MBY) .....	67
Tablo 5.17. Modellerin Y Doğrultusu Kat Yer değiştirmesi (cm) (MBY) .....	68
Tablo 5.18. Modellerin Düzensizlik Kontrolü .....	69
Tablo 5.19. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY) .....	70
Tablo 5.20. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY) .....	70
Tablo 5.21. Modellerin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)....	71
Tablo 5.22. Modellerin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)....	71
Tablo 5.23. Modellerin X ve Y Doğrultusu Eksantrisite Değeri .....	71
Tablo 5.24. Modellerin X ve Y Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvvetleri (kN) .....	72

Tablo 5.25. S0 Modelinin X Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı .....	74
Tablo 5.26. S0 Modelin Y Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı .....	74
Tablo 5.27. Modellerin X Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı .....	75
Tablo 5.28. Modellerin Y Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı .....	75
Tablo 5.29. S0 Modelinin X Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY) .....	76
Tablo 5.30. S0 modelinin Y Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY) .....	76
Tablo 5.31. Modellerin X ve Y Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY) .....	76
Tablo 5.32. S0 modelinin X Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (EDYY) .....	77
Tablo 5.33. S0 modelinin Y Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (EDYY) .....	77
Tablo 5.34. Modellerin X ve Y Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (EDYY).....	77
Tablo 5.35. Modellerin X ve Y Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi (cm) (EDYY).....	78
Tablo 5.36. Modellerin X Doğrultusu Kat Yer Değiştirmesi (cm) (EDYY) .....	79
Tablo 5.37. Modellerin Y Doğrultusu Kat Yer Değiştirmesi (cm) (EDYY) .....	79
Tablo 5.38. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	81
Tablo 5.39. S0 Modelinin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	81
Tablo 5.40. Modellerin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	81
Tablo 5.41. Modellerin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY) .....	81



## ÖZET

Anahtar Kelimeler: A1 Burulma Düzensizliği, TBDY-2018, Merkezi çelik çapraz.

Depremler, neden oldukları etkiler açısından değerlendirildiğinde dünyada en önemli ve tehlikeli doğal afetlerden biri kabul edilmektedir. Bu nedenle, depremin yapıya olan etkilerini analiz etmek ve depreme dayanıklı yapılar tasarlamak için; özel mühendislik yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu yaklaşımların yapılmasında, taşıyıcı sistemde bulunan düzensizliklerin analize doğru olarak dahil edilmesi önem arz etmektedir. Yapının maruz kaldığı yük etkileri karşısındaki yapı davranışında etkili olan ve yönetmelikte düzensizlik olarak verilen ‘A1 Burulma Düzensizliği’ en önemli faktörlerden biri kabul edilmektedir. Bu tez çalışmasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esasları dikkate alınarak çok katlı çelik yapılarda farklı burulma düzensizliği katsayısına sahip yapıların dinamik davranışı araştırılmıştır. Kullanım amacı ve yapı boyutu aynı olan 10 katlı bir çelik yapıda, çapraz sistemi olarak merkezi Ters V kullanarak ve çapraz konumları değiştirilerek, on adet farklı model yapı üretilmiştir. Oluşturulan modellerin analizi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 bulunan Eşdeğer Deprem Yüğü ve Modal Hesap Yöntemlerinden Mod Birleştirme Yönteminden yararlanılmış ve yapı analizleri Etabs programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; farklı burulma düzensizliği katsayısına sahip 10 adet model yapı analizlerinde, yer değiştirmeler Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile hesap yapıldığında daha büyük görülmüştür.

# **ANALYSIS AND DESIGN OF MULTI-STOREY STEEL STRUCTURES WITH TORSIONAL IRREGULARITY ACCORDING TO TURKISH SEISMIC CODE(TBDY 2018)**

## **SUMMARY**

Keywords: Torsional irregularity, Turkish Seismic code (TBDY-2018), Concentric steel brace,

Earthquakes are one of the most important and dangerous natural disasters in the world in terms of their effects. In order to analyze the effects of the earthquakes and design earthquake-resistant buildings, special engineering approaches must be taken into consideration. In making these approaches, it is important to include the irregularities in load-bearing system correctly in the analysis. "A1 Torsional Irregularity", which is effective in the behavior of the structure against the load effects that the structure is exposed to and is given as irregularity in the seismic code, is accepted as one of the most important factors. In this thesis, the behavior of structures with different torsional irregularities in multi-storey steel structures has been investigated considering the principles of Turkish Seismic code (TBDY-2018). For this study, 10 models were produced using Inverted V concentric steel braces in a 10-storey steel structure with the same purpose of usage and structure size. The models were created only by changing braces positions. Different models of the building were analyzed in accordance with the Turkish Seismic Code (TBDY-2018) using Equivalent Static and Response Spectrum analyses in ETABS V18 Finite Element Analysis Package. Using the analysis results; the dynamic characteristics of the structure obtained from both methods were compared with the torsional irregularity coefficients. As a result of the investigation; in the structural analysis of 10 models with different torsional irregularity coefficients, displacements were found to be larger when calculated using the Equivalent Earthquake Load method.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Genel Tanıtım**

Deprem, zemin yüzeyinin altındaki kayaların yerçekimi veya elastik dengesindeki geçici bir bozukluğun neden olduğu toprak yüzeyinin titreşimleri veya salınımı olarak tanımlanmaktadır. Titreşimler sonucunda ortaya çıkan hareketler deprem dalgalarını ortaya çıkartmaktadır. Depremi neden olduğu hareket ile ortaya çıkan gerilmelerin kaynağı plütonik, tektonik ve volkanik olarak sınıflandırılmaktadır (Agarwal ve Shrikhande, 2011).

Geçmişten günümüze kadar muhtemel deprem kuvvetlerine karşı hayati ve ekonomik zararları minimuma indirmek için inşaat sektörü sürekli olarak çözüm aramaktadır. Bu arayışa inşaat ve yapı sektöründe en iyi cevap, 1849 yılında Amerika ve Avrupa kıtasında kullanımına başlanılan çelik malzemesidir (Çileli ve Yurdasev, 2008). Bu gelişmenin sonucu olarak çelik malzemesi 19. yüzyıldan itibaren inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır.

Dünyadaki tüm yapılar, sismik tehlikelerin zararlı etkilerine açıktır. Bu nedenle, yapının projelendirme aşamasından başlayarak, yapıların sismik davranışlarının uygun yönetmeliklere göre kontrol edilmesi ve yapı elemanlarının dayanımlarının incelenmesi gerekmektedir. Özellikle yüksek yapılar, sismik kuvvetin meydana getirdiği büyük yanal kuvvetler ile zorlanmaktadır. Dikkate alınmayan ya da yanlış hesaplanmış yanal yükler, yapıda istenmeyen titreşimlere, gerilmelere ve yer değiştirmelere yol açabilmektedir (Ragavan, 2018).

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte çok katlı yapıların sayısı da artmaktadır. Özellikle deprem kuşağında yapılmış yüksek katlı çelik yapıların yatay yükler

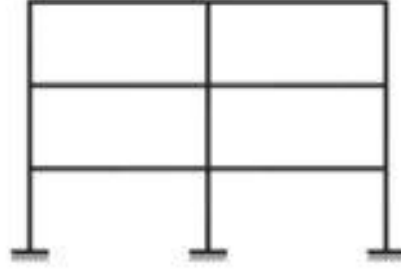
altındaki sismik davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Yüksek katlı çelik yapılar kullanım ömürleri boyunca düşey ve yatay yüklere maruz kalmaktadır. Bu sebeple dayanımı yüksek, kararlı ve rijit bir malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılması önem kazanmıştır. Çelik malzemesinin inşaat sektöründe kullanılan diğer yapı malzemelerine göre avantajı aşağıda belirtilmektedir.

- Yüksek dayanıma sahiptir.
- Çeliğin elastisite modülü, diğer inşaat malzemelerine göre daha yüksektir. Bu özellik malzemeye dinamik ve statik yüklemelere karşı tutarlı bir davranış sergilemesini sağlamaktadır.
- Çelik malzemesinin sünek olması nedeniyle; fazla miktarda deformasyon yapabilme kapasitesine sahiptir. Bu özellik, beklenmedik olağanüstü yük durumlarında ya da hesaba dâhil edilmemiş yüklerin yapıya etkimesi halinde önem arz etmektedir.
- Yapı elemanı olarak kullanılan çelik malzemesi atölyelerde üretildiği için, montaj aşaması sırasında hava koşullarından çok etkilenmemektedir, bu durum montaj süresinin kısalmasını ve yapım maliyetinin azalmasını sağlamaktadır.
- Yapı elemanlarında kullanılan çelik malzemesinin çeşitli sebeplerden (korozyon, burkulma vb.) dolayı değiştirilmesi gerektiğinde, bağlantı detayları sayesinde kolaylıkla değiştirilmektedir (Yardımcı, 2005).

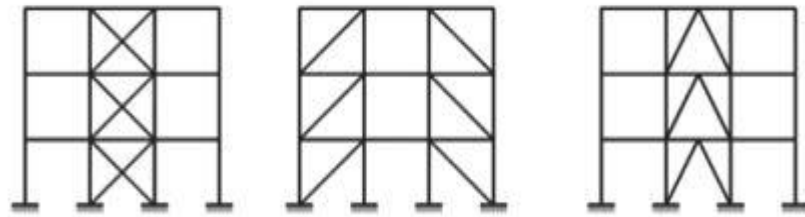
Özellikle yüksek katlı yapıların, yatay yükler altındaki rijit davranış ve yatay yer değiştirmelerin sınırlandırılması gerektiğinden çaprazlı çelik çerçeve tercih edilmektedir. Çelik çaprazların tipi ve yapıdaki konumları, yatay yükler altında yapının davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. 2018 yılında yayınlanan 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY), çelik yapıların çapraz sistemleri Merkezi Çelik Çapraz (MÇÇ) sistem ve Dışmerkez Çelik Çapraz (DÇÇ) sistem olarak iki grup altında değerlendirmektedir. MÇÇ sistemleri; Şekil 1.2.'de görüldü gibi çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlanmasıyla oluşmaktadır. MÇÇ sistemlerin en önemli özelliği çapraz elemanların çerçeve ile birleştiği bölgede bağlantı parçasının olmamasıdır. Günümüzde MÇÇ sistemleri, moment aktaran çerçevelere (MAÇ) kıyasla; deprem ve rüzgârdan meydana

gelen yüklere karşı daha rijit olduğundan dolayı kullanımları yaygın hale gelmiştir. MÇÇ sistemlerin davranışında, çapraz elemana gelen basınç kuvvetinin oluşturduğu burkulma davranışı elemanın boyutlandırılmasında sınır durum olarak incelenmektedir. Çerçeveye gelen ve çapraz elemanlar tarafından karşılanan basınç yükü, çerçeve sisteminde bulunan çapraz elemanda oluşan stabilite sorunu ile ani göçme meydana getirebilmektedir. Bu nedenden dolayı merkezi çelik çaprazlı sistemler, moment aktaran (sadece kolon kirişten oluşan) çerçevelere göre; daha düşük enerji yutma kapasitesi yani süneklik kapasitesi olacak şekilde boyutlandırılmaktadır (Ay, Çelik ve Kımıllı,2010). MÇÇ'ler; yön değiştiren büyük yatay yükler etkisinde, basınç yüklerin altında burkularak akma sınır durumu oluşabileceği gibi çekme etkisinde yine akma sınır durumu ile göçme durumuna ulaşabilmektedir. Yapıların deprem tasarımında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde hasar oluşması istenen bir durum olmamasına rağmen, düşey yük taşıma kapasitesini korunarak, çaprazlarda elastik olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin oluşması istenmektedir (Ay, Çelik ve Kımıllı,2010). Bu yüzden merkezi çelik çaprazlı çerçeve, sistemin plastik davranış göstermesi, yapı davranışına olumlu fayda sağlamaktadır. İlave olarak literatürde daha önce yapılmış çalışmalarda, çelik çaprazlı çerçevenin ve birleşim bölgelerinin doğru bir şekilde düzenlenmemesi halinde istenmeyen davranış olan ani göçme durumu ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.1.'de moment aktaran çaprazsız çerçeveyi gösterirken, Şekil 1.2.'de merkezi çelik çaprazlı çerçeve, Şekil 1.3.'de ise dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve örneği olarak verilmiştir.

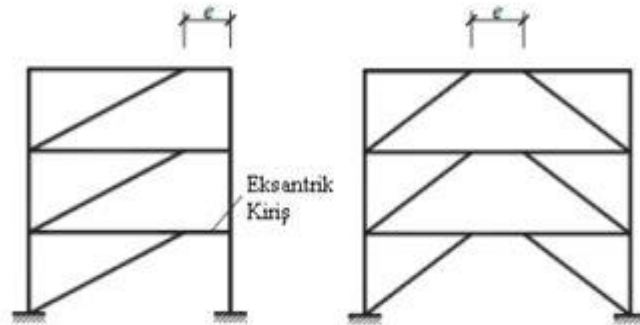
Dışmerkez çelik çapraz çerçeveler, Çaprazların en az bir ucu kirişten izole edilmiş bağ kirişi adı verilen kısma bağlanması şeklinde oluşturulur. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde eksantirisite, kiriş üzerinde oluşmaktadır. Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler, MÇÇ sistemler ile kıyasla gelişmekte olan çelik çaprazlı çerçeve türüdür ve davranışları daha komplekstir. DÇÇ sistemlerin en önemli avantajı, moment aktaran çelik çerçevelerin yüksek sünekliği (enerji yutma kapasitesi) ile MÇÇ sistemlerin rijitlik ve dayanımın birleştirilmesi ile meydana gelmesidir. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde, enerjinin tüketilmesini, bağlantı elamanı (Bağ Kirişi) tarafından kararlı bir şekilde sağlamaktadır. Aşağıda Şekil 1.3.'de dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler verilmiştir.



Şekil 1.1. Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ)



Şekil 1.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ)



Şekil 1.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ)

Doğru dizayn edilmiş çelik çerçeve sistemde, yüksek frekanslı sismik yükler altında meydana gelen elastik olmayan deformasyonlardan dolayı, kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelen plastik mafsalları kısıtlamaktadır. Kiriş ve kolon birleşim bölgesinin dönme kapasitesi, birleşimde oluşacak dayanım azalması veya çatlamanın başlangıcıyla belirlenmektedir. Kirişlerin uç noktasında oluşan plastik mafsalların dönme kapasitesi ve çelik yapılarda plastik şekil değiştirmelerin dağılımı, yapının enerji sönümlenme özelliğinde artış sağlamaktadır. Özellikle kiriş-kolon birleşim bölgelerinde dönme kapasitesinin ve gerilme dağılımlarının belirlenmesi için nümerik çalışmalarda, çerçeveyi oluşturan elemanlar ayrı ayrı modellenerek incelenmektedir.

Böylece birleşim elemanlarında gerilme sonucu oluşması beklenen plastik mafsallık uzunluğu ve plastikleşme şekli incelenebilmektedir.

## 1.2. Tezin Konusu ve Amacı

Bir yapının tasarımı; dizayn edilmesi, boyutlandırılması, işletme yükleri altında belirlenmiş olan yer değiştirme şartların yerine getirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple yapının kullanım ömrü boyunca üzerine gelen tüm yükleri belirli güvenlik altında yeterli dayanım, rijitlik ve kararlılık(stabilite) ile karşılaması beklenmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesi; yapının sık ve küçük şiddetli depremlere maruz kaldığında, plastik davranması, depremden dolayı meydana gelen taşıyıcı sistemdeki küçük hasarların kolayca onarılabilmesi ve çok seyrek ve şiddetli depremlere maruz kaldığında, büyük hasarlardan dolayı taşıyıcı sistemin tamamen göçmemesi ve can kaybı yaşanmadan taşıyabilmesidir (Kurtulmuş, 2005).

Bu tez çalışmasında; burulma düzensizliğine sahip olan yapının deprem etkileri karşısındaki davranışı incelenmiştir. Burulma düzensizliğine sahip binaların, deprem etkilerine karşı dizayn edilmesinde uyulması gereken kurallar ve uygulanması gereken hesap yöntemleri TBDY-2018'de açıklanmıştır.

Burulma düzensizliği, binalarda çok çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. Bu sebeplerden en önemlisi taşıyıcı sistemin rijitlik merkezinin ve binanın kütle merkezinin çakışmaması durumunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca binanın geometrisi de burulma düzensizliğini meydana getirmekte etkili olmaktadır. Bu etkilere karşı en güvenli çözüm çok katlı binayı tasarlarken burulma düzensizliğini meydana getirecek etkilerini ortadan kaldırması sağlanmaktadır. Ancak binanın yapılacağı arazinin koşulu, bazı mimari talepler ve buna benzer nedenlerden dolayı bazen burulma etkisinin etkisini ortadan kaldırmak mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda, binanın tasarımını yaparken ek hesaplar ve önlemler alınması gerekmektedir.

Tezde örnek teşkil edecek dikdörtgen plana sahip 10 katlı bir çelik yapı kullanılmıştır. Plan üzerinde toplam 4 adet aynı kesit alanına sahip ters V şeklinde oluşturulmuş,

merkezi çelik çapraz sistem kullanılmıştır. Farklı burulma düzensizliği katsayısına sahip 10 adet modelde tek tip çapraz kullanılmıştır. Plan üzerinde çapraz yerleşimi 10 farklı bölgeye yerleştirilerek model yapılar oluşturulmuştur. Farklı burulma düzensizliği katsayısına sahip, aynı tip çapraz kullanılarak oluşturulmuş, 10 farklı model yapı, her iki doğrultuda deprem kuvveti ile zorlanmış ve eleman davranışı analiz edilmiştir. Yapısal analiz için TBDY-2018 kurallarına uygun olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile model analiz yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi tercih edilmiştir. Yapının analizi Etabs 2018 3D sonlu eleman programı yardımı ile elde edilmiştir. Bu tez toplamda 6 bölüm içermektedir.

Birinci bölüm; genel olarak çalışma konusunun genel olarak tanıtılması, tezin konusu, amacı ve tez kapsamı yer almaktadır.

İkinci bölüm; çalışma konusu ile ilgili olan kaynak veya literatür araştırmasından oluşmaktadır.

Üçüncü bölümde; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'den yapı analiz modelinde kullanılacak olan bilgiler anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; analitik model hakkında (malzeme, profiller, yükler ve yöntemler) bilgi verilmiştir ve yapı model analizi gerçekleştirilmiştir.

Beşinci bölüm; deney ve analizlerin sonuçları tablo ve grafik şeklinde gösterilerek karşılaştırılmaları yapılmıştır. Analiz sonuçların kontrolü de bu bölümde sağlanmıştır.

Altıncı bölümde ise; analizlerden yola çıkarak sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.



## **BÖLÜM 2. LİTERATRÜR ÇALIŞMASI**

Tez çalışmasının bu bölümünde, tez konusu ile ilgili daha önce yapılmış olan akademik çalışmalara yer verilmiştir. Literatür çalışması bölümü dört ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar; çok katlı çelik bina yapıları, merkezi ile dış merkezi çelik çaprazlı yapılar, düzensiz yapılar ve deneysel çalışma olan sarsma tablası ile ilgili akademik çalışmaların özeti ve araştırma sonuçları ile karşılaştırması yer almaktadır.

### **2.1. Çok Katlı Yapılar ile İlgili Çalışmalar**

Çırpan 2017, yaptığı tez çalışmasında; 40 katlı dikdörtgen, dairesel, kare ve altıgen geometriye sahip yüksek katlı çelik yapıların analizini yapılmış ve yapı sistemi için en ideal geometriyi belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen dört farklı model yapıların; taban oturum alanları, kat yükseklikleri, yapının kullanım amaçları aynı olacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda, statik analizleri yapılmış olan dört farklı çelik yapı model arasında en ideal ve ekonomik sonuçları dairesel forma sahip çelik yapıya ait olduğu gözlemlenmiştir. Dikdörtgen şeklinde tasarlanmış yapı modeli ise en kötü sonucunun verdiği ifade etmiştir.

Zervent 2009, yaptığı çalışmada, aynı malzeme kullanılarak çeşitli ülkelerde inşa edilmiş, farklı zemin koşullarına ve geometriye sahip olan çelik yapı modelleri malzeme maliyeti bakımından karşılaştırılmıştır. Bütün özellikleri aynı olan çelik yapı 3 farklı yönetmelik Eurocode-3, AISC-LRFD ve TS 648'e göre tasarlanmıştır. TS 648'e göre dizayn edilirken, Türk Yük Şartnamesi (TS-498) ve Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-2007) kullanılmıştır. AISC-LRFD yöntemine göre dizayn edilirken, Çelik Yapıların Sismik Önlemler Yönetmeliği (AISC Standard 341-05) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu'nun Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri Yönetmeliği (AISC Standard 705) kullanılmıştır. Eurocode 3

yönetmeliğine göre dizayn yapılırken, Avrupa Deprem Yönetmeliği (Eurocode-8), Avrupa Yük Yönetmeliği (Eurocode-1) ve Yapı Tasarımının Temel Yönetmeliği (Eurocode-EN 1990) kullanılmıştır. Eurocode-3 ve LFRD yönetmeliklerine göre tasarımı yapılan yapılarda, bir metre kare alana denk gelen çelik ağırlığı hemen hemen aynı olurken, TS 648 ile kıyaslandığında %20 daha hafif sonuç verdiğini ifade etmiştir.

## 2.2. Çaprazlar ile İlgili Çalışmalar

Öz 2018, tez çalışmasında; yönetmeliklere yardımcı olması açısından süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli bir yapı ve süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeveli bir yapının Yük ve Dayanım Katsayılarına göre Tasarım Yöntemi (YDKT) ve Güvenlik Katsayılarına göre Tasarım (GKT) yöntemi kullanılarak hesaplamalarını yapmıştır. Sistem analizlerini, SAP2000 3D analiz programını kullanarak lineer hesap yöntemlerinden eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapmıştır. Kullanılan bu iki yöntem birbirinden çok farklı olmasa da seçilmiş olan yapı modelleri için elde edilen sonuçlar kıyaslandığında; YDKT yöntemi ile tasarımın, GKT yöntemi ile tasarımına göre biraz daha ekonomik kesitler verdiğini ifade etmiştir.

Râshid 2015, yaptığı çalışmada; 10, 20 ve 30 katlı dikdörtgen ve dairesel kat oturum planlarına sahip çok katlı çelik yapıların dinamik davranışlarını araştırıp, yanal yer değiştirmelerini düşük değerlerde tutmak için en ideal çelik çapraz çeşidini araştırmıştır. Bunun için; merkezi ve dışmerkezli çelik çapraz tipleri çerçeve sistemlerinde değişik yerlerde konumlandırılıp yapının en iyi performansı araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda; çelik çapraz tiplerinin yapı planındaki konumlandırılmalarının yanal yükler altında çok değişik performanslara sahip olduğunu göstermiştir. Dairesel kat planına sahip olan yapıların, dikdörtgen kat planına sahip yapılardan daha etkili olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca dairesel yapıların deprem performansı incelendiğinde, yapıya yerleştirilen çapraz konumunun çaprazların türünden daha etkili olduğu görülmüştür. Dikdörtgen ve dairesel kat planına sahip yapıların orta kısmına yerleştirilen çaprazların yapı davranışında en iyi performansı sağladığı vurgulanmıştır.

Mehdi zain alabdeen 2019, tez çalışmasında; İstanbul-Gölcük depremini temsil etmek için Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi kullanarak 30 ve 50 katlı çelik çerçeve sistemine sahip yapıları incelemiştir. Çalışmada depreme dayanıklı en etkili çelik çerçeve yapı tasarımı bulunmaya çalışılmıştır. Yapılarda kullanılan çaprazlı ve çaprazsız çelik çerçeveli modeli, SAP2000 sonlu eleman programı kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonucunda; çaprazlı ve çaprazsız çelik çerçeve yapı modellerinin yaklaşık aynı taban kesme kuvvetlerine sahip olurken, merkezi çelik çaprazlı çerçeveye sahip yapıların daha az yanal deformasyon yaptığı görüldüğü ifade edilmiştir.

Yurdasev 2008, deprem kuvveti etkisi altında bulunan merkezi ve dış merkezi çelik çaprazlara sahip olan 11 katlı çelik yapının deplasman ve periyot değerlerini incelemiştir. Ayrıca çalışmada incelenen yapının Y doğrultusundaki rijitliği X doğrultusundaki rijitliğe göre daha az olacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışmanın temel amacı, ekonomi ve güvenlik açısından ideal taşıyıcı sistemin ortaya konulmasıdır. İncelenen yapı sisteminde merkezi ve dışmerkezli çelik çapraz türlerinden V, Ters V, X, K çelik çaprazları kullanmıştır. Yapılan çalışmadan çıkan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Y doğrultusundaki rijitliğin daha az olmasından dolayı yapının Y doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin, X doğrultusundakine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca rijitliği daha az olan Y doğrultusunda yapının periyodu artırmış, periyodu artan yapının ise daha yüksek değerlerde deprem kuvvetlerine maruz kaldığını vurgulamıştır. Ayrıca bu bina türü için X çapraz çerçeve sistemine sahip yapının diğer tüm çaprazlı çerçeve sistemlerinden daha verimli olduğu ifade edilmiştir.

Bulut 2013, merkezi çelik çaprazlı sisteme sahip olan yapıları, sismik yük etkisi altındaki davranışını doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle incelemiştir. 3 ve 10 katlı binalarda Ters V ve X merkezi çelik çaprazlı çerçeveye sahip yapılara, 6 adet çeşitli deprem kaydı Kobe 95, Northridge 94, Elsie Park, Imperial 1940, Imperial Valley 1940 ve Imperial Valley 1979 uygulayarak sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmiştir. Analizler sonucunda yapı modelinin tepe noktasındaki yerdeğiştirme ve ötelenme değerlerini elde etmiştir. Uygulanan deprem kuvvetlerinin

analiz sonuçları karşılaştığında; 3 katlı binalar için Ters V çelik çaprazlı çerçeve modelin tepe noktasındaki yer değiştirmesi, X çaprazlı modeline kıyasla daha az olduğunu beyan etmiştir. Ayrıca 10 katlı yapı modelleri için tepe noktasındaki yer değiştirmesi ve ötelenmesinin X ve Ters V çelik çapraz çerçevelerin yaklaşık aynı değerlerde olduğunu ifade etmiştir.

Akgönen 2017, yaptığı çalışmada, yatay yük etkisi altında açıklığı 6 m ve 3m kat yüksekliği olan dört farklı çaprazlı çerçeve sisteminden oluşan model yapıları, statik itme analizi yöntemi kullanarak çözümlenmelerini yapmıştır. Çalışmasında kullandığı model yapıları çapraz türü olarak tek diyagonal, V, X çapraz tipi ve bir çaprazsız çerçeve sistemini uygulamıştır. Çalışmada incelenen yapı sisteminin; sünekliliğini, rijitliğini, nihai yük taşıma kapasitesini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda; seçilen yapı türünde X tipi merkezi çelik çaprazlı sistemin, yatay yükleme altında rijitlik ve enerji tüketimi bakımında daha yüksek performans gösterdiğini ifade edilmiştir.

Genç 2017, yaptığı çalışmada, taşıyıcı sistemleri merkezi çelik çaprazlı çerçeve ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçeve olan 3 ve 9 katlı çelik yapı modellerine çeşitli spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş Northridge, Kocaeli ve Kobe deprem kayıtları kullanarak artımsal dinamik analize göre hesaplamalar yapmıştır. Her iki çelik yapı modeli için de Zaman Tanım Alanında doğrusal analiz yöntemi kullanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveli yapı sisteminde merkezi çaprazlı çelik çerçeveye göre deprem kuvvetleri etkisinde birim şekil değiştirme baz alındığında daha stabil bir davranış göstermiştir. Ayrıca merkezi çaprazlı çelik çerçevenin akma dayanımları burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelere kıyasla daha fazla olduğunu aktarmıştır.

Bayram ve ark. 2019, yaptığı çalışmada, deprem yükü etkisi altında bulunan 5 katlı, X yönünde 6 adet ve Y yönünde 3 adet açıklığa sahip olan bir çelik yapıyı dışmerkez diyagonal çaprazlı ve çaprazsız olarak (TBDY–2018) esaslarına göre Eşdeğer Deprem Yüğü Çözüm Yöntemini kullanarak karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapısal modeller, yapıda oluşan yer değiştirmeler, periyotlar ve yapı ağırlıkları bakımından birbirleri ile kıyaslanmışlardır. Çalışma sonucunda; çelik diyagonal çaprazların yapıya

eklenmesi ile kesitler optimize edilerek, yapı ağırlığında azalmaların olduğu görülmüştür. Yapı ağırlığının azalması ile hem yapıya etkiyecek deprem yükleri hem de yapının yatay ötelenmelerinde büyük miktarda azalma olduğunu ifade etmiştir.

### 2.3. Düzensiz Yapılarla İlgili Çalışmalar

Yedikardeş 2010, yaptığı çalışmada; A2 düzensizliğine sahip perdeli çerçeveli sistem ile oluşturulmuş yapıları Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY2007) göre incelemiştir. Yapılardaki A2 düzensizliğinin azaltılmasında perde yerleşimin etkisini vurgulanmıştır. Çalışmada kullanılan model yapılarda; Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY-2007) bulunan Eşdeğer Deprem Yüğü elastik hesap yöntemine göre; döşemeler rijit diyafram yerine kabuk model olarak modellenmiştir. Çalışmanın sonunda; yapı sisteminde bulunan perdeler binanın kütle merkezinden uzaklaştıkça, yapı güvenliği de artmış sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çelik çerçeve çaprazları simetrik şekilde yerleştirilmiş binaların, perdeleri simetrik olmayan veya perdesiz binalardan daha güvenli olduğu ve deprem yüklerine karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Perdeleri simetrik olarak yerleştirilmiş olan binalar arasında, deprem yönüne paralel şekilde yerleştirilmiş binaların diğer binalara kıyasla depreme daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yapıdaki döşeme boşluğu oranının artması; döşeme hesaplamasında dikkate alınan kabuk döşeme modelinin, rijit diyafram sistemine göre daha emniyetli sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmanın sonunda; depremin hangi yönden geleceği belli olmadığı için, yapı sistemine yerleştirilmiş perdelerin kütle merkezinden uzakta ve yapı planında her iki eksen doğrultusunda simetrik olacak şekilde yerleştirilmesi önerilmektedir.

Akşar ve ark. 2018, yaptığı çalışmada merkezi çelik çaprazlı çerçevelerden oluşan yapıların deprem yer hareketleri altındaki burulma davranışı incelenmiştir. Çalışmada 3 ve 9 katlı model yapıları farklı merkezi çelik çapraz çerçeveler ile oluşturularak çapraz türünün yapı dayanımına etkisini incelemiştir. Farklı kat adedine sahip yapının deprem yükleri etkisi altındaki davranışı zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemini kullanarak araştırmıştır. Bu çalışmada, çapraz dayanımının  $R_y$ ,  $F_y$  ile  $1,2.R_y.F_y$  ( $F_y$ : Malzemenin akma gerilmesi,  $R_y$ : Arttırılmış gerilme katsayısı ve

Ry.Fy : Beklenen akma gerilmesini ifade etmektedir) arasında değiştiği kabulü yapılmıştır. Çalışma sonuçları incelediğinde; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem seviyesi için, 3 ve 9 katlı yapı modellerinde aprazların dayanım farklılığının meydana geldiği ve gelmediği durumlardaki ortalama goreli kat ötelenme oranının yaklaşık aynı değerlerde olduğunu ifade etmiştir.

Kheyroddin ve ark. 2018, yaptığı çalışmada, üçgen plana sahip elik yapılarda X merkezi elik çaprazlardan oluşan yapı sistemindeki konumlarının yapı davranışı üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada; gen planlı 5, 10 ve 15 katlı elik yapıların deprem etkisi altındaki davranışında, planda 7 farkı şekilde yerleştirilmiş çapraz elemanların etkisi incelenmiştir. Üçgen plana sahip yapıların kütle merkezi ile rijitlik merkezinin geometrik olarak çakışması sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda; üçgen geometrik plana sahip yapılar için, planda farklı yerlere yerleştirilmiş yedi çapraz modellerinden, üçgen kenarların ortasında ve sürekli olarak düzenlenmiş olan modelin çok iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir. Bu tür çapraz düzenlemesi yapıdaki kütle merkezinin rijitlik merkezine yaklaşmasını sağlamış, böylece katlardaki burulma momenti, ek dönme ve yer değiştirmelerin azalmasını sağlanmıştır. Yapıya yerleştirilen çapraz elemanlar yapının yanal yer değiştirmesini yaklaşık %38 azaltırken yer değiştirme süneklik oranını yaklaşık %12 arttırdığını ifade etmektedir.

Chirag ve ark. 2016, çalışmasında, sismik kuvvetlerin etkisi altında bulunan aprazlı ereve sisteme sahip elik yapılarda, farklı tipte oluşturulan aprazların ve planda oluşan düzensizliklerin yapı davranışına olan etkisini incelemiştir. Çalışmada aynı yükleme koşulları altında 20 kat adedine sahip, planda düzensizliği bulunan elik yapının, Response Spektrumu Analiz yöntemiyle üç boyutlu bilgisayar yazılım programı ETABS'i kullanarak analizi gerçekleştirmiştir. Farklı apraz türleri kullanarak oluşturulmuş modelin kapsamlı karşılaştırması yapıldığında; yapının yanal rijitliğini arttırmak ve sismik performansını iyileştirmek için Ters V apraz ereve sisteminin kullanımının incelenen bina türü için, diğer tüm aprazlı ereve sistemlerinden daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çetin ve ark 2020, yaptığı akademik çalışmasında; Farklı yerel zemin sınıflarının yapılardaki burulma düzensizliğine etkisini 2007 ve 2018 yönetmeliklere göre araştırmışlardır. Analiz yöntemlerinden, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak 5 farklı yapı tipi için 270 adet model üretmiştir. 4-6 ve 8 katlı yapılar için, farklı zemin sınıflarındaki yapıların burulma düzensizliği katsayıları elde etmiştir. Analiz Sonuçlarını her iki deprem analiz yöntemi ve deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırmıştır. TBDY-2018’de düzenli yapıların burulma düzensizliği katsayıları DBYBHY-2007’e göre azalırken, düzensiz yapıların burulma düzensizliği katsayılarında artış görülmüştür. Yerel zemin sınıflarının hesaplamalara olan etkisi TBDY-2018 ile daha gerçekçi bir sonuç verdiğini ifade etmiştir.

Çileli 2008, yaptığı tez çalışmasında, ticari amaçlı inşa edilmiş 20 katlı çelik bir yapının merkezi çelik çaprazlı, dışmerkez çelik çaprazlı ve moment aktaran çerçeve sistemlerini kullanarak sismik yüklerine karşı taşıyıcı sistem elemanların davranışlarını yer değiştirmesi, periyot, taban kesme kuvveti, süneklik, ekonomiklik ve güvenilirlik gibi birçok parametreleri, Sap2000 paket programın yardımıyla DBYBHY 2007’ye göre incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, incelenen yapıların yukarıdaki parametrelere göre değerlendirildiğinde dışmerkezi çelik çaprazlı sahip çelik taşıyıcı sistemlerin daha avantajlı olduğunu ifade edilmiştir.

Korkmaz ve ark. 2013, yaptığı çalışmada, planda düzensizliği bulunan 3 farklı 12 katlı çelik yapı modelinin deprem kuvvetleri altına davranışlarını ve sergilediği performansı incelenmiştir. Çalışmada, çelik yapı modelleri lineer olmayan deprem kuvvetlerine karşı çelik çapraz elemanları ve betonarme perde ile güçlendirmiştir. Döşeme düzensizliği ve burulma düzensizliği içeren üç farklı yapı modellere statik itme analizleri uygulayarak görelî kat ötelemelerini, X ve Y doğrultularında kapasite eğrileri ve yer değiştirmesini elde etmişlerdir. Perde elemanları, yapıya ağırlık katmasına ve yapılara gelen deprem kuvvetlerin attırmasına rağmen çerçeve boşluklarının çaprazlar ile desteklenmesinin davranış bakımından uygun olacağını tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonunda; çelik çaprazlar ekonomik açıdan maliyetli olmasına rağmen, muhtemel bir afet durumunda oluşabilecek yapı elemanlarında mukavemet kayıplarının acil olarak onarılmasına olanak sağlaması ve kısa zamanda

inşa edilmesi betonarme perdelerle göre üstün olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak; yapıya betonarme perde elemanı ilave edildiği zaman rijit hale gelen yapıda kapasite artışı, yapıya çelik çapraz elemanı ilave edilerek elde edilen kapasite artışından daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Tansel 2010, yaptığı tez çalışmasında, 2007 deprem yönetmeliğine göre çelik yapıların sismik yükleri altındaki davranışını incelemiştir. Mimari planı, deprem bölgesi, bina ve kat yükseklikleri, zemin koşulları, döşeme şekli, rüzgâr yükler ve düşey yükleri ve yapı kullanım amacı tamamıyla aynı, ancak farklı çelik taşıyıcı sistemlere sahip olan 3 yapı için analiz ve tasarım yapmıştır. Sonuç olarak, şiddetli deprem riskinin meydana geldiği yerlerde çok katlı yapılar için dışmerkezi çelik çaprazlı yapılar yüksek enerji yutma kapasitesi, yüksek elastik rijitliği ve yüksek sünekliğe sahip olmasından dolayı daha ekonomik çözümler verdiğini ifade etmiştir.

Chandler ve ark. 1996, Eurocode 8’de yer alan koşullarını dikkate alarak burulma düzensizliği olan bir yapı üzerinde araştırma yapmışlardır. Çalışma sonuçları incelendiğinde, Eurocode-8’in burulma düzensizliği ile alakalı koşulların olmadığını, daha gerçekçi ve doğru hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın devamında ayrıca tek katlı binalar için, optimum dışmerkezlilik hesap yöntemi ile alakalı bir yaklaşım önermişlerdir.

Eibl ve ark. 1995, Eurocode-8 yönetmeliğinde burulma düzensizliğinin etkileri gözönüne alınması ile alakalı öngörülen formülasyonu araştırmışlardır. Çalışmada bahsi geçen formülasyonun burulma düzensizliğine sahip binalar için uygun olmadığı ve rijit uç yapı elemanlardaki süneklik miktarının gereksiz oranda arttığını belirtmektedir. 1, 3 ve çok katlı çekirdekli ve perdeli binalar için elde edilen sayısal sonuçlar incelenerek Eurocode-8 yönetmeliğin koşullarının düzeltilmesi için önerilerde bulunmuştur.

Özmen 2004, burulma düzensizliğine sahip farklı tipteki binalarda eşdeğer deprem yükü yöntemi ve dinamik analizlerden elde edilen iç kuvvetleri birbiriyle karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda; burulma düzensizliğine ait katsayısının 2



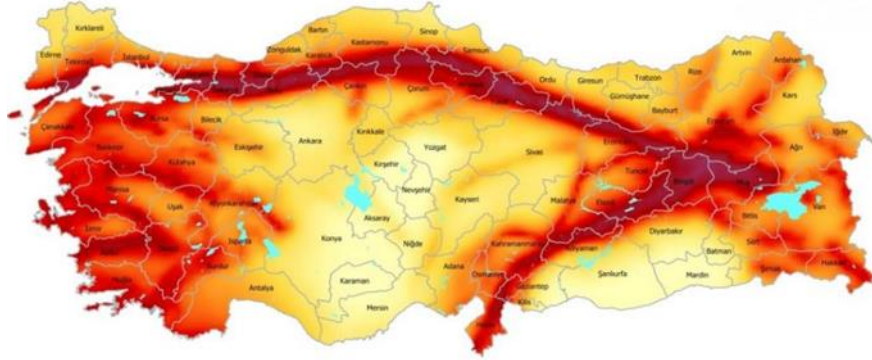
değerine ulaşma olasılığının zor olduğu, bu sebepten ötürü dinamik hesap yöntemleri için verilen bu sınır değer in daha aşağıya çekilmesini önermişlerdir.

## BÖLÜM 3. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNİN (TBDY-2018) TASARIM ESASLARI

### 3.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası

Deprem etkisi altında tasarımı ve dizaynı gerçekleştiren yeni yapılacak binaların ve yapılmış binaların değerlendirilmesinde esas alınan deprem yer hareketi düzeylerine (DYHD) denk gelen deprem etkileri, güncel olan deprem parametrelerini dikkate alınarak detaylı verilerle hazırlanan ve yürürlüğe giren TBDY-2018'deki Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile tanımlanmıştır. Şekil 3.1.'de Türkiye Deprem Tehlike Haritasını göstermektedir.

#### TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE HARİTASI



Şekil 3.1. AFAD, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TBDY-2018)

#### 3.1.1. TBDY-2018'de tanımlanan deprem yer hareketinin düzeyleri (DYHD)

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri yeni deprem yönetmeliği TBDY-2018 ve yönetmelikle birlikte uygulamaya giren Türkiye Deprem Tehlike Haritalarına göre dörde ayrılmaktadır.

DD-1: 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl, çok seyrek meydana gelme ihtimali olan Deprem Yer Hareketi Düzeyidir.

DD-2: 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl, seyrek meydana gelme ihtimali olan Deprem Yer Hareketi Düzeyidir.

DD-3: 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve tekrarlanma periyodu 72 yıl, sık meydana gelme ihtimali olan Deprem Yer Hareketi Düzeyidir.

DD-4: 50 yılda aşılma olasılığı %68 ve tekrarlanma periyodu 43 yıl, çok sık meydana gelme ihtimali olan Deprem Yer Hareketi Düzeyidir.

### 3.1.2. Yer hareketlerin spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli DYHD esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve Yerel Zemin Etki Katsayıları YZEK'e bağlı olarak standart şekilde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanmıştır.

### 3.1.3. Harita ve tasarım spektral ivme katsayıları (HSİK)

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, daha önce açıklanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

- $S_s$ : Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı
- $S_1$ : 1,0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30} = 760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmeleri'nin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

$S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  (TSİK),  $S_S$  ve  $S_1$  (HSİK)'na bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$S_{DS} = S_S \cdot F_S \quad (3.1)$$

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

$F_S$ : Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı

$F_1$ : 1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı

### 3.1.4. Yerel zemin etki katsayıları (YZEK)

Yerel zemin etki katsayıları (YZEK)  $F_S$  ve  $F_1$ , TBDY-2018 Bölüm 16'da yer alan zemin sınıflarına (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE)'ye bağlı olup sırası ile Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de yer verilmiştir. Bu tablolardaki (HSİK)'nın ara değerlerin elde edilmesi için doğrusal enterpolasyon uygulanabilir. ZF yerel zemin sınıfı kapsamına giren zemin türleri için saha özel zemin davranış analizleri TBDY-2018 bölüm 16.5'e göre yapılacaktır.

Tablo 3.1. Kısa Periyot Bölgesi için YZEK (TBDY-2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_S$						
	$S_1 \leq 0,25$	$0,25 < S_1 \leq 0,50$	$0,50 < S_1 \leq 0,75$	$0,75 < S_1 \leq 1,00$	$1,00 < S_1 \leq 1,25$	$1,25 < S_1 \leq 1,50$	$S_1 \geq 1,50$
ZA	0,8	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	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi gerekecektir.						

Tablo 3.2. 1.0 Saniye Periyot için YZEK (TBDY-2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$						
	$S_1 \leq 0,10$	$0,10 < S_1 \leq 0,20$	$0,20 < S_1 \leq 0,30$	$0,30 < S_1 \leq 0,40$	$0,40 < S_1 \leq 0,50$	$0,50 < S_1 \leq 0,60$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	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	0,8
ZC	1,5	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	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0	2,0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi gerekecektir.						

### 3.1.5. Yatay elastik tasarım spektrumu

Herhangi bir DYHD dikkate alındığı zaman, yatay elastik tasarım spektral ivmesi olarak bilinen  $S_{ae}(T)$ , yerçekimi ivmesi (g) cinsinden doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

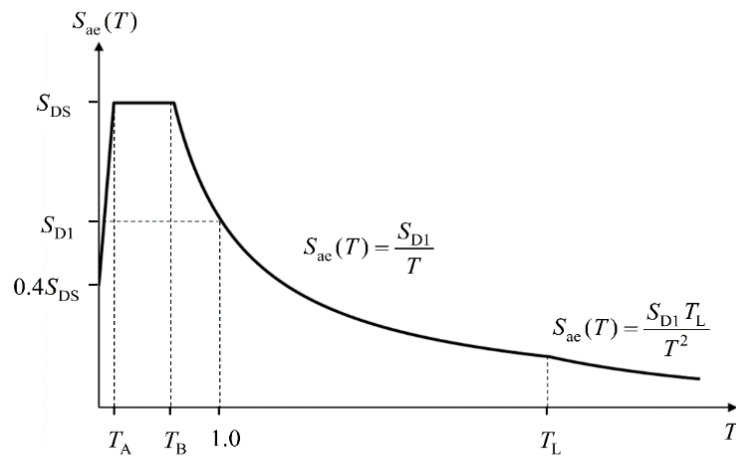
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

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

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

Yukarıdaki denklemlerde,  $T$  doğal titreşim periyodu,  $T_L$  sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L = 6$  s, g Yerçekimi ve yatay tasarım spektrumu köşe periyodları olarak bilinen  $T_A$  ve  $T_B$  aşağıdaki denklemler ile  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e bağlı olarak elde edilecektir

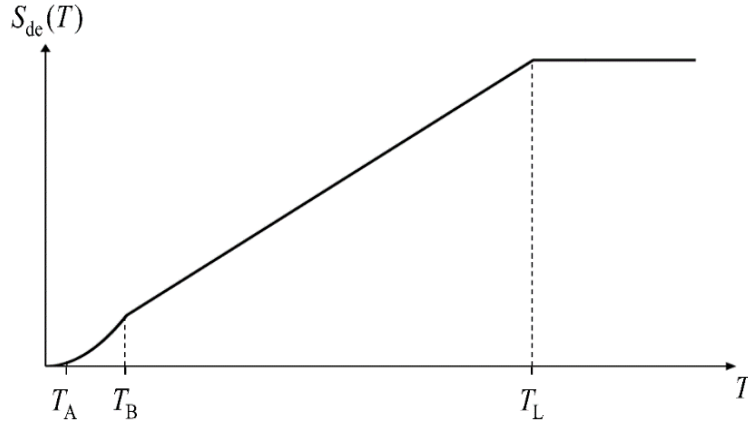
$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$



Şekil 3.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY-2018)

Herhangi bir DYHD gözönüne alındığında, yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi olarak bilinen  $S_{de}(T)$ , metre (m) cinsinden doğal titreşim periyoduna  $T_P$  bağı olarak denklem 3.8 ile hesaplanacaktır.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.8)$$



Şekil 3.3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiğı (TBDY-2018)

### 3.1.6. Düşey elastik tasarım spektrumu

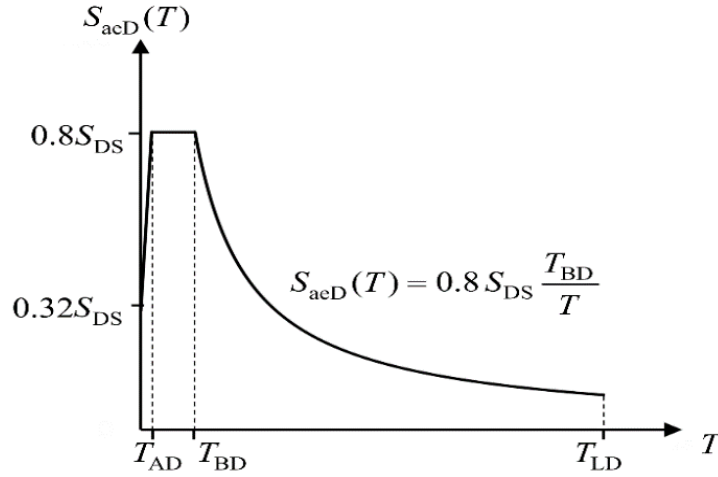
Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu  $S_{aeD}(T)$ , doğal titreşim periyoduna ve yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre yerçekimi ivmesi  $[g]$  cinsinden aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$S_{aeD}(T) = \left(0,32 + 0,48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (3.9)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 S_{DS} \quad (3.10)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (3.11)$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3}; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (3.12)$$



Şekil 3.4. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY-2018)

Burada;

$S_{aeD}(T)$ : Düşey elastik tasarım spektral ivmeleri

$T_{AD}$  ve  $T_{BD}$ : Düşey spektrum köşe periyotları

$T_{LD}$ : Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu

### 3.1.7. Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 (DYHD) için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak, (DTS) belirlenebilmesi için, Önce Bina Kullanım Sınıfları (BKS) tayin edilmelidir. BKS ise; Bina Öne Katsayısına bağlı olarak Tablo 3.3.'te görüldüğü gibi 3 gruba ayrılmaktadır.

Tablo 3.3. Bina Önem Katsayıları ve Bina Kullanım Sınıfları (TBDY-2018)

BKS	Bina Kullanım Amacı	(I)
BKS = 1	Tehlikeli madde içeren binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve deprem sonrası kullanımı gereken binalar: a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (İtfaiye bina ve tesisleri, dispanserler, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, hastaneler, sağlık ocakları, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, ilk yardım ve afet planlama istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları) b) Cezaevleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri vb. c) Müzeler d) Parlayıcı, patlayıcı, Toksik vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema, Alışveriş merkezleri, tiyatro, spor tesisleri, ibadethaneler, konser salonları vb. Diğer binalar	1,2
BKS = 3	BKS=1 ve BKS=2 tanımlarına girmeyen diğer binalar (Oteller, konutlar, bina türü endüstri yapıları, işyerleri vb.)	1,0

Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY-2018)

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

### 3.1.8. Bina yükseklik sınıfı (BYS)

TBDY-2018’de Bina yükseklik Sınıfı, DTS ve bina yükseklik aralıklarına bağla olarak belirlenmektedir. Tablo 3.5.’te sekiz adet BYS tanımlanmıştır.

Tablo 3.5. DTS ve BYS’ye Bağlı Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY-2018)

BYS	DTS ve BYS’ye Bağlı 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	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$7,5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

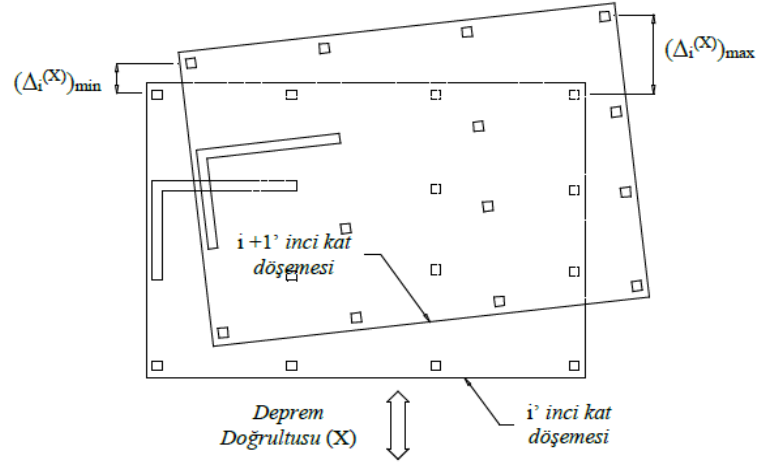
### 3.2. Düzensiz Binalar

Düzensiz binaların, Depreme esnasında binalara zarar veren hata bazen çökmeye sebep olan düzensizlikler, planda ve düşeyde iki gruba ayrılmaktadır. TBDY-2018’e göre düzensizliklerin tanımları aşağıdaki tablo da açıklanmıştır.



Tablo 3.6. Düzensiz Binalar (TBDY-2018)

Düzensizlik Türü	Açıklama	Tanım
<b>A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI</b>		
A1	Burulma Düzensizliği	Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını tanımlayan Burulma Düzensizliği Katsayısı $\eta_{bi}$ 'nin 1.2'den büyük olması durumu. $[\eta_{bi} = (\Delta i^{(x)})_{max} / (\Delta i^{(x)})_{ort} > 1.2]$ . Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de dikkate alınarak, TBDY-2018 4.7'ye göre yapılacaktır. Herhangi bir kattaki döşemede; I – Asansör boşlukları ve merdiven dâhil, boşluk alanların toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,
A2	Döşeme Süreksizlikleri	II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına emniyetle aktarılabilmesini zorlaştıran yerel döşeme boşluklarının varlığı durumu, III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu
A3	Planda Çıkıntılar Bulunması	Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu.
<b>B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI</b>		
B1	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)	Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı $\eta_{ci}$ 'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\sum A_{oi})_i / (\sum A_{oi})_{i+1} < 0.80]$ Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı: $(\sum A_{oi})_i = (\sum A_{wi})_i + (\sum A_{gi})_i + (0.15 \sum A_{ki})_i$
B2	Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)	Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesiyle açıklanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı $\eta_{ki}$ 'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta i^{(x)}/h_i)_{ort} / (\Delta i + 1^{(x)}/h_i + 1)_{ort} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta i^{(x)}/h_i)_{ort} / (\Delta i - 1^{(x)}/h_i - 1)_{ort} > 2.0]$
B3	Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği	Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (perde veya kolonların) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu.



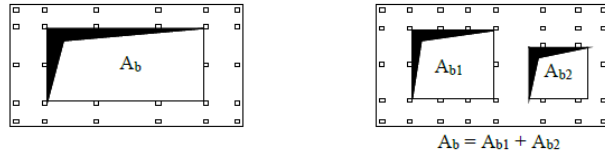
Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

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

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

$$\text{Burulma düzensizliği durumu: } \eta_{bi} > 1.2$$

Şekil 3.5. A1 Türü Düzensizlik (TBDY-2018)

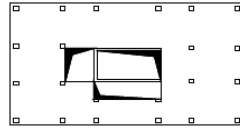


A2 türü düzensizlik durumu – I

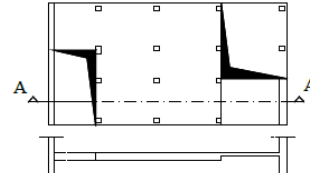
$$A_b / A > 1/3$$

$A_b$  : Boşluk alanları toplamı

$A$  : Brüt kat alanı

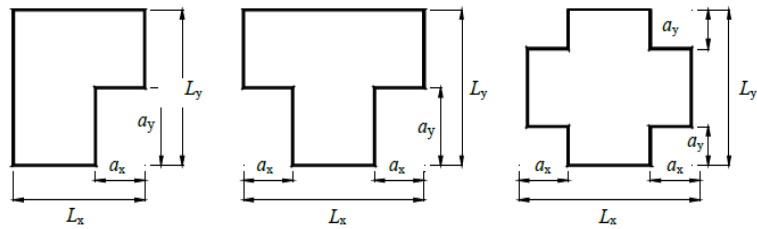


A2 türü düzensizlik durumu – II



A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

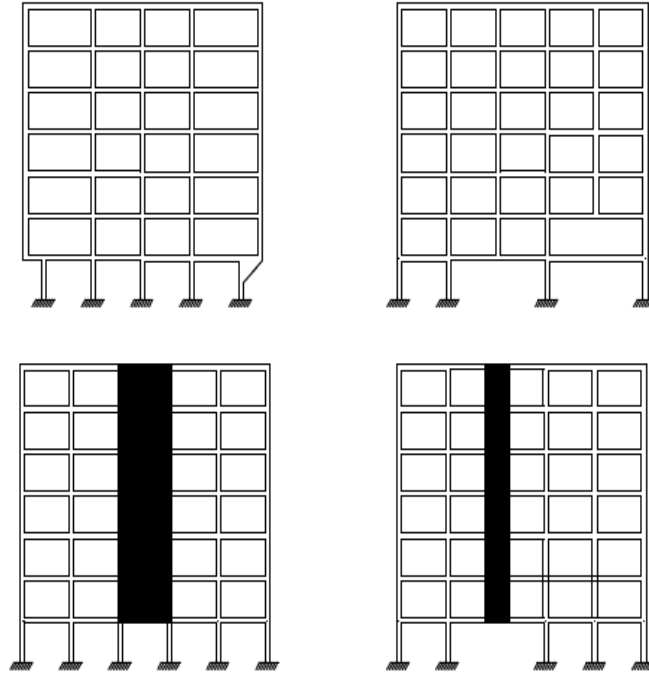
Şekil 3.6. A2 Türü Düzensizlik (TBDY-2018)



A3 türü düzensizlik durumu:

$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y$$

Şekil 3.7. A3 Türü Düzensizlik (TBDY-2018)



Şekil 3.8. B3 Türü Düzensizlik (TBDY-2018)

### 3.2.1. Düzensiz binalarla ilgili koşullar

Tablo 3.6.'da verilen düzensizlik durumlarına ilişkin şartlar aşağıda açıklanmıştır:

- Binada bulunan A1 ve B2 düzensizlikleri deprem hesap yönteminin seçiminde etkindir.
- A2 ve A3 tip düzensizlikleri içeren binalarda, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içerisinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında emniyetli bir şekilde aktarabildiğini göstermek üzere iki boyutlu levha (membran) veya kabuk sonlu elemanlar şeklinde modellenecektir.
- B1 tip düzensizliğini içeren binalarda, gözönüne alınan  $i$ 'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine nazaran fazla ise,  $\eta_{ci}$ 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmayacaktır.  $\eta_{ci}$ 'nin en küçük olduğu kat dikkate alınarak  $0,60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0,80$  aralığında TBDY-2018 Tablo 4.1.'de verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $1,25 (\eta_{ci})_{\min}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da tüm binaya uygulanacaktır. Fakat hiçbir zaman  $\eta_{ci} < 0,60$  olmayacaktır. Aksi takdirde, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrar baştan yapılacaktır.

B3 tip düzensizliğini içeren binalara ilişkin şartlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Binanın kolonları herhangi bir katında konsol kirişlerin veya bir alttaki kolonların oluşturduğu guselerin üzerine veya ucuna oturtulmasına hiçbir şekilde izin verilmez.
2. Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda düşey deprem hesabı yapılması yeterlidir.
3. Üst katlarda bulunan perdenin alttaki kolonlara oturtulmasına hiçbir şekilde izin verilmez.
4. Binanın herhangi bir katında perdelerin, kendi düzlemleri içerisinde kirişlerin üzerine açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir şekilde izin verilmez.

### **3.3. Bina Taşıyıcı Sistem Tasarım Yöntemleri**

Literatürde bulunan diğer yönetmeliklerde olduğu gibi TBDY-2018’de de deprem etkisi altındaki yapıların taşıyıcı sistemlerin tasarım iki yöntem ile yapılmaktadır. Bu tasarım yöntemleri, Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞDGT) olarak tanımlanmaktadır. ŞDGT tasarım yöntemi genel olarak yüksek katlı yapılarda ve çok şiddetli depremlerin meydana geldiği bölgelerde, dinamik analizler gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. DGT yöntemi gerek basit olmasından gerek yaygın olmasından daha çok tercih edilmektedir. Bu tezde bulunan modellerin analizler için de DGT yöntemi tercih edilmiştir. DGT yöntemi, taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine denk gelen azaltılmış deprem yüklerin tanımlanmasına dayanmaktadır. Tanımlanan deprem yükleri etkisi altında doğrusal hesap yöntemi gerçekleştirilecektir. DGT yönteminde, analiz sonucundan çıkan yapı elemanların iç kuvvetleri ve yapıya etkiyen diğer yüklerden meydana gelen iç kuvvetlerin toplamının oluşturduğu dayanım talepleri, yapı elemanların iç dayanım kapasiteleriyle kıyaslanacaktır. Yapı elemanların dayanım kapasiteleri, yapı elemanların dayanım taleplerinden fazla ise ve aynı anda görelî kat ötelemesi de izin verilen sınırları aşmadıysa tasarım tamamlanmış olur. Tersî durumda yapı elemanların kesitleri artırılarak hesap tekrarlanacaktır.

### 3.3.1. Deprem yükü azaltma katsayısı (DYAK)

DGT yöntemlerinden taşıma gücü yöntemiyle yapı eleman kesit tasarımı yapılırken, farklı taşıyıcı sistemler için DYAK  $R_a(T)$  sabit bir süneklik kapasitesine denk gelmektedir. Depremin bu parametresi aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$R_a = \frac{f_e(T)}{f_d(\mu_k, T)} \quad (3.13)$$

veya taşıyıcı sistem davranış katsayısı denkleminde yararlanarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$R_a = DR_y(\mu_k, T) \quad (3.14)$$

Sonuç olarak uygulamada  $R_a(T)$  aşağıdaki denklemlerle elde edilerek kullanılır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.15)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.16)$$

D ve R dayanım fazlalığı katsayısı ile taşıyıcı sistem davranış katsayısını,  $T_B$  spektrum köşe periyodunu, I bina önem katsayısını ve T sistemin doğal titreşim periyodunu göstermektedir.

### 3.3.2. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (TSDK)

R veya (TSDK); D dayanım fazlalığı katsayısı, I ve öngörülen süneklik kapasitesi  $\mu_k$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki denklem ile tanımlanır.

$$\frac{R}{I} = \mu_k D \quad (3.17)$$

### 3.3.3. Taşıyıcı sisteme göre D ve R katsayıları

Farklı malzemelerden oluşan, farklı süneklik düzeye sahip olan ve farklı taşıyıcı sistemlerden oluşan yapıların D ve R değerleri Tablo 3.7.'de özetlenmiştir.

Tablo 3.7. Bina Taşıyıcı Sistemleri için D, R ve İzin Verilen BYS (TBDY-2018)

Bina Taşıyıcı Sistem	R	D	BYS
<b>C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ</b>			
<b>C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Olan Taşıyıcı Sistemler</b>			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı veya süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	2,5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
C14. Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle birlikte karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 2$
<b>C2. Süneklik Düzeyi Karma Olan Taşıyıcı Sistemler</b>			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle birlikte karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 4$
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle birlikte karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
<b>C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Olan Taşıyıcı Sistemler</b>			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	4	2,5	$BYS \geq 7$
C32. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	3	2	$BYS = 8$
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 7$

## 3.4. Deprem Etkisinin Tanımlanması

### 3.4.1. Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Azaltılmış tasarım spektral ivmesi  $SaR(T)$ , yatay doğrultuda azaltılmış tasarım ivme spektrumu ve deprem yükü azaltma katsayısına göre altta bulunan denklem ile tanımlanmıştır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.18)$$

### 3.4.2. Yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi

Deprem hesabının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile lineer deprem hesabı veya mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabında tanımlanan yöntemlerden biriyle yapıldığı zaman, yatayda birbirine dik (x) ve (y) doğrultularında belirlenen depremlerden oluşan deprem etkileri aşağıdaki denklemde tanımlandığı şekilde birleştirilecektir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)} \quad (3.19)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0,3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (3.20)$$

Burada;  $E_d^X$  ve  $E_d^Y$  herhangi bir eleman kesitinde birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem etkilerini,  $E_d^{(H)}$  ise doğrultu birleştirilmesi uygulanmış tasarıma özgü yatay deprem etkisini tanımlamaktadır.

### 3.4.3. Düşey deprem etkisi

Deprem tasarım sınıflarından DTS = 1, 1a ve DTS = 2, 2a sınıflarına giren binaların düşey deprem hesabı için; mod birleştirme hesap yönteminde düşey elastik ivme spektrumu oluşturmasında, sistemin yapı elemanların yerel düşey titreşim modları baz alınmaktadır.

Düşey deprem yükünün ( $E_d^{(Z)}$ ), mod birleştirme yöntemiyle hesaplandığı zaman bütün taşıyıcı sistemler için  $D = 1$  ve  $R/I = 1$  alınacaktır. Üstte verilen deprem tasarım sınıfının dışındaki taşıyıcı sistem elemanlarında düşey deprem etkisi  $E_d^{(Z)}$ , aşağıdaki denklem ile takribi olarak hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G \quad (3.21)$$

### 3.4.4. Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarının dizaynında göz önünde bulundurulacak, deprem etkisini kapsayan yük birleşimleri altta bulunan denklemlerle verilmiştir.

$$G + Q + 0,2S + E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Z)} \quad (3.22)$$

$$0,9G + H + E_d^{(H)} - 0,3E_d^{(Z)} \quad (3.23)$$

Burada verilen; S kar yükünü, H yatay zemin itkisini ve Q ise hareketli yükünü göstermektedir.

### 3.5. Kütlelerin Modellenmesi

Taşıyıcı sistem eleman kütlelerin modellenmesinde aşağıdaki tabloda verilen hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) göz önüne bulundurarak hesap yapılmalıdır.

Tablo 3.8. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY-2018)

Bina Kullanım Amacı	n
Antrepo, Depo ve benzeri	0,80
Mağaza, lokanta, ibadethane, konser salonu, sinema, tiyatro, spor tesisi, okul, öğrenci yurdu ve benzeri	0,60
Otopark, hastane, işyeri, otel, konut ve benzeri	0,30

### 3.6. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımında kullanılacak olan lineer hesap yöntemleri, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle modal hesap yöntemleridir. Tez çalışması kapsamında eşdeğer deprem yükü ve modal hesap yöntemlerinden olan mod birleştirme yöntemi kullanılacaktır.



### 3.6.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle lineer analiz

Doğrusal hesap yöntemleri DGT yöntemine bağlıdır. Doğrusal hesap yöntemleri; Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Modal Hesap Yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi sadece Tablo 3.10.'da verilen durumlar için uygulanırken, modal hesap yöntemleri, yüksek binalar sınıfına giren binalar hariç bütün binaların deprem hesabında kullanılmaktadır.

Tablo 3.9. Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar (TBDY-2018)

Bina Türü	İzin verilen BYS	
	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 $\geq 6$

EDYY, birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binaya etkileyen depremler için ayrı olarak uygulanmaktadır. Aşağıdaki denklemler sadece (X) deprem doğrultusu için verilmiştir. Hesaplarda bina yüksekliği, bina tabanı veya temel sıfır kotundan hesaba katılmaktadır.

### 3.6.2. Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı

Dikkate alınacak (X) deprem doğrultusunda, tüm binaya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü  $V_{tE(X)}$ , aşağıda verilen denklem ile ifade etmektedir.

$$V_{tE(X)} = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0,04m_t I S_{DS} g \quad (3.24)$$

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.25)$$

Burada;  $S_{aR}(T_p)$ , binanın hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p(X)$  dikkate alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini,  $S_{DS}$ 'ini,  $m_t$  binanın toplam kütlelerini,  $I$  bina önem katsayısını,  $g$  yer çekim ivmesini ve  $m_i$  i'inci kat döşemesinin toplam kütlelerini göstermektedir.

### 3.6.3. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

Toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

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

Burada  $\Delta F_{NE}(x)$ , binanın N'inci katın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükünün değeri aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

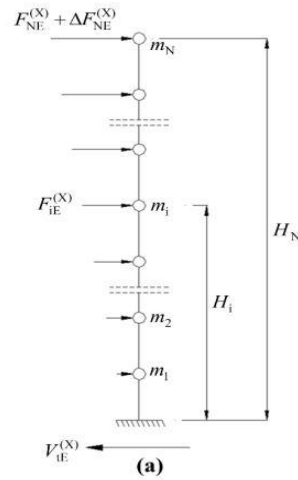
$$\Delta F_{NE}(x) = 0,0075 N V_{tE}(x) \quad (3.27)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün  $\Delta F_{NE}(x)$  dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına aşağıda verilen denklemle dağıtılacaktır.

$$\Delta F_{iE}(x) = (V_{tE}(x) - \Delta F_{NE}(x)) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.28)$$

Kat döşemelerinin rijit diyafram şeklinde modellenmesinde yukarıda verilen EDYY, i'inci kattaki ana düğüm noktasına dikkate alınan deprem doğrultusunda etki ettirilecektir. Deprem yüklerinden binanın tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

$$M_o(x) = \sum_{i=1}^N F_{iE}(x) H_i \quad (3.29)$$



Şekil 3.9. Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Dağılımı (TBDY-2018)

### 3.6.4. Binanın hâkim doğal titreşim periyotlarının hesaplanması

EDYY'nin uygulandığı bütün binalarda dikkate alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p(x)$ , daha kesin bir hesap yapılmadığı takdirde aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

$$T_p(x) = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}(x)^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi}(x) d_{fi}(x)} \right)^{1/2} \quad (3.30)$$

Buna ek olarak Ampirik hâkim doğal titreşim periyodu aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

$$T_{PA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.31)$$

Taşıyıcı sistemi çaprazlı çelik çerçevelerden veya çelik çerçevelerden oluşan binalarda  $C_t = 0,08$  alınacaktır.

### 3.6.5. Mod birleştirme hesap yöntemi (MBY)

Modal Hesap Yöntemleri, deprem spektrumuyla hesaba dayalı Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) ve zaman tanım alanında hesaba dayalı Mod Toplama Yöntemi (MTY) olarak ikiye ayrılmaktadır. Tezde bulunan modellerin analizi Mod Birleştirme

Yöntemiyle gerçekleştiği için sadece bu yöntem detaylıca anlatılmıştır. Modal Hesap Yönteminde, (X) ve (Y) deprem doğrultuları için hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı (YM), her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütleleri'nin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Ayrıca katkısı %3'ten fazla olan tüm modlar da dikkate alınması zorunludur. Her iki doğrultu için hesaplanan YM'lerin büyüğü üç boyutlu hesapta dikkate alınması gerekmektedir.

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0,95m_t; \sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0,95m_t \quad (3.32)$$

Burada  $m_{txn}^{(X)}$  ve  $m_{ty n}^{(Y)}$  sırası ile, (X) ve (Y) doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerdir [t].  $m_t$  ise binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütleleridir [t]. MBY'de, tanımlanan bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önünde bulunduran her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri MHY ile hesaplanmaktadır. Yeterli sayıda titreşim modu için hesaplanan, fakat eşzamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilmektedir. Mod Birleştirme Yönteminde, (X) deprem doğrultusu için en büyük modal davranış büyüklüğü  $r_{n,max}^{(X)}$ , aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$r_{n,max}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} S_{aR}(T_n) \quad (3.33)$$

Burada  $\Gamma_n^{(X)}$  tipik birim modal davranış büyüklüğünü,  $S_{aR}(T_n)$  ise tipik n'inci  $T_n$  için azaltılmış tasarım spektral ivmesini tanımlanmaktadır.

İç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi davranış büyüklüklerinin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her bir titreşim modu için denklem 3.33'e göre hesaplanan ve eşzamanlı olmayan enbüyük modal katkılar, aşağıda açıklandığı üzere istatistiksel olarak birleştirilecektir.

En genel mod birleştirme kuralı olarak Tam Karesel Birleştirme (TKB) Kuralı denklem.3.34.'te verilmiştir.

$$r_{max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{m=1}^{YM} \sum_{n=1}^{YM} r_{m,max}^{(X)} \rho_{mn} r_{n,max}^{(X)}} \quad (3.34)$$

Burada  $r_{m,max}^{(X)}$  ve  $r_{n,max}^{(X)}$ , tipik m'inci ve n'inci titreşim modları için en büyük modal davranış büyüklüklerini,  $\rho_{mn}$  ise bu modlara ait çapraz korelasyon katsayısını göstermektedir. Yukarıdaki denklemde yer alan çapraz korelasyon katsayısı altta bulunan denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_{mn} = \frac{8\sqrt{\xi_m \xi_n} (\beta_{mn} \xi_n + \xi_m) \beta_{mn}^{3/2}}{(1-\beta_{mn}^2)^2 + 4\xi_m \xi_n \beta_{mn} (1+\beta_{mn}^2) + 4(\xi_m^2 + \xi_n^2) \beta_{mn}^2} \quad \beta_{mn} = \frac{T_m}{T_n} \quad (3.35)$$

Burada  $\beta_{mn}$ , dikkate alınan m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotlarının oranını  $\xi_m$  ve  $\xi_n$  ise aynı modlara ait olan ve birbirinden farklı alınabilen modal sönüm oranlarını ifade etmektedir. Modal sönüm oranlarının tüm modlarda aynı olduğu varsayılarak çapraz korelasyon katsayısı da aşağıda denklemde verildiği üzere basitleştirilebilir.

$$\rho_{mn} = \frac{8\xi^2 (1+\beta_{mn}) \beta_{mn}^{3/2}}{(1-\beta_{mn}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{mn} (1+\beta_{mn}^2)} ; (\xi_m = \xi_n = \xi) \quad (3.36)$$

Gözönüne alınan tüm modlar için  $\beta_{mn} < 0,8$  koşulunun sağlanması durumunda, denklem 3.34'te verilen birleştirme kuralı yerine aşağıda tanımlanan Karelerin Toplamının Karekökü (KTKK) Kuralı kullanılabilir.

$$r_{max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{YM} (r_{n,max}^{(X)})^2} \quad (3.37)$$

Bu birleştirme kuralı, denklem 3.34'te  $\rho_{mn} = 0 (m \neq n)$  ve  $\rho_{mn} = 1 (m = n)$  alınması özel durumuna karşı gelmektedir.

Ayrıca en büyük taban devrilme momenti  $M_{axn,max}^{(X)}$  aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$V_{txn,max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} = m_{txn}^{(X)} S_{aR}(T_n) ; M_{axn,max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} H_i \quad (3.38)$$

Bu büyüklüklere ait mod katkılarının birleştirilmesi de yukarıdakinin aynısı yapılacaktır.

### 3.6.5.1. Mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan eşdeğer deprem yöntemine göre kontrolü

Binanın matematik modelinde hesaplanan  $T_p$ 'in deprem hesabında dikkate alınacak en büyük değeri, aşağıda verilen  $T_{PA}$  periyodunun 1,4 katından daha fazla olamaz.

$$T_{PA} = CtH^{3/4} \quad (3.39)$$

TBDY-2018 esaslarına göre EDYY ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti, Modal Hesap Yöntemi ile hesaplanan toplam taban kesme kuvvetinden fazla olduğu zaman, MHY ile hesaplanan taban kesme kuvveti, denklem 3.40  $\beta_{tE}$ , eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıyla artırılacaktır. Bu kontrol her iki deprem doğrultu için yapılması zorunludur.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \quad (3.40)$$

TBDY-2018'de açıklanan düzensizliklerden hiçbirinin binada bulunmadığında,  $\gamma_E = 0,8$  olarak alınır. Burada  $V_{tE}$  Toplam EDYY ve  $V_t$  MBY ile hesaplanan (taban kesme kuvveti)'dir.

Tablo 3.6.'da tanımlanan A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda  $\gamma_E = 0,90$  alınacaktır.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T_P) \geq 0,04 m_t I S_{DSg} \quad (3.41)$$

### 3.7. Göreli Kat Ötelemeleri Hesabı ve Kontrolü

Ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkıyla açıklanan azaltılmış göreli kat ötelemesi  $\Delta_i^{(X)}$ , herhangi bir perde veya kolon için (X) deprem doğrultusunda altta bulunan denklemlerle elde edilmektedir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (3.42)$$

Binanın i'inci katındaki perde veya kolonlar için etkin göreli kat ötelemesi olarak açıklanan  $\delta_i^{(X)}$ , x deprem doğrultusunda altta bulunan denklem ile elde edilmektedir.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (3.43)$$

Denklem 3.43 ile belirlenen  $\delta_i^{(X)}$  etkin göreli kat ötelemelerinin, Binanın i'inci katındaki her bir deprem doğrultusu için, kat içindeki maksimum değeri  $\delta_{i,max}^{(X)}$ , aşağıda verilen koşulların sağlanması gerekmektedir.

Cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına ve gevrek malzemenen yapılmış boşluksuz/boşluklu dolgu duvarlarının, aralarında herhangi bağlantı veya derz olmadan tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008 \quad (3.44)$$

Çerçeve elemanları ile gevrek malzemenen yapılmış dolgu duvarların aralarına esnek derzler yapılması, dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması veya cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması durumunda

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,016 \quad (3.45)$$

### 3.8. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe olarak tanımlanan  $\theta_{IIi}^{(X)}$ , her bir i'inci katta, (X) deprem doğrultusu için denklem 3.46 ile hesaplanacaktır.

$$\theta_{IIi}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (3.46)$$

Burada,  $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ , denklem 3.42 ile hesaplanan, (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış görelî kat ötelemelerinin aynı kattaki ortalamasını ifade etmektedir.

Tüm katlar için hesaplanan, ikinci mertebe gösterge değerlerinin en büyüğü,  $\theta_{II,i}^{(X)}$ 'in denklem 3.47'de verilen koşulu sağlaması halinde, tasarım için kullanılan iç kuvvetlerin hesabında ikinci mertebe etkilerinin hesaba katmasına gerek yoktur. Aynı denklemde yer alan,  $C_h$ , taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak nitelendirilen bir katsayıdır. Çelik binalar için  $C_h = 1$  alınacak.

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.47)$$

$\theta_{II,i,max}^{(X)}$  değeri, denklem 3.47'de verilen koşulu sağlamaması halinde, (X) deprem doğrultusundaki iç kuvvetleri denklem 3.48'de yer alan ikinci mertebe büyütme katsayısı ile büyütülecektir.

$$\beta_{ii}^{(X)} = 0,88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{II,max}^{(X)} \geq 1 \quad (3.48)$$

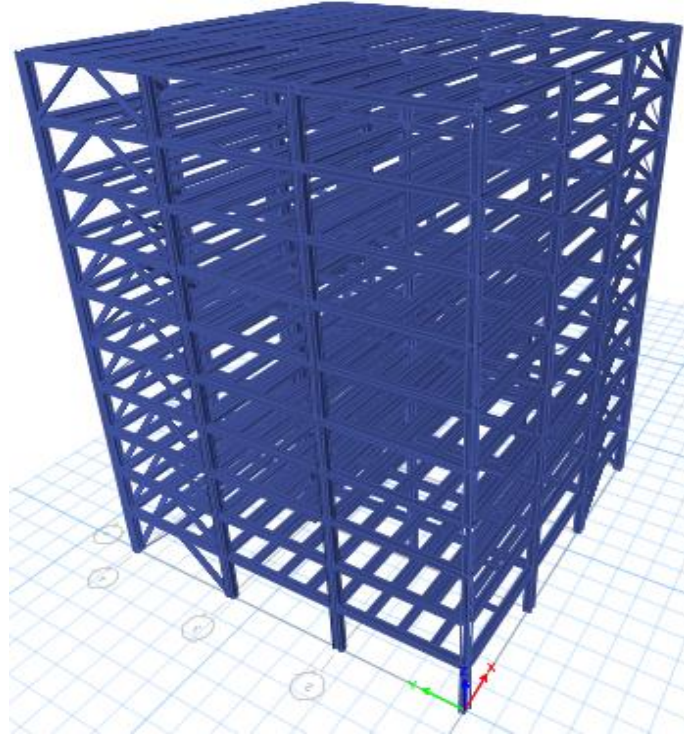
Denklem 3.48'de tanımlanan şartın sağlanamaması halinde, taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri büyütürerek deprem hesabı tekrarlanabilir. Yukarıda (X) deprem doğrultusu için yapılan işlemler (Y) deprem doğrultusu için de yapılmalıdır.



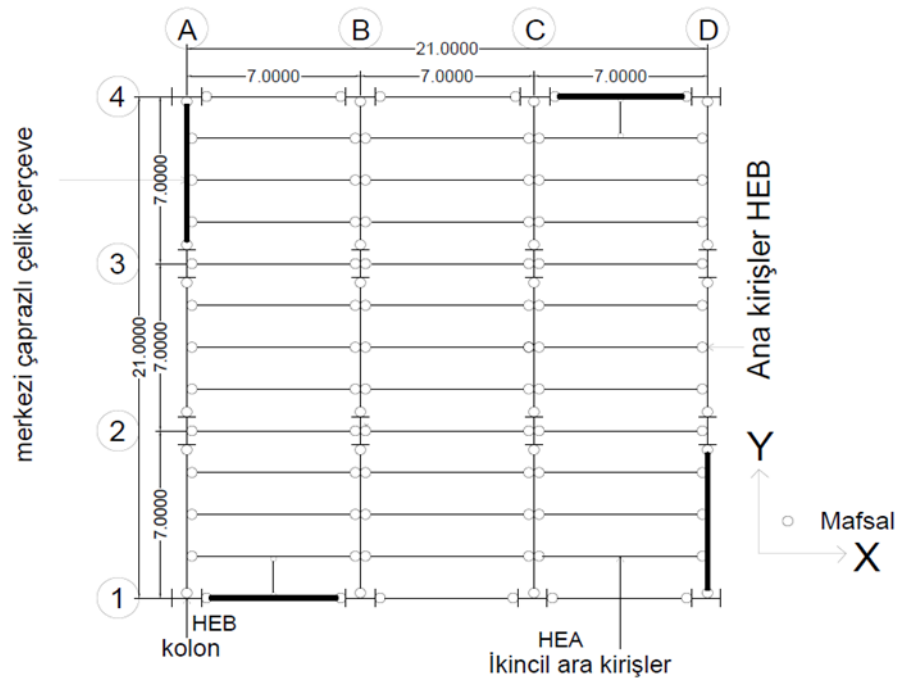
## BÖLÜM 4. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI YAPININ TBDY-2018'E GÖRE ANALİZİ

### 4.1. Analizi Yapılacak Binanın Genel Özellikleri

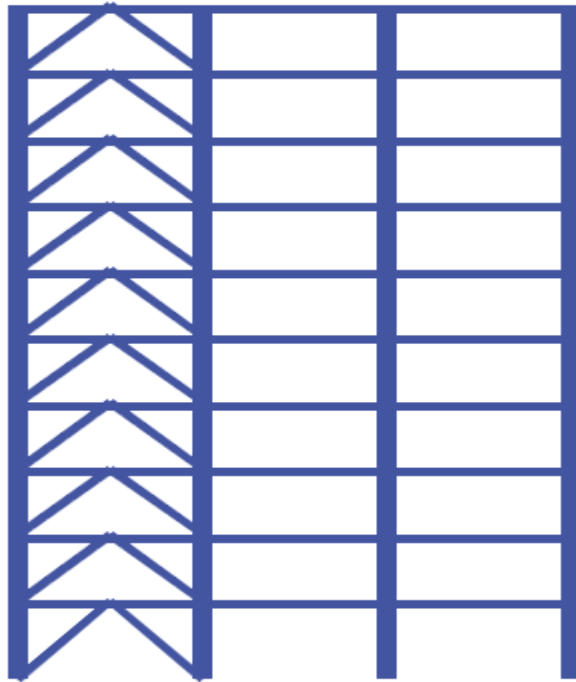
Bu tezde, 10 katlı (zemin kat + 9 normal kat) çelik yapı dokuz ayrı plana sahip olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Tasarım yapılırken; aynı alana sahip olan plan üzerinde toplamda 4 adet ters V merkezi çelik çapraz (MÇÇ) kullanılmıştır. Daha sonra (MÇÇ)'lerin konumları değiştirilerek 10 farklı bölgelerde yerleştirilip yapının analizi yapılmıştır. Bina yüksekliği giriş katında 3.5m diğer 9 kat ise 3'er metre 'den oluşmaktadır. Yapının konum ise Enlem 40.97191 ve Boylam 28.657569'e sahip İstanbul ili, Beylikdüzü ilçesi, Kavaklık mahallesinde bulunan bir konum seçilmiştir. Yapı simetrik olup 21 x 21 m<sup>2</sup> kare bir plana sahiptir. X ve Y yönünde 7 metre açıklığa sahip üçer açıklık bulunmaktadır.



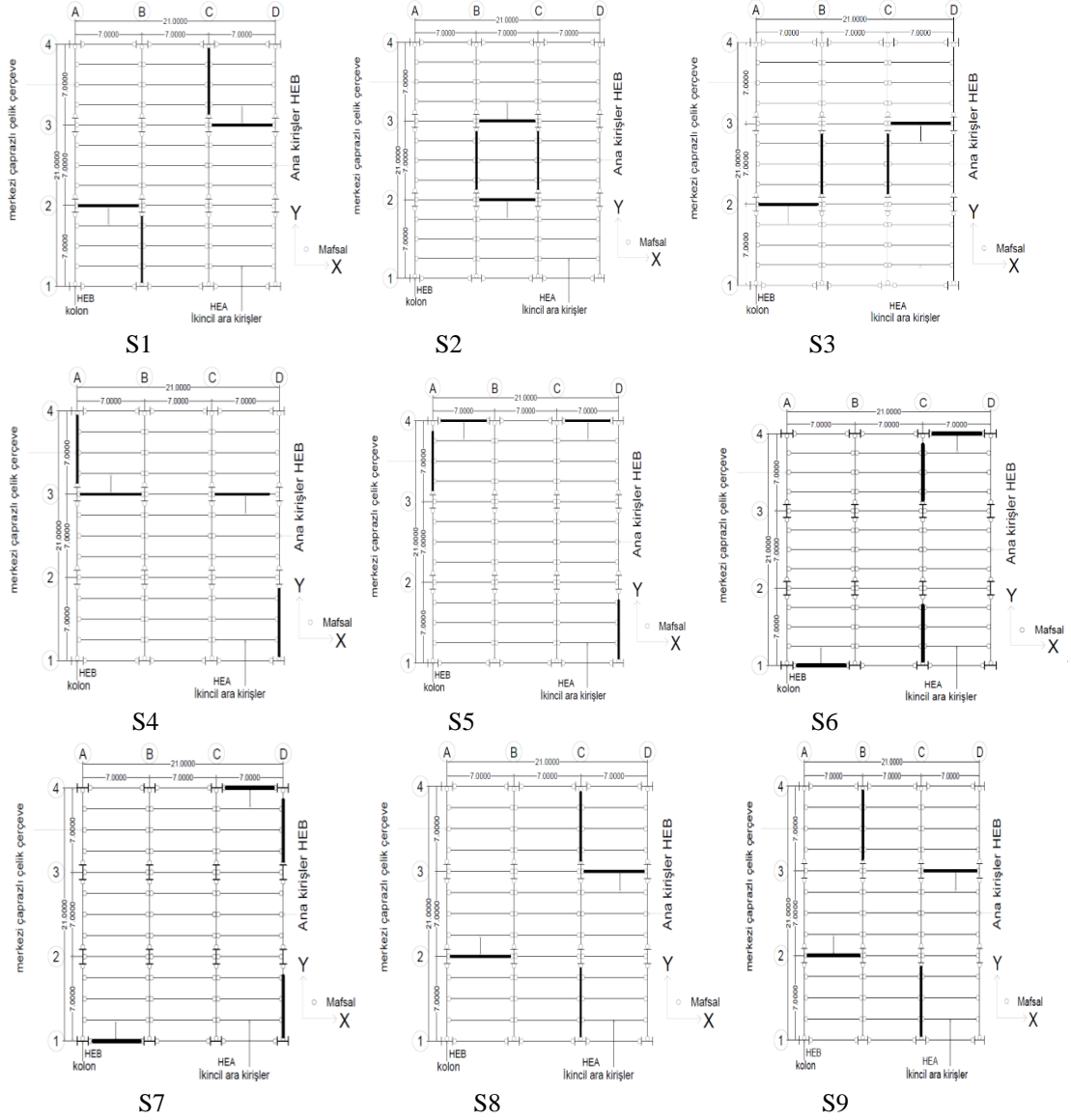
Şekil 4.1. Yapı 3D Görüntüsü



Şekil 4.2. S0 Model Yapı Planı



Şekil 4.3. Yapı Tipik Enkesit



Şekil 4.4. Yapı Planında Çapraz Yerleşim Planları

## 4.2. Kullanılan Malzeme

2016 senesinde yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'in ikinci bölümünde yer alan malzeme karakteristik değerleri üretim standartlarında verilen minimum değerler alınarak sonlu eleman analizinde kullanılmıştır. Deprem yönetmeliğinde verilen, TS-EN-10025'e göre sıcak biçimde haddelenerek üretilen çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 ve EN 10219'göre üretilen yapısal boru ve kutu enkesitli elemanların oluşturduğu çelik-betonarme kompozit ve çelik yapıların tasarım hesaplarında aşağıda Tablo 4.1.'de yer alan çelik malzemesini mekanik özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Sıcakta Haddelenmiş Yapısal Çelik Malzemesinin mekanik özellikleri (ÇYTHYE-2016)

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	Fy (N/mm <sup>2</sup> )	Fu (N/mm <sup>2</sup> )	Fy (N/mm <sup>2</sup> )	Fu (N/mm <sup>2</sup> )
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550

Yapı modellerinde; çapraz ve kirişler için S275, kolonlar için S355 yapısal çelik sınıfı kullanılmıştır.

### 4.3. Kullanılan Kesitler

Kolonlar, kirişler ve çapraz elemanların en-kesitleri I profilden seçilmiştir. Binada bulunan kolonlar tüm katlarda HE700B, kirişlerde HE320A ve çaprazlarda HE280A I-en kesitli elemanlardan meydana gelmektedir. 1.75m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişlerde kullanılan profiller HE240A olup, ikincil kirişler ana kirişlere mafsallı şekilde bağlanmıştır. Ana kirişlerinin, kolonlara bağlantısı, çaprazların kolonlara ve çaprazların kirişlere bağlantı şekli mafsallı olacak şekilde teşkil edilmiştir. Kolonların, +0,00 kotunda temele her iki eksen etrafında mafsallı olacak şekilde mesnetlenmiştir.

Tablo 4.2. Kolonlarda kullanılan kesitler ve özellikleri

Kolonlarda (HE700B)		Özellik	Değer
		G kg/m	241
		h mm	700
		b mm	300
		tw mm	17
		A cm <sup>2</sup>	306,40
		d mm	582
		Iy cm <sup>4</sup>	14440
		Wy cm <sup>3</sup>	1495
		Ix cm <sup>4</sup>	256900
		Wx cm <sup>3</sup>	8327

Tablo 4.3. Ana Kirişlerde kullanılan kesitler ve özellikleri

Ana kirişler (HE320A)		Özellik	Değer
		G kg/m	97,6
		h mm	310
		b mm	300
		tw mm	9
		tf mm	15,5
		A cm <sup>2</sup>	124,40
		d mm	225
		Iy cm <sup>4</sup>	6985
		Wy cm <sup>3</sup>	710
		Ix cm <sup>4</sup>	22930
		Wx cm <sup>3</sup>	1628

Tablo 4.4. Ara Kirişlerde kullanılan kesitler ve özellikleri

Ara kirişler (HE240A)		Özellik	Değer
		G kg/m	60,3
		h mm	230
		b mm	240
		tw mm	7,5
		tf mm	12
		A cm <sup>2</sup>	76,84
		d mm	164
		Iy cm <sup>4</sup>	2769
		Wy cm <sup>3</sup>	352
		Ix cm <sup>4</sup>	7763
		Wx cm <sup>3</sup>	745

Tablo 4.5. Çaprazlarda kullanılan kesitler ve özellikleri

Çaprazlar (HE280A)		Özellik	Değer
		G kg/m	76,4
		h mm	270
		b mm	280
		tw mm	8
		tf mm	13
		A cm <sup>2</sup>	97,26
		d mm	196
		Iy cm <sup>4</sup>	4763
		Wy cm <sup>3</sup>	518
		Ix cm <sup>4</sup>	13670
		Wx cm <sup>3</sup>	1112

#### 4.4. Tasarımda Kullanılan Yapıya Etkiyen Yükler

##### 4.4.1. Sabit ve hareketli yükleri

Sabit yük,  $3 \text{ kN/m}^2$  (döşeme kalınlığı 12 cm ve çelik saç) ve hareketli yük  $2 \text{ kN/m}^2$  olarak kabul edilmiştir.

##### 4.4.2. Rüzgâr yükü

Binanın yer alacağı arazi şartlarına göre, rüzgâr hızı bölgesel meteorolojik ölçümler alınarak değerlendirilmelidir. Rüzgâr hızının esas değeri; yılın herhangi bir diliminden ve rüzgâr doğrultusundan bağımsız olacak şekilde, çayır gibi az bitki örtüsüne sahip ve aralarında minimum engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip açık ve kırsal alanda, yer seviyesinden 10 m yukarıda ölçülen karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı olarak tanımlanır. Buna göre esas rüzgâr hızı, aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$V_b = c_{dir}c_{season}V_{b,0} \quad (4.1)$$

Binaya gelen rüzgâr yükü TS-EN-1991-1-4'e standarttı dikkate alınarak aşağıdaki şekilde tek yön için hesaplanmıştır. ÇYTHYE 5.3'e göre, rüzgâr hız değeri hesaplanırken, temel kotundan itibaren binanın ana taşıyıcı sistemine, rüzgâra maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına  $0.50 \text{ kN/m}^2$ 'den rüzgâr yükü gelecektir. Buna göre, rüzgâr hızının temel değeri  $V_{b,0} = 100 \text{ km/h}$  olarak alınmıştır.

Burada mevsim katsayısı  $c_{season}$  ve doğrultu katsayısı  $c_{dir}$  değerleri önerilen değer olan 1,0 olarak alındığında, esas rüzgâr hızı  $v_b = V_{b,0} = 28 \text{ m/s}$  şeklinde bulunur. Bir arazide zemin seviyesinden (z) metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı  $v_b^{(z)}$ , o arazinin engebeliğine, esas rüzgâr hızı  $v_b$  değerine ve orografik özelliklerine bağlı olarak denklem 4.6 ile hesaplanır.

Arazi orografisi için TS-EN-1991-1-4 başlık 4.3.3 esas alındığında orografinin rüzgâr hızını arttırmadığı varsayım ile coğrafi katsayısı önerilen değer olan 1,0'e eşit olarak alınmaktadır. Yapılacak olan binanın inşa edileceği arazinin kategorisi, IV olarak varsayıldığında, arazi parametreleri TS-EN-1991-1-4 Çizelge (4.1)'de aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$Z_0 = 1,0m \quad (4.2)$$

$$Z_{min} = 10m \quad (4.3)$$

İncelenen binada, yer seviyesinden yükseklik,  $z = 30,5m$  olduğundan,  $Z_{min} = 10m \leq Z = 30,5 \leq Z_{maks} = 200m$  bağlantı ve arazi kategorisi II baz alındığında TS-EN-1991-1-4 Çizelge-4.1.'e göre  $Z_{0,II} = 0,05$  olarak elde edilir. Arazi katsayısı  $K_r$  ve engebellik katsayısı  $C_{r(z)}$  sırasıyla aşağıdaki denklemler ile elde edilir.

$$K_r = 0,19 \left( \frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.4)$$

$$K_r = 0,19 \left( \frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234$$

$$C_r(z) = k_r \ln \left( \frac{z}{Z_0} \right) \quad (4.5)$$

$$C_r(z) = k_r \ln \left( \frac{z}{Z_0} \right) = (0,234) \ln \left( \frac{30,5}{1,0} \right) = 0,799$$

Bu değerler denklem 4.6'da yerine yazılarak, (z) metre yükseklik için ortalama rüzgâr hızı  $v_m^{(z)}$ , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v_m(z) = c_r(z) c_0(z) V_b \quad (4.6)$$

$$v_m(z) = c_r(z) c_0(z) V_b = (0,799)(1,00)(28) = 22,37m/sn$$

(z) metre yükseklikteki kısa süreli ve ortalama hız değişikliklerini içeren tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı  $q_p^{(z)}$ , TS-EN-1991-1-4 bağlantı 4.5.'e göre uygun olarak

hesaplanır. Bunun için, (z) metre yükseklikteki türbülans şiddeti  $l_v^{(Z)}$  aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$l_v^{(Z)} = \frac{k_1}{c_0^{(Z)} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (4.7)$$

$$l_v^{(Z)} = \frac{1,0}{(1,0) \ln\left(\frac{30,5}{1,0}\right)} = 0,29$$

$q_P^{(Z)}$  Rüzgâr basıncı denklem 4.8. kullanarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$q_P^{(Z)} = \left[1 + 7l_v^{(Z)}\right] \frac{1}{2} \rho v_m^2(Z) = c_e(Z) q_b \quad (4.8)$$

$$q_P^{(Z)} = [1 + 7(0,29)] \frac{1}{2} (1,25)(22,37)^2 10^{-3} = 0,947 kN/m^2$$

veya  $c_0^{(Z)} = 1,0$  olan düz arazilerde, arazi kategorisi IV ve yer seviyesinden yükseklik,  $z = 30,5m$  için, maruz kalma katsayısının,  $c_0^{(Z)} = 1,92$  olarak belirlenmesinin ardından, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$q_P = \frac{1}{2} \rho v_m^2(Z) \quad (4.9)$$

$$q_P = \frac{1}{2} (1,25)(28)^2 = 490 N/mm^2$$

$$q_P^{(Z)} = c_0(Z) q_b \quad (4.10)$$

$$q_P^{(Z)} = (1,92)(490) 10^{-3} = 0,940 kN/m^2$$

Yüzeyle etkiyen iç  $w_i$  ve dış  $w_c$  rüzgâr basınçları, tepe kaynaklı hız basıncı  $q_p^{(Z)}$ , referans yüksekliği,  $Z_i$  olmak üzere, iç ve dış basınç katsayılarına bağlı olarak, aşağıda sırasıyla verilen denklemler ile elde edilir.

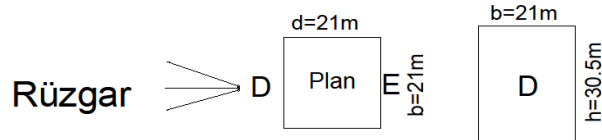
$$w_c = q(Z_e) c_{pe} \quad (4.11)$$

$$w_i = q(Z_i) c_{pi} \quad (4.12)$$



Bu durumda, binanın düşey yüzeyleri için TS EN 1991-1-4 7.2.2’de tanımlanan etki alanlarında kullanılması gereken dış basınç  $c_{pe,10}$  ve iç basınç  $c_i$  katsayıları hesaplanmalıdır. Buna göre, rüzgâr etkime doğrultusuna dik boyut,  $b = 21\text{m}$  ve  $h = 30,5\text{m}$  olmak üzere plandaki  $h/d$  oranı  $0.25 < \frac{h}{d} = \frac{30,5}{21} = 1,45 > 1,0$  şeklinde değerlendirilmektedir.

Rüzgâr etkime yönüne bağlı olarak D ve E yüzeyleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.5. Rüzgâr Yönü

Bu oranlar göz önüne alınarak, TS EN 1991-1-4 Tablo (7.1.) yardımıyla belirlenen dış basınç katsayıları  $c_{pe,10}$ , aşağıdaki tabloda verilmektedir. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, ara değerler için enterpolasyon yapılmamıştır.

Tablo 4.6. Dış Basınç Katsayıları  $b=21\text{m}$  ve  $h/d=1.45$

Bölge	D	E
$c_{pe}$	0,8	-0,5

TS-EN-1991-1-4 madde 5.2. uyarınca; bir yüzeye etki eden net basınç, elemanların ters yüzeylerinde oluşan basınçların, yönleri (işaretleri) de dikkate alınarak hesaplanan değerlerin farkına eşittir. İç basınç katsayısı, bina cephelerindeki boşlukların boyutlarına ve dağılımına bağlıdır. Genellikle boşluk oranı belli olmadığından, iç basınç katsayısı  $c_{pi}$ , TS-EN-1991-1-4 madde 7.2.9 Not 2’ye göre, önerilen değerler olan +0,2 veya -

0,3'ten en elverişsiz durumu oluşturan değer olarak belirlenmiştir. Bu durumda net basınç katsayıları  $c_{pnet}$ , aşağıdaki tabloda verildiği gibi elde edilmektedir.

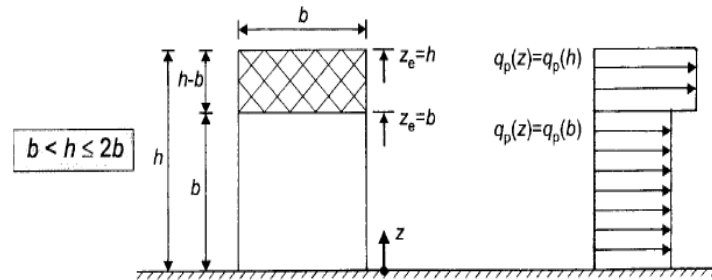
Tablo 4.7. Net basınç katsayıları  $b=21m$   $h/d>1$

Bölge	D	E
$c_{pnet} = c_{pe} - (+0.2)$	0,6	-0,7
$c_{pnet} = c_{pe} - (-0.3)$	1,1	-0,2

Buna göre, binanın D ve E yüzelerindeki rüzgâr basınçları aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$w = q(Z)(c_{pe} - c_{pi}) = q(Z)c_{pnet} \quad (4.13)$$

Dikdörtgen planlı olan bu binada, rüzgârın yaklaştığı yöndeki, binanın plandaki  $d$  ve  $b$  boyutları için ( $21m$ ) da  $b=21m \leq h = 30,5m \leq 2b=2d=42m$ , TS EN 1991-1-4 7.2.2'ye göre aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Binaya Rüzgâr Yüğü Etkime Şekli, (TS EN 1991-1-4)

Burada, yükseklik  $21m$ 'e kadar  $A_{ref} = b \cdot h_i$  ve yükseklik  $21m$ 'den  $30,5 m$ 'e kadar  $A_{ref} = (b \cdot h)$  olarak alınır. Burada;  $b$  bina genişliği,  $h_i$  kat yüksekliği ve  $h$  toplam bina yüksekliğidir. Taşıyıcı sisteme etkileyen toplam rüzgâr yükü  $w$ ,  $b=21m$  için,

$$w = q(Z)(c_{pe} - c_{pi})A_{ref} = q(Z)c_{pnet}A_{ref} \quad (4.14)$$

$$w = 0,940(1,3)A_{ref} = 1,222(A_{ref})kN/m^2$$

Şeklinde hesaplanır. Rüzgâr yükünün, kat döşemelerine ait ağırlık merkezlerine etki eden statik olarak eşdeğer tekil kuvvetler olarak katlara dağılımı, yüzey genişliğine bağlı olarak aşağıda tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.8.  $b = 21$  m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgâr kuvvetleri

Döşeme	$h_i$ (m)	Rüzgâr Kuvveti (kN)
Çatı katı	1,5	55,906
9. kat	3,0	111,813
8. kat	3,0	111,813
7. kat	3,0	76,986
6. kat	3,0	76,986
5. kat	3,0	76,986
4. kat	3,0	76,986
3. kat	3,0	76,986
2. kat	3,0	76,986
1. kat	3,5	89,817
$\Sigma$		831,265

#### 4.5. Analiz için Bilgisayar Programının Kullanımı

Sonlu eleman programından elde edilen verilerin doğruluğu programa girilen yapı bilgileri ile doğru orantılıdır. Özellikle üç boyutlu ve büyük yapıların analiz hesaplaması karmaşık ve zaman aldığı için hatasız veri girişi yapılması gerekmektedir. Ayrıca doğru sonuçları elde etmek için; sonlu eleman programında kullanılan analiz prosedürü ve analiz tipi etkili olmaktadır. Bilgisayar yardımı ile kullanılan sonlu eleman programları yerine el ile hesaplama yöntemi kullanılırsa; kesin sonuç ve makul değerler üretmek için, daha çok zamana ve iterasyon adımına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bilgisayar analiz programları elde yapılan hesaplamalarda kullanılan hesabın aynısını kullanmaktadır. Ancak sonlu analiz programlarına doğru veri girişi yapıldığı takdirde, daha fazla iterasyon kullanarak daha doğru sonuç elde etmemizi sağlamaktadır.

#### 4.6. Yapının Analizi

Binanın analizi için TBDY-2018 deprem yönetmeliğinde bulunan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Model Analiz Yöntemlerinden, Mod Birleştirme Yöntemini kullanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman analizinde kullanılan yapı hakkındaki bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### 4.6.1. Deprem verileri

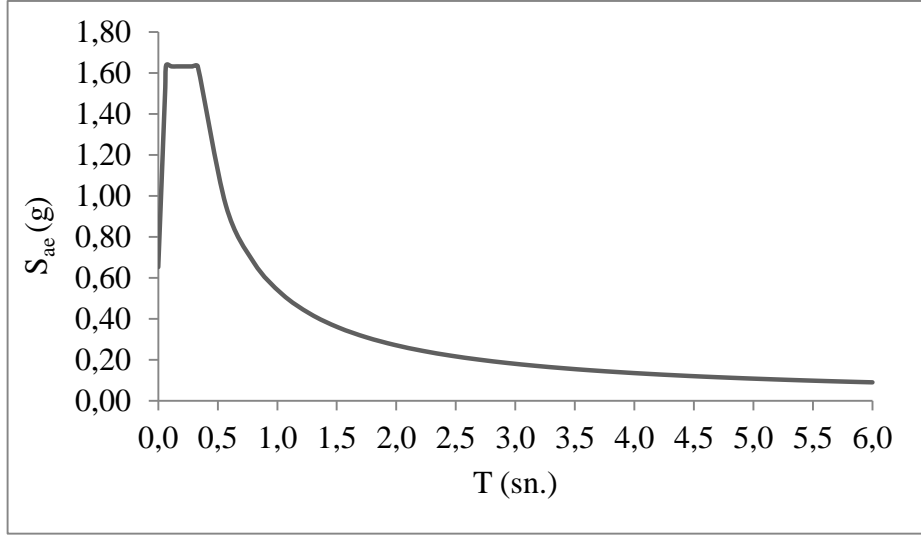
- Bina Taşıyıcı Sistemi: Yapının her iki doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çapraz sistemi (MÇÇS)
- Çerçevelerden oluşan sistem
- Bina Kullanım Amacı: Konut
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- Yerel Zemin Sınıfı: ZC
- Kısa Periyod Bölgesi için Harita Spektral İvme Katsayısı  $S_S$ : 1,360
- 1,0 Saniye Periyod için Harita Spektral İvme Katsayısı  $S_1$ : 0,363
- Kısa Periyod Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı  $F_S$ : 1,200
- 1,0 Saniye Periyod için Yerel Zemin Etki Katsayısı  $F_1$ : 1,500
- Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı  $S_{DS}$ : 1,632
- Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı  $S_{D1}$ : 0,5445
- Bina Kullanım Sınıfı (BKS): 3
- Bina Önem Katsayısı (I): 1,00
- Deprem Tasarım Sınıfı (DTS): 1
- Bina Yükseklik Sınıfı (BYS): 4
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R): 5
- Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D): 2

#### 4.6.2. Mod birleştirme yöntemiyle analiz

Yukarıda bulunan deprem verilerinden ve TBDY-2018 esasları gözönüne bulundurarak bütün yapı modellerinin Mod Birleştirme Yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

##### 4.6.2.1. Deprem yatay yasarım spektrumu

Yukarıdaki parametreleri kullanarak Spektrum Eğrisi şekilde görüldü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. DD-2 Deprem Düzeyi Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Sae(T)

$$T_A=0,2S_{D1}/S_{DS}$$

$$T_B=S_{D1}/S_{DS}$$

$$T_A=0,067(S)$$

$$T_B=0,334(S)$$

$$T_L=6(S)$$

#### 4.6.2.2. Azaltılmış yatay deprem spektrumu

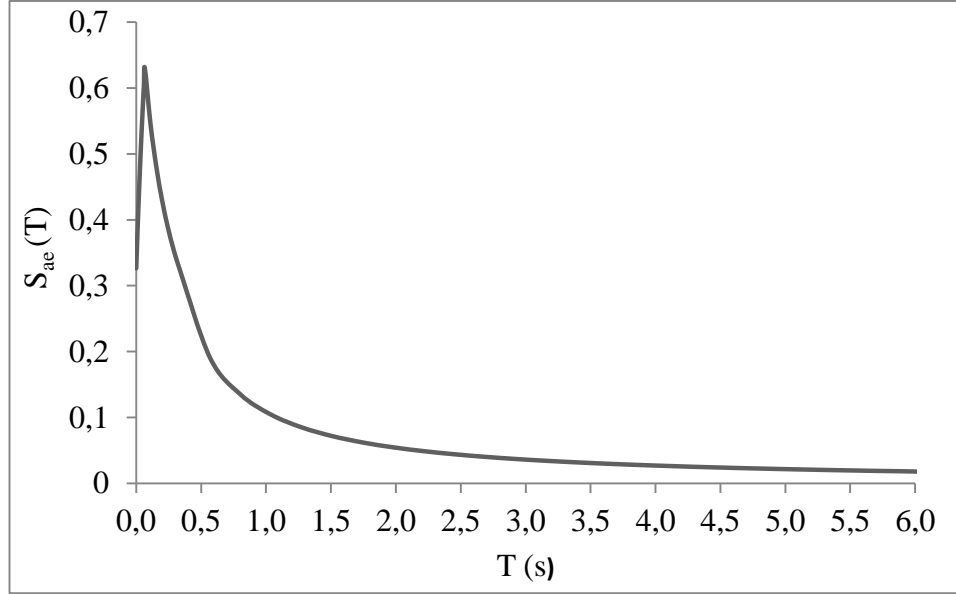
TBDY-2018, 4.2.1.2 bandında deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)$  altta olduğu gibi tanımlanmıştır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.15)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4.16)$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.17)$$

Yukarıdaki formüllerden yola çıkarak, DD-2 Deprem Düzeyi için her iki doğrultuda Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Excel ortamında oluşturulup aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.8. DD-2 Deprem Düzeyi için Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Doğal titreşim modlarının belirlenmesinde, tam karesel birleştirme (TKB) bağlantı kullanılacaktır. Bununla alakalı TBDY-2018’ de göz önüne alınan herhangi iki titreşim modunun birbirine oranı daima  $T_m / T_n < 0,80$  şartını sağlaması durumunda “Karelerinin Toplamının Kare Kökü (KTKK)” kullanılabilceği, sağlamaması durumunda ise, “Tam Karesel Birleştirme (TKB)” kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Her iki durumda da (TKB) bağlantının kullanılmasında bir sorun olmadığı için bu noktada modların birleştirilmesinde (TKB) bağlantısı kullanılacaktır.

Modal Sönüm (Modal Damping) değeri de 0,05 olarak alınacaktır. Ek dışmerkezi her iki deprem doğrultusu için 0,05 olarak dikkate alınmıştır. Deprem yükünün analize dahil edilebilmesi için Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu girilmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirmesi için programın “Define” menüsünden “Functions” kısmına girilerek, buradan “Response Spektrum” seçeneği yardımı ile sonlu eleman programına tanıtılmaktadır. Çıkacak menüde, “From File” sekmesi seçilip Excel dosyası (txt) olarak spektrum eğrisi değerleri girilmektedir. Tasarım spektrumunun tanımlanmasının sonrasında tanımlanan spektruma bağlı olarak deprem kuvvetleri ile ilgili (her iki doğrultu için) yükleme durumunun (Analysis Case) tanımlanması gerekir. Load case’yi tanımlarken Ölçek Katsayısı (Scale Factor)  $g=9,81$  m/sn<sup>2</sup> olarak alınmaktadır.

#### 4.6.2.3. Düşey deprem etkisi

TBDY 4.4.3'e göre deprem hesabı yapılırken düşey deprem etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu bina için düşey deprem etkisi, TBDY 4.4.3.2'ye uygun olarak özel bir hesap yapılmaksızın, aşağıdaki formül ile yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

$$E_z = \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G \quad (4.18)$$

#### 4.7. Dayanım Sınır Durumuna Göre Tasarım

ÇYTHYEDY-2016'de dayanım sınır durumuna göre tasarım için, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) olmak üzere iki yöntem vardır. Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin tasarımı aşağıda esasları verilen GKT veya YDKT yöntemlerinden biri uygulanarak gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında ise YDKT yöntemi kullanılmıştır.

##### 4.7.1. Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT)

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi, tüm yapısal elemanlar için tasarım dayanımı ile ifade edilen  $\Phi \cdot R_n$  'in bu tasarım yöntemi için öngörülen ve YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım ile ifade edilen değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşıma göre tasarım, altta denklem ile verilen şartta uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_u \leq \Phi \cdot R_n \quad (4.19)$$

##### 4.7.2. Yük kombinasyonları

G: sabit yük

Q: hareketli yük

W: rüzgâr yükü

E: deprem etkisi

(YDKT) yaklaşımına göre yük kombinasyonları;

Düşey yük kombinasyonları:

$$1,4 G$$

$$1,2 G + 1,6 Q$$

$$1,2 G + Q$$

Düşey yük + deprem Birleşimleri (Düşey Deprem etkisi dâhil) :

$$1.5264G + 0.5Q \pm EX \pm 0.3EY$$

$$1.5264G + 0.5Q \pm 0.3EX \pm EY$$

$$0.5736G \pm EX \pm 0.3EY$$

$$0.5736G \pm 0.3EX \pm EY$$

Düşey yük + rüzgâr birleşimleri:

$$1.2G \pm 0.8W$$

$$1.2G + Q \pm 1.6W$$

$$0.9G \pm 1.6W$$



## **BÖLÜM 5. ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR**

Tez çalışmanın bu bölümünde, 4. bölümde her iki yöntemiyle yapılan analiz sonuçları grafik ve tablo şeklinde özet olarak gösterilecektir. Birinci aşamada Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, ikinci aşamada ise Mod Birleştirme Yönteminin analiz verilerine yer verilmiştir. Analiz kontrolleri S0 yapı modeli için detaylı olarak diğer modeller için ise toplu bir biçimde tablo olarak verilmiştir. Analiz sonuçları Excel 2010 ortamında grafiklendirilmiştir.

### **5.1. X ve Y Deprem Doğrultusunda Modellerin Periyotları**

Binanın matematik modelinden elde edilen hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p$ 'in deprem hesabında dikkate alınan en büyük değeri,  $T_{PA}=C_tH^{3/4}$  'ün 1,4 katından daha fazla olmayacaktır.

Burada;  $C_t$  çaprazlı çelik çerçeveler veya çelik çerçevelerle oluşan binalarda 0,08 olarak alınır. H ise binanın toplam yüksekliğidir. S0 model planı için bilgisayarda hesaplanan X-kseninin hâkim doğal titreşim periyodu 1,1273 ve Y-kseninin ise; 1,1142 Sn. olarak elde edilmiştir.

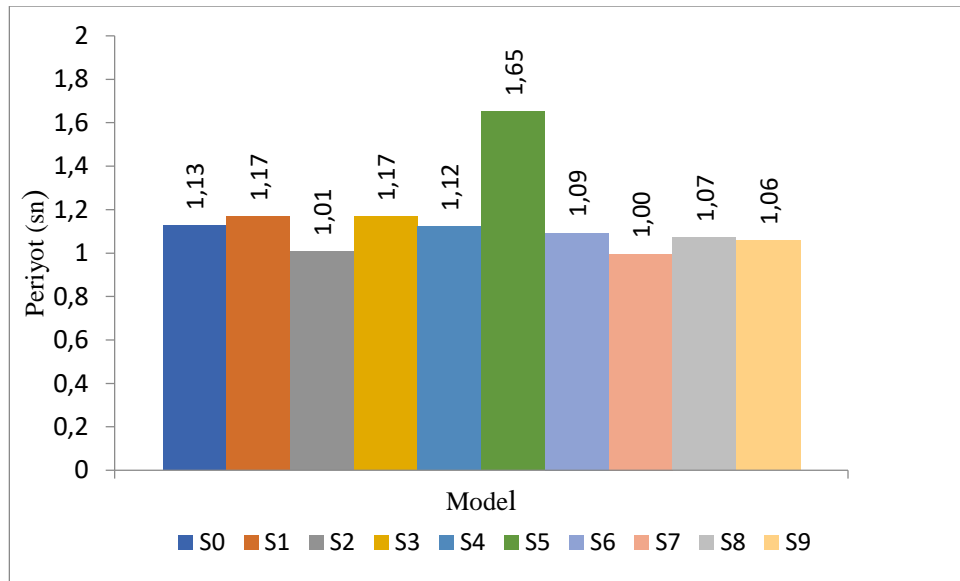
$$1,1273 \text{ (Sn.)} \leq 1,4 \cdot 0,08 \cdot 30,5^{3/4} = 1,4535 \text{ (Sn.)} \checkmark$$

$$1,1142 \text{ (Sn.)} \leq 1,4 \cdot 0,08 \cdot 30,5^{3/4} = 1,4535 \text{ (Sn.)} \checkmark$$

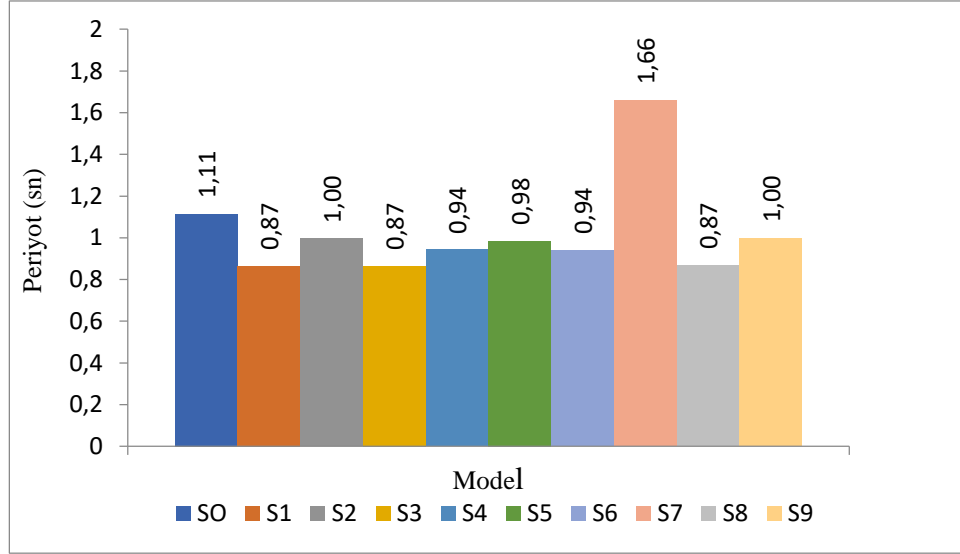
Tablo 5.1. Modellerin Hâkim Doğal Titreşim Periyodu

Model	$T_x$	$T_{PA}$	$T_y$	$T_{PA}$
SO	1,1273	<1,4535	1,1142	<1,4535
S1	1,167	<1,4535	0,8654	<1,4535
S2	1,0077	<1,4535	0,996	<1,4535
S3	1,1672	<1,4535	0,8654	<1,4535
S4	1,1231	<1,4535	0,9423	<1,4535
S5	1,6505	>1,4535	0,9838	<1,4535
S6	1,0937	<1,4535	0,939	<1,4535
S7	0,9958	<1,4535	1,6587	>1,4535
S8	1,072	<1,4535	0,8684	<1,4535
S9	1,0581	<1,4535	0,9966	<1,4535

Tablo 5.1.'de verilen periyotların, X doğrultusunda S5 ve Y doğrultusunda S7 modellere ait periyodunun kontrolü sağlanmamıştır. TBDY-2018 esaslara gereği bu iki model için, hesaplarda Ampirik formül ile hesaplanan periyot değerleri dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 5.1. Modellerin X Doğrultusunda Hâkim Doğal Titreşim Periyodu



Şekil 5.2. Modellerin Y Doğrultusunda Hâkim Doğal Titreşim Periyodu

### 5.1.1. Taban kesme kuvvetlerin kontrolü

TBDY-2018 madde 4.8.4'e göre herhangi bir doğrultusundaki Modal Hesap Yöntemleri ile hesaplanan toplam deprem yükü, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle elde edilen toplam Eşdeğer Deprem Yükünden (taban kesme kuvveti) az olması durumunda,  $\beta_{TE}$ , eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıyla çarpılacaktır.

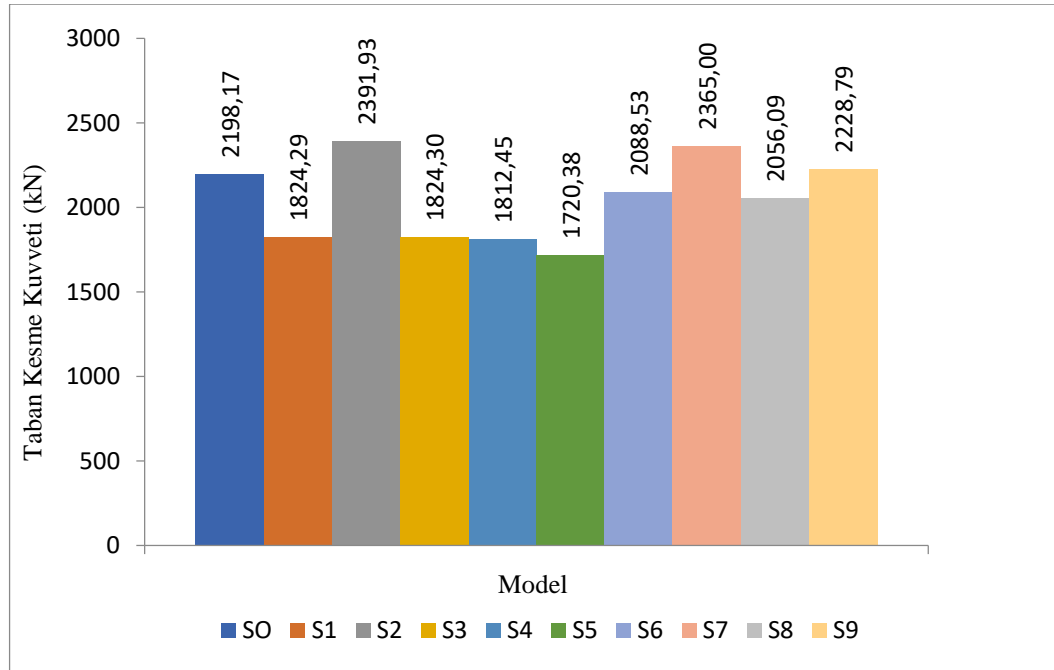
Tablo 5.2. G+0.3Q Kat Kütlesi

Kat	Kat Yüksekliği (cm)	Kat Ağırlığı $W_i$ (kN)	Kat Kütlesi $m_i$ (t)
10	300	2164,98	220,7665
9	300	2164,98	220,7665
8	300	2164,98	220,7665
7	300	2164,98	220,7665
6	300	2164,98	220,7665
5	300	2164,98	220,7665
4	300	2164,98	220,7665
3	300	2164,98	220,7665
2	300	2164,98	220,7665
1	350	2250,01	229,641
$\Sigma$	3050	21734,83	2216,5395

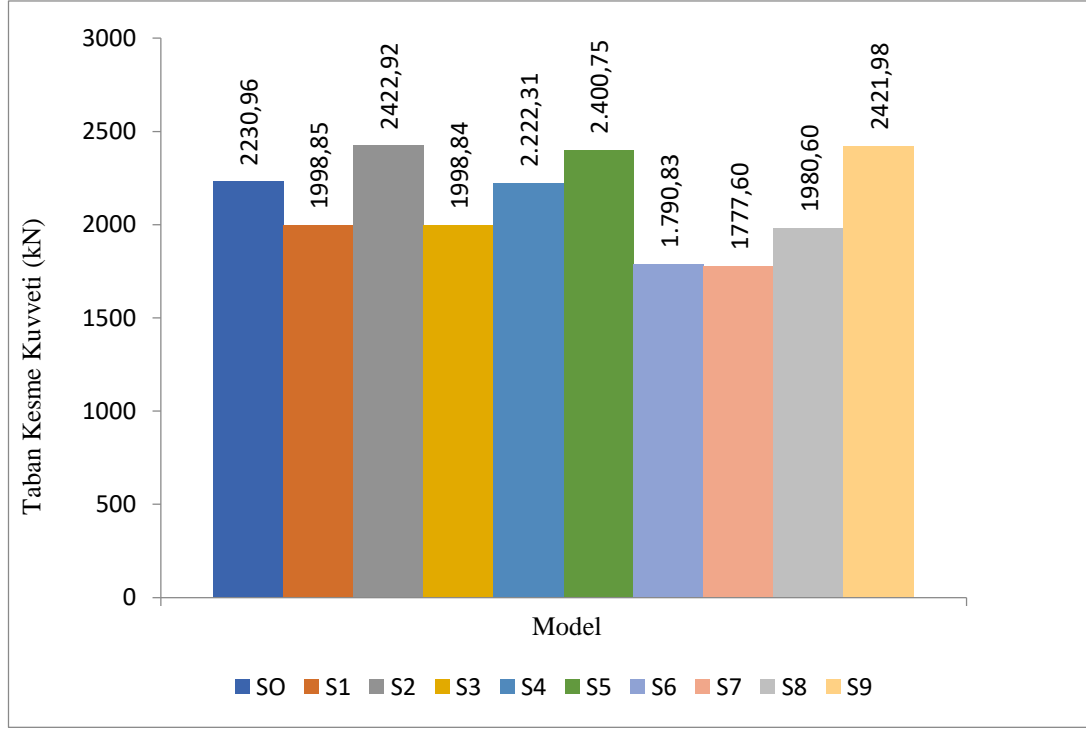
S0 yapı modeli için Mod Birleştirme Yöntemiyle (MBY) hesaplanan deprem yükü, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (EDYY) ile hesaplanan taban kesme kuvvetiyle karşılaştırarak kontrolleri sağlanmıştır.

Tablo 5.3. Toplam Taban kesme Kuvvetleri (kN) (MBY)

Model	X	Y
SO	2198,1664	2230,9595
S1	1824,2857	1998,8502
S2	2391,9322	2422,9243
S3	1824,3021	1998,8362
S4	1812,4484	2222,3115
S5	1720,3800	2400,7486
S6	2088,5296	1790,8284
S7	2364,9998	1777,5967
S8	2056,0866	1980,6030
S9	2228,7934	2421,9757



Şekil 5.3. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY)



Şekil 5.4. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY)

S0 modeline ait analizin bazı verileri;

$$V_{tx} = 2198,1664 \text{ kn}$$

$$V_{ty} = 2230,9595 \text{ kn}$$

$$T_x = 1,1273 \text{ sn}, > T_B = 0,334 \text{ sn},$$

$$T_y = 1,1142 \text{ sn}, > T_B = 0,334 \text{ sn},$$

$$S_{DS} = 1,632$$

$$S_{D1} = 0,5445$$

Bina toplam kütlesi:  $G+0,3Q = 2216,5395 \text{ ton}$

Toplam taban kesme kuvveti Eşdeğer Deprem Yöntemiyle aşağıdaki verilmiştir.

$$V_{tE(x)} = 2100,4947 \text{ kn}$$

$$V_{tE(y)} = 2124,4134 \text{ kn}$$

$$\beta_{tE} = (\gamma_E V_{tE}) / V_t \geq 1$$

$$\beta_{tEx} = (0,8,2100,4947) / (2198,1664) = 0,7644 \checkmark$$

$$\beta_{tEy} = (0,8,2124,4134) / (2230,9595) = 0,7617 \checkmark$$

$$\beta_{tEx} = \beta_{tEy} = 1 \text{ ve } V_{tx} = 2198,1664 \text{ kn, } V_{ty} = 2230,9595 \text{ kn}$$

olarak hesaplarda dikkate alınacaktır.

Tablo 5.4. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvveti Kontrolü (MBY)

Model	VtE	Vt	Oran
SO	2100,4947	2198,1664	0,7644732
S1	2029,0909	1824,2857	0,6210595
S2	2349,8552	2391,9322	0,785927
S3	2028,7432	1824,3021	0,8896523
S4	2108,4045	1812,4484	0,9306326
S5	1434,6859	1720,38	0,6671484
S6	2165,081	2088,5296	0,8293226
S7	2377,9364	2364,9998	0,804376
S8	2208,9077	2056,0866	0,859461
S9	2237,9256	2228,7934	0,8032779

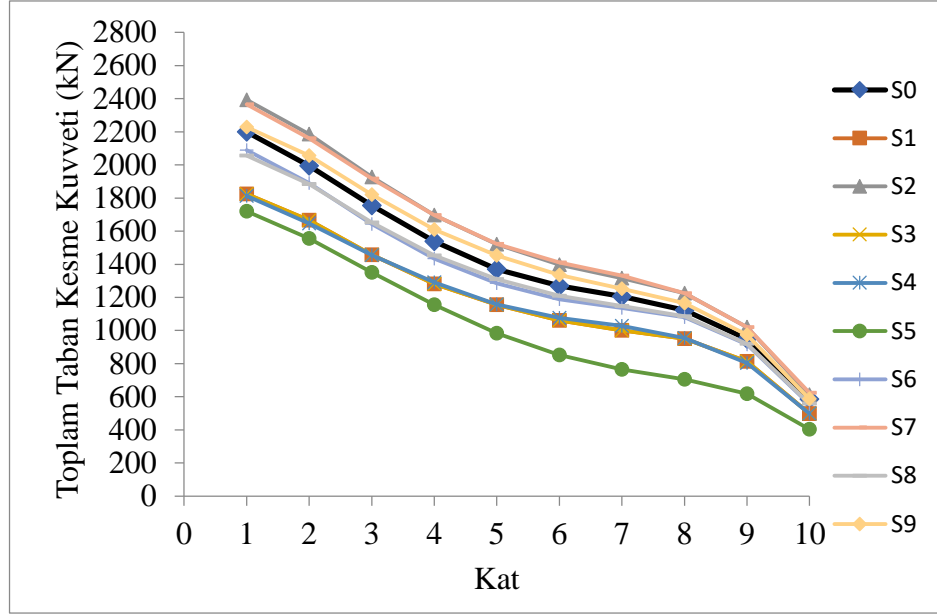
Tablo 5.5. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvveti Kontrolü (MBY)

Model	VtE	Vt	Oran
SO	2124,4134	2230,9595	0,7620922
S1	2736,2481	1998,8502	1,0951288
S2	2377,4589	2422,9243	0,7849883
S3	2736,2481	1998,8362	1,0951365
S4	2512,9461	2222,3115	0,9046242
S5	2406,9415	2400,7486	0,8020637
S6	2521,7775	1790,8284	<b>1,1265301</b>
S7	1427,5934	1777,5967	0,6424825
S8	2726,7954	1980,603	<b>1,1014001</b>
S9	2376,0276	2421,9757	0,7848229

Bilgisayar yardımıyla Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.6. Modellerin X Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY),

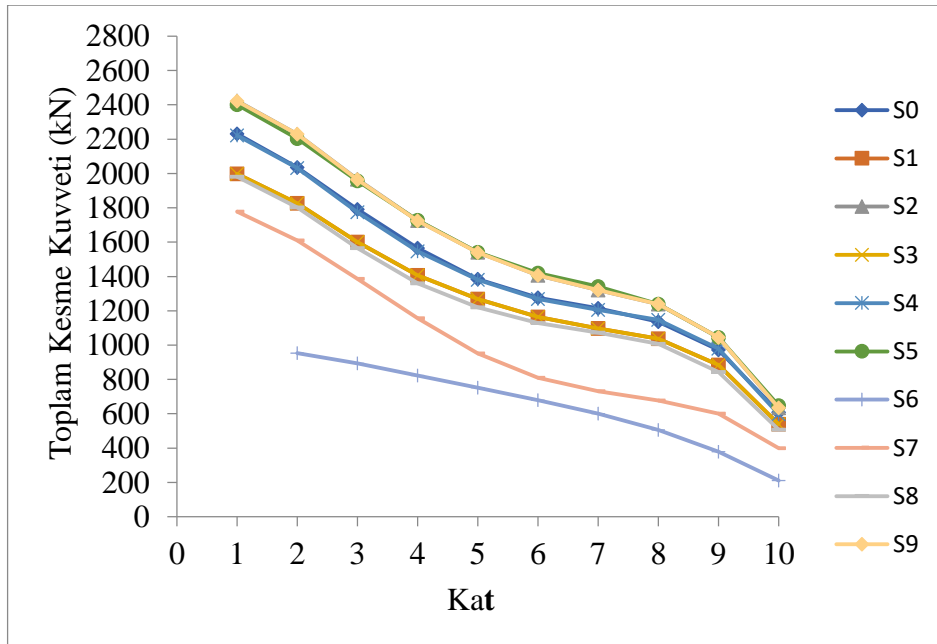
Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	585,6762	499,0963	613,3618	499,0945	497,6805	404,4689	555,2825	623,4208	558,6814	587,2981
9	948,0634	813,721	1021,157	813,719	802,9697	619,1509	915,0837	1020,180	919,3833	974,4381
8	1122,818	950,196	1225,000	950,1949	953,9125	705,2218	1079,375	1224,23	1085,117	1165,423
7	1206,539	1000,093	1314,998	1000,094	1027,332	765,4791	1135,281	1331,457	1147,618	1252,267
6	1268,891	1060,069	1396,918	1060,074	1075,961	852,6653	1187,986	1410,834	1209,523	1335,34
5	1369,323	1154,904	1521,310	1154,913	1157,221	984,4501	1285,699	1521,915	1309,336	1452,873
4	1538,731	1281,069	1696,174	1281,082	1291,341	1156,266	1434,260	1697,216	1452,21	1610,643
3	1755,401	1457,300	1926,646	1457,315	1455,738	1350,313	1642,902	1917,684	1652,791	1820,859
2	1994,954	1666,071	2186,436	1666,087	1647,254	1555,028	1889,300	2159,857	1883,961	2055,821
1	2198,166	1824,286	2391,932	1824,302	1812,448	1720,380	2088,530	2365,00	2056,087	2228,793



Şekil 5.5. Modellerin X Doğrultusunun Toplam Taban Kesme Kuvveti (MBY)

Tablo 5.7. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Kesme Kuvveti (MBY)

Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	609,2072	539,5943	634,0765	539,5838	597,7503	647,2423	211,415	399,4283	507,2192	633,8304
9	971,4299	884,4725	1045,303	884,4626	979,0421	1045,422	379,7644	600,8802	844,1937	1044,847
8	1135,743	1038,084	1239,067	1038,077	1146,904	1239,639	505,033	677,0377	1007,460	1238,447
7	1214,031	1097,175	1321,255	1097,168	1204,793	1340,49	600,497	730,707	1072,995	1320,457
6	1276,208	1163,912	1406,927	1163,905	1268,109	1420,382	679,3332	810,0369	1129,515	1405,937
5	1384,185	1267,974	1540,633	1267,967	1380,999	1540,225	751,9814	952,0822	1219,437	1539,544
4	1565,767	1407,555	1725,051	1407,546	1546,236	1727,114	823,6954	1156,941	1359,371	1724,033
3	1791,181	1600,212	1966,140	1600,200	1773,730	1956,350	892,9695	1385,74	1564,795	1965,270
2	2034,734	1826,245	2229,599	1826,232	2030,905	2203,211	953,2632	1610,161	1802,602	2228,794
1	2230,960	1998,850	2422,924	1998,836	2222,312	2400,749	994,2658	1777,597	1980,603	2421,976



Şekil 5.6. Modellerin Y Doğrultusunun Toplam Kesme Kuvveti (MBY)

### 5.1.2. Kütle katılım oranı

TBDY-2018'e göre kütle katılım oranı her iki deprem doğrultularında en az %95 olmalıdır S0 modeline ait kütle katılım oranı aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Tablo 5.8. S0 Modeli Kütle Katılım Oranı (MBY)

DURUM	Mod	Periyot (Sn.)	UX	UY	RZ	$\sum UX$	$\sum UY$
Modal	1	1,127	0,7332	0,000	0,000	0,7332	0,0000
Modal	2	1,114	0,000	0,7211	0,000	0,7332	0,7211
Modal	3	0,701	0,000	0,000	0,000	0,7332	0,7211
Modal	4	0,326	0,2089	0,000	0,000	0,9422	0,7211
Modal	5	0,315	0,000	0,2092	0,000	0,9422	0,9303
Modal	6	0,201	0,000	0,000	0,000	0,9422	0,9303
Modal	7	0,159	0,0372	0,000	0,000	0,9793	0,9303
Modal	8	0,155	0,000	0,0424	0,000	0,9793	0,9728
Modal	9	0,105	0,0117	0,000	0,000	0,9910	0,9728
Modal	10	0,104	0,000	0,015	0,000	0,9910	0,9878

### 5.1.3. Göreli kat ötelemelerin kontrolü

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü TBDY-2018 kurallarına göre yapılacaktır. Bu durumda TBDY-2018 madde 4,9,1,1'e göre "Ardışık iki kat arasındaki deplasman farkıyla tanımlanan azaltılmış göreli kat ötelemesi  $\Delta_i$ , herhangi bir perde veya kolon için (x) ve (y) deprem doğrultularında altta verilen denklem vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$$

TBDY-2018'e göre "Binanın i'inci katındaki perdeler veya kolon için etkin göreli kat ötelemesi olarak tanımlanan  $\delta i$ , her bir deprem doğrultusu için altta verilen denklemle hesaplanacaktır."

$$\delta i = \frac{R}{I} \Delta i$$

(x) ve (y) doğrultularında %5 ek dış merkezlik ile uygulanmış olan azaltılmış deprem etkileri altında, yapı modelinin ETABS analiz programıyla hesaplanan  $u_{ix}$  ve  $u_{iy}$  yatay deplasmanları her katta aldığı değerler ve ardışık katlar arasındaki azaltılmış göreli kat ötelemeleri Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'de verilmiştir.



TBDY-2018'e göre "Binanın herhangi bir i'inci katındaki perde veya kolonlarda,  $\delta_i^{(X)}$ , etkin görelî kat ötelemelerinin, her bir deprem doğrultusu için, kat içerisindeki en büyük değeri  $\delta_{i,max}^{(X)}$ , altta tanımlanan koşulları sağlayacaktır."

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008$$

$\lambda$  katsayısı, DD-3 depreminin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 depreminin elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak ifade edildiği için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

DD-2 Depremi:

$$S_{DS} = 1,632$$

$$S_{D1} = 0,5445$$

$$T_x = 1,1273 \text{ Sn.} > T_B = 0,334 \text{ Sn.},$$

$$T_y = 1,1142 \text{ Sn.} > T_B = 0,334 \text{ Sn.},$$

$$Sae(T_x) = S_{D1} / T_x = 0,5445/1,1273 = 0,4830 \text{ g}$$

$$Sae(T_y) = S_{D1} / T_y = 0,5445/1,1142 = 0,4886 \text{ g}$$

DD-3 Depremi:

$$S_{DS} = 0,632$$

$$S_{D1} = 0,187$$

$$Sae(T_x) = S_{D1} / T_x = 0,187/1,1273 = 0,1658 \text{ g}$$

$$Sae(T_y) = S_{D1} / T_y = 0,187/1,1142 = 0,1678 \text{ g}$$

$$\lambda_x = \frac{Sae(T_x)_{DD-3}}{Sae(T_x)_{DD-2}} = \frac{0,1658}{0,4830} = 0,3432 \quad \lambda_y = \frac{Sae(T_y)_{DD-3}}{Sae(T_y)_{DD-2}} = \frac{0,1678}{0,4886} = 0,3432$$

Tablo 5.9. S0 Modelinin X Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY)

Kat	h <sub>i</sub> (cm)	U <sub>ix</sub> (cm)	Δ <sub>max</sub> (cm)	δ <sub>ix</sub> = R <sub>1</sub> Δ <sub>ix</sub> /I	δ <sub>ix</sub> / h <sub>i</sub>	λ.δ <sub>ix</sub> /h <sub>i</sub>
10	300	4,7423	0,5199	2,5995	0,008665	0,002974
9	300	4,2224	0,5369	2,6845	0,0089483	0,003071
8	300	3,6855	0,5415	2,7075	0,009025	0,003097
7	300	3,144	0,5299	2,6495	0,0088317	0,003031
6	300	2,6141	0,5061	2,5305	0,008435	0,002895
5	300	2,108	0,4743	2,3715	0,007905	0,002713
4	300	1,6337	0,4374	2,187	0,00729	0,002502
3	300	1,1963	0,3969	1,9845	0,006615	0,00227
2	300	0,7994	0,3621	1,8105	0,006035	0,002071
1	350	0,4373	0,4373	2,1865	0,0062471	0,002144

Tablo 5.10. S0 modelinin Y Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY)

Kat	h <sub>i</sub> (cm)	u <sub>iy</sub> (cm)	Δ <sub>iy</sub> (cm)	δ <sub>iy</sub> = R <sub>2</sub> Δ <sub>iy</sub> /I	δ <sub>iy</sub> / h <sub>i</sub>	λδ <sub>ix</sub> /h <sub>i</sub>
10	300	0,3641	0,5209	2,6045	0,0086817	0,00298
9	300	0,7205	0,5389	2,6945	0,0089817	0,003083
8	300	1,1227	0,5438	2,719	0,0090633	0,003111
7	300	1,5653	0,5319	2,6595	0,008865	0,003042
6	300	2,0435	0,5089	2,5445	0,0084817	0,002911
5	300	2,5524	0,4782	2,391	0,00797	0,002735
4	300	3,0843	0,4426	2,213	0,0073767	0,002532
3	300	3,6281	0,4022	2,011	0,0067033	0,002301
2	300	4,167	0,3564	1,782	0,00594	0,002039
1	350	0,3641	0,3641	1,8205	0,0052014	0,001785

Tablo 5.11. Modellerin X ve Y Doğrultusu Görelî Kat Öteleme Kontrolü (MBY)

Model	λδ <sub>ix</sub> /h <sub>i</sub>	
	X	Y
SO	0,00309738	0,003111
S1	0,002779348	0,002664
S2	0,00289146	0,002909
S3	0,0036179	0,003547
S4	0,00305734	0,002725
S5	0,005975112	0,003225
S6	0,002631772	0,002811
S7	0,003199196	0,005965
S8	0,005132556	0,008084
S9	0,003993132	0,004077

#### 5.1.4. İkinci mertebe etkisi kontrolü

TBDY-2018'e göre "İkinci mertebe gösterge değeri olarak tanımlanan  $\theta_{II,i}^{(X)}$ , her bir i'inci katta, her iki deprem doğrultusu için aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır."

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

TBDY-2018'e göre "Bütün katlar için elde edilen ikinci merteye gösterge değerlerinin maksimumu  $\theta_{II,max}^{(X)}$ 'ın altta tanımlanan şartı sağlaması durumunda, tasarıma esas iç kuvvetlerin hesaplamasında ikinci merteye etkilerinin dikkate alınmasına gerek kalmayacaktır."

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

Tablo 5.12. S0 modelinin X Doğrultusu İkinci Merteye Etkilerin Kontrolü (MBY)

Kat	$h_i$ (cm)	$\Delta_{ortx}$ (cm)	$W_{k,i}$ (kN)	$\sum W_k$ (kN)	$V_{ix}$ (kN)	$\Theta_{ii,i}$	$\leq 0,12, (D/C_h R)$
10	300	0,5095	2164,9797	2164,98	585,6762	0,006278	0,048
9	300	0,5258	2164,9797	4329,959	948,0634	0,008005	0,048
8	300	0,5304	2164,9797	6494,939	1122,818	0,010227	0,048
7	300	0,5191	2164,9797	8659,919	1206,539	0,012419	0,048
6	300	0,4958	2164,9797	10824,9	1268,891	0,014099	0,048
5	300	0,4647	2164,9797	12989,88	1369,323	0,014694	0,048
4	300	0,4287	2164,9797	15154,86	1538,731	0,014074	0,048
3	300	0,3891	2164,9797	17319,84	1755,401	0,012797	0,048
2	300	0,3556	2164,9797	19484,82	1994,954	0,011577	0,048
1	350	0,4308	2250,01	21734,83	2198,166	0,01217	0,048

Tablo 5.13. S0 modelinin Y Doğrultusu İkinci Merteye Etkilerin Kontrolü (MBY)

Kat	$h_i$ (cm)	$\Delta_{orty}$ (cm)	$W_{k,i}$ (kN)	$\sum W_k$ (kN)	$V_{iy}$ (kN)	$\Theta_{ii,i}$	$\leq 0,12, (D/C_h R)$
10	300	0,5103	2164,9797	2164,98	609,2072	0,006045	0,048
9	300	0,5274	2164,9797	4329,959	971,4299	0,007836	0,048
8	300	0,5322	2164,9797	6494,939	1135,743	0,010145	0,048
7	300	0,5208	2164,9797	8659,919	1214,031	0,012383	0,048
6	300	0,4983	2164,9797	10824,9	1276,208	0,014089	0,048
5	300	0,4683	2164,9797	12989,88	1384,185	0,014649	0,048
4	300	0,4336	2164,9797	15154,86	1565,767	0,013989	0,048
3	300	0,3942	2164,9797	17319,84	1791,181	0,012706	0,048
2	300	0,3496	2164,9797	19484,82	2034,734	0,011159	0,048
1	350	0,3574	2250,01	21734,83	2230,96	0,009948	0,048

Tablo 5.14. Modellerin X ve Y Doğrultusu İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü (MBY)

Model	$\Theta_{Xii,imax}$	$\Theta_{Yii,imax}$	$\leq 0,12, (D/C_bR)$
SO	0,01469436	0,0146492	0,048
S1	0,01529205	0,01300381	0,048
S2	0,01270261	0,01268944	0,048
S3	0,01802598	0,0156709	0,048
S4	0,01527731	0,01199283	0,048
S5	0,02610591	0,01253256	0,048
S6	0,01232273	0,02104802	0,048
S7	0,01260368	0,02689174	0,048
S8	0,02178631	0,02658159	0,048
S9	0,01687133	0,01567404	0,048

Bütün modellere ait her iki eksen doğrultusunda ikinci mertebe etkilerinin kontrolleri sağlanmıştır. Yani ikinci mertebe etkilerini hesaba katılmasına gerek yoktur.

### 5.1.5. Yer değiştirme sonuçları

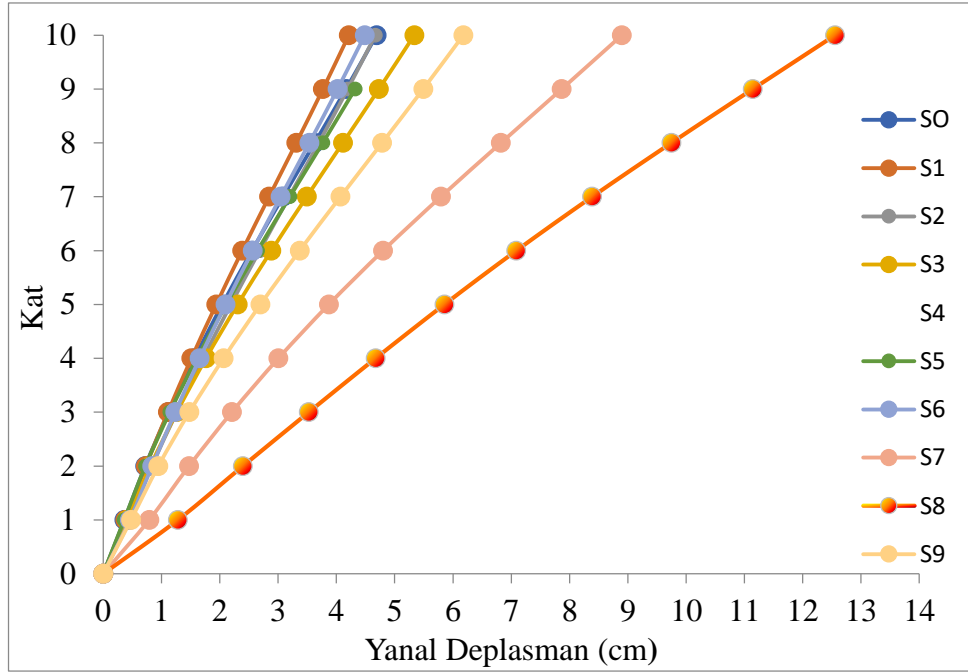
Aşağıda verilen tablo ve grafikler farklı kat ve farklı yapı modeline ait yer değiştirmelerini göstermektedir. Maksimum tepe noktası yer değiştirme miktarı kat adedine, çerçeve türüne ve çaprazların konumuna göre değişmektedir. Bu tez çalışmasında sadece merkezi çelik çaprazlar kullanıldığı için maksimum tepe noktası yer değiştirmesi kat adedine ve çapraz konumuna göre değişmektedir.

Tablo 5.15. Modellerin X ve Y Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi (cm) (MBY)

Model	$U_x$	$U_y$
SO	4,742	4,688
S1	4,463	4,214
S2	4,693	4,669
S3	5,532	5,337
S4	4,942	4,254
S5	8,868	4,859
S6	4,183	4,487
S7	4,901	8,899
S8	8,221	12,555
S9	6,215	6,179







Şekil 5.10. Modellerin Y Doğrultusu Kat Yer değiştirmesi (MBY)

### 5.1.6. Düzensizlik kontrolleri

Yapı düzensizlik kontrolleri TBDY-2018'e göre büyük önem taşımaktadır, Yapılan bu tez çalışmasında, yapı modellerinin düzensizlik kontrolleri TBDY-2018'e göre yapılmıştır, Burulma düzensizliği tez konusu olduğu için detaylı bir şekilde anlatılmıştır, Ayrıca Tezin için bölümünde 3,3, başlığı altında tanımları detaylı olarak verilen diğer düzensizlik türlerin kontrolleri ise özet olarak aşağıda tablo şeklinde verilmiştir.

Tablo 5.18. Modellerin Düzensizlik Kontrolü

Düzensizlik Türü	Var	Yok
A2 Döşeme Süreksizliği		√
A3 Planda Çıkıntılar Düzensizliği		√
B1 Komşu Katlar Arası Düzensizliği (Zayıf Kat)		√
B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)		√
B3 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği		√

#### 5.1.6.1. Burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği, yatayda yani plan düzleminde söz konusudur, Bir deprem doğrultusunda (x ya da y) binanın herhangi bir katını düşünelim. Bu katta en büyük

görelî ötelemeyi yapan kolonu bulup değerine bakılır. Görelî öteleme ilgili kolonun deplasmanının, aynı kolonun alt kattaki deplasmanından çıkarılması ile bulunur. Örneğin S kolonu 1.katta 1 cm 2.katta 2 cm deplasman yapmış olsun. Bu kolon alt kata göre aslında 1 cm deplasman yapmıştır. Bu 1 cm görelî öteleme değeridir. Daha sonra 2, katta en küçük görelî ötelemeyi yapan kolonu bulup değerine bakılır.

Bir kattaki ortalama görelî öteleme = (En büyük görelî kat ötelemesi + En küçük görelî kat ötelemesi) / 2'dir.

Eğer en büyük görelî öteleme, yukarıda bulduğumuz ortalama görelî ötelemenin 1,2 katından daha büyükse burulma düzensizliği vardır.

S0 modelden elde edilen burulma düzensizliği oranları detaylı olarak anlatılmış. Diğer modellerden elde edilen burulma düzensizliği oranları tablo şeklinde özetlenmiştir.

Tablo 5.19. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)

Kat	$\Delta_{min}$ (cm)	$\Delta_{ort}$ (cm)	$\Delta_{mak}$ (cm)	$\Gamma_{bi}$
10	0,499	0,510	0,520	1,020
9	0,515	0,526	0,537	1,021
8	0,519	0,530	0,542	1,021
7	0,508	0,519	0,530	1,021
6	0,486	0,496	0,506	1,021
5	0,455	0,465	0,474	1,021
4	0,420	0,429	0,437	1,020
3	0,381	0,389	0,397	1,020
2	0,349	0,356	0,362	1,018
1	0,424	0,431	0,437	1,015

Tablo 5.20. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)

Kat	$\Delta_{min}$ (cm)	$\Delta_{ort}$ (cm)	$\Delta_{mak}$ (cm)	$\Gamma_{bi}$
10	0,500	0,510	0,521	1,021
9	0,516	0,527	0,539	1,022
8	0,521	0,532	0,544	1,022
7	0,510	0,521	0,532	1,021
6	0,488	0,498	0,509	1,021
5	0,458	0,468	0,478	1,021
4	0,425	0,434	0,443	1,021
3	0,386	0,394	0,402	1,020
2	0,343	0,350	0,356	1,019
1	0,351	0,357	0,364	1,019



Tablo 5.21. Modellerin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)

Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	1,020	1,097	1,026	1,177	1,203	1,553	1,110	1,133	1,269	1,134
9	1,021	1,098	1,031	1,174	1,203	1,552	1,116	1,131	1,264	1,132
8	1,021	1,100	1,036	1,172	1,205	1,549	1,124	1,131	1,261	1,130
7	1,021	1,102	1,039	1,171	1,206	1,543	1,132	1,132	1,262	1,129
6	1,021	1,104	1,045	1,170	1,208	1,535	1,140	1,133	1,263	1,128
5	1,021	1,107	1,052	1,168	1,215	1,526	1,147	1,126	1,264	1,126
4	1,020	1,108	1,061	1,162	1,228	1,517	1,152	1,123	1,264	1,124
3	1,020	1,109	1,074	1,153	1,249	1,512	1,155	1,117	1,263	1,121
2	1,018	1,110	1,089	1,142	1,278	1,508	1,154	1,107	1,261	1,118
1	1,015	1,114	1,096	1,134	1,321	1,463	1,146	1,089	1,261	1,117

Tablo 5.22. Modellerin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)

Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	1,021	1,111	1,029	1,194	1,110	1,137	1,205	1,566	1,619	1,141
9	1,022	1,109	1,032	1,190	1,116	1,134	1,206	1,566	1,604	1,138
8	1,022	1,110	1,035	1,187	1,124	1,133	1,207	1,562	1,593	1,136
7	1,021	1,113	1,040	1,187	1,131	1,134	1,206	1,554	1,586	1,137
6	1,021	1,116	1,046	1,186	1,138	1,135	1,207	1,543	1,584	1,137
5	1,021	1,119	1,053	1,184	1,145	1,131	1,212	1,530	1,589	1,137
4	1,021	1,122	1,063	1,179	1,149	1,123	1,223	1,518	1,603	1,138
3	1,020	1,126	1,076	1,173	1,149	1,117	1,237	1,510	1,624	1,138
2	1,019	1,129	1,094	1,163	1,145	1,107	1,273	1,518	1,650	1,138
1	1,019	1,134	1,115	1,154	1,144	1,092	1,361	1,571	1,679	1,141

Tablo 5.23. Modellerin X ve Y Doğrultusu Eksantrisite Değeri

Model	$e_x$ (cm)	$e_y$ (cm)
S0	1,1900	0,1700
S1	1,1500	0,1800
S2	1,2200	0,1700
S3	1,0700	0,1800
S4	14,810	237,47
S5	17,540	1118,32
S6	241,930	17,3800
S7	1119,72	18,2200
S8	374,920	5,6600
S9	1,1200	0,1800

## 5.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Elde Edilen Analiz Verileri

Tez analiz konusuna örnek teşkil edecek modellerin analizi, Mod Birleştirme Yöntemine ek olarak doğrusal analiz yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle de gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen veriler incelenerek aşağıda tablo olarak özetlenmiştir.

### 5.2.1. X ve Y deprem doğrultusunda modellerin taban kesme kuvvetleri

S0 modeli için taban kesme kuvvetinin hesabı;

$$V_{tE(x)} = m_t S_{aR}(T_P) \geq 0,04m_t I S_{DS} g,$$

$$S_{aR}(T_P) = S_{ae}(T_P) / R_a(T_P) \quad T_B < T_P \leq T_L=6 S_n,$$

$$S_{ae}(T_P) = S_{D1} / T_P$$

$$V_{tE(x)} = (2216,5395) \cdot (0,0966,9,81) \geq 0,04 \cdot (2216,5395) \cdot (1,632) \cdot (1),(9,81)$$

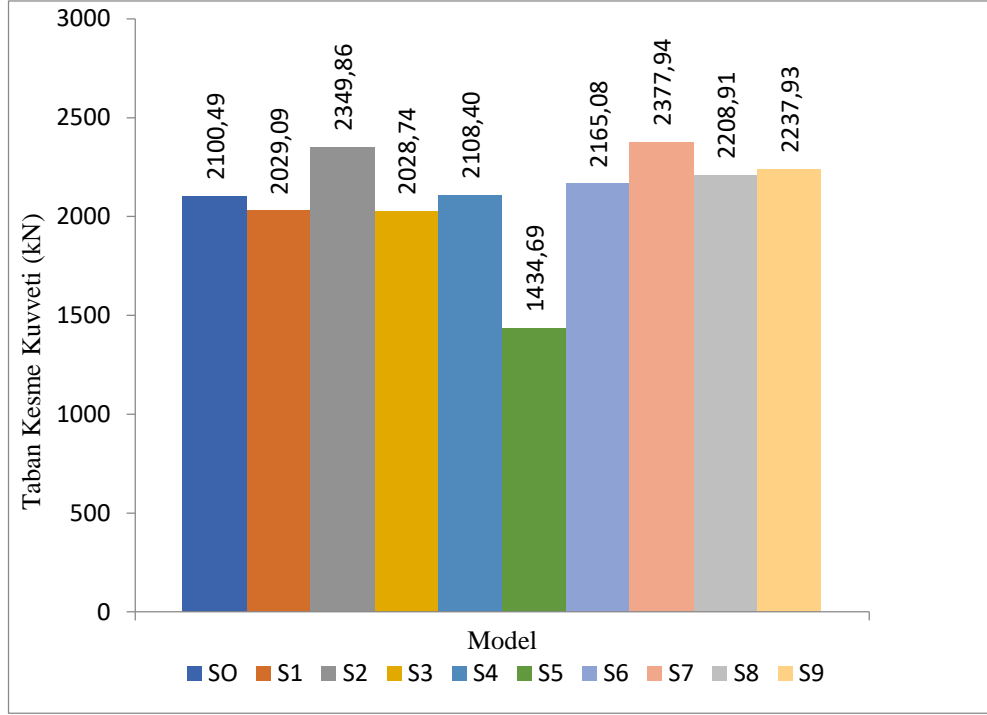
$$V_{tE(x)} = 2100,4947 \text{ kN} \geq 1419,464 \text{ kN} \checkmark$$

$$V_{tE(y)} = (2216,5395) \cdot (0,0977,9,81) \geq 0,04 \cdot (2216,5395) \cdot (1,632) \cdot (1),(9,81)$$

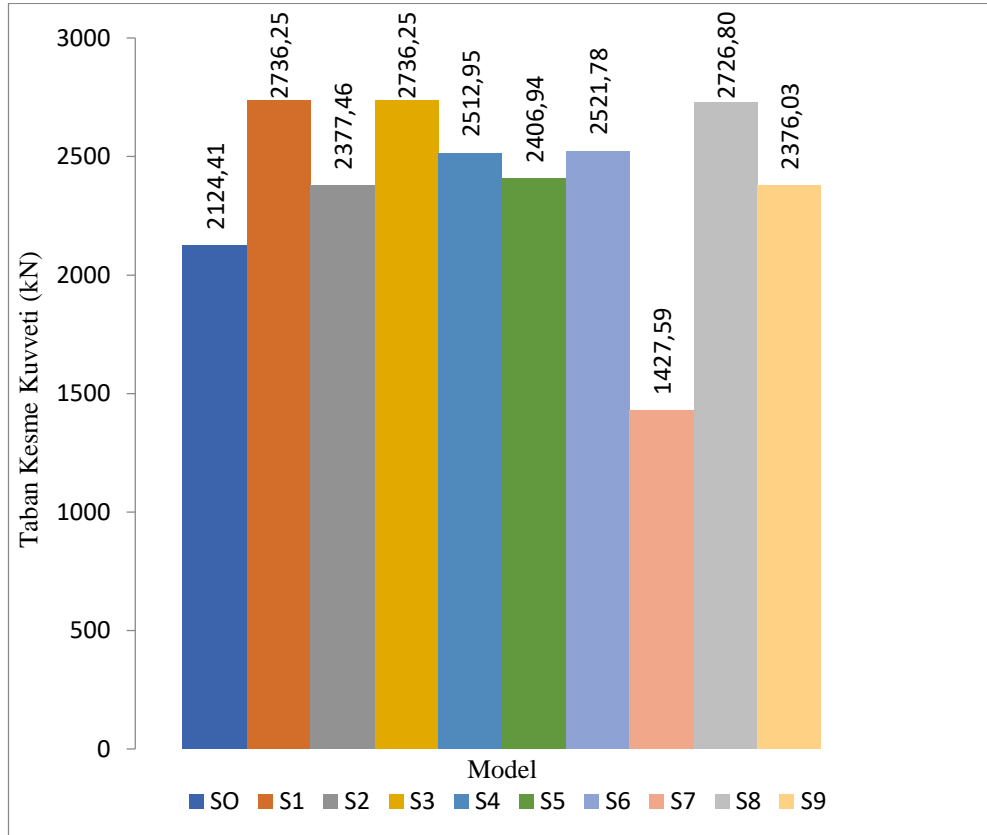
$$V_{tE(y)} = 2124,4134 \text{ kN} \geq 1419,464 \text{ kN} \checkmark$$

Tablo 5.24. Modellerin X ve Y Doğrultusu Toplam Taban kesme Kuvvetleri (kN)

Model	$V_{tEx}$	$V_{tEy}$
SO	2,100,49	2,124,41
S1	2,029,09	2,736,25
S2	2,349,86	2,377,46
S3	2,028,74	2,736,25
S4	2,108,40	2,512,95
S5	1,434,69	2,406,94
S6	2,165,08	2,521,78
S7	2,377,94	1,427,59
S8	2,208,91	2,726,80
S9	2,237,93	2,376,03



Şekil 5.11. Modellerin X Doğrultusunda Toplam Taban Kesme Kuvveti (EDYY)



Şekil 5.12. Modellerin Y Doğrultusu Toplam Taban Kesme Kuvveti (EDYY)

### 5.2.2. Taban kesme kuvvetlerin katlara dağılımı

S0 modelden elde edilen veriler detaylı olarak anlatılmış. Diğer modellerden elde edilen veriler tablo şeklinde özetlenmiştir.

$$\Delta F_{NE} = 0,0075 \cdot N \cdot V_{tE}$$

$$\Delta F_{NE(X)} = 0,0075 \cdot N \cdot V_{tE(X)} = 0,0075 \cdot 10 \cdot 2100,495 = 157,537 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE(Y)} = 0,0075 \cdot N \cdot V_{tE(Y)} = 0,0075 \cdot 10 \cdot 2124,413 = 159,331 \text{ kN}$$

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

Tablo 5.25. S0 Modelinin X Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı

Kat	Mi (kN sn <sup>2</sup> /m)	Hi (cm)	Mi,Hi	(wi,Hi)/(∑wi,Hi)	VtEx (kn)	ΔF <sub>NE</sub>	F <sub>iE</sub>
10	220,767	30,500	6,733,378	0,179	2,100,495	157,537	505,838
9	220,767	27,500	6,071,079	0,162			314,042
8	220,767	24,500	5,408,779	0,144			279,783
7	220,767	21,500	4,746,480	0,126			245,524
6	220,767	18,500	4,084,180	0,109			211,265
5	220,767	15,500	3,421,881	0,091			177,006
4	220,767	12,500	2,759,581	0,073			142,746
3	220,767	9,500	2,097,282	0,056			108,487
2	220,767	6,500	1,434,982	0,038			74,228
1	229,641	3,500	803,744	0,021			41,576
∑	2,216,540		37,561,366	1,000			2,100,495

Tablo 5.26. S0 Modelin Y Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı

Kat	Mi (kN sn <sup>2</sup> /m)	Hi (cm)	Mi,Hi	(wi,Hi)/(∑wi,Hi)	VtEx (kn)	ΔF <sub>NE</sub>	F <sub>iE</sub>
10	220,767	30,500	6,733,378	0,179	2,124,413	159,331	511,598
9	220,767	27,500	6,071,079	0,162			317,618
8	220,767	24,500	5,408,779	0,144			282,969
7	220,767	21,500	4,746,480	0,126			248,320
6	220,767	18,500	4,084,180	0,109			213,670
5	220,767	15,500	3,421,881	0,091			179,021
4	220,767	12,500	2,759,581	0,073			144,372
3	220,767	9,500	2,097,282	0,056			109,723
2	220,767	6,500	1,434,982	0,038			75,073
1	229,641	3,500	803,744	0,021			42,049
∑	2,216,540		37,561,366	1,000			2,124,413

Tablo 5.27. Modellerin X Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı

Kat	SO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	505,838	488,643	565,889	488,559	507,743	345,499	521,392	572,651	531,946	538,934
9	314,042	303,367	351,324	303,315	315,225	214,498	323,698	355,522	330,251	334,589
8	279,783	270,272	312,997	270,226	280,836	191,098	288,386	316,738	294,223	298,089
7	245,524	237,178	274,671	237,137	246,448	167,698	253,073	277,954	258,196	261,588
6	211,265	204,083	236,345	204,048	212,060	144,299	217,761	239,169	222,169	225,087
5	177,006	170,988	198,019	170,959	177,672	120,899	182,448	200,385	186,141	188,587
4	142,746	137,894	159,693	137,870	143,284	97,499	147,136	161,601	150,114	152,086
3	108,487	104,799	121,366	104,781	108,896	74,099	111,823	122,817	114,087	115,585
2	74,228	71,705	83,040	71,693	74,508	50,700	76,510	84,032	78,059	79,085
1	41,576	40,162	46,511	40,155	41,732	28,397	42,854	47,067	43,722	44,296
Σ	2100,495	2029,091	2349,855	2028,743	2108,405	1434,686	2165,081	2377,936	2208,908	2237,926

Tablo 5.28. Modellerin Y Doğrultusu Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetlerin Katlara Dağılımı

Kat	SO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	511,598	658,940	572,536	658,940	605,164	579,636	607,291	343,791	656,663	572,192
9	317,618	409,093	355,451	409,093	375,707	359,859	377,027	213,438	407,679	355,237
8	282,969	364,464	316,674	364,464	334,721	320,601	335,897	190,153	363,205	316,484
7	248,320	319,836	277,898	319,836	293,735	281,344	294,767	166,869	318,731	277,730
6	213,670	275,208	239,121	275,208	252,748	242,087	253,637	143,585	274,257	238,977
5	179,021	230,580	200,345	230,580	211,762	202,829	212,506	120,301	229,783	200,224
4	144,372	185,951	161,568	185,951	170,776	163,572	171,376	97,017	185,309	161,471
3	109,723	141,323	122,792	141,323	129,790	124,315	130,246	73,733	140,835	122,718
2	75,073	96,695	84,016	96,695	88,803	85,057	89,116	50,449	96,361	83,965
1	42,049	54,159	47,058	54,159	49,739	47,641	49,914	28,257	53,972	47,029
Σ	2124,413	2736,248	2377,459	2736,248	2512,946	2406,942	2521,778	1427,593	2726,795	2376,028

### 5.2.3. Göreli kat ötelemelerin kontrolü oranlarının kontrolü

DD-2 Depremi:

$$S_{DS} = 1,632$$

$$S_{D1} = 0,5445$$

$$T_x = 1,1273 S_n, > T_B = 0,334 S_n,$$

$$T_y = 1,1142 S_n, > T_B = 0,334 S_n,$$

$$Sae(T_x) = S_{D1} / T_x = 0,5445/1,1273 = 0,4830 g$$

$$Sae(T_y) = S_{D1} / T_y = 0,5445/1,1142 = 0,4886 g$$

DD-3 Depremi:

$$S_{DS} = 0,632$$

$$S_{D1} = 0,187$$

$$Sae(T_x) = S_{D1} / T_x = 0,187/1,1273 = 0,1658 g$$

$$Sae(T_y) = S_{D1} / T_y = 0,187/1,1142 = 0,1678 g$$

$$\lambda_x = \frac{Sae(Tx)_{DD-3}}{Sae(Tx)_{DD-2}} = \frac{0,1658}{0,4830} = 0,3432 \quad \lambda_y = \frac{Sae(TY)_{DD-3}}{Sae(TY)_{DD-2}} = \frac{0,1678}{0,4886} = 0,3432$$

Tablo 5.29. S0 Modelinin X Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY)

Kat	hi (cm)	u <sub>ix</sub> (cm)	Δ <sub>ixmax</sub> (cm)	δ <sub>ix</sub> = R,Δ <sub>ix</sub> /I	δ <sub>ix</sub> / hi	λδ <sub>ix</sub> /hi
10	300	6,3407	0,6891	3,4455	0,011485	0,003942
9	300	5,6516	0,7162	3,581	0,0119367	0,004097
8	300	4,9354	0,7361	3,6805	0,0122683	0,00421
7	300	4,1993	0,7399	3,6995	0,0123317	0,004232
6	300	3,4594	0,7243	3,6215	0,0120717	0,004143
5	300	2,7351	0,6874	3,437	0,0114567	0,003932
4	300	2,0477	0,6269	3,1345	0,0104483	0,003586
3	300	1,4208	0,5417	2,7085	0,0090283	0,003099
2	300	0,8791	0,4409	2,2045	0,0073483	0,002522
1	350	0,4382	0,4382	2,191	0,00626	0,002148

Tablo 5.30. S0 modelinin Y Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY)

KAT	h <sub>i</sub> (cm)	u <sub>iy</sub> (cm)	Δ <sub>iymax</sub> (cm)	δ <sub>iy</sub> = R,Δ <sub>iy</sub> /I	δ <sub>iy</sub> / h <sub>i</sub>	λδ <sub>iy</sub> /h <sub>i</sub>
10	300	6,309	0,6955	3,4775	0,0115917	0,003978
9	300	5,6135	0,723	3,615	0,01205	0,004136
8	300	4,8905	0,7432	3,716	0,0123867	0,004251
7	300	4,1473	0,7469	3,7345	0,0124483	0,004272
6	300	3,4004	0,7313	3,6565	0,0121883	0,004183
5	300	2,6691	0,6937	3,4685	0,0115617	0,003968
4	300	1,9754	0,6326	3,163	0,0105433	0,003618
3	300	1,3428	0,5461	2,7305	0,0091017	0,003124
2	300	0,7967	0,4337	2,1685	0,0072283	0,002481
1	350	0,363	0,363	1,815	0,0051857	0,00178

Tablo 5.31. Modellerin X ve Y Doğrultusunda Görelî Kat Öteleme Kontrolü (EDYY)

Model	λδ <sub>ix</sub> /h <sub>i</sub>	
	X Eksen	Y Eksen
SO	0,004232228	0,0042723
S1	0,004143568	0,0053728
S2	0,003973684	0,0040114
S3	0,005151432	0,0066095
S4	0,003479476	0,0042254
S5	0,007037316	0,0040561
S6	0,00338624	0,0038541
S7	0,003702556	0,0070196
S8	0,006016296	0,0182319
S9	0,005207488	0,0052321

### 5.2.4. İkinci merteye etkisi kontrolü

Tablo 5.32. S0 modelinin X Doğrultusu İkinci Merteye Etkilerin Kontrolü (EDYY)

Kat	h <sub>i</sub> (cm)	Δ <sub>ortx</sub> (cm)	W <sub>k,i</sub> (kN)	ΣW <sub>k</sub> (kN)	ΣV <sub>i,x</sub> (kN)	Θ <sub>ii,i</sub>	≤ 0,12,(D/ChR)
10	300	0,6564	2164,9797	2164,9797	505,842366	0,00936453	0,048
9	300	0,6821	2164,9797	4329,9594	819,8844235	0,01200765	0,048
8	300	0,7011	2164,9797	6494,9391	1099,667347	0,01380297	0,048
7	300	0,7046	2164,9797	8659,9188	1345,191138	0,01511998	0,048
6	300	0,6899	2164,9797	10824,8985	1556,455795	0,01599381	0,048
5	300	0,6546	2164,9797	12989,8782	1733,461318	0,01635105	0,048
4	300	0,597	2164,9797	15154,8579	1876,207708	0,016074	0,048
3	300	0,516	2164,9797	17319,8376	1984,694964	0,01500992	0,048
2	300	0,4203	2164,9797	19484,8173	2058,923087	0,0132585	0,048
1	350	0,4196	2250,01	21734,8273	2100,498773	0,01240513	0,048

Tablo 5.33. S0 modelinin Y Doğrultusu İkinci Merteye Etkilerin Kontrolü (EDYY)

Kat	h <sub>i</sub> (cm)	Δ <sub>orty</sub> (cm)	W <sub>k,i</sub> (kN)	ΣW <sub>k</sub> (kN)	ΣV <sub>i,y</sub> (kN)	Θ <sub>ii,i</sub>	≤ 0,12,(D/ChR)
10	300	0,6622	2164,98	2164,98	511,5984	0,009341	0,048
9	300	0,6887	2164,98	4329,959	829,2165	0,011987	0,048
8	300	0,7082	2164,98	6494,939	1112,185	0,013786	0,048
7	300	0,7114	2164,98	8659,919	1360,505	0,015094	0,048
6	300	0,6965	2164,98	10824,9	1574,175	0,015965	0,048
5	300	0,6609	2164,98	12989,88	1753,196	0,016323	0,048
4	300	0,6025	2164,98	15154,86	1897,568	0,016039	0,048
3	300	0,5202	2164,98	17319,84	2007,291	0,014962	0,048
2	300	0,4129	2164,98	19484,82	2082,364	0,012878	0,048
1	350	0,3444	2250,01	21734,83	2124,413	0,010067	0,048

Tablo 5.34. Modellerin X ve Y Doğrultusu İkinci Merteye Etkilerin Kontrolü (EDYY)

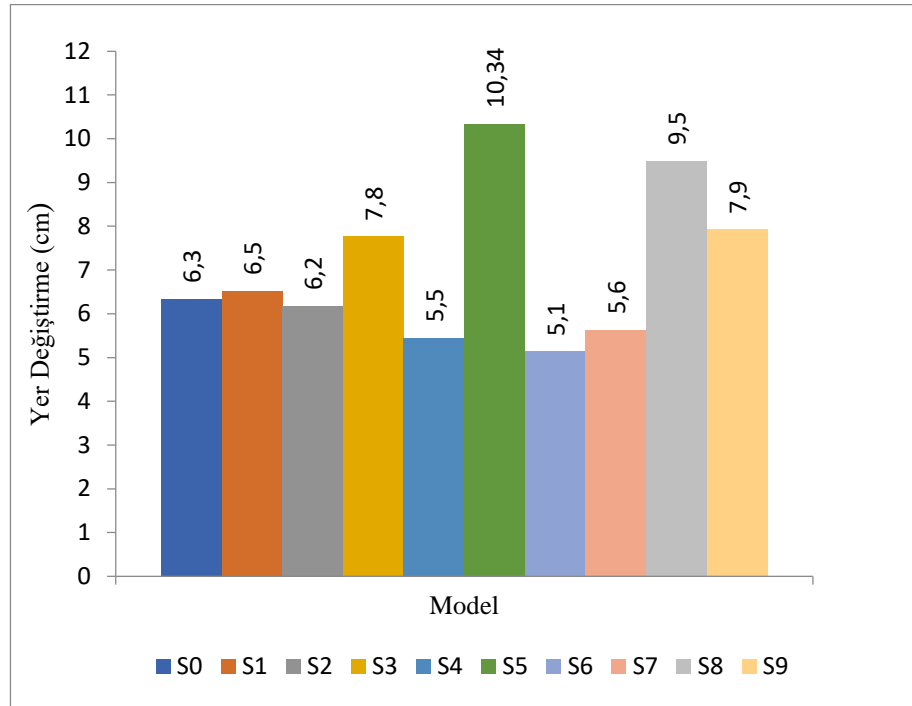
Model	Θ <sub>xii,max</sub>	Θ <sub>yii,max</sub>	≤ 0,12,(D/ChR)
SO	0,01635105	0,016322587	0,048
S1	0,01444931	0,013023703	0,048
S2	0,01306415	0,013042677	0,048
S3	0,01446256	0,013021786	0,048
S4	0,01433725	0,012721558	0,048
S5	0,02782313	0,01269763	0,048
S6	0,0126354	0,012675573	0,048
S7	0,01263849	0,027862126	0,048
S8	0,01404849	0,024840823	0,048
S9	0,01449558	0,013057159	0,048

Bütün modellere ait her iki eksen doğrultusunda ikinci merteye etkilerinin kontrolleri sağlanmıştır. Yani ikinci merteye etkilerini hesaba katılmasına gerek yoktur.

### 5.2.5. X ve Y doğrultuda modellerin maksimum yer değiştirmesi

Tablo 5.35. Modellerin X ve Y Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi (cm) (EDYY)

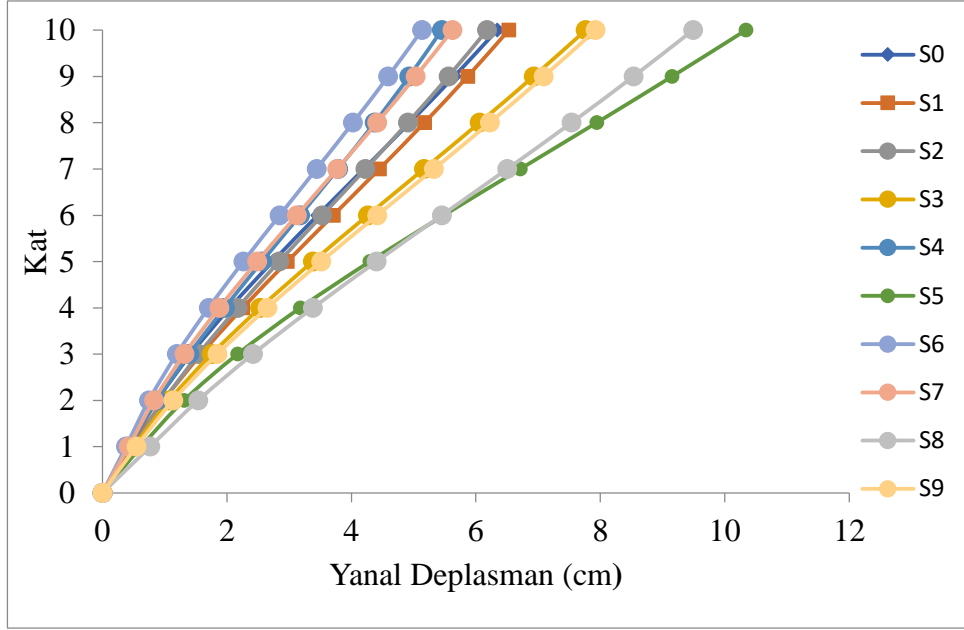
Model	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>
S0	6,341	6,309
S1	6,528	8,131
S2	6,179	6,157
S3	7,765	9,793
S4	5,451	6,243
S5	10,338	5,989
S6	5,132	5,931
S7	5,623	10,351
S8	9,488	28,082
S9	7,923	7,824



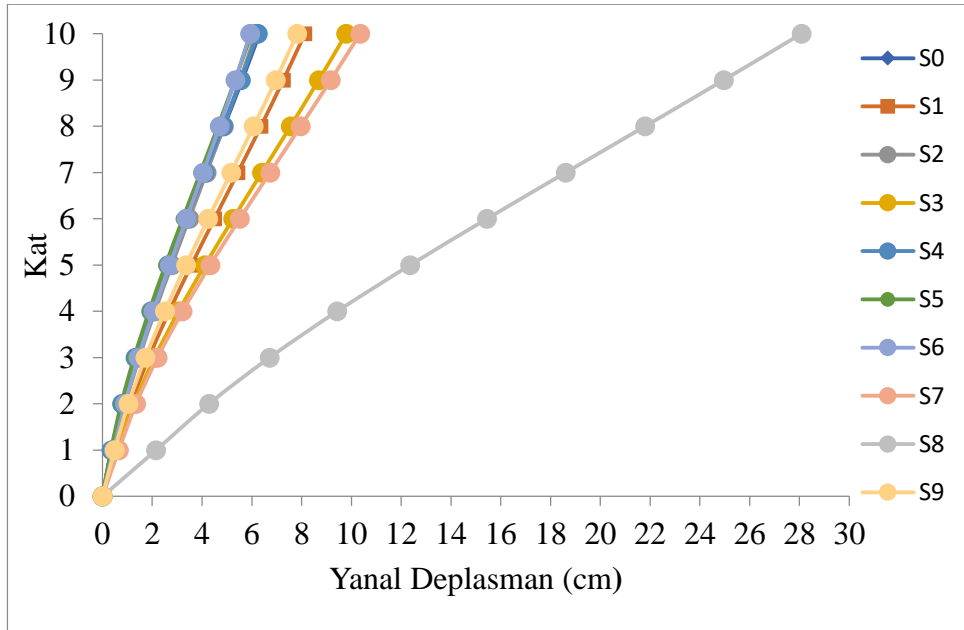
şekil 5.13. Modellerin X Doğrultusu Tepe Nokta Yer Değiştirmesi (EDYY)







Şekil 5.15. Modellerin X Doğrultusu Kat Yer Değiştirmesi (EDYY)



Şekil 5.16. Y Modellerin Y Doğrultusu Kat Yer Değiştirmesi (EDYY)

### 5.2.6. Burulma düzensizliği kontrolü

Tablo 5.38. S0 Modelinin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)

KAT	$\Delta_{min}$ (cm)	$\Delta_{ort}$ (cm)	$\Delta_{mak}$ (cm)	$\eta_{bi}$
10	0,624	0,656	0,689	1,050
9	0,648	0,682	0,716	1,050
8	0,666	0,701	0,736	1,050
7	0,669	0,705	0,740	1,050
6	0,656	0,690	0,724	1,050
5	0,622	0,655	0,687	1,050
4	0,567	0,597	0,627	1,050
3	0,490	0,516	0,542	1,050
2	0,400	0,420	0,441	1,049
1	0,401	0,420	0,438	1,044

Tablo 5.39. S0 Modelinin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)

Kat	$\Delta_{min}$ (cm)	$\Delta_{ort}$ (cm)	$\Delta_{mak}$ (cm)	$\eta_{bi}$
10	0,629	0,662	0,696	1,050
9	0,654	0,689	0,723	1,050
8	0,673	0,708	0,743	1,049
7	0,676	0,711	0,747	1,050
6	0,662	0,697	0,731	1,050
5	0,628	0,661	0,694	1,050
4	0,572	0,603	0,633	1,050
3	0,494	0,520	0,546	1,050
2	0,392	0,413	0,434	1,050
1	0,326	0,344	0,363	1,054

Tablo 5.40. Modellerin X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)

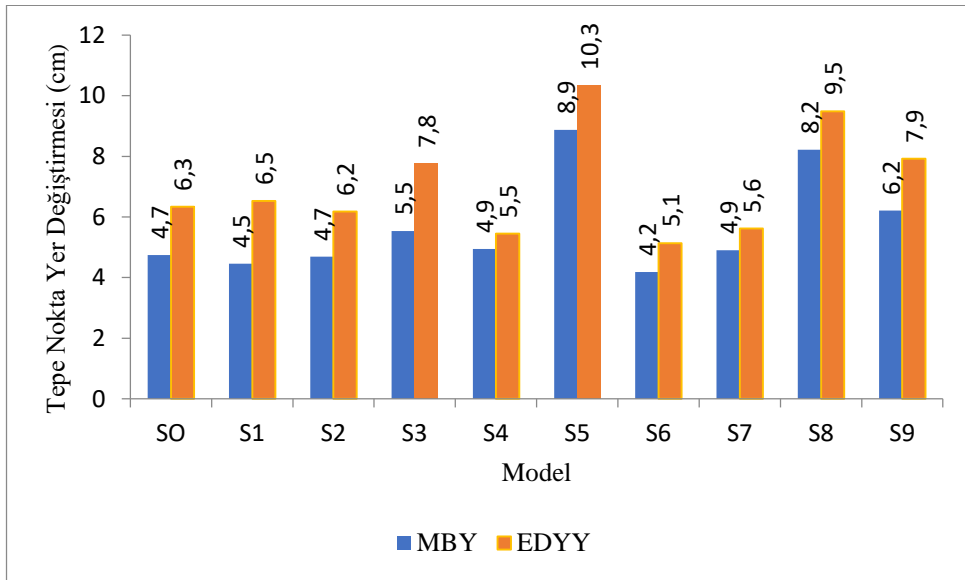
Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	1,050	1,260	1,059	1,598	1,003	1,472	1,054	1,049	1,770	1,434
9	1,050	1,259	1,070	1,576	1,011	1,470	1,056	1,052	1,745	1,422
8	1,050	1,261	1,087	1,556	1,021	1,469	1,060	1,054	1,730	1,413
7	1,050	1,266	1,103	1,540	1,031	1,469	1,062	1,058	1,724	1,407
6	1,050	1,272	1,122	1,526	1,040	1,469	1,066	1,061	1,726	1,403
5	1,050	1,280	1,143	1,513	1,051	1,469	1,069	1,064	1,735	1,399
4	1,050	1,290	1,171	1,499	1,063	1,469	1,073	1,068	1,757	1,397
3	1,050	1,307	1,211	1,486	1,080	1,470	1,078	1,074	1,800	1,399
2	1,049	1,341	1,277	1,483	1,110	1,470	1,085	1,085	1,895	1,414
1	1,044	1,412	1,350	1,515	1,169	1,437	1,092	1,111	2,100	1,465

Tablo 5.41. Modellerin Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)

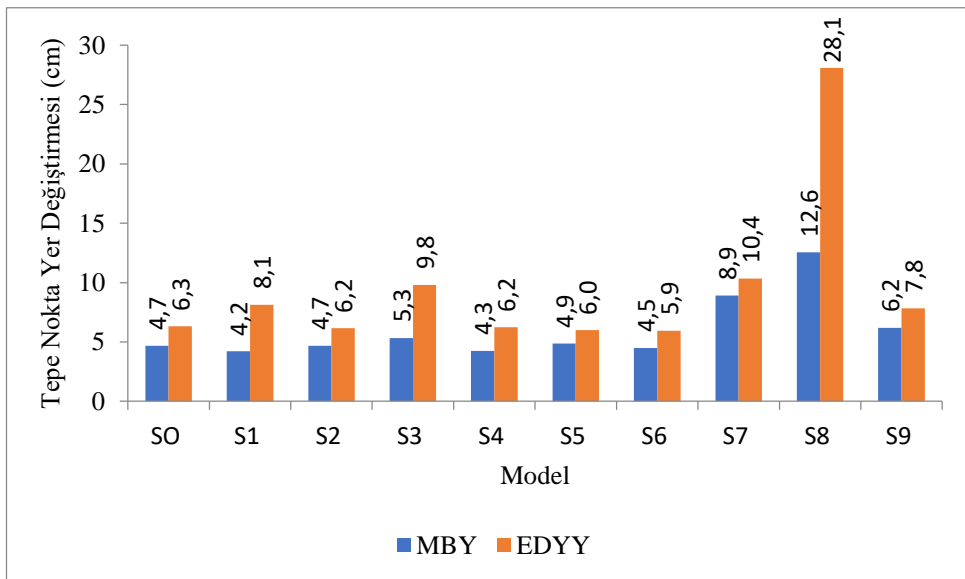
Kat	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
10	1,050	1,271	1,060	1,622	1,143	1,149	1,001	1,472	2,299	1,452
9	1,050	1,271	1,070	1,603	1,138	1,144	1,011	1,471	2,280	1,442
8	1,049	1,276	1,085	1,589	1,135	1,140	1,023	1,470	2,268	1,437
7	1,050	1,285	1,102	1,580	1,133	1,137	1,033	1,470	2,263	1,437
6	1,050	1,296	1,121	1,572	1,129	1,134	1,044	1,470	2,265	1,438
5	1,050	1,308	1,142	1,566	1,126	1,131	1,056	1,469	2,273	1,441
4	1,050	1,326	1,170	1,560	1,123	1,127	1,071	1,470	2,294	1,446
3	1,050	1,354	1,211	1,560	1,118	1,122	1,094	1,471	2,341	1,459
2	1,050	1,408	1,284	1,579	1,113	1,116	1,138	1,481	2,445	1,496
1	1,054	1,524	1,428	1,654	1,110	1,099	1,255	1,546	2,655	1,591

### 5.3. Mod Birleştirme ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Hesaplanan Sonuçların Karşılaştırması

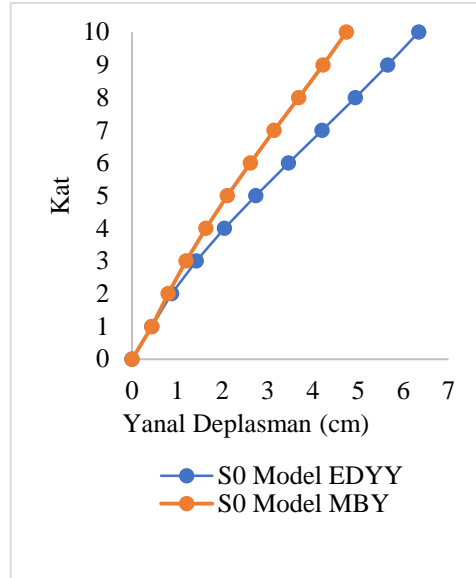
Bu başlık altında her iki analiz yöntemleriyle hesaplanan analiz sonuçları (Kat yer değiştirmesi, Tepe nokta yer değiştirmesi ve Burulma düzensizliği katsayısı) grafik şeklinde karşılaştırılmıştır.



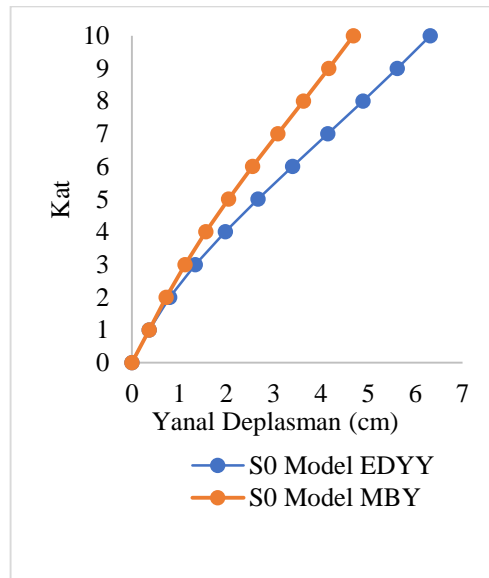
şekil 5.17. Modellerin MBY ve EDYY X Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi



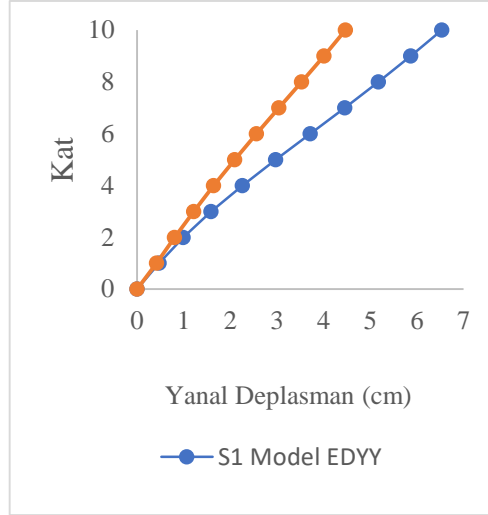
şekil 5.18. Modellerin MBY ve EDYY Y Doğrultusu Tepe Nokta Yer değiştirmesi



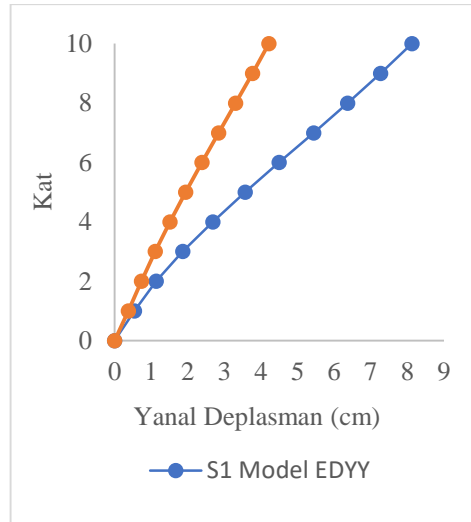
Şekil 5.19. S0 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi



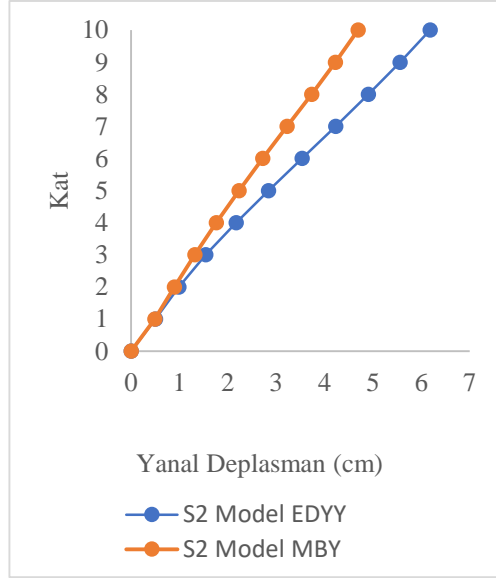
Şekil 5.20. S0 MBY ve EDYY Y Doğruer Yer değiştirmesi



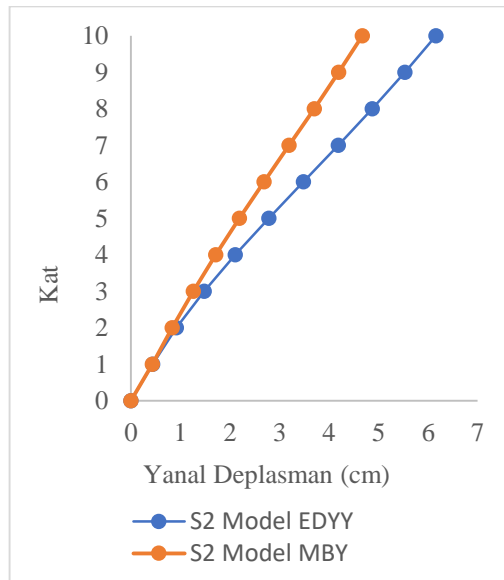
Şekil 5.21. S1 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer değıştirmesi



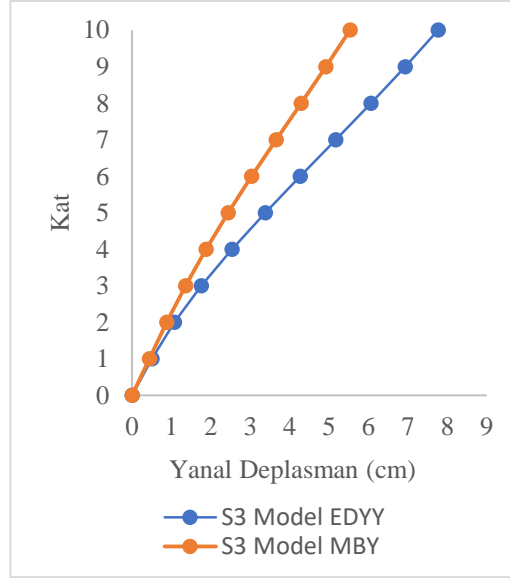
Şekil 5.22. S1 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değıştirmesi



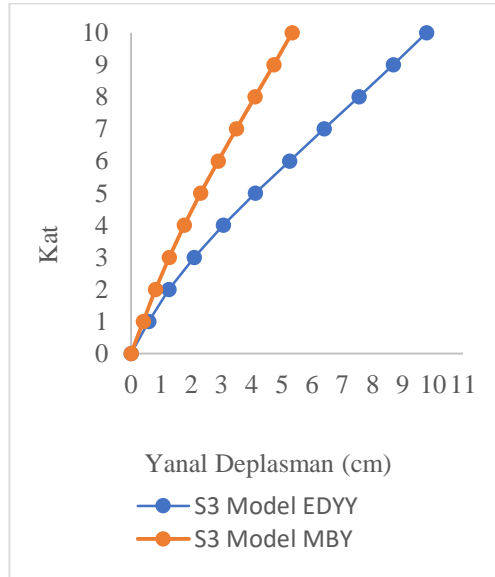
Şekil 5.23. S2 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi



Şekil 5.24. S2 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi

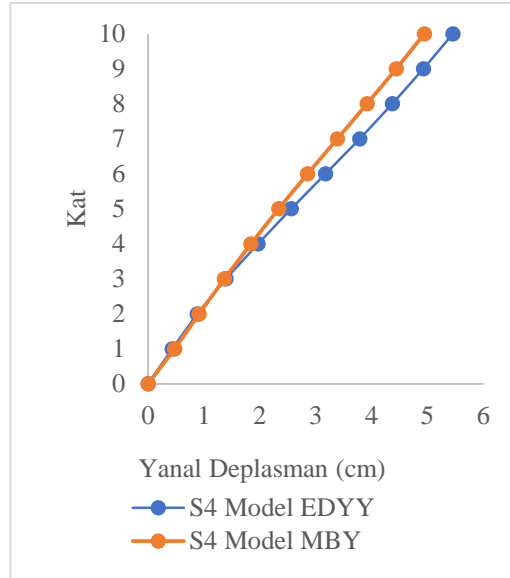


Şekil 5.25. S3 MBY ve EDYY X Doğrultusu Değişirmesi

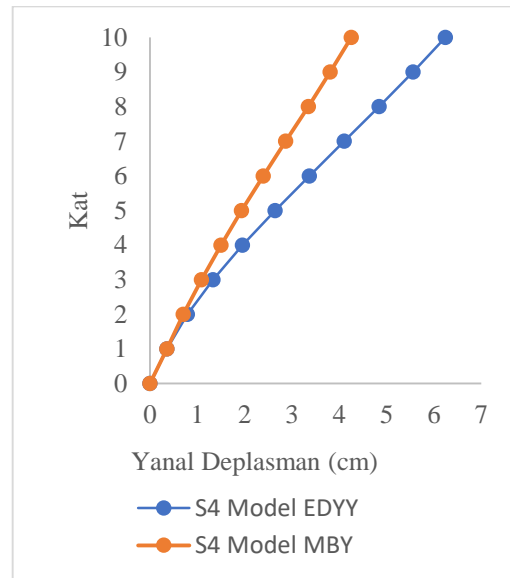


Şekil 5.26. S3 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Yer Değişirmesi

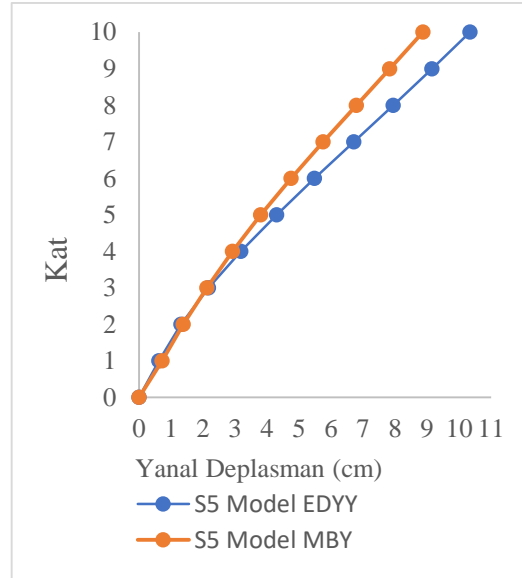




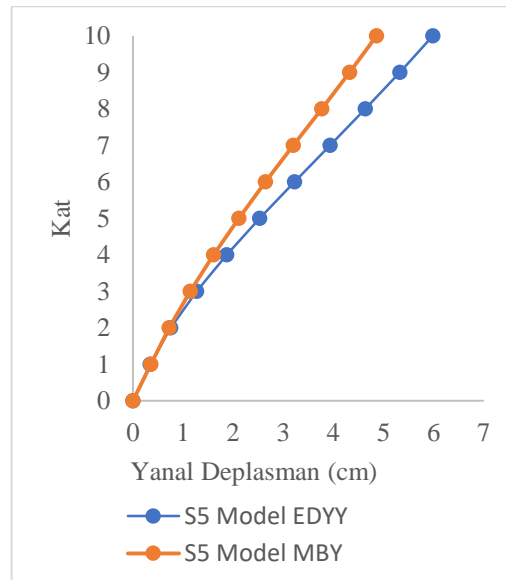
Şekil 5.27. S4 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi



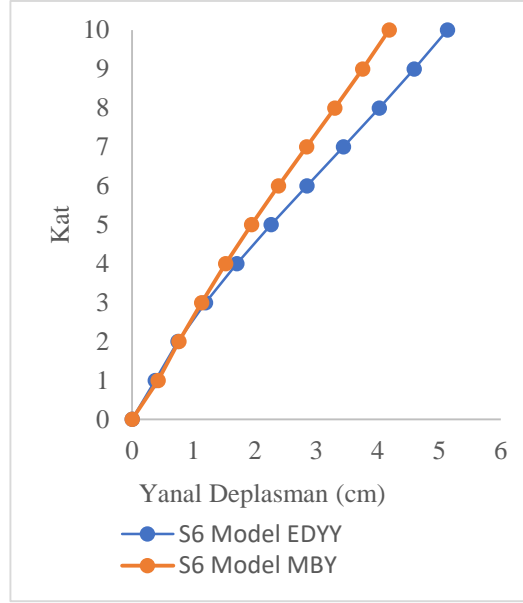
Şekil 5.28. S4 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi



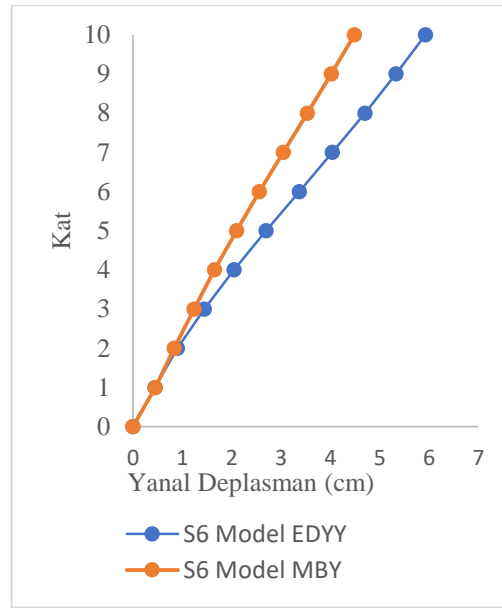
Şekil 5.29. S5 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirme



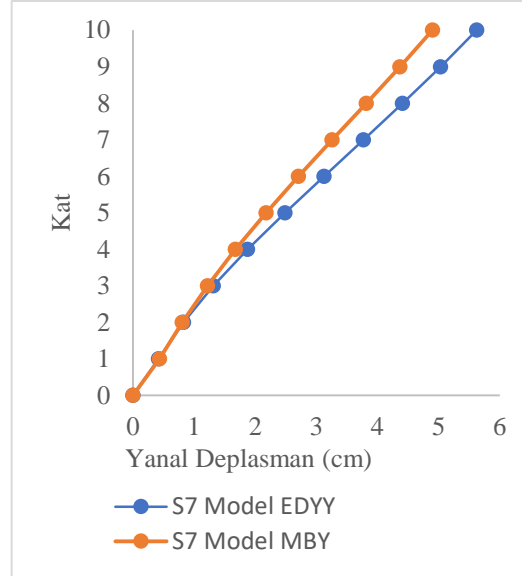
Şekil 5.30. S5 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirme



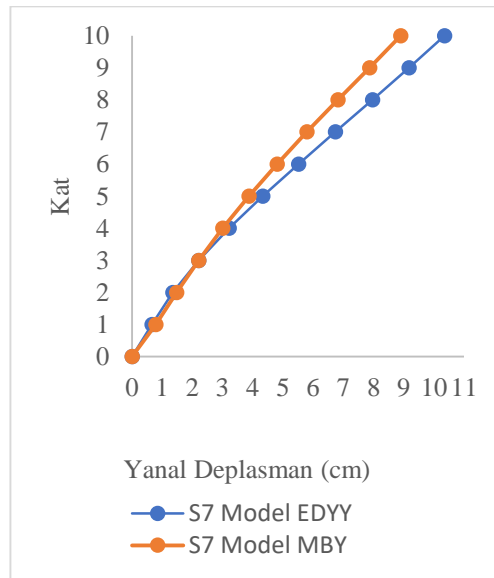
Şekil 5.31. S6 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi



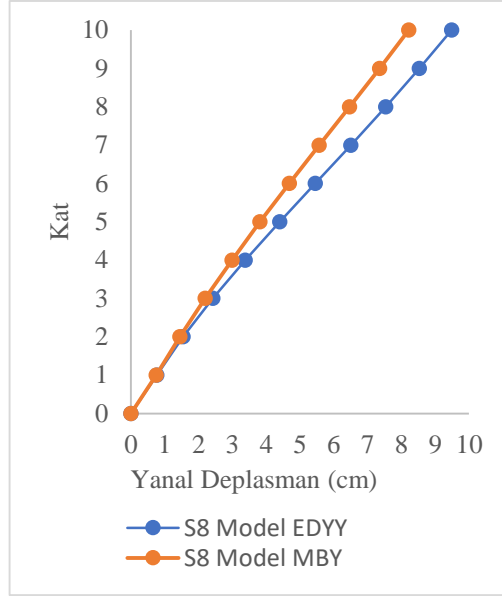
Şekil 5.32. S6 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi



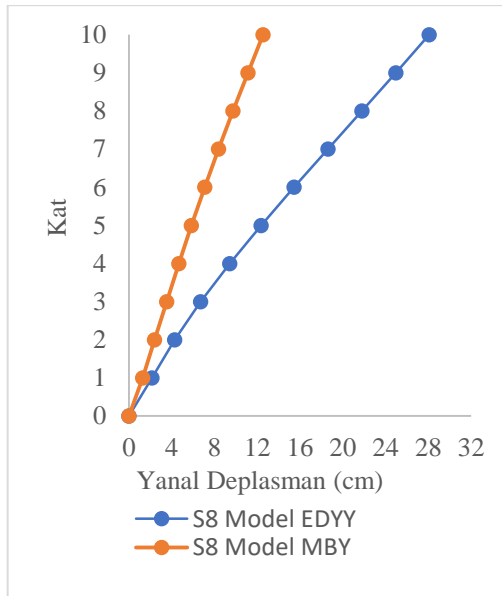
Şekil 5.33. S7 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirmesi



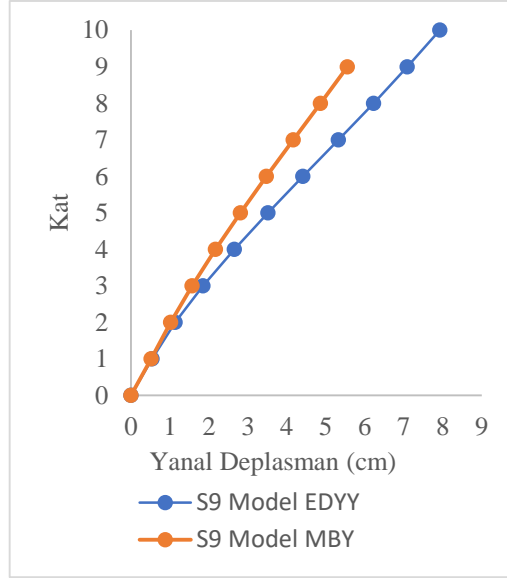
Şekil 5.34. S7 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirmesi



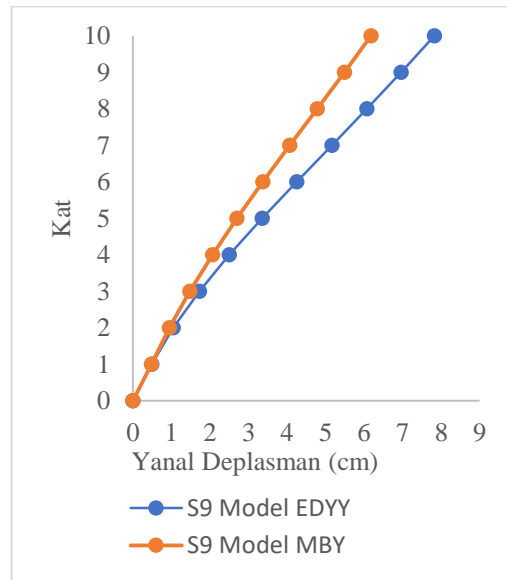
Şekil 5.35. S8 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirme



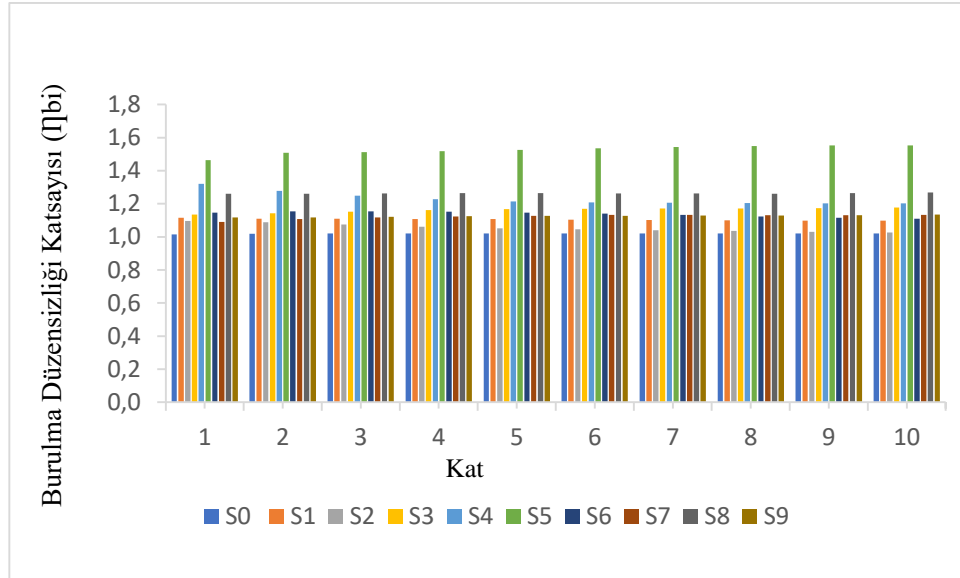
Şekil 5.36. S8 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirme



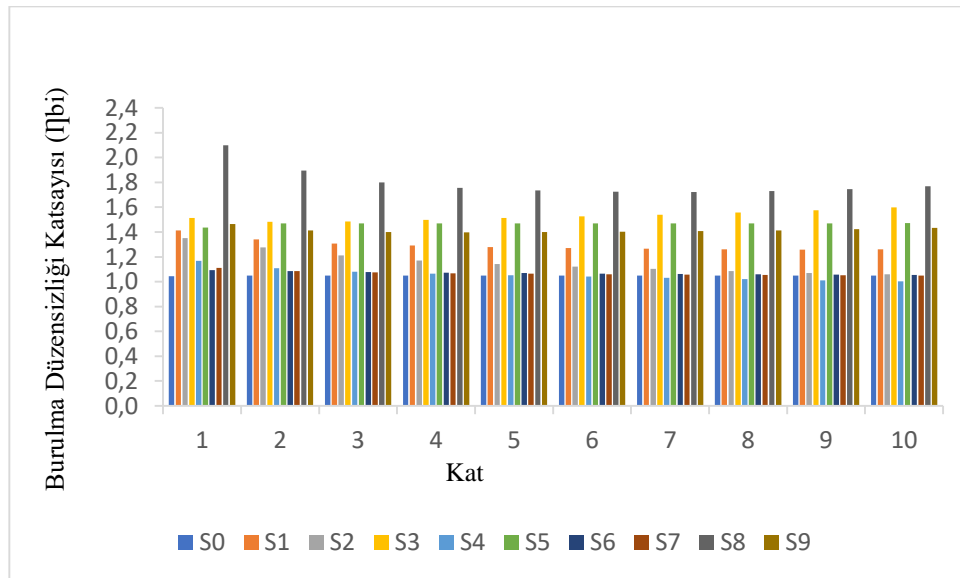
Şekil 5.37. S9 MBY ve EDYY X Doğrultusu Yer Değiştirme



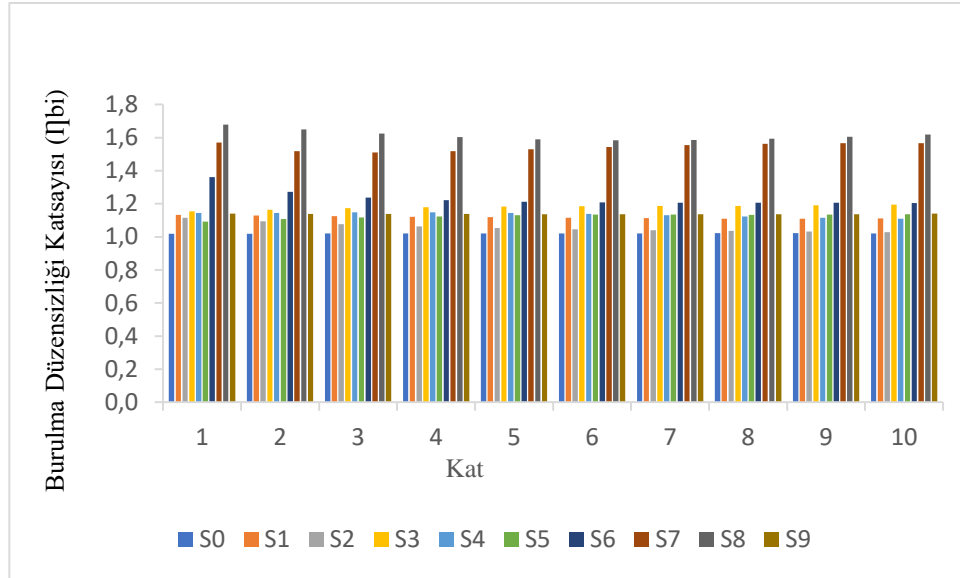
Şekil 5.38. S9 MBY ve EDYY Y Doğrultusu Yer Değiştirme



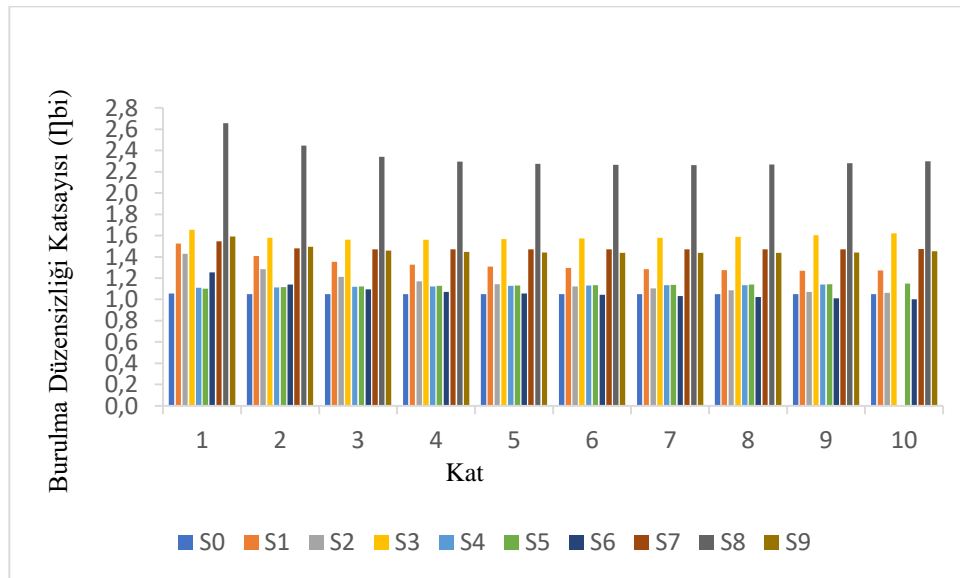
Şekil 5.39. Modellerin Katlarına ait X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)



Şekil 5.40. Modellerin Katlarına ait X Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)



Şekil 5.41. Modellerin Katlarına ait Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (MBY)



Şekil 5.42. Modellerin Katlarına ait Y Doğrultusu Burulma Düzensizliği Katsayısı (EDYY)



## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'e göre üç boyutlu çok katlı çelik çerçeve sistemlerinden, Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerde A1 burulma düzensizliğinin araştırılması amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak olan çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir.

### 6.1. Sonuçlar

Etabs-2018 3D bilgisayar analiz programında toplam 10 model'in gerçekleştirilmiş olan analizlerin karşılaştırmalarına göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemlerine göre yapı modellerin periyotları incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük doğal titreşim periyodu S5 modeline ve en küçük doğal titreşim periyodu ise S7 modeline aittir. Y doğrultusunda ise en büyük doğal titreşim periyodu S7 modeline ve küçük doğal titreşim periyodu S1 ve S4'e aittir.
- Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemlerine göre yapı modellerin ağırlıkları incelendiği zaman; bütün modellerin ağırlıkları aynıdır. Zira yapı modellerin elemanlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan sadece çaprazların yerleri değiştirilerek bu modeller oluşturulmuştur.
- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapı modelleri taban kesme kuvvetlerine göre incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük taban kesme kuvveti S7 modeline ve en küçük taban kesme kuvvetini S5 modeli vermiştir. S7 modeline ait en büyük taban kesme kuvveti X doğrultusundaki S5 modelinin en küçük taban kesme kuvvetinden %39 daha fazladır. Y doğrultusunda ise, en büyük taban kesme kuvveti S1 ve S3 modellerinde ve en küçük taban kesme kuvvetini S7 modeli vermiştir, S1 ve S3 modellerine ait en

büyük taban kesme kuvveti Y doğrultusundaki S7 modelinin en küçük taban kesme kuvvetinden %48 daha fazladır.

- Mod Birleştirme Yöntemine göre yapı modelleri taban kesme kuvvetlerine göre incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük taban kesme kuvveti S2 modeline ve en küçük taban kesme kuvvetini S5 modeli vermiştir. S2 modeline ait en büyük taban kesme kuvveti X doğrultusundaki S5 modelinin en küçük taban kesme kuvvetinden %28 daha fazladır, Y doğrultusunda ise, en büyük taban kesme kuvveti S9 modeline ve en küçük taban kesme kuvvetini S7 modeli vermiştir, S9 modeline ait en büyük taban kesme kuvveti Y doğrultusundaki S7 modelinin en küçük taban kesme kuvvetinden %27 daha fazladır.
- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapı modellerin maksimum tepe noktası yer değiştirmeleri incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük tepe noktası yer değiştirme S5 modeline ve en küçük tepe noktası yer değiştirmesi S6 modeline aittir. X doğrultusundaki en büyük tepe noktası yer değiştirmesi en küçük tepe noktası yer değiştirmesinden %50 daha fazladır. Y doğrultusunda ise en büyük tepe noktası yer değiştirme S8 modeline ve en küçük tepe noktası yer değiştirmesi S6 modeline aittir. Y doğrultusundaki en büyük tepe noktası yer değiştirmesi en küçük tepe noktası yer değiştirmesinden %79 daha fazladır.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre yapı modellerin maksimum tepe noktası yer değiştirmeleri incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük tepe noktası yer değiştirme S5 modeline ve en küçük tepe noktası yer değiştirmesi S6 modeline aittir. X doğrultusundaki en büyük tepe noktası yer değiştirmesi en küçük tepe noktası yer değiştirmesinden %53 daha fazladır. Y doğrultusunda ise en büyük tepe noktası yer değiştirme S8 modeline ve en küçük tepe noktası yer değiştirmesi S1 modeline aittir. Y doğrultusundaki en büyük tepe noktası yer değiştirmesi en küçük tepe noktası yer değiştirmesinden %66 daha fazladır.
- Maksimum kat yer değiştirme değerleri her iki yöntem için ele alındığı zaman; X ve Y deprem doğrultusunda Mod Birleştirme Yönteminden elde edilen maksimum kat yer değiştirme değerleri, Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminden

elde edilen maksimum kat yer değiştirme değerlerinden daha küçük çıkmaktadır.

- Eşdeğer Deprem Yüku ve Mod Birleştirme Yöntemlerine göre yapı modellerin eksantrisite değerleri incelendiğinde; X doğrultusunda en büyük eksantrisite S7 modelinde ve en küçük eksantrisite değeri S3 modelinde meydana gelmiştir. Y doğrultusunda ise en büyük eksantrisite S5 modelinde ve en küçük eksantrisite değeri S0 ve S2 modellerde meydana gelmiştir. X doğrultuda oluşan en büyük eksantrisite değeri, Y doğrultu oluşan en büyük eksantrisite değerinden %0,13 daha fazladır. X doğrultuda oluşan en küçük eksantrisite değeri, Y doğrultu oluşan en küçük eksantrisite değerinden %15,89 daha fazladır.
- Eşdeğer Deprem Yüku Yöntemine göre yapı modellerin A1 burulma düzensizliği sonuçları incelendiğinde; %5 dış merkezliğini dikkate alınarak, X doğrultusunda S1, S2, S3, S5, S8 ve S9 modellerde burulma düzensizliği meydana gelirken Y doğrultusunda ise S1, S2, S3, S6, S7, S8 ve S9 modellerde burulma düzensizliği meydana gelmiştir.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre yapı modellerin A1 burulma düzensizliği sonuçları incelendiğinde; %5 dış merkezliğini dikkate alarak, X doğrultusunda S4, S5 ve S8 modellerde burulma düzensizliği meydana gelirken Y doğrultusunda ise S6, S7 ve S8 modellerde burulma düzensizliği meydana gelmiştir.
- Eşdeğer Deprem Yüku Yöntemine göre; A1 burulma düzensizliği açısından, en az burulma düzensizliği olan X ve Y doğrultusunda S0 modeli vermektedir, Burulma düzensizliği açısından, yapı modellerin X doğrultusunda en büyük burulma düzensizliği katsayısını S8 modeli verirken Y doğrultusunda de en büyük burulma düzensizliği katsayısı S8 modeline aittir.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre tez çalışmanın konusu olan A1 burulma düzensizliği açısından, en az burulma düzensizliği olan X ve Y doğrultusunda S0 modeli vermektedir, Burulma düzensizliği açısından, yapı modellerin X doğrultusunda en büyük burulma düzensizliği katsayısını S5 modeli verirken Y doğrultusunda ise en büyük burulma düzensizliği katsayısı S8 modeline aittir.

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre bütün modeller ve bütün katlar gözönüne alındığında; X doğrultusunda en büyük burulma düzensizliğı katsayısı S8 modeli birinci katına ve en küçük burulma düzensizliğı katsayısı S4 modelin onuncu katına aittir. Y doğrultusunda ise en büyük burulma düzensizliğı katsayısı S8 modeli birinci katına ve en küçük burulma düzensizliğı katsayısı S6 modelin onuncu katına aittir.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre bütün modeller ve bütün katlar gözönüne alındığında; X doğrultusunda en büyük burulma düzensizliğı katsayısı S5 modeli beşinci katına ve en küçük burulma düzensizliğı oranı S0 modelin birinci katına aittir, Y doğrultusunda ise en büyük burulma düzensizliğı katsayısı S8 modeli birinci katına ve en küçük burulma düzensizliğı katsayısı S0 modelin birinci ve ikinci katına aittir.
- Geometri ve rijitlik dağılımı bakımından simetrik yapılarda da burulma düzensizliğı oluşabilmektedir. Bu yapılarda burulma düzensizliğinin sebebi ise, kenar akslardaki rijitliklerin düşük olmasıdır.
- Burulma düzensizliğı gidermek için kenar akslara çelik çapraz yerleştirerek veya kenar aksta bulunan taşıyıcı elemanların boyutlarını artırması gerekmektedir.
- Bazı durumlarda yapıların orta kısmında yer alan perdelerin rijitliklerini küçülterek de burulma düzensizliğini azaltabilir veya tümüyle giderebiliriz.

## 6.2. Öneriler

Yapılan bu tez çalışmasında üç boyutlu çelik çerçeve sistemlerinde merkezi çelik çapraz kullanımının A1 burulma düzensizliğı etkilerinin araştırılması gerçekleştirilmiştir, Elde edilen sonuçların ışığında ileriki çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

- Bu tez kapsamında merkezi çelik çaprazlarından ters V çaprazlarının A1 burulma düzensizliğı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çapraz düzenlemelerinin dışında kalan diğer çapraz düzenlemelerinin, yapıların yatay yük altındaki davranışına olan etkileri irdelenebilir.

- Yeni yapılacak çalışmalar ile çapraz elemanların yapının yatay plan ve düşey planda düzenlemeleri farklı şekilde oluşturularak davranışa olan etkisi irdelenebilir.
- Uygulama sahalarında imalatı yapılan çapraz çeşitlerinin ne derece sisteme destek olduğu incelenip, bağlantı şekillerinin doğruluğu hakkında deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Ters V çapraz sistemlerinin etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için dışmerkez çelik çapraz sistemi kullanılabilir. Ayrıca bağ kirişinin çaprazlar ile bağlandığı noktalara plastik mafsal atanabilir.
- Tez çalışmasında ana kirişlerin kolonlara bağlantı şekli mafsalı seçilmiştir. Bu bağlantılar rijit seçilip irdelenebilir.

Sonuç olarak; tezde kullanılan bütün modeller burulma düzensizliği katsayıları incelendiği zaman en iyi performansı S0 ve en olumsuz performansı S8 model göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Akgönen, A. İ. 2017. Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi. kahramanmaraş sutcu imam university, Journal of Engineering Sciences, 16, konferans makalesi.
- Akşar, B. Akbaş1, B. Şerif Kaya, E. Ç. 2018. Merkezi çaprazlı çerçevelerde dayanım farklılığı sonucu oluşan burulma etkileri. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:1 (13-30).
- Ay, Z. Çelik, D.İ & KIMILLI,N.A. 2010. Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, ISSN 1012-2354, Cilt 26, Sayı 1
- Bayram1, B. Sancioğlu1, S. Çarbaş1, S. 2019. Çelik bir yapıda dışmerkez diyagonal çaprazların etkisi. KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 128-145. Dergi Makalesi.
- Bulut, Y. 2013. Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde çapraz düzeninin çelik çerçevelerin dinamik davranışına etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Chandler, A.M. Duan, X. Rutenberg. 1996, Seismic Torsional Respons: Assumption, Controversise and Research Progres, European Earthquake Engineering, 10,37-51 60
- Chirag, R. O. Tarachandani, D. 2016. Comparative study of effect of structural irregularities & different types of bracing in multistoried steel building. IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 4, Issue 03, (ISSN online): 2321-0613.
- Çetin, K. Demir, A. Yasin altıok , T. 2020. 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yerel zemin sınıflarının yapılardaki burulma düzensizliğine etkisi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi., c. 8, s. 2, 282-290, 2020
- Çırpan, B. 2017. Çok katlı çelik yapılarda yapı geometrisinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi ve ideal geometrik formun belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Çileli, E. 2008. Çok katlı çelik yapılarda çaprazlı çerçeve sistemlerin DBYBHY 2007'ye göre tasarımı ve süneklik düzeylerinin karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çythy. (2016). Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara
- Eibel, J. Keintzel, E. 1995. Vergleich der erdbebenauslegung von stahlbetonbauten nach din 4149 und eurocode 8, <https://doi.org/10.1002/best.199500360>.
- Genç, Y. 2017. Burkulması önlenmiş çaprazların merkezi çaprazlı çerçevelerin deprem davranışına etkisi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- İmo. (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği (tbdy-2018) açıklamalar ve uygulama örnekleri. Ankara: İnşaat Mühendisler Odası.
- Kheyroddin, A. A. 2018. Study on the effect of the position of x-bracing arrangement in the steel structures with a triangular plan. numerical methods in civil engineering. Semnan.
- Korkmaz. K. A. AY, Zeki. Işıl Çarhoğlu. A. Çelik, D. Nuhoğlu, A. 2013. Planda düzensizlikleri olan çelik yapıların güçlendirilme tiplerinin değerlendirilmesi. GÜFBED/GUSTIJ (2013) 3 (2): 29-39, Araştırma Makalesi.
- Kurtulmuş, S. 2005. Burulma düzensizliği bulunan çok katlı yapıların deprem yönetmeliği açısından irdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- Mehdi zain alabdeen, R. 2019. Time history analysis for high rise braced and unbraced steel structures. University of Gaziantep, Graduate School of Natural & Applied Sciences, Civil Engineering, M.Sc. Thesis.
- Öz, D. 2018. Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar ve türkiye bina deprem yönetmeliği kuralları doğrultusunda çelik yapıların tasarımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özmen, G. 2004. Çok katlı yapılarda aşırı burulma düzensizliği, İMO Teknik Dergi, 2004 3131-3144, Yazı 210
- Pankaj, A., & Manish, S. 2011. Earthquake resistant design of structures. PHI learning private limited, New Delhi, 50, 100-150.
- Ragavan, a C. 2018. Seismic analysis of steel structure, <https://www.researchgate.net/publication/322754491>

- Rashid, M,M, 2015. Improving lateral deformation behavior of high rise steel structures under dynamic loadings. University of Gaziantep, Graduate School of Natural & Applied Sciences, Civil Engineering, M.Sc. Thesis.
- Tansel, M. 2010. Çok katlı çelik yapıların 2007 deprem yönetmeliğine göre analiz ve tasarımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- TBDY 2018, 2018, “Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yardımcı, N. (2005). Türkiye’de çelik yapılar. türkiye mühendislik haberleri. 435, 22–24.
- Yurdasev, Z. 2008. Merkezi ve dış merkez çelik yapı sistemlerinde doğrusal olmayan davranışın incelenmesi ve süneklik düzeyinin belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yedikardeş, 2010. Deprem yönetmeliğine göre yapılardaki A2 düzensizlik durumunun incelenmesi ve perde yerleşiminin düzensizliğe etkisi Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zervent, A. 2009. Evaluation of steel building design methodologies: TS 648, EUROCODE 3 and lrfd. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Civil Engineering, M.Sc. Thesis.



## ÖZGEÇMİŞ

Fahım Ahmad NOWBAHARI, 07,05,1989'da Afganistan'ın Farah ilinde doğdu, İlk, orta ve lise eğitimini doğduğu şehri olan Farah'ta tamamladı, 2011 senesinde Kawsar Kolejinden mezun oldu, 2012-2013 yılları arasında Ankara Üniversitesi TÖMER İzmir Şubesinde 1 yıl Türkçe dil eğitimi aldı, Daha sonra 2013 senesinde Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2018 yılında bitirdi, Aynı içerisinde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı, 2019 yılında Paris'te bulunan Cergy-Pontoise Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Laboratuvarında Erasmus+ Programı kapsamında bir dönem akademik araştırmalarda bulundu.