

T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA FARKLI ÇAPRAZ DURUMLARININ STATİK  
İTME ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah DAĞILAN

MAYIS - 2025

**T.C.**  
**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA FARKLI ÇAPRAZ DURUMLARININ**  
**STATİK İTME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah DAĞILAN**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ**  
**Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümit Necmettin ARIBAŞ**

**MAYIS – 2025**

## ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdullah DAĞILAN  
30/05/2025

## ÖZET

### ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA FARKLI ÇAPRAZ DURUMLARININ STATİK İTME ANALİZİ

Abdullah DAĞILAN

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ

Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümit Necmettin ARIBAŞ

Mayıs 2025, 77 sayfa

Bu tez çalışmasında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esas alınarak, çok katlı çelik yapı sistemlerinde çapraz türü ve yerleşim konumlarının sismik performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, üç farklı çapraz türü (merkezi ve dışmerkezli) ve her biri dört farklı yerleşim senaryosuna sahip toplam 12 çaprazlı sistem modellenmiş ve yalnızca moment aktaran çerçeve sisteminden oluşan referans yapı ile karşılaştırılmıştır. Tüm yapısal analizler SAP2000 yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir model için plastik mafsallı dağılımları, taban kesme kuvvetleri, maksimum yatay ötelenmeler, yapı ağırlıkları, birinci doğal periyotlar ve süneklik kapasiteleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, farklı çapraz türleri ve konumlarının etkileri yapının doğrusal olmayan davranışını nasıl etkilediği detaylı olarak irdelenerek literatüre sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çok katlı çelik yapılar, Statik itme analizi, SAP2000.

## ABSTRACT

# STATIC PUSHOVER ANALYSIS OF DIFFERENT BRACING CONFIGURATIONS IN MULTI-STORY STEEL STRUCTURES

Abdullah DAĞILAN

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Merve ERMİŞ

Co-supervisor: Asst. Prof. Dr. Ümit Necmettin ARIBAŞ

May 2025, 77 pages

In this thesis study, the effects of brace type and placement location on the seismic performance of multi-story steel structural systems were examined based on the Turkish Seismic Code 2018 (TSC 2018). For this purpose, a total of 12 braced systems, consisting of three different brace types (concentric and eccentric) and four different placement scenarios for each, were modeled and compared with the reference structure, which consists solely of a moment-resisting frame system. All structural analyses were performed using the nonlinear static analysis (pushover analysis) method in SAP2000 software. For each model, plastic hinge distributions, base shear forces, maximum horizontal displacements, structure weights, first natural periods, and ductility capacities were calculated. Based on the findings obtained, the effects of different brace types and locations on the nonlinear behavior of the structure were examined in detail and presented in the literature.

**Key Words:** Multi-story steel structures, Static pushover analysis, SAP2000

## TEŞEKKÜR

Bu bölümde heyecanını ve gururunu yaşadığım ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimin yazım sürecinde bana katkılarını esirgememiş ve teşvik etmiş olan değerli danışmanlarıma, aileme ve abime sonsuz teşekkürlerimi sunacağım.

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, bilgisiyle bu çalışmanın oluşmasını sağlayan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ'e ve eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ümit Necmettin ARIBAŞ'a, bilimsel rehberlikleri, yapıcı yönlendirmeleri ve her aşamada sağladıkları katkılar için en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisanslı SAP2000 v26 ve lisanslı Tekla Structures yazılım programlarını kullanmamı sağladığı için İnş. Müh. Muhammet Ali SANDIKÇI'ya teşekkür ederim.

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan sevgili eşim Selin DAĞILAN'a, sevgili kızım Arya DAĞILAN'a ve hayatım boyunca desteğini hep hissettiren sevgili abim Hasan DAĞILAN'a gönülden teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                                                           | iv   |
| ABSTRACT .....                                                                                       | v    |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                        | vi   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                     | vii  |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                                            | viii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                                              | x    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                                         | xii  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                        | 1    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....                                                                        | 7    |
| 3. ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM TÜRLERİ.....                                                      | 17   |
| 3.1. Moment Aktaran Çelik Çerçeveler .....                                                           | 17   |
| 3.2. Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler.....                                                          | 18   |
| 3.3. Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeveler .....                                                       | 19   |
| 4. YAPISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME .....                                                             | 23   |
| 4.1. Çok Katlı Çelik Yapıya ait Tasarım Bilgileri.....                                               | 23   |
| 4.1.1. Moment aktaran çerçeve (çaprazsız) sisteme sahip yapının analiz modelinin oluşturulması ..... | 33   |
| 4.1.2. Çaprazlı sisteme sahip yapı analiz modelinin oluşturulması.....                               | 39   |
| 4.2. Çok Katlı Çelik Yapıda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi.....                                | 39   |
| 4.2.1. Kapasite (itme) eğrisi .....                                                                  | 43   |
| 4.2.2. Yapı ağırlığı .....                                                                           | 57   |
| 4.2.3. Periyot değeri.....                                                                           | 58   |
| 4.2.4. Taban kesme kuvveti.....                                                                      | 59   |
| 4.2.5. Maksimum yer değiştirme.....                                                                  | 60   |
| 4.2.6. Süneklik kapasitesi.....                                                                      | 62   |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                           | 69   |
| KAYNAKLAR.....                                                                                       | 73   |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                       | 77   |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1. AFAD internet sitesinden alınan harita spektral ivme katsayıları.....                                                           | 25 |
| Çizelge 4.2. TBDY 2018 yük birleşimleri.....                                                                                                 | 31 |
| Çizelge 4.3. X doğrultusu görelî kat öteleme kontrolü.....                                                                                   | 37 |
| Çizelge 4.4. Y doğrultusu görelî kat öteleme kontrolü.....                                                                                   | 37 |
| Çizelge 4.5. X doğrultusu A1 burulma düzensizliği değerleri .....                                                                            | 37 |
| Çizelge 4.6. Y doğrultusu A1 burulma düzensizliği değerleri .....                                                                            | 38 |
| Çizelge 4.7. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....                                                                                     | 38 |
| Çizelge 4.8. Çaprazlı modellerin mafsâl sayılarının çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri .....                                             | 45 |
| Çizelge 4.9. Çaprazsız yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....                                                              | 46 |
| Çizelge 4.10. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu) .....         | 47 |
| Çizelge 4.11. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu) .....        | 47 |
| Çizelge 4.12. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu) .....         | 48 |
| Çizelge 4.13. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu) .....         | 48 |
| Çizelge 4.14. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....     | 48 |
| Çizelge 4.15. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....    | 49 |
| Çizelge 4.16. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....     | 49 |
| Çizelge 4.17. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....     | 50 |
| Çizelge 4.18. Durum 1'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....  | 50 |
| Çizelge 4.19. Durum 2'ye göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)..... | 51 |
| Çizelge 4.20. Durum 3'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....  | 51 |
| Çizelge 4.21. Durum 4'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu).....  | 51 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.22. Çaprazsız yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....                                                             | 52 |
| Çizelge 4.23. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu) .....         | 52 |
| Çizelge 4.24. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu) .....        | 53 |
| Çizelge 4.25. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu) .....         | 53 |
| Çizelge 4.26. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu) .....         | 54 |
| Çizelge 4.27. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....     | 54 |
| Çizelge 4.28. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....    | 54 |
| Çizelge 4.29. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....     | 55 |
| Çizelge 4.30. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....     | 55 |
| Çizelge 4.31. Durum 1'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....  | 55 |
| Çizelge 4.32. Durum 2'ye göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)..... | 56 |
| Çizelge 4.33. Durum 3'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....  | 56 |
| Çizelge 4.34. Durum 4'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu).....  | 56 |
| Çizelge 4.35. Modellerin ağırlıklarının çaprazsız duruma göre artış yüzdeleri .....                                                          | 57 |
| Çizelge 4.36. Modellerin çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri (X doğrultusu) .....                                                         | 61 |
| Çizelge 4.37. Modellerin çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri (Y doğrultusu) .....                                                         | 62 |
| Çizelge 4.38. Modellerin X doğrultusundaki süneklik kapasiteleri .....                                                                       | 62 |
| Çizelge 4.39. Modellerin Y doğrultusundaki süneklik kapasiteleri .....                                                                       | 67 |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Kuvvet-yer değiştirme eğrisi (FEMA-356) .....                                                                              | 8  |
| Şekil 2.2. Kesit hasar bölgeleri (TBDY 2018) .....                                                                                    | 8  |
| Şekil 3.1. Moment aktaran çelik çerçeve.....                                                                                          | 17 |
| Şekil 3.2. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler (TBDY 2018) .....                                                                        | 18 |
| Şekil 3.3. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler (TBDY 2018) .....                                                                      | 20 |
| Şekil 4.1. Çaprazsız yapının a) 3B görüntüsü b) X-Y görüntüsü .....                                                                   | 23 |
| Şekil 4.2. Çaprazsız yapının a) X-Z görüntüsü b) Y-Z görüntüsü .....                                                                  | 23 |
| Şekil 4.3. Merkezi X çapraz Durum 1 konumunun görüntüleri (boyut birimi mm) .....                                                     | 24 |
| Şekil 4.4. Merkezi X çapraz Durum 2, 3 ve 4 konumlarına ait X-Z ve Y-Z görüntüleri (boyut birimi mm).....                             | 27 |
| Şekil 4.5. SAP2000 yüklerin görüntüsü .....                                                                                           | 27 |
| Şekil 4.6. SAP2000 yük durumları görüntüsü .....                                                                                      | 28 |
| Şekil 4.7. Hareketli yük kütle katılım katsayıları (TBDY 2018) .....                                                                  | 28 |
| Şekil 4.8. Normal kat döşemelerine tanımlanan yükler.....                                                                             | 29 |
| Şekil 4.9. Çatı katı döşemesine tanımlanan yükler.....                                                                                | 29 |
| Şekil 4.10. Statik hesap programında düşey deprem etkisinin tanımlanması .....                                                        | 30 |
| Şekil 4.11. TBDY 2018'e göre elastik tasarım spektrumunun SAP2000 yazılımında tanımlanması (Pazarcık bölgesi örneği).....             | 32 |
| Şekil 4.12. SAP2000'de SpecX doğrultusu için deprem spektrumu yük durumu tanımı .....                                                 | 33 |
| Şekil 4.13. Modal titreşim periyotları ve kütle katılım oranları (SAP2000 Çıktısı) .....                                              | 34 |
| Şekil 4.14. EX, EY ve SpecX, SpecY yük durumları için taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....                                     | 35 |
| Şekil 4.15. Eşdeğer deprem yöntemine göre hesaplanan büyütme katsayısının uygulanması sonrası elde edilen taban kesme kuvvetleri..... | 36 |
| Şekil 4.16. Düşey yükler için doğrusal olmayan statik analiz tanımı.....                                                              | 41 |
| Şekil 4.17. X doğrultusu için doğrusal olmayan statik analiz tanımı .....                                                             | 41 |
| Şekil 4.18. X doğrultusu için itme analizinde hedef yer değiştirme ve izlenecek noktanın tanımlanması.....                            | 42 |
| Şekil 4.19. X doğrultusu için itme analizinde kaydedilecek yer değiştirme adımlarının sayısının belirlenmesi .....                    | 42 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.20. SAP2000’de elemanlara atanan plastik mafsalların görelî konumlarının tanımlanması (kolon örneği).....            | 43 |
| Şekil 4.21. SAP2000’de elemanlara atanan plastik mafsalların türü ve davranış parametrelerinin seçilmesi (kolon örneği)..... | 43 |
| Şekil 4.22. X doğrultusu için kapasite eğrisi (taban kesme kuvveti – yer değiştirme) ..                                      | 44 |
| Şekil 4.23. Y doğrultusu için kapasite eğrisi (taban kesme kuvveti – yer değiştirme) ..                                      | 44 |
| Şekil 4.24. Modellerin ağırlık karşılaştırması .....                                                                         | 57 |
| Şekil 4.25. Modellerin X doğrultusundaki periyot değerleri.....                                                              | 58 |
| Şekil 4.26. Modellerin Y doğrultusundaki periyot değerleri.....                                                              | 58 |
| Şekil 4.27. Modellerin X doğrultusundaki kesme kuvvetleri.....                                                               | 59 |
| Şekil 4.28. Modellerin Y doğrultusundaki kesme kuvvetleri.....                                                               | 59 |
| Şekil 4.29. Modellerin X doğrultusundaki maksimum yer değiştirmeleri .....                                                   | 60 |
| Şekil 4.30. Modellerin Y doğrultusundaki maksimum yer değiştirmeleri .....                                                   | 61 |
| Şekil 4.31. Durum 1 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu).....                                                            | 63 |
| Şekil 4.32. Durum 2 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu).....                                                            | 63 |
| Şekil 4.33. Durum 3 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu).....                                                            | 64 |
| Şekil 4.34. Durum 4 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu).....                                                            | 64 |
| Şekil 4.35. Durum 1 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu).....                                                            | 65 |
| Şekil 4.36. Durum 2 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu).....                                                            | 66 |
| Şekil 4.37. Durum 3 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu).....                                                            | 66 |
| Şekil 4.38. Durum 4 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu).....                                                            | 67 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

|                  |                                                                                                                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta_{te}$     | Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı                                                                                                            |
| $\Delta_i^{(X)}$ | (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi |
| $\Delta_i^{(X)}$ | (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi                                                 |
| $\eta_{bi}$      | i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı                                                                                                              |
| $\gamma_e$       | Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı                                                              |
| $\lambda$        | Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı                                                                                |
| $\kappa$         | İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı                             |
| $u_{max}$        | Maksimum yer değiştirme                                                                                                                                  |
| $u_e$            | Akma anındaki yer değiştirme                                                                                                                             |
| $u$              | Süneklik katsayısı                                                                                                                                       |
| $C_d$            | İki dikme arasındaki en büyük uzaklık                                                                                                                    |
| $C_t$            | Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı                                                                                             |
| $D$              | Dayanım fazlalığı katsayısı                                                                                                                              |
| DD1              | 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi                                                             |
| DD2              | 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi                                                             |

|                                       |                                                                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DD3</b>                            | 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi |
| <b>DD4</b>                            | 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi |
| <b><i>e</i></b>                       | Bağ kirişi uzunluğu                                                                         |
| <b>EX</b>                             | X doğrultusu eşdeğer deprem etkisi                                                          |
| <b>EY</b>                             | Y doğrultusu eşdeğer deprem etkisi                                                          |
| <b>EZ</b>                             | Düşey deprem etkisi                                                                         |
| <b><i>F</i><sub>1</sub></b>           | 1,0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı                                          |
| <b><i>F</i><sub>s</sub></b>           | Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayısı                                        |
| <b><i>F</i><sub>u</sub></b>           | Yapı çeliğinin karakteristik minimum çekme dayanımı                                         |
| <b><i>F</i><sub>y</sub></b>           | Yapı çeliğinin karakteristik minimum akma gerilmesi                                         |
| <b><i>g</i></b>                       | Yerçekimi ivmesi [ <i>g</i> = 9.81 m/s <sup>2</sup> ]                                       |
| <b><i>G</i></b>                       | Sabit Yük                                                                                   |
| <b><i>h</i></b>                       | En kesit yüksekliği                                                                         |
| <b><i>h</i><sub>i</sub></b>           | Binanın <i>i</i> 'inci katının kat yüksekliği                                               |
| <b><i>H</i><sub>N</sub></b>           | Bina toplam yüksekliği                                                                      |
| <b><i>I</i></b>                       | Bina önem katsayısı                                                                         |
| <b><i>n</i></b>                       | Hareketli yük katılım katsayısı                                                             |
| <b>PGA</b>                            | En büyük yer ivmesi                                                                         |
| <b><i>F</i><sub>i</sub></b>           | Binada <i>i</i> 'nci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü                                       |
| <b>PGV</b>                            | En büyük yer hızı                                                                           |
| <b>P-Δ</b>                            | İkinci mertebe etkileri                                                                     |
| <b><i>R</i></b>                       | Taşıyıcı sistem davranış katsayısı                                                          |
| <b><i>S</i></b>                       | Kar yükü                                                                                    |
| <b><i>S</i><sub>1</sub></b>           | 1 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı                                        |
| <b><i>S</i><sub>d</sub>(<i>T</i>)</b> | Elastik analiz için tasarım spektrumu                                                       |
| <b><i>S</i><sub>ds</sub></b>          | Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                     |

|          |                                                                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_{D1}$ | 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                      |
| $S_s$    | Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı                                              |
| $Q$      | Hareketli yük                                                                                         |
| $T$      | Doğal titreşim periyodu                                                                               |
| $T_A$    | Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu                                                    |
| $T_B$    | Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu                                                    |
| $T_L$    | Yatay Tasarım Spektrumunun Uzun Periyodu                                                              |
| $T_p$    | Binanın hâkim doğal titreşim periyodu                                                                 |
| $T_{pA}$ | Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu                                                |
| $V_t$    | Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü [kN]      |
| $V_{te}$ | (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN] |
| $W_i$    | Binanın i'nci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı               |

#### Kısaltmalar

#### Açıklamalar

|                         |                                                                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABAQUS</b>           | Abaqus Finite Element Analysis                                         |
| <b>AFAD</b>             | T.C İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı           |
| <b>AIJ</b>              | Architectural Institute of Japan                                       |
| <b>AISC</b>             | American Institute of Steel Construction                               |
| <b>ASCE/SEI</b>         | American Society of Civil Engineers / Structural Engineering Institute |
| <b>ATC</b>              | Applied Technology Council                                             |
| <b>BKS</b>              | Bina Kullanım Sınıfı                                                   |
| <b>BS 8110- BS 5950</b> | British Standards                                                      |
| <b>BYS</b>              | Bina Yükseklik Sınıfı                                                  |
| <b>CP</b>               | Collapse Prevention                                                    |

|                        |                                                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>ÇYTHYE</b>          | Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği              |
| <b>DBYBHY 2007</b>     | Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik                 |
| <b>DGT</b>             | Dayanıma Göre Tasarım                                                     |
| <b>DMTV1</b>           | Dışmerkez ters V çapraz durum 1                                           |
| <b>DTS</b>             | Deprem Tasarım Sınıfı                                                     |
| <b>EN 1990–EN 1999</b> | Eurocode                                                                  |
| <b>FEMA 356</b>        | Federal Emergency Management Agency 356                                   |
| <b>GB 50011-2010</b>   | Code for Seismic Design of Buildings                                      |
| <b>GÖ</b>              | Göçmenin Önlenmesi                                                        |
| <b>IBC</b>             | International Building Code                                               |
| <b>IO</b>              | Immediate Occupancy                                                       |
| <b>KH</b>              | Kontrollü Hasar                                                           |
| <b>KK</b>              | Kesintisiz Kullanım                                                       |
| <b>LS</b>              | Life Safety                                                               |
| <b>MX1</b>             | Merkez X çapraz durum 1                                                   |
| <b>MTV1</b>            | Merkez ters V çapraz durum 1                                              |
| <b>SAP2000</b>         | Structural Analysis Program                                               |
| <b>TBDY 2018</b>       | Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018                                      |
| <b>OPENSEES</b>        | Open System for Earthquake Engineering Simulation                         |
| <b>TSDS</b>            | Tek Serbestlik Dereceli Sistem                                            |
| <b>SH</b>              | Sınırlı Hasar                                                             |
| <b>ŞGDT</b>            | Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım                          |
| <b>TSC-2018</b>        | Turkish Seismic Code-2018                                                 |
| <b>TS 498</b>          | Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri |
| <b>TS EN 1991-1-3</b>  | Eurocode 1 kapsamında kar yükleri                                         |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çelik, yapısal taşıyıcı olarak ülkemizde ne yazık ki yeterince tercih edilmemektedir. Çelik, diğer yapı malzemelerine göre esnekliği ve dayanıklılığı sayesinde geniş açıklıkların inşasında önemli avantajlar sunar. Bu özellikler, mimari tasarımların çeşitlenmesine olanak tanıyarak fonksiyonel çözümleri ön plana çıkarmaktadır. Günümüz dünyasında, sanayi yapılarından spor tesislerine, ulaşım yapılarından sahneler kadar geniş açıklıklara ihtiyaç duyulan birçok yapı, çelik yapı sistemleri sayesinde özgürce tasarlanabilmektedir (Kan, 2023).

Bu yapısal avantajların ardında yatan temel faktör, çeliğin kimyasal ve metalurjik özellikleridir. Çelik, %1,7 ila %2 oranında karbon, %1 oranında mangan, %0,5 oranında silisyum ve %0,05'ten daha az kükürt ve fosfor içeren bir demir-karbon alaşımıdır. Karbon oranı %2'yi aştığında, bu alaşıma dökme demir adı verilir. Ancak, ham demir ve dökme demirler, yüksek sertlik ve kırılgenlik özellikleri nedeniyle haddelenme ya da şekillendirme işlemlerine uygun değildir. Daha işlevsel bir alaşım oluşturmak için, ham demirin içeriğinde bulunan karbon, mangan, silisyum, fosfor ve kükürt oranlarının azaltılması gerekir. Ayrıca, alaşıma krom, nikel ve molibden gibi ek elementlerin dahil edilmesi önemlidir. Bu süreç sonunda, birçok özelliği aynı anda taşıyan çelik elde edilir. Çelik, su verme işlemiyle sertleştirilebileceği gibi farklı metallerle birleştirilerek de oldukça dayanıklı bir yapıya ulaştırılabilir. Ayrıca çelik, demire kıyasla hem daha hafif hem de daha sert olup, işlenebilirlik açısından önemli avantajlar sunar (Kan, 2023).

Bu teknik üstünlüklerin tarihsel gelişimi, çelik üretim teknolojilerinin evrimiyle daha iyi anlaşılmaktadır. 19. yüzyılın başlarına kadar, çelik üretiminde kayda değer bir teknolojik ilerleme sağlanamamıştır. Bu dönemde, demir cevheri odun kömürü kullanılarak eritmeye çalışılmış, fırınlar ise genellikle maden yataklarının yakınında ve ormanlık alanlarda kurulmuştur. İngiltere'de ise çelik üretiminde maden kömürü ile kok kömürünün birlikte kullanımı ilk kez bu dönemde uygulanmıştır. Ancak, yüksek fırınların gelişimi 19. yüzyılın ilk yarısında gerçekleşmiştir. Demir cevherini işleyerek demir elde eden ilk toplumun M.Ö. 2000 yıllarında Hititler olduğu düşünülmektedir. Ancak tarih boyunca farklı dönemlerde ve coğrafyalarda birçok topluluk, demiri

keşfetmiş ve onun üstün özelliklerinden yararlanarak çeşitli araç ve gereçler geliştirmiştir. 18. yüzyılın sonları ile 19. yüzyılın başlarında, demirden çok daha üstün özelliklere sahip çelik üretimi mümkün hale gelmiştir. Yapı çeliği, homojen ve izotrop özelliklere sahip olması ve üretim sürecinin sürekli denetim altında tutulması nedeniyle son derece güvenilir bir malzemedir. Yüksek dayanıklılığı sayesinde, kendi ağırlığı ile taşıdığı yararlı yük arasındaki oran oldukça düşüktür. Ayrıca, montaj işlemleri tamamlandığında hemen tam kapasiteyle çalışabilir hale gelmesi, yapı çeliğini tercih edilen bir malzeme yapmaktadır. İşlem gören çelik, profil ve yassı hadde mamulleri olarak üretilir ve çelik yapıların konstrüksiyonunda kullanılır. Çelik yapılar, bu profillerin belirli ölçülerde kesilmesi ve uygun şekilde birleştirilmesiyle inşa edilmektedir. Yapım sürecine yönelik bu malzeme özellikleri, çelik yapı sistemlerinin şantiye ortamındaki uygulama kolaylıklarını da beraberinde getirmektedir. Çelik yapılar, çeşitli çelik profiller ve birleştirme elemanları kullanılarak inşa edilmektedir; sundukları avantajlar ise şu şekilde sıralanabilir: Yüksek derecede endüstriyel ön üretim: Çelik taşıyıcı elemanlar büyük ölçüde atölyelerde hazırlanır, şantiyede yalnızca montaj işlemleri gerçekleştirilir. Bu durum inşa süresini kısaltır ve hava koşullarından bağımsız çalışmayı mümkün kılar. Çelik yapıların tasarımı, elemanların hızlı ve pratik bir şekilde değiştirilmesine olanak tanıyacak şekilde yapılmaktadır. Bileşenlerinin pratik bir şekilde sökülebilmesi sayesinde yeniden kullanılabilirlik avantajı sağlar. Montaj işlemleri tamamlandıktan sonra herhangi bir bekleme süresine gerek kalmadan tam kapasiteyle hizmet vermeye hazır hale gelir. Uygun planlama ile daha az iskele kullanımı gerektirerek inşa edilebilir. Çelik, düşük eleman kesit boyutlarıyla, büyük açıklıkların geçilmesinde betonarmeye kıyasla daha fazla avantaj sağlamaktadır. Çelik profil üretimi zahmetli bir süreç olsa da profillerin birbirine eklenmesiyle çelik konstrüksiyonların imalatı oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu özellik, yüksek hassasiyetli boyutlama ve montaj özgürlüğü sunar. Çelik profiller, farklı birleştirme yöntemleri ve araçları kullanılarak daha yüksek dayanıklılığa sahip hale getirilebilir. Çelik yapılar, mimari özgürlük, ince tasarım, hafiflik, süneklik, çok katlı bina inşası, depreme dayanıklılık, prefabrikasyon kolaylığı, basit denetim süreçleri, hızlı üretim, ekonomik çözümler, dönüşüm ve güçlendirme gibi birçok avantaj sunar. Bununla birlikte, çeliğin bazı kullanım sınırlılıkları ve çevresel etkilere karşı duyarlılığı, tasarım ve bakım süreçlerinde dikkat gerektiren bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Çeliğin bazı dezavantajlı yönleri şu şekilde sıralanabilir: Yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte, yüksek sıcaklıkta mukavemetini hızlı bir şekilde

kaybeder. Isıyı iyi iletme özelliği, bu dayanım kaybını daha da hızlandırır ve 600 °C'nin üzerinde çelik işlevselliğini yitirir. Yangına karşı koruma sağlamak amacıyla, çeliğin yüzeyi iletken olmayan malzemelerle kaplanmalı veya yanmaz boyalar kullanılarak önlemler alınmalıdır. Korozyon etkilerine karşı duyarlıdır ve bu nedenle düzenli bakım yapılması gereklidir. Korozyonu önlemek için genellikle boyama, betona gömme ya da korozyona dayanıklı alaşımlı çelik kullanımı gibi yöntemler tercih edilmektedir. Asit, baz ve tuz gibi kimyasal maddelere karşı dirençsizdir, bu durum çeliğin kullanım alanlarını kısıtlayabilir. Çelik, ses ve ısıyı etkin bir şekilde ilettiğinden, bu özellikler yalıtım gereksinimini artırabilir. Yüksek mukavemetli bir malzeme olduğu için kesitleri narin yapıdadır. Bu narinlik, burkulma veya yerel burkulma gibi stabilite problemlerini beraberinde getirebilir ve bu durum hesaplama sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Narinlik derecesine bağlı olarak elemanların basınç taşıma kapasiteleri, çekme kapasitelerine göre bir miktar daha düşük olabilir. Tüm bu dezavantajların ortadan kaldırılması için alınan önlemler, maliyetlerin yükselmesine neden olabilir. Ancak, doğru mühendislik yaklaşımları ve etkili bakım süreçleri sayesinde bu olumsuzluklar büyük ölçüde giderilebilir. Tüm bu avantajlar ve dikkatle yönetilmesi gereken dezavantajlar, özellikle sismik yüklerin belirleyici olduğu yapılarda çeliği teknik açıdan öne çıkarmaktadır (Kan, 2023).

Bu bağlamda, yapısal çelik, yalnızca üretim ve montaj kolaylığı sunmakla kalmaz; aynı zamanda yüksek süneklik kapasitesi, rijitlik seviyesi ve enerji sönümleme yeteneği sayesinde deprem gibi dinamik etkilerin hâkim olduğu taşıyıcı sistem tasarımlarında da öncelikli malzeme haline gelmiştir. Özellikle yatay yük taşıma kapasitesi açısından kritik öneme sahip olan bu malzeme, yapıya etki eden deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde temele aktarırken, sistemin genel stabilitesini de artırarak ani göçmelerin önüne geçmektedir. Gelişen üretim teknolojileriyle birlikte, geleneksel sıcak haddelenmiş yapı çeliklerinin yanı sıra, soğuk şekillendirilmiş hafif çelik sistemlerin de kullanım alanı genişlemiştir. Hafif çelik sistemler, düşük yoğunlukları sayesinde yapı kütlelerini azaltmakta ve bu sayede yapı üzerinde oluşan sismik yükleri minimize etmektedir. Özellikle düşük ve orta katlı konut yapılarında hem maliyet etkinliği hem de sismik performansı ile öne çıkan bu sistemler, modern inşaat pratiği açısından önemli bir çözüm sunmaktadır. Depreme dayanıklı yapısal sistemlerin sınıflandırılması, enerji yutma bölgelerinin yerleşimi ve davranış özelliklerine dayanmaktadır. Bu kapsamda; moment aktaran çerçeveler, merkezi çaprazlı sistemler, dışmerkezli çaprazlı sistemler,

elik levha perde duvarlı sistemler ve betonarme ile kompozit olarak tasarlanmış elik ereve sistemleri olmak üzere beş ana tipoloji tanımlanmaktadır. Her bir sistem, suneklik düzeyi, enerji sönümleme kapasitesi ve yatay rijitlik açısından farklı performans karakteristiklerine sahiptir. Bu nedenle, deprem riski yüksek bölgelerde yapılacak elik yapı tasarımlarında, mevcut sistem alternatifleri yapının kullanım amacı, mimari kısıtlar ve taşıyıcı sistem gereksinimleri göz önünde bulundurularak dikkatle değerlendirilmelidir (ağlı, 2004).

elik yapı sistemlerinin deprem performansı, yalnızca kullanılan malzemenin mekanik niteliklerine değil, aynı zamanda taşıyıcı sistemin tasarımı ve birleşim detaylarına da bağlıdır. Deprem gibi yatay yük etkilerinin baskın olduğu koşullarda, özellikle moment aktaran elik çerçeveseler yüksek şekil değiştirme kapasitesi ve enerji sönümleme yetenekleriyle öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde, kiriş elemanlarının doğrusal olmayan deformasyonlara toleranslı yapısı sayesinde, deprem sırasında yapının enerji yutma kapasitesi artmakta; kiriş-kolon birleşim bölgelerinde ise plastik mafsalların kontrollü şekilde oluşması sağlanmaktadır. Böylece hem suneklik hem de dayanıklılık açısından güvenli bir yapı davranışı elde edilir. Yatay yükler altında taşıyıcı sistemin rijitliğini artırmak amacıyla kullanılan çapraz elemanlar, sistemin genel stabilitesine katkı sağlar. Merkezi aprazlı ereve sistemlerinde, çapraz elemanlar genellikle eksenel yük altında çalışır; çekme etkisi altında akarak, basınç etkisi altında ise burkulma yoluyla enerjiyi snmleyebilir. Dışmerkezli aprazlı sistemlerde ise yatay yükler, kolon ve kirişlerin yanı sıra bağ kirişleri vasıtasıyla aktarılır. Bu bağ kirişleri, yüksek doğrusal olmayan şekil değiştirme kapasitesine sahip olup, sistemin sunekliğini artıran temel enerji sönümleyici bileşenlerdir. Bu tür sistemlerde ereve ve kafes davranışı birlikte çalışarak hem yatay rijitliği hem de enerji yutma kapasitesini optimize eder. Bu zellikleri sayesinde, modern deprem yönetmeliklerinin (rn. TBDY 2018) ngrdğ performans hedeflerini karşılamada elik sistemler son derece etkili çözümler sunmaktadır (Kan, 2023).

Yapısal elik sistemlerin malzeme ya da geometrik açıdan doğrusal olmayan davranışlarını değerlendirmeye yönelik literatürde çeşitli deneysel ve analitik çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle sismik etkiler bağlamında, Pham, Kusunoki, Maida ve Yeow (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada beş katlı zdeş elik çerçevenin farklı deprem kayıtları altında sarsma tablası testleri yapılmış; kat kütleleri, yapı düzlemleri içinde kütle merkezinde yoğunlaşmış tekil kütleler olarak kabul edilerek yapı davranışı,

tek serbestlik dereceli sistem (TSDS) parametreleriyle temsil edilmiş ve kat ivme kayıtlarından elde edilen bu parametreler aracılığıyla yer değiştirme tahminlerinin doğruluğu analiz edilmiştir. Bu çalışma, özellikle yüksek mertebede doğrusal olmayan deformasyonlar altında, geleneksel yöntemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar sunan alternatif analiz yaklaşımlarını ortaya koymuştur. Park, Cho ve Kim (2022) ise, çelik kutu profillerin eksenel yükler altındaki ezilme davranışını hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle incelemiş hem geometrik hem de malzeme açısından doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinde sınır koşulları ve malzeme modellerinin etkisini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Ding, X. Wang, Ge, Zhang, Shan, Xu, J. Wang ve Li (2023) çelik-bambu kompozit kirişlerin dört noktalı eğilme testleriyle malzeme açısından doğrusal olmayan taşıma davranışını değerlendirmiş; geliştirilen analitik modellerin deneysel verilerle yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalar, yapısal çeliğin yalnızca deprem etkileri altında değil, aynı zamanda farklı yükleme türleri altında da doğrusal olmayan davranışının anlaşılmasına ve sayısal modellerin deneysel verilerle doğrulanmasına katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak çok katlı bir çelik yapı modellenmiş; yüksek süneklik düzeyine sahip moment aktaran sistemler ile merkezi ve dışmerkezli çaprazlı sistemlerin yanı sıra bu çapraz elemanların farklı konumlandırma senaryolarının üç boyutlu yapı üzerindeki etkisi, doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi) yöntemi aracılığıyla ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Çalışmada, deprem yüklerinin ve elastik spektrumun belirlenmesinde TBDY 2018 esasları dikkate alınmış; çelik taşıyıcı elemanların mekanik özelliklerinin tanımlanmasında ve tasarım esaslarının oluşturulmasında ise Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE, 2016) temel alınmıştır. Yapının doğrusal deprem analizi kapsamında, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi birlikte uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla tez kapsamında ele alınan parametrik çalışmada, yüksek süneklik düzeyine sahip moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 9 katlı bir yapının modellenmesi ve yapısal analizleri SAP2000 v26 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, moment aktaran sistemin yanı sıra üç farklı çaprazlama türü (merkezi ve dışmerkezli çaprazlar) her biri dört farklı yerleşim senaryosu ile modellenmiş; toplamda 12 farklı çaprazlı sistem, çaprazsız referans sistem ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi) yöntemi ile yapılan değerlendirmelerde, her bir sistemin plastik mafsallık

dağılımları, taban kesme kuvvetleri, maksimum yatay ötelenmeleri, toplam yapı ağırlıkları, doğal titreşim periyotları ve süneklik kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, farklı çapraz durumlarının ve konumlarının çok katlı çelik yapıların deprem performansına etkileri nicel olarak ortaya konmuş ve optimum taşıyıcı sistem seçimine yönelik mühendislik temelli çıkarımlar yapılarak literatüre sunulmuştur.



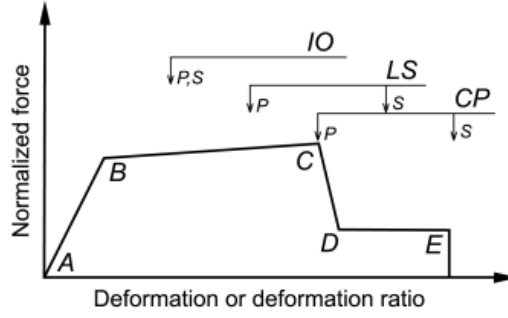
## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi), bir yapının elastik sınır ötesi davranış karakteristiklerini değerlendirerek taşıma kapasitesini ve performans düzeylerini belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, yapı sistemine uygulanan yatay yükler iki temel kontrol yaklaşımına göre tanımlanır: kuvvet kontrollü analizde yapıya kademeli olarak artan yatay kuvvet uygulanırken, yerdeğiştirme kontrollü analizde yapı, belirli bir yatay yer değiştirme düzeyine ulaşmaya kadar itilerek analiz gerçekleştirilir. Her iki yaklaşım sonucunda da tepe yer değiştirmesi ile taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisi elde edilir. Bu kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri yapının doğrusal olmayan davranış karakteristiklerini anlamak için kullanılır.

Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri üzerinden, sistemin elastik sınırlarının ne zaman aşıldığı, oluşan plastik deformasyon miktarı ve yapının ulaştığı performans düzeyi gibi kritik mühendislik parametreleri belirlenebilir. Bu sayede, yapı güvenliği ve işlevselliği açısından değerlendirme yapılabilir. Ancak bu yorumların anlamlı olabilmesi için, elde edilen analiz çıktılarının performans temelli tasarım ve değerlendirme yaklaşımı kapsamında, belirli standart ve yönetmeliklerle ilişkilendirilmesi gerekir.

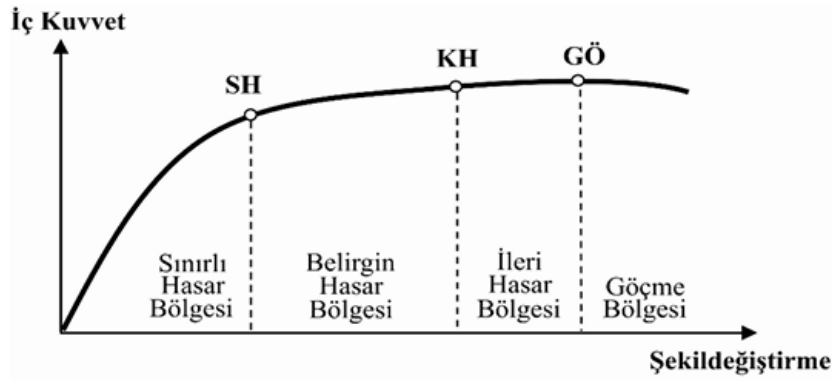
Bu bağlamda, farklı ülkelerde yürürlükte olan yönetmelikler doğrusal olmayan analizleri esas alan performans tanımlarını içermektedir. Türkiye'de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Amerika Birleşik Devletleri'nde ASCE/SEI-7 ve FEMA 356, Avrupa Birliği ülkelerinde Eurocode serisi (EN 1990–EN 1999), Birleşik Krallık'ta BS 8110 ve BS 5950, Japonya'da AIJ Standards (Architectural Institute of Japan) ve Çin'de GB 50011-2010 (Code for Seismic Design of Buildings) bu kapsamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle FEMA 356 ve TBDY 2018, doğrusal olmayan analizlerin sonuçlarını yapısal performans düzeylerine dönüştürmek için kapsamlı tanımlar ve sınır değerler içermektedir.

Bu tez kapsamında, söz konusu iki yönetmelik (TBDY 2018 ve FEMA 356) esas alınarak elde edilen doğrusal olmayan analiz çıktıları detaylı bir biçimde incelenecektir.



Şekil 2.1. Kuvvet-yer değiştirme eğrisi (FEMA-356)

Şekil 2.1’de FEMA 356’da bulunan performans düzeyleri gösterilmektedir. A ile B arası lineer elastik durumu, B ile C arası akmanın durumu, C ile D arası nihai kapasite durumunu, D ile E arası göçme öncesi durumu, E’den ötesi ise göçme durumunu ifade etmektedir (FEMA 356).



Şekil 2.2. Kesit hasar bölgeleri (TBDY 2018)

Şekil 2.2’de TBDY2018’de kapsamında tanımlanan hasar performans düzeyleri gösterilmektedir. A ile SH arası, sınırlı hasar performans düzeyini, SH ile KH arası kontrollü hasar performans düzeyini, KH ile GÖ arası göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyini, GÖ’den ötesi ise göçme hasar performans düzeyini ifade etmektedir (TBDY 2018). SH performans düzeyi, yapı taşıyıcı sistem elemanlarında yalnızca sınırlı miktarda hasarın olduğu ve doğrusal olmayan davranışın düşük seviyelerde kaldığı bir hasar durumunu ifade etmektedir. KH performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında can güvenliğinin korunmasını amaçlayan, ciddi boyutlara ulaşmayan ve genellikle onarılabilir nitelikteki hasar seviyesini ifade etmektedir. GÖ performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ciddi düzeyde ağır hasarın

oluştugu ve göçmenin eşiğinde olduğu bir durumu ifade etmektedir. Ancak bu aşamada, binanın kısmen ya da tamamen çökmesi engellenmiştir.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY 2018) yürürlüğe girmesini takiben, birçok araştırmacı tarafından betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışlarının incelendiği statik itme analizine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Egi, 2021; Turna, 2021; Türel, 2019; Kırımlı, 2022; Tüfekci, 2022; Aydın, 2023; Çınar, 2023; Sarıkaya, 2024; Kırat, 2025). Ancak yapılan literatür incelemesinde, çok katlı çelik yapıların doğrusal olmayan davranışlarının, özellikle statik itme analizi kapsamında incelendiği çalışmalara daha az rastlandığı görülmektedir.

Literatürde, çelik yapıların doğrusal olmayan davranışlarının değerlendirilmesine yönelik olarak, TBDY 2018, DBYBHY 2007 ve ASCE/SEI 7-10 yönetmelikleri çerçevesinde gerçekleştirilen statik itme analizlerine ait çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanacak olursa:

Güder (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, giriş kat yüksekliği farklı olan çok katlı çelik binaların performans noktalarındaki kapasite düşüşü incelenmiştir. Çalışmada, giriş kat yükseklikleri 3,00 m, 4,00 m ve 5,50 m olarak tasarlanan çelik bina modelleri analiz edilmiştir. Giriş kat yüksekliği 5,50 m olan sisteme merkezi çaprazlı elemanlar eklenmiş ve bu müdahalenin kapasite düşüşünü önlediği gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin performans seviyesini, giriş kat yüksekliği 3,00 m olan modele kıyasla daha üst bir düzeye taşımıştır. Elde edilen bulgular, giriş kat yüksekliğinden kaynaklanan performans kayıplarının, çapraz elemanlarla destekleme yoluyla giderilebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, giriş kat yüksekliğinin artması, tepe yer değiştirme değerini artırmış ve buna bağlı olarak yapının taban kesme kuvveti kapasitesinde azalmaya neden olmuştur.

Topaloğlu (2007) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak çelik yapılardaki merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin deprem etkisi altındaki etkinliği incelenmiştir. Artımsal itme analizi yöntemiyle yapı elemanlarının performansları değerlendirilmiş, analizler SAP2000 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan merkezi çelik çaprazlı perde türleri- salt çerçeve, diyagonal, X, ters V, V, K ve W çaprazlı perdeler- analiz modeline dahil edilmiştir. V çaprazlı perde, göçme bölgesindeki eleman oranı açısından en verimli tasarım olarak belirlenmiştir. Bu

etkinliğin, perde elemanlarının ilk katta temele ankastre bağlanmasıyla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. X çaprazlı model ise en rijit yapı türü olarak, yatay yer değiştirmeyi en fazla azaltan tasarım olmuştur. Öte yandan, salt çerçeve modelinde ise en büyük yatay yer değiştirme gözlemlenmiş; bu değer, X çaprazlı perde kullanılması durumunda %45 oranında azaltılmıştır.

Külekçi (2010) tarafından yapılan çalışmada, farklı çelik taşıyıcı sistemlerin deprem performansları, statik itme analizi yöntemi kullanılarak incelenmiş ve taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) belirlenerek Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY 2007) ile uyumu değerlendirilmiştir. İncelenen sistemler arasında süneklik düzeyi yüksek ve normal merkezi çaprazlı perdeler, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı perdeler ile çerçeve sistemler yer almaktadır. Çelik taşıyıcı sistemlerin analizi, SAP2000 yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş; taşıyıcı sistem davranış katsayıları ise ATC-19 raporunda önerilen yöntemle hesaplanarak DBYBHY 2007'deki değerlerle karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, tüm sistemler can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır. Çaprazlı sistemlerde burkulma etkisiyle ani taşıma gücü kayıpları gözlemlenirken, çerçeve sistemlerde benzer bir kapasite kaybı oluşmamış; bu sistemlerdeki yüksek derecedeki hiperstatiklik sayesinde elemanlar arası kuvvet aktarımı daha etkin gerçekleşerek yapısal dayanım korunmuştur. Plastikleşme, merkezi çaprazlı sistemlerde çapraz elemanlarda, dışmerkez çaprazlı sistemde bağ kirişlerinde, çerçeve sistemlerinde ise kirişlerde meydana gelmiştir. Çerçeve sistemlerinde oluşan plastik mafsalları sayısının çaprazlı sistemlere kıyasla daha fazla olduğu ve bunun, bu sistemlerin daha yüksek hiperstatiklik derecesine sahip olmalarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Ağırlık açısından değerlendirildiğinde, merkezi ve dışmerkez çaprazlı sistemlerin benzer ağırlıklara sahip olduğu; ancak dışmerkez sistemlerin imalat detaylarından ötürü nispeten daha ağır olduğu tespit edilmiştir. Çerçeve sistemlerin ise, kat ötelenmelerini sınırlamak amacıyla daha büyük kesitlerin tercih edilmesi nedeniyle, diğer çaprazlı sistemlere göre yaklaşık %20–25 daha ağır olduğu belirtilmiştir.

Baş (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistemler, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne (DBYBHY-2007) uygun şekilde tasarlanmış ve statik itme analiziyle performansları değerlendirilmiştir. Her iki doğrultuda burkulması önlenmiş diyagonal çaprazlara sahip 4, 6, 8 ve 10 katlı çelik yapılar modellenmiştir. Yapıların tasarımı DBYBHY-2007'ye göre, burkulması önlenmiş çapraz elemanların tasarımı ise AISC 341-10 standardı esas alınarak

gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu modeller oluşturularak doğrusal olmayan statik itme analizleri uygulanmış ve sistem davranış eğrileri elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yapıların taban kesme kuvvetine ulaştığı durumlarda kolonlardaki eksenel kuvvetlerin taşıma kapasitelerini aşmadığı, dolayısıyla kolonların yük aktarımını güvenli bir şekilde gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Çapraz elemanlara ilişkin değerlendirmede, her iki katta bir kesiti değişen sistemlerde, yalnızca en üst katta yer alan çaprazın elastik bölgede kaldığı, diğer tüm çapraz elemanların ise akma durumuna ulaştığı belirlenmiştir.

Özşahin (2014) tarafından yürütülen çalışmada, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemleri AISC 341-10 yönetmeliği doğrultusunda tasarlanmış ve taşıyıcı eleman kesitleri belirlenmiştir. Söz konusu sistemler doğrusal olmayan statik itme analizleriyle değerlendirilmiş, analizlerde OpenSEES yazılımı kullanılmıştır. İncelenen yapı, bir doğrultuda dışmerkez çaprazlı sistem, diğer doğrultuda moment çerçeve içeren altı katlı bir yapıdan oluşmaktadır. Deprem etkileri, DBYBHY 2007 esaslarına göre tanımlanmıştır. Dışmerkez çaprazlı sistemin tasarımı AISC 341-10 ve AISC 360-10 yönetmelikleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Dayanım fazlalığı katsayıları, yapı tepe yer değiştirmesinin toplam kat yüksekliğinin %2'sine ulaştığı noktada, elastik ve elastik olmayan davranış bölgelerinin teğetlerinin kesişim noktası ile bağ kirişi dönme açısının 0,08 radyana ulaşması kriterleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen katsayıların, ASCE 7-10 yönetmeliğinde önerilen 2 değeri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Kaygusuz (2015) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, beş farklı bağ kirişi konfigürasyonu kullanılarak dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerinin tasarımı yapılmış ve statik itme analizleriyle performans değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin tasarımı ve analizi, SAP2000 yazılımı aracılığıyla, ASCE 7-10, AISC 360-10 ve AISC 341-10 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından, OpenSEES yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan statik analizi (itme analizi) uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, bağ kirişleri enerji sönümleme görevini başarılı bir şekilde yerine getirmiş; plastik şekil değişimleri yalnızca bu elemanlarda gözlemlenmiştir. Söz konusu plastik şekil değişimleri, bağ kirişlerinin akma sınırına ulaşması ve karakteristik kayma dayanımına erişmesi sonucunda oluşmuştur. Bazı durumlarda, plastik bağ kirişi dönme açıları yönetmelikte tanımlanan sınırı olan 0,08 radyanı aşsa da bu değerlerin literatürde bildirilen yüksek deformasyon kapasiteleri ile

uyumlu olduğu gör÷lmüştür. Ayrıca, her katta bağ kirişi bulunması durumunda, sistemin dayanım fazlalığı katsayısının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Türk (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerinin, DBYBHY-2007, Taslak TBDY 2016 ve ÇYTHY 2016 yönetmeliklerine uygun şekilde boyutlandırılması yapılmış; ardından doğrusal olmayan statik analizleri ve zaman tanım alanı esaslı dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, her iki doğrultuda merkezi çaprazlı çelik çerçeveden oluşan sekiz katlı bir iş yeri yapısı modellenmiştir. Deprem tasarımı aşamasında DBYBHY-2007, merkezi çaprazlı çerçeve elemanlarının boyutlandırılmasında ise TBDY 2016 ve ÇYTHY 2016 esas alınmıştır. İki boyutlu çerçeve modelleri oluşturularak hem doğrusal olmayan statik analizleri hem de üç farklı deprem kaydına dayalı zaman tanım alanı analizler gerçekleştirilmiştir. Kapasite tasarım ilkesi doğrultusunda, plastik şekil değişimlerinin yalnızca çapraz elemanlarda oluşması hedeflenmiş ve diğer taşıyıcı elemanların plastikleşmesi önlenmiştir. Ayrıca, dört katta bir değişen çapraz elemanlı modelde, çapraz elemanlardan gelen deprem yüklerinin belirli kireşlere aktarılmadığı mekanizma durumu tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, hesaplanan dayanım fazlalığı katsayılarının, yönetmeliklerde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler için önerilen 2 değeriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, sistemin taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ), DBYBHY-2007’de süneklik düzeyi yüksek sistemler için verilen 5 değeri ile tutarlı bulunmuştur.

Özalp (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, değişen rüzgâr hızlarının yapı performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla moment dayanımlı çerçeveler ile çapraz elemanlı çerçevelerin kırılma eğrileri karşılaştırılmıştır. Çerçeve sistemlere ait eleman boyutları, AISC LRFD yönetmeliği esas alınarak belirlenmiş, performans düzeyleri ise doğrusal olmayan statik analiz ile değerlendirilmiştir. Değişen rüzgâr hızlarına bağlı olarak 100 adet zaman tanımına sahip doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmış; Monte Carlo yöntemi kullanılarak performans düzeylerini aşma olasılıkları hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, moment dayanımlı çerçeveler 40-100 m/s rüzgâr hızı aralığında akma/çökme davranışı sergilerken, çapraz elemanlı çerçeveler 70-220 m/s aralığında benzer davranışı göstermiştir. Kasırga senaryolarında, değişen rüzgâr hızları dikkate alındığında, çapraz elemanlı sistemlerin daha avantajlı bir performans düzeyi sunduğu sonucuna varılmıştır.

Demir (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dışmerkez çelik çaprazlı sistemlere sahip alçak ve orta katlı binaların deprem performansları, doğrusal olmayan statik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Çalışma kapsamında, üç katlı ve sekiz katlı iki farklı bina modeli değerlendirilmiş ve bu yapılara ait süneklik katsayıları, ASCE 7-10 yönetmeliğinde belirtilen referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda, üç katlı binanın süneklik katsayısının, ASCE 7-10 yönetmeliğinde belirtilen yer değiştirme büyütme katsayısı olan  $C_d = 4$  değerine göre yaklaşık %40 daha büyük olduğu; sekiz katlı binada ise bu oranın %18 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular, yönetmeliklerde önerilen süneklik katsayılarının bina yüksekliği ve yapısal özelliklere bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini ve standart değerlerin her durumda yeterli güvenliği sağlamayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, farklı yapı tipleri için süneklik katsayısının daha esnek ve performansa dayalı olarak belirlenmesi gerektiği önerilmektedir. Deneysel çalışmalar, doğrusal hesaplamalarda bağ kirişlerinde elde edilen deprem dayanım talepleri ile uyumlu bir bağ kirişi tasarımının çelik yapıların performansı açısından kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Karagöz (2019) tarafından yapılan çalışmada, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin doğrusal olmayan davranışını incelemek amacıyla, Amerikan yönetmelikleri IBC 2000 ve FEMA 450 ile TBDY 2018 karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, söz konusu çapraz sistemlerin yapı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir ve yönetmeliklerin eşdeğer deprem yükü hesaplamaları arasındaki farklar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, taban kesme kuvvetinde yaklaşık %5,4 oranında bir fark gözlemlenmiş; ancak bu farkın, yapısal tasarım açısından mühendislik toleransları içinde kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Analizler sonucunda, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin akma sonrasında burkulması önlenmemiş sistemlere kıyasla daha kararlı bir davranış sergilediği için aynı kuvvet altında 13,8 kat daha fazla yer değiştirmeye olanak tanımıştır. Süneklik açısından da bu sistemlerin daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, maliyet açısından değerlendirildiğinde, burkulması önlenmiş çapraz sistemlerin merkezi çaprazlara göre daha yüksek maliyetli olduğu ortaya konmuştur. Sonuç olarak, tasarım ve davranış açısından karşılaştırılan belirgin bir performans farkı yaratmadığı, dolayısıyla yönetmelik tercihinin analiz sonuçları üzerinde kritik bir rol oynamadığı ifade edilmiştir.

Özbay (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, parametreler A ve B grubu olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır. A Grubu, merkezi çaprazlı sistem olarak tanımlanmış ve çapraz şekli olarak ters V formu tercih edilmiştir. Bu gruptaki yapı, her iki doğrultuda kenar açıklıklara çapraz elemanların yerleştirildiği 3 katlı bir çelik çerçeve sistemi olarak tasarlanmıştır. B Grubu ise dışmerkez çaprazlı sistem olup, X tipi çapraz elemanlar kullanılarak 5 katlı bir çelik çerçeve sistemi olarak modellenmiştir. Bu grupta çaprazlar hem kenar açıklıklarda hem de orta açıklıkta konumlandırılmıştır. Çalışma kapsamında, ters V, dışmerkez ters V ve merkez X çapraz düzenlemelerine sahip toplam 14 farklı çerçeve sistemi oluşturulmuş ve bu sistemlerin deprem etkisi altındaki yapısal performansları değerlendirilmiştir. 3 ve 5 katlı, çaprazlı ve çaprazsız olarak tasarlanan sistemler, detaylı analizlere tabi tutulmuştur. Çapraz eleman içermeyen sistemler, en düşük taban kesme kuvvetine sahip olmalarına rağmen, en büyük yatay yer değiştirme değerlerini üretmiştir. Buna karşılık, çapraz elemanların kullanımı yatay rijitliği önemli ölçüde artırmış ve dolayısıyla yatay yer değiştirme değerlerini azaltmıştır. Üç katlı sistemler içinde, B Grubu'nda en etkin performansı gösteren sistem Tip 4-X çaprazlı sistem olmuştur. Bu sistem, referans sistem olan Tip 1'e kıyasla X doğrultusunda %100, Y doğrultusunda %146 daha fazla yatay kuvvet taşıma kapasitesi göstermiş; ayrıca X doğrultusunda %82, Y doğrultusunda %84 oranında daha düşük yatay yer değiştirme elde edilmiştir. A Grubu içinde en etkin düzenleme, Tip 7-X çaprazlı sistem olarak belirlenmiş; bu sistem referans Tip 1'e göre X doğrultusunda %84, Y doğrultusunda %146 daha fazla yatay kuvvet taşıyabilmiş ve X doğrultusunda %75, Y doğrultusunda %84 daha az yer değiştirme sağlamıştır. Beş katlı sistemler açısından değerlendirildiğinde, B Grubu'nda taban kesme kuvveti bakımından en etkili düzenleme Tip 9-X çaprazlı sistemdir. Bu sistem, referans Tip 8'e göre X doğrultusunda %151, Y doğrultusunda %209 daha fazla yatay kuvvet taşımıştır. Yer değiştirme açısından en etkili çözüm ise Tip 10-Ters V çaprazlı sistem olmuş; bu sistem referans Tip 8'e göre X doğrultusunda %65, Y doğrultusunda %77 daha az yer değiştirme elde edilmiştir. A Grubu içinde ise en yüksek performansı Tip 14-X çaprazlı sistem göstermiş; bu sistem referans Tip 8'e göre X doğrultusunda %106, Y doğrultusunda %209 daha fazla yatay kuvvet taşıyabilmiş ve X doğrultusunda %57, Y doğrultusunda %73 daha az yer değiştirme elde edilmiştir. Sonuç olarak hem üç hem de beş katlı sistemlerde B Grubu çapraz düzenlemeleri, A Grubu'na kıyasla daha yüksek dayanım ve rijitlik sağlamıştır.

Coşkun (2023) tarafından yürütülen çalışmada, üç farklı ÇK-ÇÇ (Çaprazlı Kafesli Çelik Çerçeve) prototipi tasarlanmış; bu prototiplerde X çapraz, iki katta X çapraz ve ters V çapraz düzenlerinin sismik davranış üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Malzeme ve geometri açısından doğrusal olmayan davranışları temsil eden sayısal modeller oluşturulmuş ve ABAQUS programı ile bu modellerin statik itme ve zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Statik analiz sonuçlarına göre, her iki katta çapraz elemanlarda akma meydana gelmiştir. Dinamik analizlerde ise kullanılan bazı deprem kayıtlarının yapı sistemini akma seviyesine ulaştırdığı, bazılarının ise sistemin elastik sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Her üç çapraz düzeninde, maksimum kat ötelemesi %1 seviyesinin altında kalmış ve çerçeve yer değiştirmeleri deprem yer hareketi etkisi altında çerçeve yüksekliği boyunca üniform bir dağılım göstermiştir. Katlar arası yer değiştirme farklarının, kolonlarda düzlem içi momentler oluşturduğu ve bu momentlerin çapraz elemanlarda plastikleşmeyi tetiklediği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, X çapraz düzenine sahip çerçevelerin hem ters V hem de iki katta X çapraz düzenine sahip çerçevelere kıyasla daha düşük düzlem içi moment taleplerine maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum, X çapraz düzeninin daha rijit ve moment kontrolü açısından avantajlı bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır.

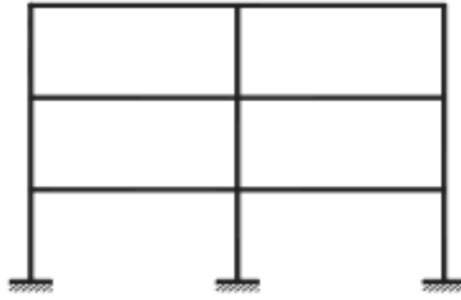
Yapılan kapsamlı literatür taramaları sonucunda, yazarın bilgisi dahilinde, üç boyutlu çok katlı çelik yapıların doğrusal olmayan statik davranışlarını inceleyen ve özellikle farklı çapraz türleri ile bunların yapıya yerleştirildiği konumların, TBDY-2018 yönetmeliği esas alınarak gerçekleştirilen itme analizi sonuçları üzerindeki etkilerini sistematik biçimde ele alan herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu bağlamda, sunulan çalışma, literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.



### 3. ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM TÜRLERİ

#### 3.1. Moment Aktaran Çelik Çerçeveler

TBDY 2018'e göre, yüksek süneklik kapasitesine sahip moment aktaran çelik çerçeve sistemleri, deprem etkisi altında taşıyıcı elemanlar arasında farklı bir davranış mekanizması gösterir. Bu sistemler, özellikle kiriş elemanlarının doğrusal olmayan şekil değiştirme kapasitesini önemli ölçüde artırırken, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşan kayma etkilerinin sınırlı düzeyde kalmasına olanak sağlar. Bu sayede, enerji yutma kapasitesi ve dayanıklılık açısından önemli avantaj sağlarlar (TBDY 2018).



Şekil 3.1. Moment aktaran çelik çerçeve

Moment aktarımı sağlayan birleşimlerle birleştirilmiş kolon ve kirişlerden oluşan bu sistemlerde, yatay yükler esas olarak kesitlerin eğilme ve kesme dayanımları aracılığıyla taşınır. Süneklik düzeyini belirleyen temel mekanizmalar aşağıda sıralanmıştır:

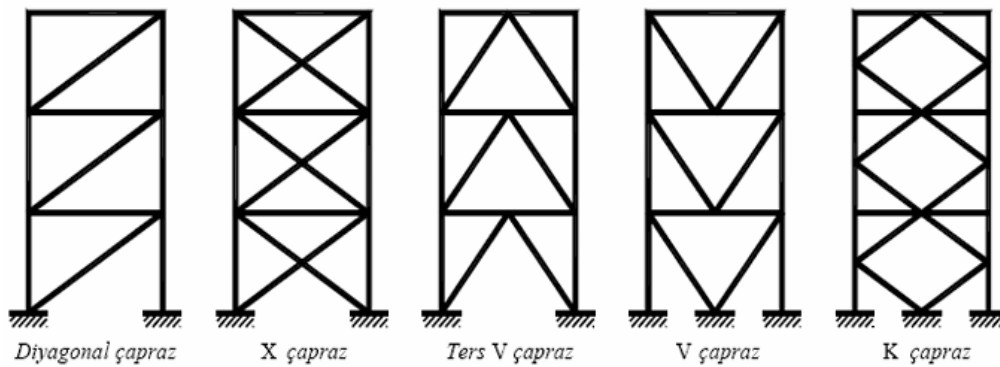
- Kirişlerde eğilme etkisiyle oluşan akma,
- Kolonlarda kayma bölgesindeki akma,
- Kolonlarda eğilmeden kaynaklanan akma.

Bu sistemlerin başlıca avantajları arasında, yüksek süneklik kapasitesi ve mimari tasarıma esneklik kazandıran geniş açıklıklar oluşturma imkânı yer alır. Ancak, moment aktaran çerçeve sistemlerin dezavantajlarından biri yatay rijitliğin görece düşük olmasıdır (Topkaya, Erişim: 05 Mart, 2025 Deprem Etkisindeki Çelik Binalar Sunumu).

### 3.2. Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveseler

Çelik yapıların dayanıklılığını ve rijitliğini artırmak amacıyla tasarlanan çapraz elemanlar, özellikle yatay yükler (örneğin rüzgâr ve deprem etkileri) altında oluşan iç kuvvetlere karşı yapısal direnci artırmak üzere yapılandırılmaktadır. Merkezi çaprazlama sistemleri, taşıyıcı yapıyı düşey bir kafes yapı gibi güçlendirir. Bu etki, çapraz elemanların orta hatlarının ana çerçevenin birleşim noktalarında kesişmesiyle sağlanmaktadır (şekil 3.2). Genellikle aksel yük etkisi altında çalışan çapraz elemanlar, merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde basınç etkisiyle burkulma ve ardından akma, ya da çekme etkisiyle doğrudan akma davranışı sergileyerek enerji sönmülmesi sağlamaktadır. Bu tür sistemler, özellikle rüzgâr yüklerine karşı yüksek rijitlik sağladığı için tercih edilmektedir. Çapraz elemanlar, taşıyıcı sistemin elastik sınırlar içerisinde kalmasını ve kalıcı hasar oluşmadan yatay yüklerin absorbe edilmesini sağlayacak şekilde boyutlandırılmaktadır (Çileli, 2008).

Kolon, kiriş ve çapraz elemanların birlikte çalıştığı düşey kafes sistemleri, yatay yüklerin güvenli bir şekilde aktarılmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Bu sistemlerde süneklik, büyük ölçüde çapraz elemanların davranışı üzerinden sağlanmaktadır. Çapraz elemanlar, çekme kuvveti etkisi altında akma davranışı sergilerken; basınç kuvvetine maruz kaldıklarında burkulma eğilimi göstermektedir. Sistemin başlıca avantajları arasında, yapıya yüksek yatay rijitlik kazandırarak dayanıklılığı artırma özelliği yer almaktadır. Ancak, bu sistemlerin dezavantajları arasında, diğer taşıyıcı sistem türlerine kıyasla sınırlı süneklik sağlaması ve mimari tasarım sürecinde yerleşim esnekliğini kısıtlayabilecek bazı yapısal sınırlamalara yol açması sayılabilir (Topkaya, Erişim: 05 Mart, 2025 Deprem Etkisindeki Çelik Binalar Sunumu).



Şekil 3.2. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveseler (TBDY 2018)

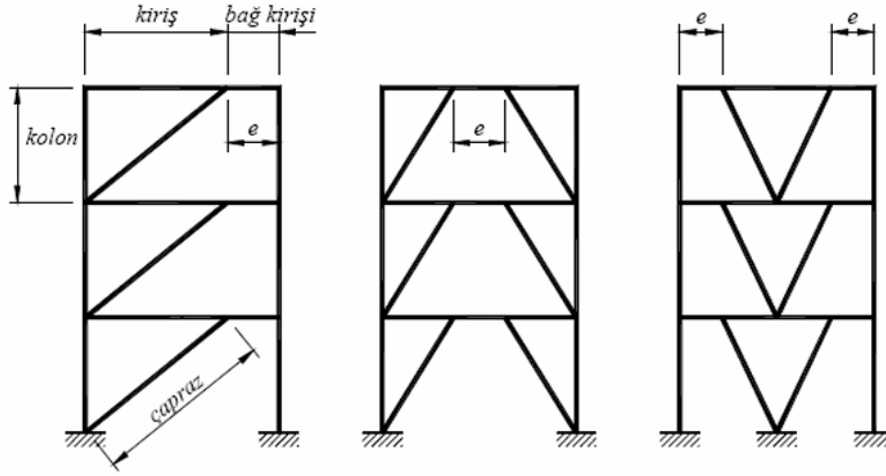
Çaprazlı sistemler, rüzgâr ve deprem gibi yatay yükler altında yapı stabilitesini artırmak amacıyla tasarlanmaktadır. Ancak çeşitli deneysel çalışmalar, merkezi çaprazlı sistemlerin nadir fakat yıkıcı depremler sırasında beklenen performansı her zaman sağlayamadığını ortaya koymuştur. Tersinir ve tekrarlı yük etkileri altında, bu sistemlerin taşıma kapasitelerinde hızlı bir azalma gözlemlenmiştir. Çapraz elemanlar açısından değerlendirildiğinde, enerji tüketimi açısından çekme kuvveti altında çalışmaları daha güvenli kabul edilmekte; çünkü basınç etkisi altında burkulma riski artmaktadır. Deprem kuvvetlerinin çift yönlü etkileri dikkate alındığında, çelik çaprazların bir bölümünün basınç, diğer bölümünün ise çekme kuvveti altında çalışacak şekilde düzenlenmesi önerilmektedir. Bu çerçevede, çapraz elemanların birleşim noktaları kritik öneme sahiptir. Birleşimlerinin, elemanlarda burkulma kaynaklı hasar oluşumunu engelleyecek yeterli rijitlik ve dayanımda tasarlanması; boyutlandırma ve detaylandırma aşamalarının titizlikle yürütülmesi gerekmektedir. Gerek basınç etkisiyle burkularak akma gerekse çekme etkisiyle akma durumlarında, bu birleşim detaylarının taşıyıcı sisteminin bütünlüğünü koruyacak şekilde kuvvet aktarımını güvenli biçimde sağlaması beklenmektedir (Çileli, 2008).

TBDY (2018) kapsamında, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin, burkulma nedeniyle bazı çapraz elemanların taşıma kapasitesini kaybetmesi durumunda dahi sistemin genel dayanımında ciddi bir zayıflama oluşmayacak şekilde tasarlanması öngörülmektedir.

### **3.3. Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeveler**

Deprem etkileri altında, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, bağ kirişlerinin doğrusal olmayan büyük deformasyonlara izin veren yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir (TBDY 2018). Kolon, kiriş ve çapraz elemanlardan oluşan bu sistem, belirli bölgelerde yer alan bağ kirişleri ile desteklenmektedir. Yatay yükler, çerçeve ve kafes davranışı gösteren bağ kirişlerinin birlikte çalışmasıyla karşılanmakta; bu durum, sistemin hibrit bir taşıyıcı model olarak tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Sistemin sünek davranışı ise esas olarak bağ kirişlerinin yüksek şekil değiştirme kapasitesi ile sağlanmaktadır. Dışmerkez çaprazlı sistemlerin başlıca avantajları arasında hem yüksek yatay rijitlik hem de yüksek süneklik kapasitesi sunmaları yer almaktadır. Bununla birlikte, sistemin mimari tasarım açısından bazı sınırlamalar oluşturabileceği ve uygulama sürecinde çeşitli zorluklara yol açabileceği

belirtilmektedir (Topkaya, Erişim: 05 Mart, 2025 Deprem Etkisindeki elik Binalar Sunumu).



Şekil 3.3. Dışmerkez aprazlı elik ereveler (TBDY 2018)

Dışmerkez aprazlı çerçeveler, çapraz elemanların yatay ereve kirişine, arada belirli bir mesafe (“ $e$ ” mesafesi) bırakılarak bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerdir (şekil 3.3). Bu mesafeye bağlantı kirişi adı verilmektedir. Dışmerkez aprazlı sistemlerin geometrik tasarımı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı (TBDY, 2018) kapsamında tanımlanan esaslara göre şekillendirilmektedir. Bu sistemler, yüksek elastik rijitlik, çevrimsel yükler altında üstün süneklik davranışı ve etkili enerji sönümleme kapasitesi gibi özellikleriyle dikkat çekmektedir. Merkezi aprazlı sistemlere kıyasla, dışmerkez aprazlı çerçeveler hem yatay rijitlik hem de süneklik ve enerji tüketimi açısından daha üstün bir performans göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı, özellikle yüksek sismik tehlike altında bulunan bölgelerde yaygın biçimde tercih edilmektedir (ileli, 2008).

Yapısal davranış bakımından dışmerkez aprazlı sistemler, moment aktaran çerçevelerle benzerlik göstermekte olup, yanal yüklere karşı sünek tepki göstermektedir. Özellikle çok katlı yapılarda meydana gelen kat ötelenmelerinin sınırlandırılması açısından bu sistemlerin katkısı büyüktür. Bu bağlamda, dışmerkez aprazlı sistemler, kat ötelenmelerini sınırlamada kritik bir role sahiptir. Süneklik kapasitesi esas olarak bağlantı kirişi üzerinden sağlanmaktadır. Çapraz elemanların, kirişe dışmerkez bir noktadan ( $e$  uzunluğu kadar) bağlanması, yatay yükler altında oluşan plastik deformasyonların ve enerji sönümlemesinin bu bölgeye odaklanmasını mümkün kılmaktadır. Bu tasarım yaklaşımı, özellikle sismik etkiler altında çapraz elemanların

burkulma riskini azaltmayı hedeflemektedir. Bu nedenle bağlantı kirişi geometrisinin ve detaylandırılmasının büyük bir özenle ele alınması gerekmektedir.

Özenle tasarlanmış ve güçlendirilmiş bağlantı kirişleri, yük çevrimleri ve tersinir yükler altında uzun süre yüksek derecede deformasyona dayanarak enerjiyi etkili bir şekilde absorbe edebilir. Bununla birlikte, bağlantı kirişi boyutunun azaltılması çerçeve rijitliğini artırma potansiyeline sahiptir; ancak bu durumun çerçevenin süneklik kapasitesini düşürebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Deprem yüklerine karşı dayanıklılığı artırmak için, gövde buruşmalarından kaynaklanan dayanım kayıplarını önlemek adına bağlantı kirişlerinin berkitme levhalarıyla güçlendirilmesi gerekmektedir (Çileli, 2008).

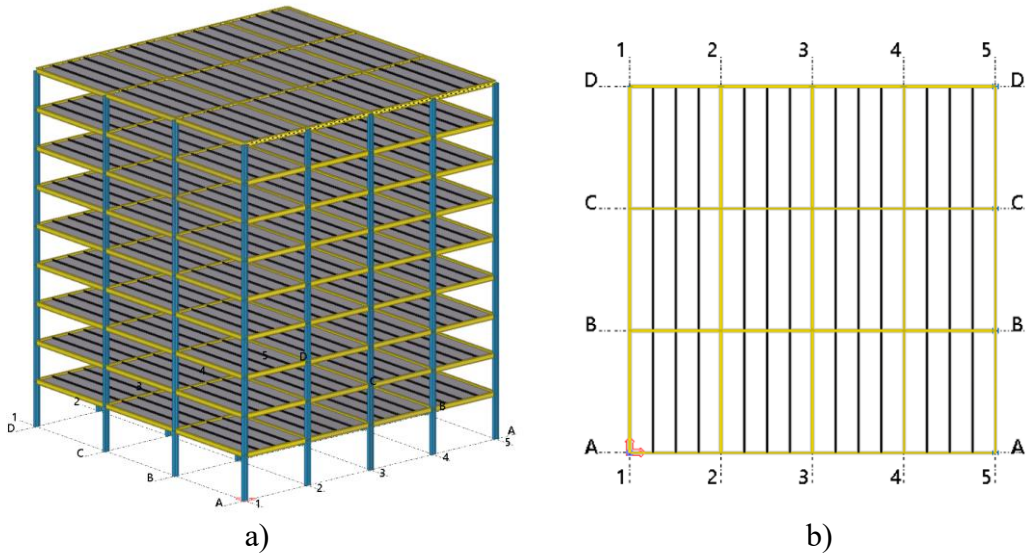




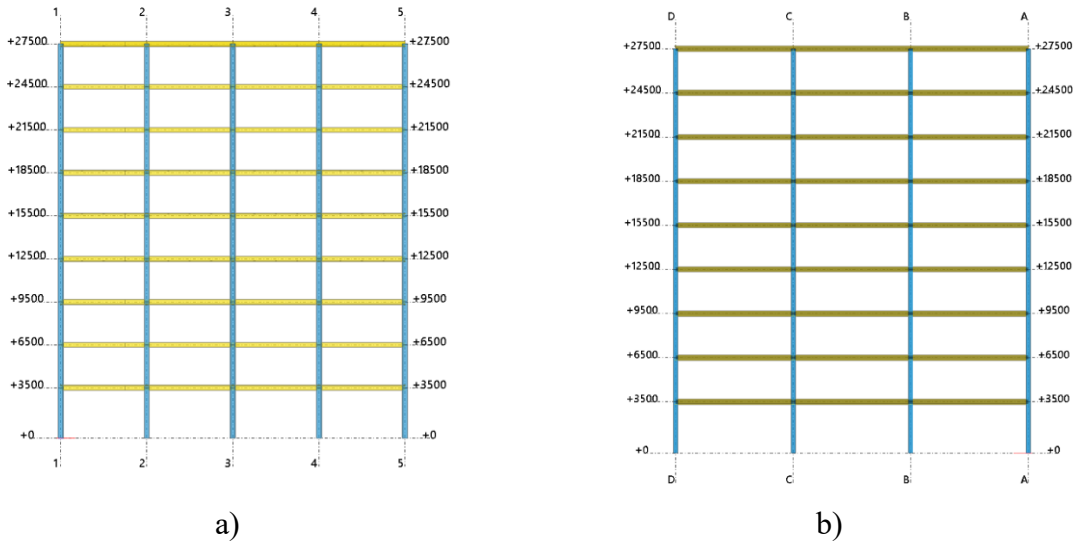
## 4. YAPISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

### 4.1. Çok Katlı Çelik Yapıya ait Tasarım Bilgileri

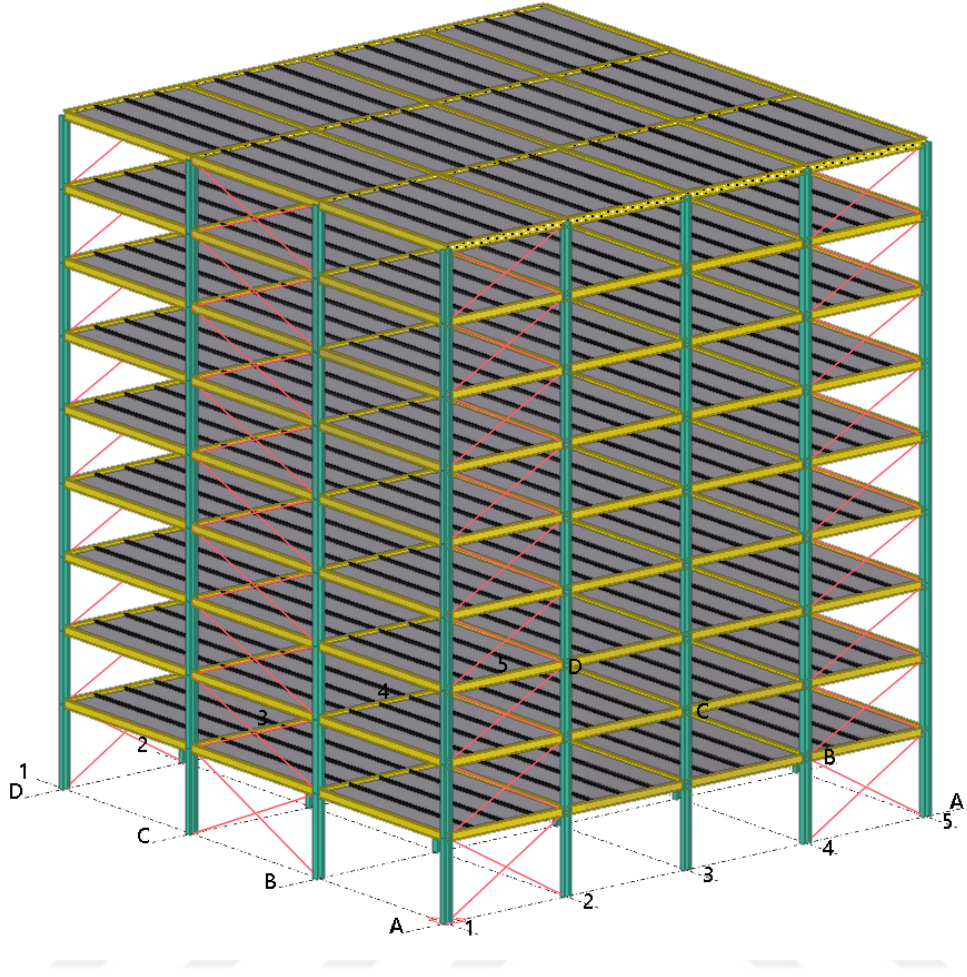
Bu tez kapsamında, farklı çapraz türlerinin ve konumlarının yapının doğrusal olmayan analizi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 9 katlı bir çelik yapı ele alınmıştır.



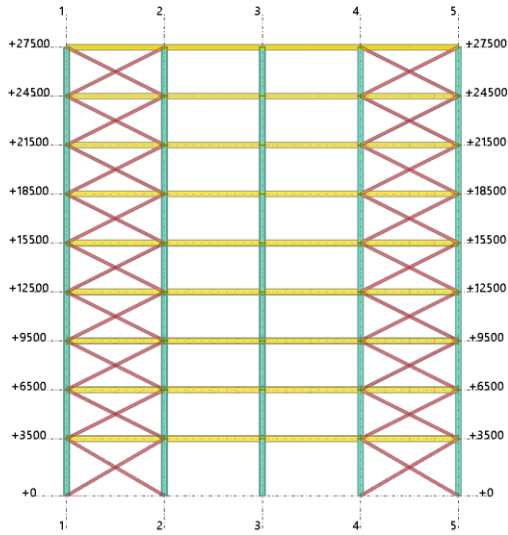
Şekil 4.1. Çaprazsız yapının a) 3B görüntüsü b) X-Y görüntüsü



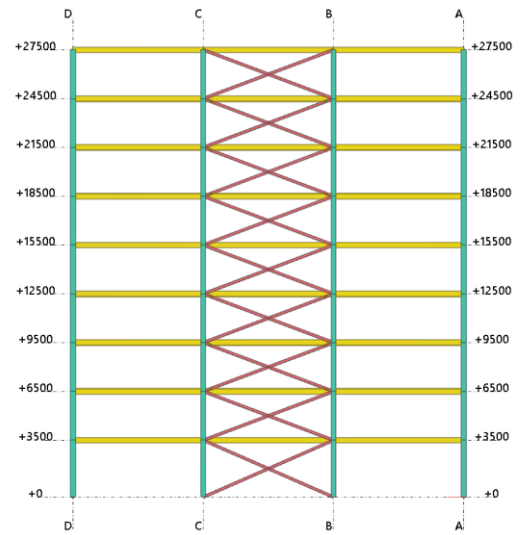
Şekil 4.2. Çaprazsız yapının a) X-Z görüntüsü b) Y-Z görüntüsü



a) 3B görüntüsü



b) X-Z görüntüsü



c) Y-Z görüntüsü

Şekil 4.3. Merkezi X çapraz Durum 1 konumunun görüntüleri (boyut birimi mm)

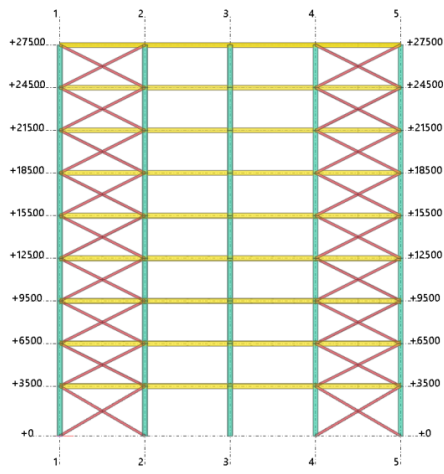
Kat yükseklikleri zemin katta 3,5 m, diğer katlarda ise 3 m olup toplam bina yüksekliği 27,5 metredir. Tasarlanan bina, X doğrultusunda 6 m aralıklarla 5 aks, Y doğrultusunda 8 m aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. Binanın X ve Y doğrultusundaki uzunluğu 24 metredir. Çapraz etkisini incelemek için süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveden oluşan çok katlı çelik yapı referans yapı olarak seçilmiştir. (Şekil 4.1 ve şekil 4.2). Daha sonra, üç farklı çapraz durumu (merkez X, merkez ters V (şekil 3.2) ve dış merkez ters V (şekil 3.3)) ve dört farklı çapraz konum durumu olmak üzere toplamda 12 farklı çaprazlı sistem ele alınır ve elde edilen sonuçlar çaprazsız (moment aktaran çerçeve) sistemle karşılaştırılmıştır. Şunu not etmek gerekir ki; dışmerkez çaprazlı sistemlerde X doğrultusunda bağ kiriş mesafesi( $e$ ) 0,6 m, Y doğrultusunda ise bu mesafe 0,8 m olarak seçilmiştir. Ayrıca, X çaprazına sahip durum 1'e denk gelen çok katlı çelik yapının 3 boyutlu, XZ ve YZ görüntüsü şekil 4.3'te örnek olarak gösterilmiştir. Ele alınan tüm yapılarda, kolonlar HEB, ana ve tali kirişlerde IPE profili kullanılmış olup çaprazlarda ise TUBO boru kesit kullanılmıştır. Tali kirişler Y doğrultusuna paralel olarak 1,5 m aralıklarla ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kolonlar 0 kotunda, temele ankastre olarak mesnetlenmiştir. Yapının kolon, kiriş ve çapraz elemanları için S275 çelik sınıfı kullanılır. ( $F_y=275$  MPa ve  $F_u=430$  MPa). Moment aktaran çerçeve sistem üzerinden tasarlanan yapının (çaprazsız durum) akslardaki ana çerçeve kirişlerinin bağlantısı ise, kolonların zayıf eksenleri doğrultusunda mafsallı, kuvvetli eksenleri doğrultusunda rijit bağlanmıştır. Kat döşemeleri yalnızca yük aktarımını sağlayacak şekilde tanımlandı ve tüm katlara rijit diyafram uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. AFAD internet sitesinden alınan harita spektral ivme katsayıları

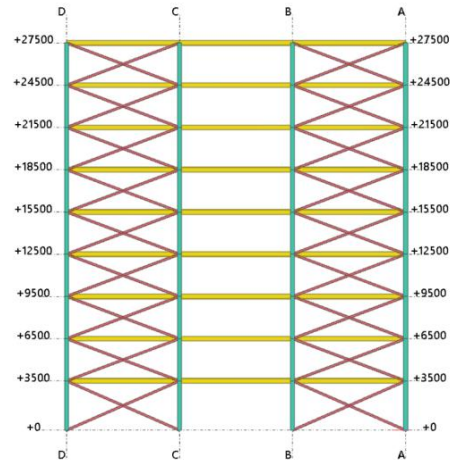
|          | DD-2    | DD-3    |
|----------|---------|---------|
| $S_s$    | 1.18    | 0.361   |
| $S_1$    | 0.308   | 0.090   |
| $S_{DS}$ | 1.062   | 0.325   |
| $S_{D1}$ | 0.2464  | 0.072   |
| $T_A$    | 0.046 s | 0.044 s |
| $T_B$    | 0.232 s | 0.222 s |

Hesabı ve tasarımı yapılacak bina Kahramanmaraş İli, Pazarcık İlçesinde,  $37.50584^\circ$  enlem ve  $37.328729^\circ$  boylamda konut olarak inşa edileceği varsayılmıştır. Yapının zemin sınıfı ZB (az ayrılmış, orta sağlam kayalar) olarak seçilmiştir. Tasarımı yapılacak olan 9 katlı çelik binanın deprem ile ilgili yönetmelik durumları bu bölümde

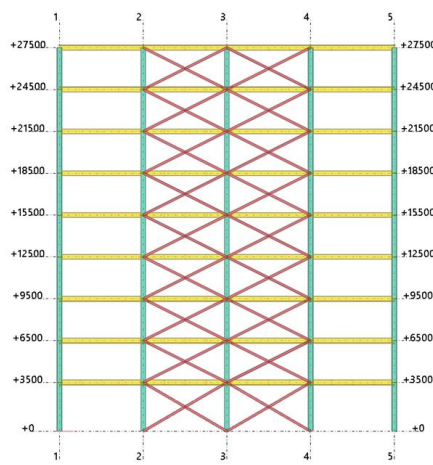
açıklanacaktır. Bu bölümde, ele alınan yapının *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)*'e uygun olarak deprem hesabı anlatılmıştır. Bu hesapta, SAP2000 v26 statik hesap programında otomatik olarak tanımlanabilen TSC-2018 (Turkish Seismic Code-2018) seçeneği kullanılmıştır. Deprem Yer Hareketi Parametreleri, yapının inşa edileceği konuma bağlı olarak AFAD web sitesinden (<https://tdth.afad.gov.tr/>) elde edilen harita spektral ivme katsayıları kullanılmıştır. Bu parametrelere dayalı olarak, deprem yönetmeliğinde tanımlanan diğer ilgili parametreler de hesaplanmıştır. Merkezi X çapraz Durum 2,3 ve 4 konumlarına ait X-Z ve Y-Z görünüşleri şekil 4.4'te gösterilmiştir.



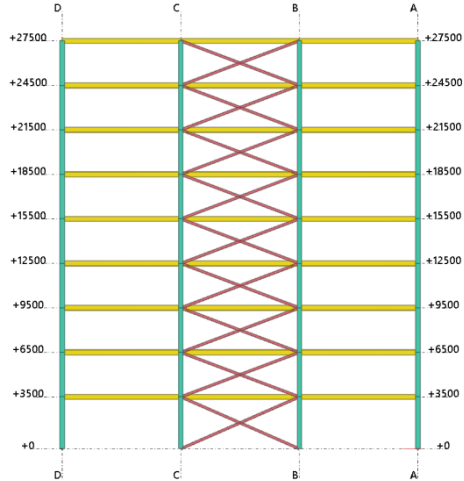
a) X-Z görüntüsü - Durum 2



b) Y-Z görüntüsü - Durum 2

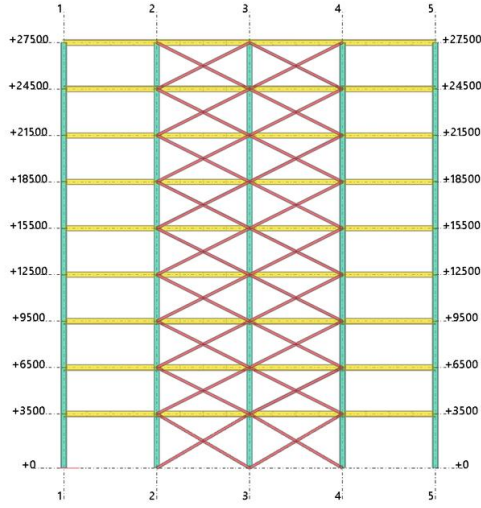


c) X-Z görüntüsü - Durum 3

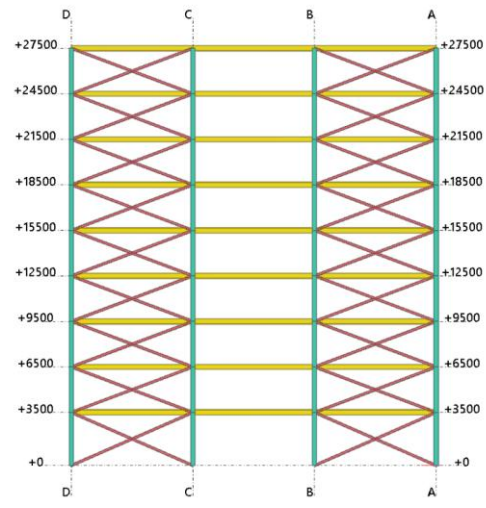


d) Y-Z görüntüsü - Durum 3

Şekil 4.4. Merkezi X çapraz Durum 2, 3 ve 4 konumlarına ait X-Z ve Y-Z görüntüleri (boyut birimi mm)



e) X-Z görüntüsü - Durum 4



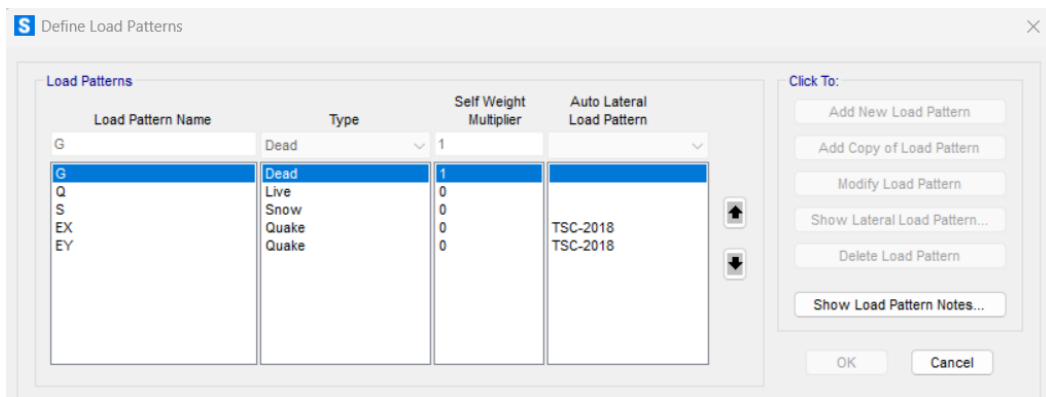
f) Y-Z görüntüsü - Durum 4

Şekil 4.4. (devam) Merkezi X çapraz Durum 2, 3 ve 4 konumlarına ait X-Z ve Y-Z görüntüleri (boyut birimi mm)

SAP2000 programında yapının TBDY 2018'e göre tasarımı ile ilgili işlem adımları detaylı olarak aşağıda sunulmuştur.

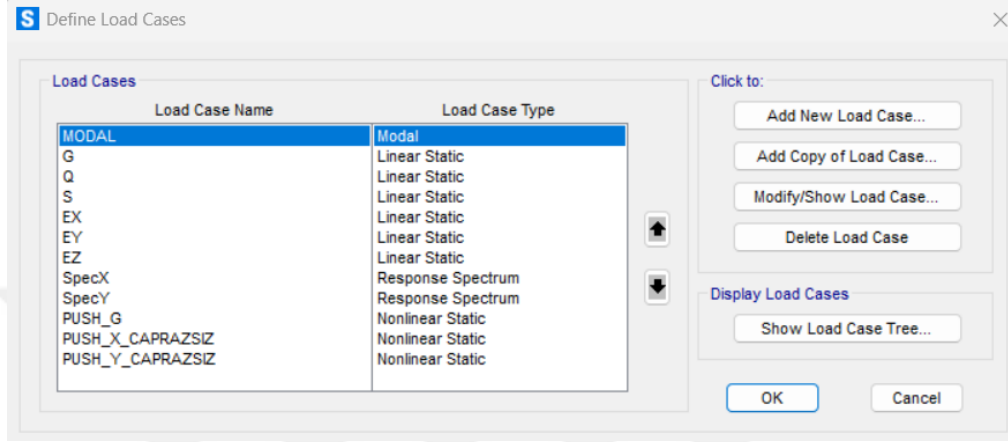
**Adım 1:** Yük tanımları ve deprem verileri yapıya etkileyen yükler ve etkime yönleri açıklanacak olursa: Çaprazsız modele ait statik hesap programında kullanılan yük isimleri şekil 4.5 ve şekil 4.6'da verilir.

Yapıya etkileyen yüklerin belirlenmesinde sabit yükler için TS 498, kar yükü için TS EN 1991-1-3, deprem yükleri için TBDY 2018 yönetmeliği kullanılır.



Şekil 4.5. SAP2000 yüklerin görüntüsü

**Adım 2:** Sabit ve Hareketli Yükler için TBDY 2018'in 4.5.9. maddesi doğrultusunda, kat kütlelerinin belirlenmesinde sabit yüklerin tamamı dikkate alınır, hareketli yüklerin ise, binanın kullanım amacına uygun olarak TBDY 2018'in Tablo 4.3'te tanımlanan katılım katsayısına göre belirli bir kısmı değerlendirmeye alınır. Çatı katı kütlesi hesaplanırken, kar yüklerinin %30'u göz önünde bulundurulur (şekil 4.7).



Şekil 4.6. SAP2000 yük durumları görüntüsü

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

Şekil 4.7. Hareketli yük kütle katılım katsayıları (TBDY 2018)

9 katlı yapının normal kat döşemelerinde sabit yük  $4 \text{ kN/m}^2$  (Betonarme kompozit döşeme, kaplama, bölme duvarlar, tesisat) olarak tanımlanır; çatı katında ise bu değer  $3 \text{ kN/m}^2$  (Betonarme kompozit döşeme, kaplama, izolasyon, tesisat) olarak statik hesap programına tanımlanır. Hareketli yük hesap değeri oda, koridor ve çatı için TS 498-2020 çizelge 7'ye göre  $2 \text{ kN/m}^2$  olarak belirlenir ve tüm yükler modele alansal sabit yayılı yük olarak tanımlanır. Karakteristik zemin kar yükü değeri bölgede biriken kar kalınlığına göre belirlenir. Yapının yapıldığı bölgede yağan maksimum kar kalınlığının  $0,5 \text{ m}$  olduğu öngörülerek ve kar birim hacim ağırlığının TS EN 1991-1-3'te tavsiye edilen değeri  $2 \text{ kN/m}^3$  olmak üzere, karakteristik zemin kar yükü değeri  $(0,5\text{m}) \times$

( $2\text{kN/m}^3$ ) =  $1\text{ kN/m}^2$  olarak belirlenir. Normal katlara girilen yük değerleri şekil 4.8’de çatı katına girilen yük değerleri ise şekil 4.9’da gösterilir.

Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label: 68

GUID: 3ca55dfe-a0cc-4a11-bfe8-6e153ba0b8cd

|                   |         |
|-------------------|---------|
| Load Pattern      | G       |
| Uniform to Frames |         |
| Coordinate System | GLOBAL  |
| Load Direction    | Gravity |
| Force/Area        | 4.      |
| Distribution Type | One way |
| Load Pattern      | Q       |
| Uniform to Frames |         |
| Coordinate System | GLOBAL  |
| Load Direction    | Gravity |
| Force/Area        | 2.      |
| Distribution Type | One way |

KN, m, C

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Şekil 4.8. Normal kat döşemelerine tanımlanan yükler

Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label:

GUID:

|                   |         |
|-------------------|---------|
| Load Pattern      | G       |
| Uniform to Frames |         |
| Coordinate System | GLOBAL  |
| Load Direction    | Gravity |
| Force/Area        | 3.      |
| Distribution Type | One way |
| Load Pattern      | Q       |
| Uniform to Frames |         |
| Coordinate System | GLOBAL  |
| Load Direction    | Gravity |
| Force/Area        | 2.      |
| Distribution Type | One way |
| Load Pattern      | S       |
| Uniform to Frames |         |
| Coordinate System | GLOBAL  |
| Load Direction    | Gravity |
| Force/Area        | 1.      |
| Distribution Type | One way |

KN, m, C

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Şekil 4.9. Çatı katı döşemesine tanımlanan yükler

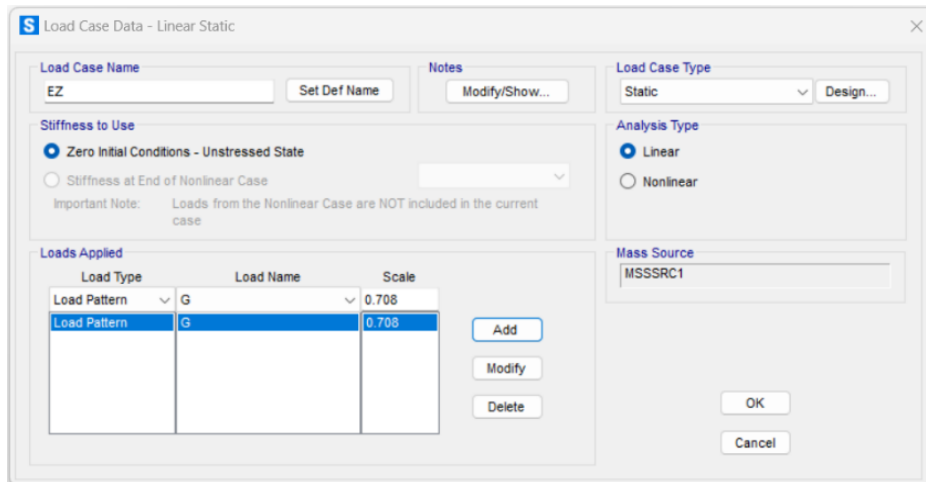
**Adım 3:** TBDY 2018’e göre Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı ( $I$ ) şu şekilde hesaplanır. Tablo 3.1’e göre, bina yapım durumu yeni ve bina taşıyıcı sistem tipi çelik olan konut yapısının bina kullanım sınıfı (BKS) 3 olarak belirlenir. TBDY 2018 tablo 3.1’e göre bina önem katsayısı 1 olarak hesaplanır. TBDY 2018 tablo 3.2

kullanılarak,  $BKS=3$  ve  $0.75 < S_{DS}$  durumu için deprem tasarım sınıfı (DTS) 1 olarak belirlenir. TBDY 2018 tablo 3.3'e göre,  $DTS=1$  ve  $17,5m < H_N = 27,5m < 28m$  durumunda bina yükseklik sınıfı (BYS) 5 olarak elde edilir. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar için, TBDY 2018 tablo 4.1'de belirtilen  $BYS > 3$  koşulu sağlanır. TBDY 2018 tablo 4.4'e göre,  $DTS=1$  ve  $BYS > 4$  koşulları sağlandığından, hesaplarda hem eşdeğer deprem yükü yöntemi hem de mod birleştirme yöntemi kullanılır.

**Adım 4:** Bu binanın deprem hesabı, TBDY 2018'in 3.5.1 maddesi esas alınarak yapılır. Hesaplama, yeni yapılacak yapının tasarımında hedeflenen performans hedefi, uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımı, deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfı (BYS) dikkate alınarak gerçekleştirilir. Normal performans hedefi için kontrollü hasar (KH) yaklaşımı benimsendi, değerlendirme/tasarım aşamaları için ise dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı tercih edilir. Tüm hesaplamalar, TBDY 2018'in bölüm 4'te belirtilen esaslara uygun olarak yapılır.

**Adım 5:** Düşey Deprem Etkisi, TBDY 2018 Madde 4.5.1.2 uyarınca düşey deprem etkisi TBDY 2018 4.4.3'e göre hesaba katılması gerekir.

Ele alınan binanın taşıyıcı sisteminde, TBDY 2018'in 4.4.3.1 maddesinde belirtilen yapısal elemanlar bulunmadığı için, düşey deprem etkisi için özel bir hesaplama yapılır. Bunun yerine, TBDY 2018 Denklem (4.10) doğrultusunda  $(2/3)S_{DS}=0,708$  olarak hesaplanan değer, statik hesaplama programına şekil 4.10'de görüldüğü gibi tanımlanır.



Şekil 4.10. Statik hesap programında düşey deprem etkisinin tanımlanması

**Adım 6:** Yük Birleşimleri, TBDY 2018 Madde 4.4.4 ve Çelik Yönetmeliği Madde 5.3.1 doğrultusunda, statik analiz programına tanımlanan yük birleşimleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. TBDY 2018 yük birleşimleri

| <b>Statik hesap programına girilen yük birleşimleri</b> |
|---------------------------------------------------------|
| G+0,3Q+0,3S                                             |
| 1,4G                                                    |
| 1,2G+1,6S                                               |
| 1,2G+1,6Q+0,5S                                          |
| 1,2G+1,6S+Q                                             |
| 1,2G+Q+0,2S+SpexX+0,3SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S+SpexX-0,3SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S-SpexX-0,3SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S-SpexX+0,3SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S+0,3SpexX+SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S+0,3SpexX-SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S-0,3SpexX-SpexY+0,3EZ                        |
| 1,2G+Q+0,2S-0,3SpexX+SpexY+0,3EZ                        |
| 0,9G+SpecX+0,3SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G+SpecX-0,3SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G-SpecX-0,3SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G-SpecX+0,3SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G+0,3SpecX+SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G+0,3SpecX-SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G-0,3SpecX-SpexY-0,3EZ                               |
| 0,9G-0,3SpecX+SpexY-0,3EZ                               |

**Adım 7:** Yapının bulunduğu bölgeye özel hazırlanan deprem tasarım spektrum eğrisi kullanılır.  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerlerini hesaplamak için ZB zeminine göre yerel zemin etki katsayıları seçilir. Döşemelerden kirişlere aktarılan sabit ve hareketli yüklerin yanı sıra kiriş ve kolonların kendi ağırlıklarından kaynaklanan yükler, yapı üzerine uygulandıktan sonra kat kütleleri binanın kütle merkezinde toplanarak değerlendirilir. Bu işlemlerden sonra SAP2000 programı yardımıyla X ve Y doğrultularında binanın doğal titreşim periyotları hesaplanır. Boyutlandırma yapılır.

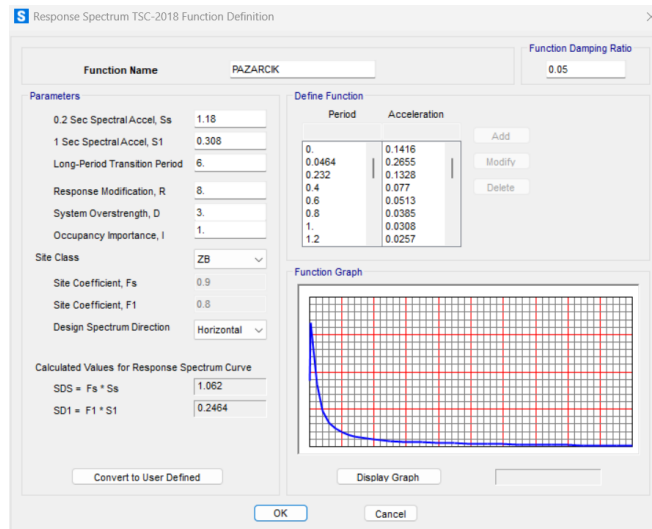
Doğrusal Statik Analizler Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik’te belirtildiği üzere Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım hükümlerine uygun şekilde yapılır. TBDY 2018 gereklilikleri ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile

Tasarım hükümlerine göre analizleri yapılır. Sayısal çözümlerde yeterli sayıda titreşim modunun dikkate alınması gerekir. TBDY-2018'in 4.8.1.2. maddesine göre, modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken titreşim modu sayısı, "modal etkin kütlelerin" toplamının binanın toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması şartına göre belirlenir. Ayrıca, katkısı %3'ten büyük olan tüm modlar dikkate alınır. Yapının dinamik özellikleri dikkate alınarak, bina titreşim periyotları X ve Y doğrultusu belirlenir.

**Adım 8:** TBDY 2018'in 4.7.3.2. maddesine göre, binada hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu kontrolü yapılır.

Üç boyutlu bina taşıyıcı sisteminin matematik modeli statik hesap programında oluşturularak, birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkileri dikkate alınır. Bu kapsamda:

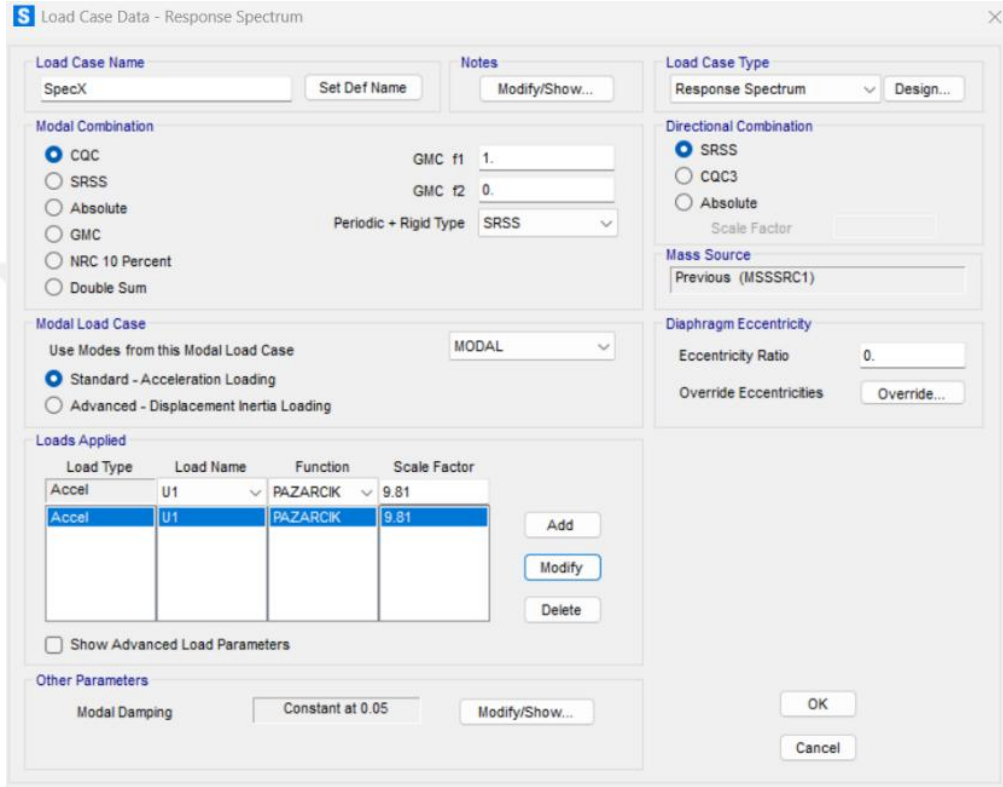
- Kolonlar ve kirişler çubuk sonlu eleman olarak modellenir.
- Döşemeler, kabuk sonlu elemanlar olarak modellenmiş ve sadece düşey yüklerin taşıyıcı sisteme aktarılmasında kullanılır.
- Döşemelere rijit diyafram olarak tanımlanır.
- Hareketli yük katılım katsayısı ( $n = 0,3$ ) olarak alınır.
- Kat ağırlıkları ( $G + nQ$ ) formülüne göre hesaplanır.



Şekil 4.11. TBDY 2018'e göre elastik tasarım spektrumunun SAP2000 yazılımında tanımlanması (Pazarcık bölgesi örneği)

**Adım 9:** Ele alınan yapının deprem hesabı, TBDY 2018 Madde 4.7’de belirtilen mod birleştirme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. TBDY 2018 Madde 4.5.1.2 uyarınca birbirine dik iki yatay doğrultuda etkiyen deprem etkileri göz önüne alınır.

Örnek olması açısından X doğrultusunda SpecX yüklemesi gösterildi. Y doğrultusundaki deprem etkisi benzer şekilde tanımlanır.



Şekil 4.12. SAP2000’de SpecX doğrultusu için deprem spektrumu yük durumu tanımı

#### 4.1.1. Moment aktaran çerçeve (çaprazsız) sisteme sahip yapının analiz modelinin oluşturulması

Bu bölümde, hesaplanan çelik binamız SAP2000 (v26) programında modellenmiş ve TBDY 2018 ile EUROCODE-8’e uygun olarak doğrusal statik analiz yapılır.

SAP2000 İşlem adımları aşağıdaki gibidir.

- Sistem modeli oluşturulur.
- Malzeme özellikleri tanımlanır.
- Kesit özellikleri tanımlanır.

- Yükle tanımlandı ve kesitlere atanır.

- Doğrusal analiz yapılır.

Model, analiz ve kontroller sonucunda kolon kesitleri için HE360B, ana giriş kesitleri için IPE360, tali giriş kesitleri için IPE270 seçilerek bölüm 4.1'deki işlem adımları takip edilerek hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılır.

SAP2000 programından elde edilen modların periyot değeri ve modal etkin kütleleri şekil 4.13'te gösterilmiştir.

Yapının dinamik özellikleri dikkate alınarak, bina periyodu için birinci mod (X doğrultusu) ve ikinci mod (Y doğrultusu) olduğu gözlemlenmiştir. İlk mod için titreşim periyodu 3,91 sn olup, modal etkin kütlelerin yalnızca X doğrultusunda %79 olduğu görülür. İkinci modda ise titreşim periyodu 2,80 saniyedir ve modal etkin kütlelerin sadece Y doğrultusunda %81 olduğu anlaşılmıştır. En büyük katılım oranına sahip modlar incelendiğinde, "hakim titreşim periyodu" X doğrultusunda 3,91 sn ve Y doğrultusunda 2,80 sn olarak belirlenmiştir.

| Modal Participating Mass Ratios                  |          |          |          |           |           |          |          |          |          |           |           |           |          |          |           |          |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| File View Edit Format-Filter-Sort Select Options |          |          |          |           |           |          |          |          |          |           |           |           |          |          |           |          |
| Units: As Noted                                  |          |          |          |           |           |          |          |          |          |           |           |           |          |          |           |          |
| Filter:                                          |          |          |          |           |           |          |          |          |          |           |           |           |          |          |           |          |
| OutputCase                                       | StepType | StepNum  | Period   | UX        | UY        | UZ       | SumUX    | SumUY    | SumUZ    | RX        | RY        | RZ        | SumRX    | SumRY    | SumRZ     |          |
|                                                  | Text     | Unitless | Sec      | Unitless  | Unitless  | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless  | Unitless  | Unitless  | Unitless | Unitless | Unitless  | Unitless |
| MODAL                                            | Mode     | 1        | 3.91556  | 0         | 0.7958    | 0        | 0        | 0.7958   | 0        | 0.1001    | 0         | 0         | 0.1001   | 0        | 0         | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 2        | 2.88501  | 0.81013   | 0         | 0        | 0.81013  | 0.7958   | 0        | 0         | 0.10908   | 0         | 0.1001   | 0.10908  | 0         | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 3        | 1.203577 | 0         | 0.10523   | 0        | 0.81013  | 0.90103  | 0        | 0.26808   | 0         | 1.305E-17 | 0.36818  | 0.10908  | 1.305E-17 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 4        | 0.90428  | 0.09989   | 0         | 0        | 0.91002  | 0.90103  | 0        | 0         | 0.33183   | 3.496E-15 | 0.36818  | 0.44088  | 3.509E-15 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 5        | 0.63302  | 0         | 0.94395   | 0        | 0.91002  | 0.94498  | 0        | 0.04265   | 0         | 1.527E-12 | 0.41083  | 0.44088  | 1.53E-12  | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 6        | 0.529673 | 0.03573   | 0         | 0        | 0.94576  | 0.94498  | 0        | 1.063E-20 | 0.03158   | 2.651E-10 | 0.41083  | 0.47246  | 2.666E-10 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 7        | 0.411081 | 0.01683   | 5.072E-17 | 0        | 0.96259  | 0.94498  | 0        | 9.871E-17 | 0.03756   | 1.677E-08 | 0.41083  | 0.51002  | 1.704E-08 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 8        | 0.390901 | 9.231E-17 | 0.92412   | 0        | 0.96259  | 0.9691   | 0        | 0.04353   | 2.11E-16  | 1.484E-09 | 0.45436  | 0.51002  | 1.852E-08 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 9        | 0.287574 | 0.01436   | 2.87E-15  | 0        | 0.97696  | 0.9691   | 0        | 4.07E-15  | 0.03294   | 1.294E-07 | 0.45436  | 0.54297  | 1.479E-07 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 10       | 0.260602 | 4.846E-15 | 0.016     | 0        | 0.97696  | 0.9851   | 0        | 0.02271   | 1.115E-14 | 4.893E-08 | 0.47707  | 0.54297  | 1.968E-07 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 11       | 0.168804 | 0.01981   | 6.353E-14 | 0        | 0.99676  | 0.9851   | 0        | 1.057E-13 | 0.0492    | 1.541E-07 | 0.47707  | 0.59217  | 3.509E-07 | 0        |
| MODAL                                            | Mode     | 12       | 0.161944 | 8.553E-14 | 0.01283   | 0        | 0.99676  | 0.99793  | 0        | 0.0217    | 2.143E-13 | 1.341E-07 | 0.49877  | 0.59217  | 4.851E-07 | 0        |

Şekil 4.13. Modal titreşim periyotları ve kütle katılım oranları (SAP2000 Çıktısı)

TBDY 2018'in 4.7.3.2. maddesine göre, binada hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu  $T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$  değerinin 1,4 katını geçmemesi gerekmektedir.  $C_t = 0,08$  ve binanın toplam yüksekliği  $H_N = 27,5$  m olarak alındığında  $T_{pA}$ 'nın 1,4 katı 1,345 sn hesaplanmıştır. Hakim titreşim periyodu X ve Y doğrultusunda ampirik hakim doğal titreşim periyodunun ( $T_{pA}$ ) 1,4 katından büyük olduğu için X ve Y doğrultularında kullanılacak doğal titreşim periyotları 1,345 sn alınmıştır.

Statik hesap programında Mod Birleştirme Yöntemi için TSC 2018 (Response Spectrum Function) seçeneği kullanılmıştır (şekil 4.11). TBDY 2018 Madde 4.5.1.2 uyarınca birbirine dik iki yatay doğrultuda etkiyen deprem etkileri göz önüne alınmıştır.

Ele alınan modellerin birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultuları için seçilen taşıyıcı sistemlerinin bina yükseklik sınıfı açısından TBDY 2018 Tablo 4.1'e göre uygun olduğu hesaplanmıştır. Ele alınan referans çaprazsız yapı modelinde, deprem etkilerinin tamamı moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılanmıştır. Bu binalar için, bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R_x=R_y=8$ , dayanım fazlalığı katsayısı  $D_x=D_y=3$  ve izin verilen bina yükseklik sınıfı 3 olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018, Madde 4.8.4'e göre herhangi bir deprem doğrultusu için modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile çarpılarak büyütülmüştür.

$$\beta_{te}^{(X)} = \frac{\gamma_e V_{te}^{(X)}}{V_t^{(X)}} \quad (4.1)$$

$V_{te}$ = Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi 'ne göre hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$V_t$ = Mod birleştirme Yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükü

$\gamma_e$ = A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin olması durumunda 0,90, bulunmaması durumunda 0,80 alınır. Bu tez kapsamında, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı  $\gamma_e$ ; en büyük değeri olan 0,90 olarak kabul edilmiştir.

S

Base Reactions

File

View

Edit

Format-Filter-Sort

Select

Options

Units: As Noted

Base Reactions

Filter:

|   | OutputCase | CaseType<br>Text | StepType<br>Text | GlobalFX<br>KN | GlobalFY<br>KN | GlobalFZ<br>KN |
|---|------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
|   | EX         | LinStatic        |                  | -1113.339      | -4.03E-11      | -5.71E-11      |
|   | EY         | LinStatic        |                  | -6.802E-12     | -1113.339      | 1.08E-11       |
|   | SpecX      | LinRespSpec      | Max              | 293.352        | 0.0001219      | 1.132E-11      |
| ▶ | SpecY      | LinRespSpec      | Max              | 0.0001197      | 218.991        | 3.867E-12      |

Şekil 4.14. EX, EY ve SpecX, SpecY yük durumları için taban kesme kuvvetleri karşılaştırması

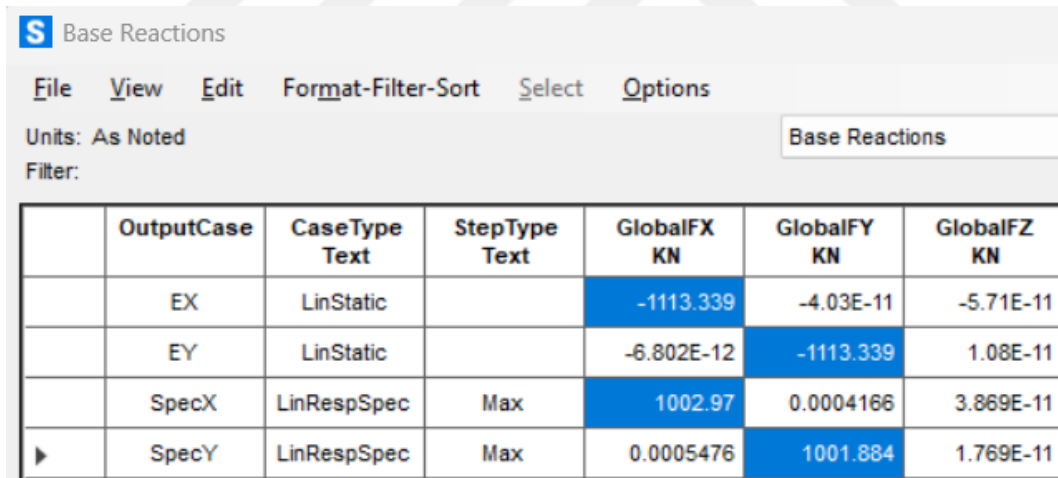
Şekil 4.14'te verilen mod birleştirmeye göre taban kesme kuvveti ( $V_t$ ), eşdeğer deprem taban kesme kuvvetinden ( $V_{te}$ ) küçük çıktığı için çıkan katsayı ( $\beta_{te}^{(X,Y)}$ ) kadar büyütülmüştür.

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere mod birleştirme yöntemi için taban kesme kuvveti  $V_{te}^{(X)}$  293 kN,  $V_{te}^{(Y)}$  219 kN hesaplandı. Eşdeğer deprem yükü için taban kesme kuvveti  $V_{te}^{(X)}$  ve  $V_{te}^{(Y)}$  1113 kN hesaplanmıştır.

$$\beta_{te}^{(X)} = \frac{\gamma_e V_{te}^{(X)}}{V_t^{(X)}} = \frac{0.9 \times 1113.339}{293.352} = 3.420$$

$$\beta_{te}^{(Y)} = \frac{\gamma_e V_{te}^{(Y)}}{V_t^{(Y)}} = \frac{0.9 \times 1113.339}{218.991} = 4.575$$

Denklem 4.1'e göre  $\gamma_e = 0,90$  alınarak tekrar hesap yapıldığında eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı X doğrultusu için  $\beta_{te}^{(X)}=3,420$ , Y doğrultusu için  $\beta_{te}^{(Y)}=4,575$  olarak hesaplanmıştır.



|   | OutputCase | CaseType<br>Text | StepType<br>Text | GlobalFX<br>KN | GlobalFY<br>KN | GlobalFZ<br>KN |
|---|------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
|   | EX         | LinStatic        |                  | -1113.339      | -4.03E-11      | -5.71E-11      |
|   | EY         | LinStatic        |                  | -6.802E-12     | -1113.339      | 1.08E-11       |
|   | SpecX      | LinRespSpec      | Max              | 1002.97        | 0.0004166      | 3.869E-11      |
| ▶ | SpecY      | LinRespSpec      | Max              | 0.0005476      | 1001.884       | 1.769E-11      |

Şekil 4.15. Eşdeğer deprem yöntemine göre hesaplanan büyütme katsayısının uygulanması sonrası elde edilen taban kesme kuvvetleri

Elde edilen büyütme katsayıları yapısal analiz programına girildi. Mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinin eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinden büyük olana kadar bu işlemler tekrarlanmıştır. Tekrar analiz yapıldığında şekil 4.15'te mod birleştirme yöntemi kesme kuvveti X doğrultusu için  $V_t^{(X)}=1003$  kN, Y doğrultusu için  $V_t^{(Y)}=1002$  kN olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre bu katsayılar için tekrar büyütme yapılmasına gerek yoktur.

Çizelge 4.3. X doğrultusu göreli kat öteleme kontrolü

| Kat | Yerdeğiştirme <sub>(maks)(m)</sub> | $\Delta_{(maks)}$ | $\Delta_{i(maks)}=R \times \Delta_{(maks)}$ | $h_i$ | $\lambda_x \times \Delta_{i(maks)} / h_i$ |
|-----|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 9   | 0,051379                           | 0,00249           | 0,01998                                     | 3     | 0,00194510                                |
| 8   | 0,048881                           | 0,00368           | 0,02944                                     | 3     | 0,00286549                                |
| 7   | 0,045201                           | 0,00489           | 0,03916                                     | 3     | 0,00381157                                |
| 6   | 0,040306                           | 0,00598           | 0,04788                                     | 3     | 0,00466032                                |
| 5   | 0,034321                           | 0,00688           | 0,05507                                     | 3     | 0,00536034                                |
| 4   | 0,027437                           | 0,00752           | 0,06020                                     | 3     | 0,00586024                                |
| 3   | 0,019911                           | 0,00776           | 0,06214                                     | 3     | <b>0,00604868</b>                         |
| 2   | 0,012143                           | 0,00722           | 0,05776                                     | 3     | 0,00562197                                |
| 1   | 0,004923                           | 0,00492           | 0,03938                                     | 3,5   | 0,00328575                                |

Çizelge 4.4. Y doğrultusu göreli kat öteleme kontrolü

| Kat | Yerdeğiştirme <sub>(maks)(m)</sub> | $\Delta_{(maks)}$ | $\Delta_{i(maks)}=R \times \Delta_{(maks)}$ | $h_i$ | $\lambda_y \times \Delta_{i(maks)} / h_i$ |
|-----|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 9   | 0,092436                           | 0,00501           | 0,04014                                     | 3     | 0,00390734                                |
| 8   | 0,087418                           | 0,00698           | 0,05584                                     | 3     | 0,00543587                                |
| 7   | 0,080437                           | 0,00911           | 0,07290                                     | 3     | 0,00709598                                |
| 6   | 0,071324                           | 0,01106           | 0,08848                                     | 3     | 0,00861283                                |
| 5   | 0,060263                           | 0,01264           | 0,10115                                     | 3     | 0,00984546                                |
| 4   | 0,047619                           | 0,01368           | 0,10944                                     | 3     | 0,01065216                                |
| 3   | 0,033939                           | 0,01382           | 0,11063                                     | 3     | <b>0,01076818</b>                         |
| 2   | 0,02011                            | 0,01235           | 0,09886                                     | 3     | 0,00962276                                |
| 1   | 0,007752                           | 0,00775           | 0,06201                                     | 3,5   | 0,00517390                                |

Çizelge 4.5. X doğrultusu A1 burulma düzensizliği değerleri

| Kat | $d_{i,min}(m)$ | $d_{i,maks}(m)$ | $(\Delta_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{maks}$ | $(\Delta_i)_{ort}$ | $\eta_{bi}(X)$ | $\eta_{bi}(X) ((\Delta_i)_{maks} / (\Delta_i)_{ort})$ |
|-----|----------------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------------------------|
| 9   | 0,132          | 0,153           | 0,006              | 0,007               | 0,007              | 1,073          |                                                       |
| 8   | 0,126          | 0,145           | 0,009              | 0,011               | 0,010              | 1,072          |                                                       |
| 7   | 0,116          | 0,134           | 0,013              | 0,014               | 0,014              | 1,072          |                                                       |
| 6   | 0,104          | 0,120           | 0,015              | 0,018               | 0,016              | 1,072          |                                                       |
| 5   | 0,089          | 0,102           | 0,018              | 0,020               | 0,019              | 1,072          | 1,073                                                 |
| 4   | 0,071          | 0,082           | 0,019              | 0,022               | 0,021              | 1,072          |                                                       |
| 3   | 0,052          | 0,060           | 0,020              | 0,023               | 0,021              | 1,071          |                                                       |
| 2   | 0,032          | 0,037           | 0,019              | 0,022               | 0,020              | 1,071          |                                                       |
| 1   | 0,013          | 0,015           | 0,013              | 0,015               | 0,014              | 1,069          |                                                       |

TBDY 2018'in 3.6 maddesine göre, binada düzensizlik kontrolleri yapıldı. Çıkıntılarının olmaması, döşeme süreksizliklerinin bulunmaması, döşemelerde büyük boşlukların olmaması ve yatay ile yük taşıyan elemanların tüm katlarda düzenli ve simetrik olması nedeniyle A2, A3, B1 ve B3 düzensizlik durumlarının mevcut olmadığı belirlendi. Her kat için X ve Y doğrultularında A1 türü burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 2$  koşulu

sağlandı (çizelge 4.5 ve 4.6). Yapıda yumuşak kat olmadığı için B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunmadı. Sistem, TBDY 2018 Tablo 4.4'e göre  $\eta_{bi} < 2$  ve B2 türü düzensizlik bulunmaması koşullarını sağlayarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için uygun olduğu görüldü. TBDY 2018'in 4.6.2 maddesi esas alınarak, yapının deprem etkilerinin belirlenmesinde kullanılacak doğrusal hesap yöntemi, mod birleştirme yöntemi olarak seçildi.

Çizelge 4.6. Y doğrultusu A1 burulma düzensizliği değerleri

| Kat | $d_{i,min}$ (m) | $d_{i,maks}$ (m) | $(\Delta_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{maks}$ | $(\Delta_i)_{ort}$ | $\eta_{bi} (Y)$<br>$((\Delta_i)_{maks} / (\Delta_i)_{ort})$ | $\eta_{bi} (Y)$<br>(maks) |
|-----|-----------------|------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 9   | 0,274           | 0,294            | 0,015              | 0,016               | 0,016              | 1,032                                                       |                           |
| 8   | 0,258           | 0,278            | 0,021              | 0,022               | 0,022              | 1,034                                                       |                           |
| 7   | 0,237           | 0,255            | 0,027              | 0,029               | 0,028              | 1,035                                                       |                           |
| 6   | 0,210           | 0,226            | 0,033              | 0,035               | 0,034              | 1,035                                                       |                           |
| 5   | 0,178           | 0,191            | 0,037              | 0,040               | 0,039              | 1,035                                                       | 1,041                     |
| 4   | 0,140           | 0,151            | 0,040              | 0,043               | 0,042              | 1,036                                                       |                           |
| 3   | 0,100           | 0,108            | 0,041              | 0,044               | 0,042              | 1,036                                                       |                           |
| 2   | 0,059           | 0,064            | 0,037              | 0,039               | 0,038              | 1,038                                                       |                           |
| 1   | 0,023           | 0,025            | 0,023              | 0,025               | 0,024              | 1,041                                                       |                           |

TBDY-2018'in 4.7.5. maddesine göre, analiz sonucunda referans çaprazsız modelin toplam bina ağırlığı ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri çizelge 4.7'de gösterildi.

Çizelge 4.7. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

| Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri |           |                 |                |                        |                                            |                  |                  |
|----------------------------------------|-----------|-----------------|----------------|------------------------|--------------------------------------------|------------------|------------------|
| Kat                                    | $H_i$ (m) | $\Sigma KAT$    | $W_i$ (kN)     | $W_i \times H_i$ (kNm) | $(w_i \times H_i) / \Sigma W_i \times H_i$ | $F_{ix}$ (kN)    | $F_{iy}$ (kN)    |
| 9                                      | 27,5      | 2544            | 2544           | 69960                  | 0,174                                      | 235,554          | 235,554          |
| 8                                      | 24,5      | 5500            | 2956           | 72422                  | 0,181                                      | 191,981          | 191,981          |
| 7                                      | 21,5      | 8456            | 2956           | 63554                  | 0,158                                      | 168,474          | 168,474          |
| 6                                      | 18,5      | 11412           | 2956           | 54686                  | 0,136                                      | 144,966          | 144,966          |
| 5                                      | 15,5      | 14368           | 2956           | 45818                  | 0,114                                      | 121,458          | 121,458          |
| 4                                      | 12,5      | 17324           | 2956           | 36950                  | 0,092                                      | 97,950           | 97,950           |
| 3                                      | 9,5       | 20279           | 2955           | 28072,5                | 0,070                                      | 74,417           | 74,417           |
| 2                                      | 6,5       | 23235           | 2956           | 19214                  | 0,048                                      | 50,934           | 50,934           |
| 1                                      | 3,5       | 26208           | 2973           | 10405,5                | 0,026                                      | 27,584           | 27,584           |
|                                        |           | $\Sigma 129326$ | $\Sigma 26208$ | $\Sigma 401082$        |                                            | $\Sigma 1113,32$ | $\Sigma 1113,32$ |

Yapılan modelleme, yapısal analizler ve TBDY 2018 kapsamında gerçekleştirilen uygunluk kontrolleri sonucunda, kolon kesiti olarak HE360B, ana giriş kesiti olarak IPE360 ve tali giriş kesiti olarak IPE270 seçildiğinde, yapının Y doğrultusundaki görelî kat ötelemesi değerlerinin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerleri aşmakta olduğu belirlenmiştir. Bu durum, çalışmada farklı çapraz türlerinin yapısal performans üzerindeki etkilerinin daha belirgin bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla sistem

rijitliğinin sınır koşullara yakın bir seviyede oluşturulmuş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu şekilde oluşturulan yapısal konfigürasyon, yatay rijitliğin azalmasına ve dolayısıyla hakim titreşim periyotlarında artışa neden olmuştur.

Bölüm 4.1’de ayrıntılı biçimde açıklandığı üzere, çaprazlı sistemler, referans modele çeşitli çapraz elemanların farklı tip ve konumlarda eklenmesiyle elde edilmiştir. Bu kapsamda toplam 12 farklı çaprazlı durum modellenmiş ve her birinin TBDY 2018’de belirtilen taşıyıcı sistem koşullarını sağladığı doğrulanmıştır. Söz konusu çaprazlı modellere ilişkin detaylı açıklamalar Bölüm 4.1.2’de sunulmaktadır.

#### **4.1.2. Çaprazlı sisteme sahip yapı analiz modelinin oluşturulması**

Ele alınan modellerin birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultuları için seçilen taşıyıcı sistemlerinin bina yükseklik sınıfı açısından TBDY 2018 Tablo 4.1’e göre uygun olduğu hesaplandı. Merkez çaprazlı yapı modelinde, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalarda, bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R_x=R_y=5$ , dayanım fazlalığı katsayısı  $D_x=D_y=2$  ve izin verilen bina yükseklik sınıfı 4 olarak hesaplanmıştır. Dışmerkez çaprazlı yapı modelinde, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalarda, bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R_x=R_y=8$ , dayanım fazlalığı katsayısı  $D_x=D_y=2$  olarak hesaplandı. Çapraz kesitleri için TUBO 168,3x6 mm boru kesit seçilmiştir.

Bu tez kapsamında, referans yapı modeli görelî kat ötelemelerini sağlamayan durum göz önüne alınarak hazırlandı. Ayrıca, mevcut çaprazsız yapı için belirlenen çapraz türleri ve konumlarına göre tasarlanan 12 farklı çaprazlı durum, görelî kat ötelemeleri dahil olmak üzere TBDY 2018 koşullarını sağlamaktadır.

#### **4.2. Çok Katlı Çelik Yapıda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi**

Tek Modlu İtme Yöntemleri, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 5’ten büyük olan binalar için uygulanabilir. Herhangi bir katta ek dışmerkezlik dikkate alınmaksızın, doğrusal elastik davranış esas alınarak TBDY 2018 Bölüm 3, Tablo 3.5’e göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı 1,4 koşulunu sağladığı görüldü (çizelge 4.5 ve çizelge 4.6). Ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin

toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0,70 olması gereklidir. Analizleri yapılan binalar, tek modlu statik itme analizinin yapılabilmesi bu koşulları sağladığı görüldü.

Bu çalışmada,

- Lineer olmayan statik analiz yöntemi uygulanacaktır.
- Kat düzlemleri rijit diyafram olarak kabul edilmiştir.
- Dikkate alınan deprem doğrultusunda hakim mod hesaba katılmıştır.
- Binalar düşey yükler ve yatay yüklerin etkisi altında olacak şekilde tepe yer değiştirmesine ulaşıncaya kadar itilmiştir.
- İkinci mertebe etkileri(P- $\Delta$ ) tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınmıştır.
- Binanın performansı yalnızca yatay X ve Y doğrultularında kontrol edilmiştir.
- Taşıyıcı sistemin kiriş ve kolonları, Avrupa normlarına uygun profiller kullanılarak seçilmiştir.
- Tasarımda S275 yapı çeliği kullanılacaktır. Bu çeliğin, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslara göre akma gerilmesi ( $F_y$ ) 275 N/mm<sup>2</sup> ve elastisite modülü ( $E$ ) 200.000 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.
- Kolon, kiriş ve çaprazların her iki ucuna da plastik mafsallar atanmıştır.
- Yatay yükler altında yerdeğiştirme kontrollü olarak itme analizi yapılacaktır.

Analizlerin sonucunda kapasite eğrisi oluşturularak görüntülenir. SAP2000 yazılımında, çözümlemenin her adımında taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri okunabilir. Ayrıca, her adımda oluşan mafsalları ve bu mafsalların hangi performans aralıklarında yer aldığı tablo üzerinden alınabilir.

Performans noktası belirlenirken, bu çalışmada FEMA 356 Kapasite Spektrum Metodu kullanılacaktır. Performans noktasında, mafsalların hangi performans düzeyinde olduğu da ayrıca tespit edilir.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSH\_G [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case [PUSH\_G]  
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

| Load Type    | Load Name | Scale |
|--------------|-----------|-------|
| Load Pattern | G         | 1.0   |
| Load Pattern | Q         | 0.3   |
| Load Pattern | S         | 0.3   |

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

Other Parameters: Load Application: Full Load [Modify/Show...]  
Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]  
Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.16. Düşey yükler için doğrusal olmayan statik analiz tanımı

Statik itme analizinin başlangıç adımında (0. adım), deprem dışı yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesaplama yapılır. Bu hesaplamadan elde edilen iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, deprem hesabı için başlangıç değerleri olarak kabul edilir. Düşey yüklerden oluşan doğrusal olmayan analizin sisteme tanımlanması aşağıdaki gibidir.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSH\_X\_CAPRAZSIZ [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions: ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [PUSH\_G]  
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

| Load Type | Load Name | Scale |
|-----------|-----------|-------|
| Accel     | UX        | -1.0  |

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear

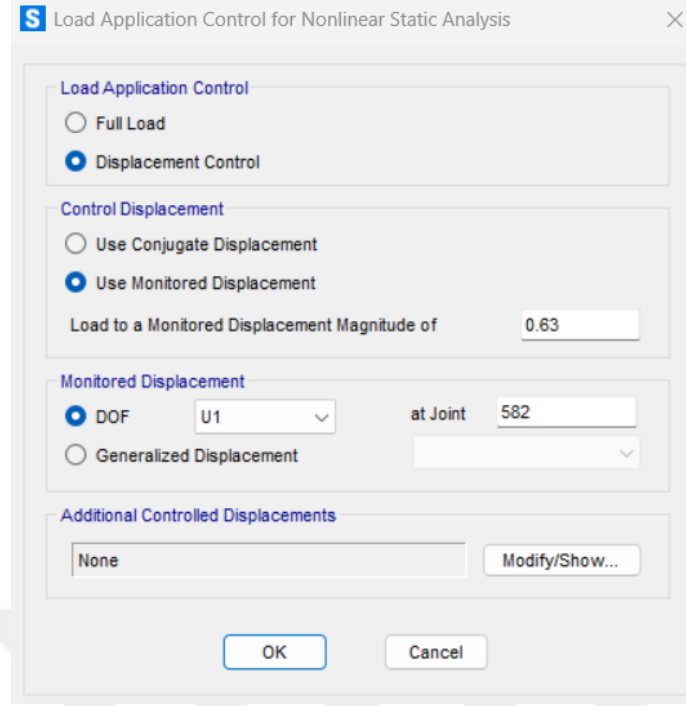
Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

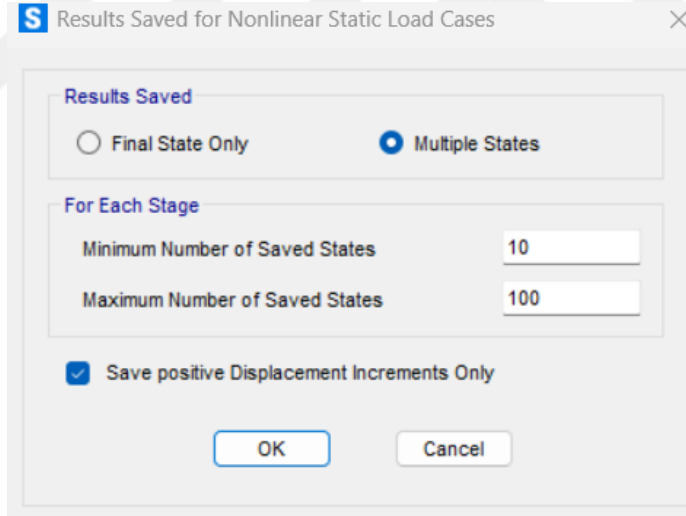
Other Parameters: Load Application: Displ Control [Modify/Show...]  
Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]  
Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.17. X doğrultusu için doğrusal olmayan statik analiz tanımı



Şekil 4.18. X doğrultusu için itme analizinde hedef yer değiştirme ve izlenecek noktanın tanımlanması



Şekil 4.19. X doğrultusu için itme analizinde kaydedilecek yer değiştirme adımlarının sayısının belirlenmesi

İtme analizinin yapılacağı düğüm noktası büyük ve çok katlı binalarda, binanın en üst katında, kütle merkezine en yakın nokta seçilmiştir. Kolon, kiriş ve çaprazlara doğrusal olmayan statik analiz yapabilmemiz için plastik mafsalları ataması yapılması gerekmektedir.

Kolonlara atanan plastik mafsalları özellikleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

Frame Hinge Assignment Data - User Defined

| Hinge Property | Location Type            | Relative Distance | Absolute Distance m |
|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------|
| Auto           | Relative To Clear Length | 1                 |                     |
| Auto P-M2-M3   | Relative To Clear Length | 0                 |                     |
| Auto P-M2-M3   | Relative To Clear Length | 1                 |                     |

Add Hinge...

Modify Hinge...

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Delete Hinge

Şekil 4.20. SAP2000’de elemanlara atanan plastik mafsalların görelî konumlarının tanımlanması (kolon örneği)

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type  
From Tables In ASCE 41-17

Select a Hinge Table  
Table 9-7.1 (Steel Columns - Flexure)

Degree of Freedom  
☐ M2 ☐ P-M2 ☐ Parametric P-M2-M3  
☐ M3 ☐ P-M3  
☐ M2-M3 ☒ P-M2-M3

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
☒ Drops Load After Point E  
☐ Is Extrapolated After Point E

Force Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
☐ Hinge Drops Load When Max Force Is Reached

OK Cancel

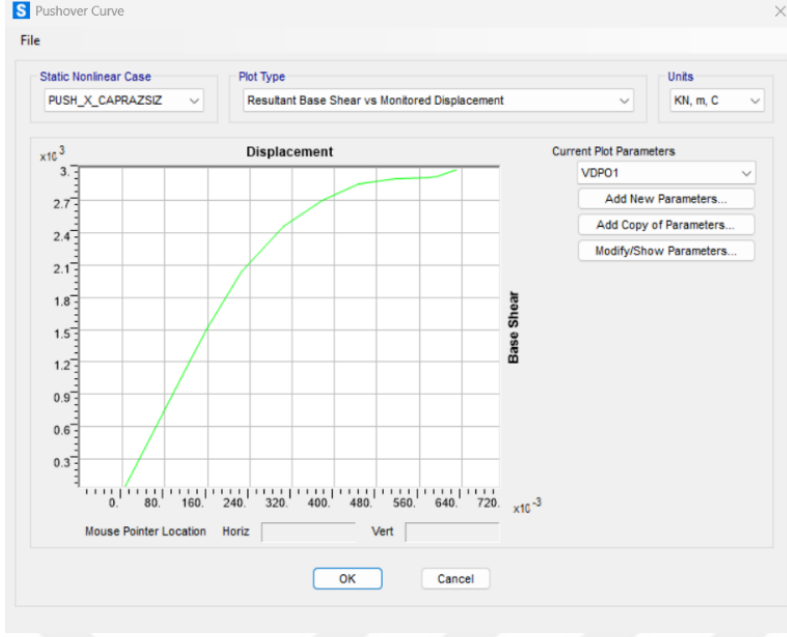
Şekil 4.21. SAP2000’de elemanlara atanan plastik mafsalların türü ve davranış parametrelerinin seçilmesi (kolon örneği)

#### 4.2.1. Kapasite (itme) eğrisi

Çözüm yapıldıktan sonra, çaprazsız duruma ait taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirme grafiği elde edilir.

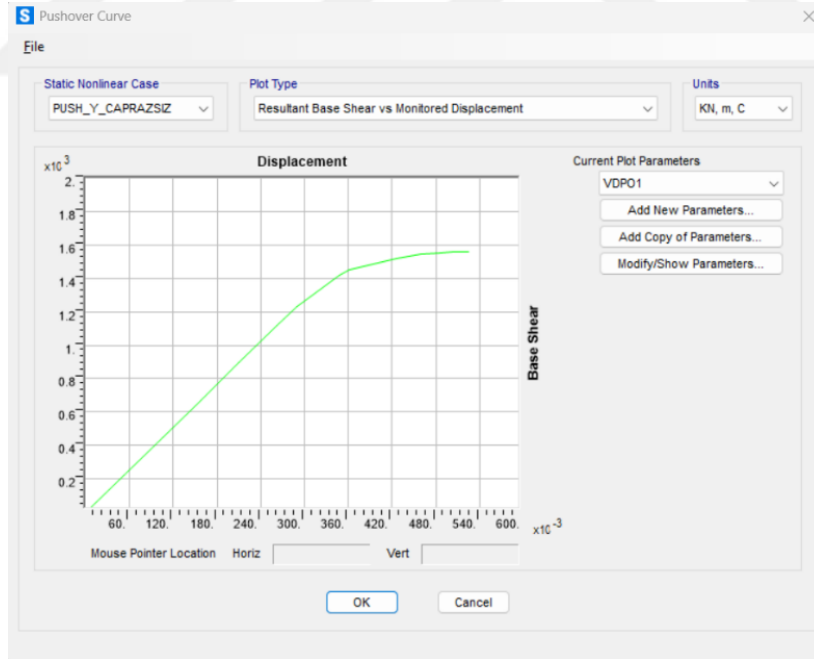
Taşıyıcı sistemi her iki yönde süneklik düzeyi yüksek moment aktaran sistemde X doğrultusu için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi şekil 4.22’de verilmiştir.

Yatay eksen tepe noktası yer değiştirmesini, düşey eksen ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.22. X doğrultusu için kapasite eğrisi (taban kesme kuvveti – yer değiştirme)

Y doğrultusu için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Y doğrultusu için kapasite eğrisi (taban kesme kuvveti – yer değiştirme)

İtme analizleri sonucunda elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme (kapasite) eğrileri, yapı sisteminin doğrusal olmayan davranış karakteristiklerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu eğriler aracılığıyla, yapının elastik sınırları aşıp aşmadığı, meydana gelen plastik mafsalsal sayısı ve yapının performans düzeyi hakkında değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Statik itme analizlerine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ), taban kesme kuvveti ( $F$ ) ve plastik mafsalsal sayılarına ait tablolarda A ile B arası Lineer elastik durumu, B ile C arası Akmanın durumu, C ile D arası nihai kapasite durumunu, D ile E arası göçme öncesi durumu, E'den ötesi ise göçme durumunu ifade etmektedir.

Ayrıca TBDY 2018 madde 15.3.2'de A ile SH arası sınırlı hasar performans düzeyini, SH ile KH kontrollü hasar performans düzeyini ve KH ile GÖ arası göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyini, GÖ'den ötesi ise göçme hasar performans düzeyini ifade etmektedir.

Statik itme analizlerinde sistemin ilk akmaya başladığı durum yani B ile C arasında, çaprazsız durumda meydana gelen plastik mafsalsal sayısı ile çaprazlı durumlarda meydana gelen mafsalsal sayıları ve çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Çaprazlı modellerin mafsalsal sayılarının çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri

| Model isimleri      | B ile C arası mafsalsal sayısı |              | Çaprazsız duruma göre mafsalsal azalma yüzdeleri |        |
|---------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|--------|
|                     | X doğrultusu                   | Y doğrultusu | X (%)                                            | Y (%)  |
| Çaprazsız           | 122                            | 62           | -                                                | -      |
| Merkez X Durum 1    | 16                             | 4            | 86,89                                            | 93,55  |
| Merkez X Durum 2    | 16                             | 6            | 86,89                                            | 90,32  |
| Merkez X Durum 3    | 22                             | 4            | 81,97                                            | 93,55  |
| Merkez X Durum 4    | 20                             | 8            | 83,61                                            | 87,10  |
| Ters V Durum 1      | 4                              | 0            | 96,72                                            | 100,00 |
| Ters V Durum 2      | 4                              | 0            | 96,72                                            | 100,00 |
| Ters V Durum 3      | 0                              | 0            | 100,00                                           | 100,00 |
| Ters V Durum 4      | 0                              | 0            | 100,00                                           | 100,00 |
| Dışmerkez V Durum 1 | 0                              | 4            | 100,00                                           | 93,55  |
| Dışmerkez V Durum 2 | 0                              | 0            | 100,00                                           | 100,00 |
| Dışmerkez V Durum 3 | 4                              | 4            | 96,72                                            | 93,55  |
| Dışmerkez V Durum 4 | 4                              | 0            | 96,72                                            | 100,00 |

Çaprazsız duruma göre X doğrultusundaki, plastik mafsalsal sayılarındaki azalmalar incelendiğinde,

- Merkez X çaprazlı modellerde Durum 1 ve Durum 2'de %86,89, Durum 3'te %81,97, Durum 4'te ise %83,61 oranında azalma gözlemlenmiştir.

- Merkez ters V çaprazlı modellerde ise, Durum 1 ve Durum 2’de %96,72 oranında azalırken, Durum 3 ve Durum 4’te %100 oranında azalma meydana gelmiştir (yani, herhangi bir plastik mafsall oluşmamıştır).
- Dışmerkez ters V çaprazlı modellerde ise Durum 1 ve Durum 2’de herhangi bir plastik mala oluşmazken, Durum 3 ve Durum 4’te plastik mafsall sayısında %96,72 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Çaprazsız yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Plastik mafsal sayıları |               |        |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|-------------------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                    | $\Delta$ (mm) | F (kN) | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                         |               |        | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                       | 0,000         | 0,0    | 918   | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 1                       | 63,000        | 600,6  | 918   | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 2                       | 126,000       | 1201,3 | 918   | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 3                       | 160,048       | 1525,9 | 916   | 2     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 4                       | 223,246       | 2035,8 | 888   | 30    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 5                       | 303,788       | 2456,7 | 864   | 54    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 6                       | 377,303       | 2698,2 | 842   | 76    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 7                       | 444,885       | 2847,2 | 826   | 92    | 0     | 0     | 0     | 910   | 8      | 0      | 0      | 918    |
| 8                       | 499,064       | 2892,0 | 810   | 108   | 0     | 0     | 0     | 902   | 16     | 0      | 0      | 918    |
| 9                       | 514,995       | 2899,5 | 804   | 114   | 0     | 0     | 0     | 896   | 22     | 0      | 0      | 918    |
| 10                      | 577,995       | 2914,4 | 800   | 118   | 0     | 0     | 0     | 882   | 36     | 0      | 0      | 918    |
| 11                      | 593,466       | 2915,6 | 796   | 122   | 0     | 0     | 0     | 878   | 40     | 0      | 0      | 918    |
| 12                      | 622,648       | 2970,9 | 796   | 122   | 0     | 0     | 0     | 878   | 40     | 0      | 0      | 918    |
| 13                      | 630,000       | 2975,7 | 796   | 122   | 0     | 0     | 0     | 878   | 40     | 0      | 0      | 918    |

Çaprazsız duruma göre Y doğrultusundaki, plastik mafsall sayılarındaki azalmalar incelendiğinde,

- Merkez X çaprazlı modellerde Durum 1’de %93,55, Durum 2’de %90,32, Durum 3’te %93,55 ve Durum 4’te %87,10 oranında plastik mafsall sayısı azalmıştır.
- Merkez ters V çaprazlı modellerde tüm durumlar için herhangi bir plastik mafsall oluşmamıştır.
- Dışmerkez ters V çaprazlı modellerde ise Durum 1 ve Durum 3’te %93,55 azalma meydana gelirken, Durum 2 ve Durum 4’te herhangi bir plastik mafsall meydana gelmemiştir.

Çizelge 4.10. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 36,400        | 1869,4 | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 48,835        | 2507,9 | 1130                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 88,306        | 4279,2 | 1106                   | 16    | 12    | 0     | 0     | 1126  | 8      | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 125,330       | 5782,0 | 1088                   | 22    | 24    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 161,332       | 6562,2 | 1052                   | 50    | 32    | 0     | 0     | 1102  | 32     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 190,306       | 6899,2 | 1040                   | 62    | 32    | 0     | 0     | 1086  | 48     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 228,540       | 7125,6 | 1026                   | 76    | 32    | 0     | 0     | 1081  | 53     | 0      | 0      | 1134   |
| 8    | 257,958       | 7262,5 | 1012                   | 90    | 32    | 0     | 0     | 1076  | 54     | 4      | 0      | 1134   |
| 9    | 292,397       | 7354,2 | 1002                   | 94    | 38    | 0     | 0     | 1063  | 63     | 8      | 0      | 1134   |
| 10   | 312,159       | 7386,1 | 994                    | 102   | 38    | 0     | 0     | 1056  | 62     | 8      | 8      | 1134   |
| 11   | 345,995       | 7409,1 | 986                    | 110   | 38    | 0     | 0     | 1049  | 69     | 8      | 8      | 1134   |
| 12   | 350,114       | 7410,1 | 985                    | 111   | 38    | 0     | 0     | 1049  | 69     | 8      | 8      | 1134   |
| 13   | 350,141       | 7411,1 | 985                    | 111   | 38    | 0     | 0     | 1049  | 69     | 8      | 8      | 1134   |
| 14   | 360,641       | 7458,1 | 981                    | 115   | 38    | 0     | 0     | 1046  | 72     | 8      | 8      | 1134   |
| 15   | 362,176       | 7462,6 | 981                    | 115   | 38    | 0     | 0     | 1046  | 72     | 8      | 8      | 1134   |
| 16   | 364,000       | 7464,6 | 981                    | 115   | 38    | 0     | 0     | 1046  | 72     | 8      | 8      | 1134   |

Çizelge 4.11. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 35,000        | 1890,9 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 46,953        | 2536,6 | 1202                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 84,602        | 4294,7 | 1178                   | 16    | 12    | 0     | 0     | 1196  | 10     | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 120,313       | 5790,8 | 1156                   | 26    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 122,090       | 5852,0 | 1148                   | 34    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 164,745       | 6688,3 | 1122                   | 54    | 30    | 0     | 0     | 1159  | 47     | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 183,779       | 6897,5 | 1112                   | 62    | 32    | 0     | 0     | 1158  | 48     | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 226,398       | 7128,7 | 1096                   | 78    | 32    | 0     | 0     | 1150  | 54     | 0      | 2      | 1206   |
| 9    | 249,094       | 7207,1 | 1084                   | 90    | 32    | 0     | 0     | 1147  | 50     | 7      | 2      | 1206   |
| 10   | 286,728       | 7281,5 | 1076                   | 97    | 33    | 0     | 0     | 1140  | 56     | 0      | 10     | 1206   |
| 11   | 305,613       | 7302,8 | 1071                   | 98    | 37    | 0     | 0     | 1127  | 61     | 8      | 10     | 1206   |
| 12   | 312,782       | 7306,6 | 1068                   | 101   | 36    | 1     | 0     | 1125  | 63     | 8      | 10     | 1206   |
| 13   | 312,782       | 7306,6 | 1068                   | 101   | 36    | 0     | 1     | 1125  | 63     | 8      | 10     | 1206   |
| 14   | 315,633       | 7308,1 | 1067                   | 102   | 35    | 1     | 1     | 1125  | 63     | 8      | 10     | 1206   |
| 15   | 315,633       | 7308,1 | 1067                   | 102   | 35    | 0     | 2     | 1125  | 63     | 8      | 10     | 1206   |
| 16   | 323,970       | 7313,5 | 1064                   | 105   | 35    | 0     | 2     | 1125  | 63     | 8      | 10     | 1206   |
| 17   | 330,614       | 7316,3 | 1061                   | 108   | 35    | 0     | 2     | 1123  | 65     | 8      | 10     | 1206   |
| 18   | 330,624       | 7316,7 | 1061                   | 108   | 35    | 0     | 2     | 1123  | 65     | 8      | 10     | 1206   |
| 19   | 338,015       | 7353,8 | 1056                   | 113   | 35    | 0     | 2     | 1121  | 67     | 8      | 10     | 1206   |
| 20   | 341,133       | 7362,7 | 1056                   | 112   | 36    | 0     | 2     | 1121  | 67     | 8      | 10     | 1206   |
| 21   | 343,852       | 7366,0 | 1055                   | 112   | 37    | 0     | 2     | 1121  | 67     | 8      | 10     | 1206   |

Çizelge 4.12. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 35,000        | 2194,9 | 1130                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 41,364        | 2579,2 | 1126                   | 8     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 82,046        | 4631,7 | 1096                   | 22    | 16    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 110,148       | 5808,9 | 1076                   | 30    | 28    | 0     | 0     | 1106  | 28     | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 137,103       | 6400,9 | 1048                   | 54    | 32    | 0     | 0     | 1102  | 32     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 158,374       | 6664,4 | 1038                   | 64    | 32    | 0     | 0     | 1084  | 50     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 202,406       | 6961,7 | 1032                   | 64    | 38    | 0     | 0     | 1082  | 52     | 0      | 0      | 1134   |
| 8    | 237,066       | 7160,4 | 1012                   | 84    | 38    | 0     | 0     | 1065  | 63     | 6      | 0      | 1134   |
| 9    | 265,826       | 7234,5 | 998                    | 92    | 44    | 0     | 0     | 1059  | 65     | 8      | 2      | 1134   |
| 10   | 290,925       | 7279,1 | 993                    | 94    | 47    | 0     | 0     | 1052  | 64     | 8      | 10     | 1134   |
| 11   | 300,941       | 7288,7 | 992                    | 95    | 47    | 0     | 0     | 1052  | 64     | 8      | 10     | 1134   |

Çizelge 4.13. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 23,600        | 1480,4 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 35,948        | 2254,9 | 1202                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 61,302        | 3637,8 | 1182                   | 20    | 4     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 94,835        | 5205,3 | 1164                   | 21    | 21    | 0     | 0     | 1187  | 19     | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 114,745       | 5910,7 | 1144                   | 37    | 25    | 0     | 0     | 1183  | 23     | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 137,713       | 6398,0 | 1120                   | 59    | 27    | 0     | 0     | 1181  | 25     | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 158,275       | 6647,1 | 1110                   | 68    | 28    | 0     | 0     | 1163  | 43     | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 185,573       | 6825,9 | 1104                   | 71    | 31    | 0     | 0     | 1160  | 43     | 3      | 0      | 1206   |
| 9    | 210,437       | 6984,6 | 1100                   | 73    | 33    | 0     | 0     | 1148  | 54     | 0      | 4      | 1206   |
| 10   | 236,000       | 7117,5 | 1086                   | 87    | 33    | 0     | 0     | 1147  | 50     | 5      | 4      | 1206   |

Çizelge 4.14. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 25,400        | 1412,8 | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 50,800        | 2825,9 | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 62,575        | 3480,8 | 1130                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 88,326        | 4457,6 | 1114                   | 4     | 16    | 0     | 0     | 1122  | 12     | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 115,447       | 5106,5 | 1104                   | 8     | 22    | 0     | 0     | 1114  | 20     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 133,913       | 5440,8 | 1086                   | 26    | 22    | 0     | 0     | 1112  | 22     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 159,410       | 5698,7 | 1078                   | 30    | 26    | 0     | 0     | 1112  | 22     | 0      | 0      | 1134   |
| 8    | 182,293       | 5842,8 | 1064                   | 40    | 30    | 0     | 0     | 1104  | 30     | 0      | 0      | 1134   |
| 9    | 218,889       | 5922,8 | 1058                   | 46    | 30    | 0     | 0     | 1100  | 28     | 6      | 0      | 1134   |
| 10   | 222,501       | 5930,7 | 1052                   | 52    | 30    | 0     | 0     | 1100  | 20     | 14     | 0      | 1134   |
| 11   | 246,852       | 5959,3 | 1044                   | 60    | 30    | 0     | 0     | 1094  | 22     | 16     | 2      | 1134   |
| 12   | 252,513       | 5961,4 | 1042                   | 62    | 30    | 0     | 0     | 1094  | 22     | 16     | 2      | 1134   |
| 13   | 254,000       | 5961,7 | 1040                   | 64    | 30    | 0     | 0     | 1094  | 22     | 16     | 2      | 1134   |

Çizelge 4.15. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |          |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |          | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0      | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1                      | 23,592        | 1368,8   | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2                      | 47,184        | 2737,9   | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3                      | 60,133        | 3489,2   | 1202  | 4     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4                      | 84,762        | 4449,0   | 1186  | 4     | 16    | 0     | 0     | 1194  | 12     | 0      | 0      | 1206   |
| 5                      | 111,192       | 5089,9   | 1176  | 6     | 24    | 0     | 0     | 1186  | 20     | 0      | 0      | 1206   |
| 6                      | 131,092       | 5459,8   | 1158  | 24    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 7                      | 154,949       | 5718,4   | 1150  | 27    | 29    | 0     | 0     | 1180  | 26     | 0      | 0      | 1206   |
| 8                      | 173,721       | 5850,7   | 1140  | 32    | 34    | 0     | 0     | 1176  | 30     | 0      | 0      | 1206   |
| 9                      | 204,545       | 5944,8   | 1128  | 44    | 34    | 0     | 0     | 1172  | 32     | 0      | 2      | 1206   |
| 10                     | 219,696       | 5977,2   | 1124  | 48    | 34    | 0     | 0     | 1169  | 23     | 12     | 2      | 1206   |
| 11                     | 227,758       | 5986,2   | 1122  | 50    | 34    | 0     | 0     | 1169  | 19     | 16     | 2      | 1206   |
| 12                     | 235,918       | 5991,9   | 1118  | 54    | 34    | 0     | 0     | 1167  | 21     | 15     | 3      | 1206   |

Çizelge 4.16. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |        |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |        | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0    | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1                      | 24,700        | 1625,9 | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2                      | 49,400        | 3252,2 | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3                      | 53,397        | 3515,3 | 1130  | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 4                      | 75,701        | 4470,9 | 1110  | 8     | 16    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 5                      | 106,828       | 5282,6 | 1098  | 14    | 22    | 0     | 0     | 1113  | 21     | 0      | 0      | 1134   |
| 6                      | 119,990       | 5518,7 | 1086  | 26    | 22    | 0     | 0     | 1112  | 22     | 0      | 0      | 1134   |
| 7                      | 156,111       | 5845,0 | 1076  | 29    | 29    | 0     | 0     | 1107  | 27     | 0      | 0      | 1134   |
| 8                      | 160,573       | 5873,3 | 1066  | 39    | 29    | 0     | 0     | 1105  | 29     | 0      | 0      | 1134   |
| 9                      | 191,004       | 5946,6 | 1056  | 49    | 29    | 0     | 0     | 1104  | 29     | 1      | 0      | 1134   |
| 10                     | 215,923       | 5981,7 | 1043  | 62    | 29    | 0     | 0     | 1095  | 29     | 10     | 0      | 1134   |
| 11                     | 236,331       | 5999,4 | 1039  | 66    | 29    | 0     | 0     | 1087  | 29     | 16     | 2      | 1134   |
| 12                     | 241,648       | 6002,4 | 1033  | 72    | 29    | 0     | 0     | 1087  | 29     | 16     | 2      | 1134   |
| 13                     | 247,000       | 6003,7 | 1029  | 76    | 29    | 0     | 0     | 1087  | 29     | 16     | 2      | 1134   |

- Yapının doğrusal olmayan davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılan statik itme analizleri kapsamında hem X hem de Y doğrultularında elde edilen yer değiştirme ( $\Delta$ ), taban kesme kuvveti ( $F$ ) ve plastik mafsalsayıları, kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.
- İlk olarak, çaprazsız yapı durumuna ait bulgular Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.22'de sırasıyla X ve Y doğrultuları için sunulmuştur.
- Ardından, farklı çapraz tiplerinin (Merkez X, Merkez Ters V ve Dışmerkez Ters V) çeşitli konumlandırmaları dikkate alınarak oluşturulan modeller için elde

edilen analiz sonuçları, Çizelge 4.10–4.21 (X doğrultusu) ve Çizelge 4.23–4.34 (Y doğrultusu) arasında detaylı biçimde verilmiştir.

- Söz konusu çizelgeler, çapraz durumlarının yatay dayanım kapasitesi, plastikleşme dağılımı ve genel rijitlik üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymakta; böylece, her bir çapraz türünün yapısal performansa katkısı sunulmaktadır.

Çizelge 4.17. Durum 4’e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |          |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |          | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0      | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1                      | 23,600        | 1553,8   | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2                      | 47,200        | 3107,8   | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3                      | 53,390        | 3515,4   | 1202  | 4     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4                      | 75,694        | 4471,1   | 1182  | 8     | 16    | 0     | 0     | 1190  | 16     | 0      | 0      | 1206   |
| 5                      | 106,274       | 5263,7   | 1172  | 12    | 22    | 0     | 0     | 1184  | 22     | 0      | 0      | 1206   |
| 6                      | 121,819       | 5537,3   | 1156  | 28    | 22    | 0     | 0     | 1184  | 22     | 0      | 0      | 1206   |
| 7                      | 146,192       | 5763,2   | 1150  | 29    | 27    | 0     | 0     | 1178  | 28     | 0      | 0      | 1206   |
| 8                      | 161,155       | 5861,7   | 1138  | 36    | 32    | 0     | 0     | 1174  | 32     | 0      | 0      | 1206   |
| 9                      | 162,744       | 5867,0   | 1136  | 38    | 32    | 0     | 0     | 1174  | 32     | 0      | 0      | 1206   |
| 10                     | 191,406       | 5923,2   | 1128  | 46    | 32    | 0     | 0     | 1174  | 30     | 1      | 1      | 1206   |
| 11                     | 220,264       | 5955,0   | 1114  | 60    | 32    | 0     | 0     | 1167  | 23     | 12     | 4      | 1206   |
| 12                     | 236,000       | 5964,0   | 1108  | 66    | 32    | 0     | 0     | 1159  | 27     | 16     | 4      | 1206   |

Çizelge 4.18. Durum 1’e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |          |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |          | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0      | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1                      | 24,700        | 1203,8   | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2                      | 49,400        | 2407,6   | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3                      | 74,100        | 3611,4   | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 4                      | 76,407        | 3723,8   | 1126  | 8     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 5                      | 103,856       | 4586,0   | 1110  | 8     | 16    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 6                      | 132,126       | 5170,1   | 1102  | 8     | 24    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 7                      | 157,346       | 5537,1   | 1084  | 26    | 24    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 8                      | 176,879       | 5688,7   | 1070  | 36    | 28    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 9                      | 186,569       | 5737,3   | 1066  | 40    | 28    | 0     | 0     | 1106  | 28     | 0      | 0      | 1134   |
| 10                     | 221,819       | 5835,5   | 1062  | 40    | 32    | 0     | 0     | 1100  | 34     | 0      | 0      | 1134   |
| 11                     | 235,462       | 5864,1   | 1056  | 46    | 32    | 0     | 0     | 1100  | 22     | 12     | 0      | 1134   |
| 12                     | 240,158       | 5868,3   | 1050  | 52    | 32    | 0     | 0     | 1100  | 22     | 12     | 0      | 1134   |
| 13                     | 247,000       | 5870,7   | 1046  | 56    | 32    | 0     | 0     | 1098  | 20     | 16     | 0      | 1134   |

Çizelge 4.19. Durum 2'ye göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

|      |               |        | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 23,200        | 1162,3 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 46,400        | 2324,6 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 69,600        | 3487,0 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 74,478        | 3731,3 | 1198                   | 8     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 100,712       | 4570,6 | 1182                   | 8     | 16    | 0     | 0     | 1190  | 16     | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 124,706       | 5082,4 | 1178                   | 4     | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 151,049       | 5496,6 | 1160                   | 22    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 169,206       | 5661,9 | 1146                   | 36    | 24    | 0     | 0     | 1180  | 26     | 0      | 0      | 1206   |
| 9    | 184,290       | 5744,9 | 1138                   | 40    | 28    | 0     | 0     | 1176  | 30     | 0      | 0      | 1206   |
| 10   | 224,937       | 5836,7 | 1134                   | 38    | 34    | 0     | 0     | 1172  | 29     | 5      | 0      | 1206   |
| 11   | 228,311       | 5843,2 | 1130                   | 42    | 34    | 0     | 0     | 1172  | 29     | 5      | 0      | 1206   |
| 12   | 232,000       | 5845,6 | 1126                   | 46    | 34    | 0     | 0     | 1172  | 20     | 14     | 0      | 1206   |

Çizelge 4.20. Durum 3'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

|      |               |        | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 24,400        | 1316,3 | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 48,800        | 2632,5 | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 67,764        | 3655,5 | 1130                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 96,659        | 4592,8 | 1108                   | 10    | 16    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 127,498       | 5266,3 | 1096                   | 14    | 24    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 147,495       | 5572,3 | 1082                   | 28    | 24    | 0     | 0     | 1110  | 24     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 174,744       | 5760,3 | 1068                   | 34    | 32    | 0     | 0     | 1102  | 32     | 0      | 0      | 1134   |
| 8    | 199,209       | 5851,3 | 1058                   | 44    | 32    | 0     | 0     | 1100  | 34     | 0      | 0      | 1134   |
| 9    | 228,122       | 5906,2 | 1044                   | 58    | 32    | 0     | 0     | 1098  | 32     | 4      | 0      | 1134   |
| 10   | 239,127       | 5919,8 | 1032                   | 70    | 32    | 0     | 0     | 1098  | 24     | 12     | 0      | 1134   |
| 11   | 244,000       | 5923,4 | 1028                   | 74    | 32    | 0     | 0     | 1096  | 24     | 14     | 0      | 1134   |

Çizelge 4.21. Durum 4'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (X doğrultusu)

|      |               |        | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0    | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 24,200        | 1305,6 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 48,400        | 2611,3 | 1206                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 67,758        | 3655,7 | 1202                   | 4     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 96,642        | 4592,7 | 1180                   | 10    | 16    | 0     | 0     | 1190  | 16     | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 127,492       | 5266,5 | 1168                   | 14    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 147,481       | 5572,4 | 1154                   | 28    | 24    | 0     | 0     | 1182  | 24     | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 174,735       | 5760,4 | 1140                   | 34    | 32    | 0     | 0     | 1172  | 34     | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 199,373       | 5850,4 | 1128                   | 45    | 33    | 0     | 0     | 1172  | 34     | 0      | 0      | 1206   |
| 9    | 210,811       | 5870,8 | 1126                   | 46    | 34    | 0     | 0     | 1172  | 34     | 0      | 0      | 1206   |
| 10   | 235,505       | 5897,1 | 1108                   | 64    | 34    | 0     | 0     | 1166  | 32     | 8      | 0      | 1206   |
| 11   | 238,579       | 5899,0 | 1106                   | 66    | 34    | 0     | 0     | 1163  | 31     | 12     | 0      | 1206   |
| 12   | 242,000       | 5899,7 | 1102                   | 70    | 34    | 0     | 0     | 1163  | 30     | 13     | 0      | 1206   |

Çizelge 4.22. Çaprazsız yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | Δ(mm)   | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        | Toplam |
|------|---------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |         |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den |        |
|      |         |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000   | 0,0    | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 1    | 52,480  | 223,7  | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 2    | 104,960 | 447,5  | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 3    | 157,440 | 671,2  | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 4    | 209,920 | 895,0  | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 5    | 262,400 | 1118,7 | 918                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 6    | 288,697 | 1230,8 | 916                    | 2     | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 7    | 347,577 | 1415,5 | 902                    | 16    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 8    | 361,859 | 1449,6 | 888                    | 30    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 9    | 425,584 | 1518,9 | 878                    | 40    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 10   | 459,176 | 1544,3 | 868                    | 50    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 11   | 484,474 | 1554,4 | 860                    | 58    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 12   | 501,450 | 1557,1 | 858                    | 60    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |
| 13   | 524,800 | 1558,2 | 856                    | 62    | 0     | 0     | 0     | 918   | 0      | 0      | 0      | 918    |

Çizelge 4.23. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | Δ(mm)   | F(kN)  | Plastik mafsalsayıları |       |       |       |       |       |        |        |        | Toplam |
|------|---------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |         |        | A'dan                  | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den |        |
|      |         |        | B'ye                   | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000   | 0,0    | 1134                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 32,086  | 925,1  | 1126                   | 8     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 77,064  | 1921,2 | 1114                   | 4     | 16    | 0     | 0     | 1120  | 14     | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 117,138 | 2729,3 | 1102                   | 12    | 20    | 0     | 0     | 1114  | 20     | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 137,173 | 3030,9 | 1092                   | 20    | 22    | 0     | 0     | 1114  | 20     | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 180,012 | 3393,4 | 1088                   | 24    | 22    | 0     | 0     | 1108  | 26     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 217,512 | 3642,4 | 1088                   | 24    | 22    | 0     | 0     | 1100  | 34     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 260,142 | 3872,5 | 1074                   | 38    | 22    | 0     | 0     | 1100  | 30     | 4      | 0      | 1134   |
| 8    | 281,248 | 3944,7 | 1060                   | 52    | 22    | 0     | 0     | 1096  | 30     | 8      | 0      | 1134   |
| 9    | 300,335 | 3979,0 | 1048                   | 64    | 22    | 0     | 0     | 1096  | 26     | 8      | 4      | 1134   |
| 10   | 312,492 | 3992,1 | 1042                   | 70    | 22    | 0     | 0     | 1096  | 26     | 8      | 4      | 1134   |
| 11   | 350,674 | 4013,9 | 1036                   | 76    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |
| 12   | 360,063 | 4016,4 | 1034                   | 78    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |
| 13   | 371,191 | 4017,7 | 1030                   | 82    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |
| 14   | 371,221 | 4018,0 | 1030                   | 82    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |
| 15   | 374,794 | 4019,2 | 1030                   | 82    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |
| 16   | 375,000 | 4020,2 | 1030                   | 82    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 0      | 12     | 1134   |

Analiz sonuçları, çaprazsız sistemde erken plastikleşmenin başladığını ve toplam 122 plastik mafsalsayı oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, sistemin süneklik kapasitesinin sınırlı olduğunu ve göçme sınırına daha erken ulaştığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, özellikle ters V ve dışmerkez ters V çaprazlı modellerde plastik mafsalsayılarında %96 ila %100 oranında azalma sağlanmıştır. Bu azalma, söz konusu sistemlerde plastikleşmenin geciktiğini ve daha yüksek süneklikle birlikte daha güvenli bir deformasyon kapasitesine ulaşıldığını göstermektedir. Dolayısıyla, çapraz elemanlar

yalnızca yatay taşıma kapasitesini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda yapının göçme öncesi davranışını da önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Çizelge 4.24. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |        |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | F(kN)  | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |        | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0    | 1206  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1                      | 28,400        | 1567,4 | 1204  | 2     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2                      | 29,624        | 1633,0 | 1200  | 6     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3                      | 72,943        | 3430,6 | 1166  | 21    | 19    | 0     | 0     | 1187  | 19     | 0      | 0      | 1206   |
| 4                      | 110,873       | 4822,0 | 1154  | 17    | 35    | 0     | 0     | 1171  | 35     | 0      | 0      | 1206   |
| 5                      | 122,912       | 5160,2 | 1134  | 37    | 35    | 0     | 0     | 1171  | 35     | 0      | 0      | 1206   |
| 6                      | 142,477       | 5454,9 | 1124  | 43    | 39    | 0     | 0     | 1167  | 39     | 0      | 0      | 1206   |
| 7                      | 185,821       | 5850,7 | 1122  | 41    | 43    | 0     | 0     | 1147  | 56     | 0      | 3      | 1206   |
| 8                      | 215,784       | 6085,4 | 1108  | 55    | 43    | 0     | 0     | 1139  | 62     | 2      | 3      | 1206   |
| 9                      | 227,579       | 6131,8 | 1094  | 69    | 43    | 0     | 0     | 1137  | 54     | 10     | 5      | 1206   |
| 10                     | 248,642       | 6182,8 | 1088  | 73    | 45    | 0     | 0     | 1137  | 54     | 10     | 5      | 1206   |
| 11                     | 264,714       | 6204,0 | 1082  | 79    | 45    | 0     | 0     | 1135  | 54     | 2      | 15     | 1206   |
| 12                     | 271,408       | 6208,3 | 1080  | 81    | 45    | 0     | 0     | 1135  | 54     | 0      | 17     | 1206   |
| 13                     | 279,501       | 6210,6 | 1078  | 83    | 45    | 0     | 0     | 1134  | 55     | 0      | 17     | 1206   |

Çizelge 4.25. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Plastik mafsalsayıları |               |          |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Adım                   | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | A'dan | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|                        |               |          | B'ye  | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0                      | 0,000         | 0,0      | 1134  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1                      | 32,137        | 925,6    | 1126  | 8     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2                      | 77,116        | 1920,8   | 1114  | 4     | 16    | 0     | 0     | 1120  | 14     | 0      | 0      | 1134   |
| 3                      | 117,255       | 2729,3   | 1102  | 12    | 20    | 0     | 0     | 1114  | 20     | 0      | 0      | 1134   |
| 4                      | 137,315       | 3030,9   | 1092  | 20    | 22    | 0     | 0     | 1114  | 20     | 0      | 0      | 1134   |
| 5                      | 174,115       | 3342,4   | 1092  | 20    | 22    | 0     | 0     | 1108  | 26     | 0      | 0      | 1134   |
| 6                      | 216,913       | 3636,7   | 1088  | 24    | 22    | 0     | 0     | 1100  | 34     | 0      | 0      | 1134   |
| 7                      | 260,247       | 3871,9   | 1074  | 38    | 22    | 0     | 0     | 1100  | 30     | 4      | 0      | 1134   |
| 8                      | 283,030       | 3950,5   | 1058  | 54    | 22    | 0     | 0     | 1096  | 30     | 8      | 0      | 1134   |
| 9                      | 307,326       | 3988,2   | 1046  | 66    | 22    | 0     | 0     | 1095  | 27     | 8      | 4      | 1134   |
| 10                     | 334,676       | 4008,3   | 1040  | 72    | 22    | 0     | 0     | 1094  | 28     | 8      | 4      | 1134   |
| 11                     | 347,748       | 4014,5   | 1036  | 76    | 22    | 0     | 0     | 1093  | 29     | 0      | 12     | 1134   |
| 12                     | 362,487       | 4017,8   | 1034  | 78    | 22    | 0     | 0     | 1092  | 30     | 0      | 12     | 1134   |
| 13                     | 367,686       | 4018,5   | 1030  | 81    | 23    | 0     | 0     | 1092  | 30     | 0      | 12     | 1134   |
| 14                     | 368,000       | 4019,4   | 1029  | 82    | 23    | 0     | 0     | 1092  | 30     | 0      | 12     | 1134   |

Çizelge 4.26. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez X çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 | Toplam |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 1    | 26,590        | 1374,0   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 2    | 31,652        | 1635,5   | 1198                   | 8             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 3    | 78,445        | 3481,7   | 1162                   | 25            | 19            | 0             | 0              | 1187           | 19              | 0               | 0               | 1206   |
| 4    | 107,897       | 4518,2   | 1154                   | 19            | 33            | 0             | 0              | 1175           | 31              | 0               | 0               | 1206   |
| 5    | 128,579       | 5148,1   | 1138                   | 35            | 33            | 0             | 0              | 1173           | 33              | 0               | 0               | 1206   |
| 6    | 149,892       | 5448,7   | 1122                   | 47            | 37            | 0             | 0              | 1169           | 37              | 0               | 0               | 1206   |
| 7    | 176,482       | 5685,0   | 1122                   | 47            | 37            | 0             | 0              | 1159           | 43              | 2               | 2               | 1206   |
| 8    | 216,701       | 5991,9   | 1114                   | 51            | 41            | 0             | 0              | 1141           | 59              | 2               | 4               | 1206   |
| 9    | 234,302       | 6071,4   | 1094                   | 71            | 41            | 0             | 0              | 1139           | 53              | 10              | 4               | 1206   |
| 10   | 264,911       | 6138,5   | 1082                   | 81            | 43            | 0             | 0              | 1136           | 54              | 6               | 10              | 1206   |
| 11   | 265,900       | 6139,2   | 1080                   | 82            | 44            | 0             | 0              | 1136           | 54              | 6               | 10              | 1206   |

Çizelge 4.27. Durum 1'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 | Toplam |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 1    | 26,700        | 830,5    | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 2    | 53,400        | 1661,2   | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 3    | 63,880        | 1987,1   | 1126                   | 8             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 4    | 93,980        | 2474,1   | 1122                   | 0             | 12            | 0             | 0              | 1126           | 8               | 0               | 0               | 1134   |
| 5    | 128,437       | 2855,2   | 1116                   | 2             | 16            | 0             | 0              | 1122           | 12              | 0               | 0               | 1134   |
| 6    | 157,991       | 3088,4   | 1108                   | 10            | 16            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 7    | 197,667       | 3292,0   | 1106                   | 12            | 16            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 8    | 232,549       | 3415,6   | 1096                   | 18            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 16              | 4               | 0               | 1134   |
| 9    | 251,356       | 3460,2   | 1088                   | 26            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |
| 10   | 263,612       | 3472,1   | 1082                   | 32            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |
| 11   | 267,000       | 3472,3   | 1080                   | 34            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |

Çizelge 4.28. Durum 2'ye göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 | Toplam |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 1    | 19,111        | 1135,2   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 2    | 38,222        | 2270,5   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 3    | 57,332        | 3405,7   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 4    | 58,470        | 3473,2   | 1198                   | 8             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 5    | 82,898        | 4266,2   | 1182                   | 8             | 16            | 0             | 0              | 1190           | 16              | 0               | 0               | 1206   |
| 6    | 109,623       | 4762,4   | 1180                   | 2             | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 7    | 127,543       | 5020,2   | 1164                   | 18            | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 8    | 149,540       | 5139,0   | 1162                   | 20            | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 9    | 177,469       | 5276,6   | 1158                   | 16            | 32            | 0             | 0              | 1174           | 32              | 0               | 0               | 1206   |
| 10   | 185,471       | 5301,1   | 1154                   | 20            | 32            | 0             | 0              | 1174           | 32              | 0               | 0               | 1206   |
| 11   | 189,766       | 5306,5   | 1150                   | 24            | 32            | 0             | 0              | 1174           | 24              | 8               | 0               | 1206   |
| 12   | 191,108       | 5307,4   | 1148                   | 26            | 32            | 0             | 0              | 1174           | 24              | 8               | 0               | 1206   |

Çizelge 4.29. Durum 3'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 |        |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi | Toplam |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 1    | 26,500        | 823,6    | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 2    | 53,000        | 1647,3   | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 3    | 63,926        | 1986,9   | 1126                   | 8             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 4    | 94,040        | 2473,7   | 1122                   | 0             | 12            | 0             | 0              | 1126           | 8               | 0               | 0               | 1134   |
| 5    | 128,452       | 2853,9   | 1116                   | 2             | 16            | 0             | 0              | 1122           | 12              | 0               | 0               | 1134   |
| 6    | 157,870       | 3086,3   | 1108                   | 10            | 16            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 7    | 197,568       | 3290,0   | 1106                   | 12            | 16            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 8    | 220,979       | 3384,5   | 1098                   | 16            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 16              | 4               | 0               | 1134   |
| 9    | 251,827       | 3460,9   | 1092                   | 22            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |
| 10   | 255,531       | 3466,8   | 1088                   | 26            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |
| 11   | 265,000       | 3475,7   | 1080                   | 34            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 12              | 4               | 4               | 1134   |

Çizelge 4.30. Durum 4'e göre konumlandırılmış merkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 |        |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi | Toplam |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 1    | 19,900        | 1119,7   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 2    | 39,800        | 2239,4   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 3    | 59,700        | 3359,1   | 1206                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 4    | 61,846        | 3479,9   | 1198                   | 8             | 0             | 0             | 0              | 1206           | 0               | 0               | 0               | 1206   |
| 5    | 85,343        | 4233,1   | 1186                   | 4             | 16            | 0             | 0              | 1190           | 16              | 0               | 0               | 1206   |
| 6    | 106,418       | 4641,9   | 1182                   | 0             | 24            | 0             | 0              | 1186           | 20              | 0               | 0               | 1206   |
| 7    | 130,284       | 5000,1   | 1166                   | 16            | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 8    | 135,747       | 5046,0   | 1162                   | 20            | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 9    | 155,647       | 5145,7   | 1162                   | 20            | 24            | 0             | 0              | 1182           | 24              | 0               | 0               | 1206   |
| 10   | 177,920       | 5251,3   | 1160                   | 16            | 30            | 0             | 0              | 1176           | 30              | 0               | 0               | 1206   |
| 11   | 181,099       | 5263,1   | 1156                   | 20            | 30            | 0             | 0              | 1176           | 30              | 0               | 0               | 1206   |
| 12   | 191,416       | 5279,0   | 1150                   | 26            | 30            | 0             | 0              | 1176           | 30              | 0               | 0               | 1206   |
| 13   | 199,000       | 5281,8   | 1147                   | 29            | 30            | 0             | 0              | 1176           | 14              | 16              | 0               | 1206   |

Çizelge 4.31. Durum 1'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalsayıları |               |               |               |                |                |                 |                 |                 |        |
|------|---------------|----------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|      |               |          | A'dan<br>B'ye          | B'den<br>C'ye | C'den<br>D'ye | D'den<br>E'ye | E'nin<br>Ötesi | A'dan<br>SH'ye | SH'den<br>KH'ye | KH'den<br>GÖ'ye | GÖ'den<br>Ötesi | Toplam |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 1    | 26,800        | 708,4    | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 2    | 53,600        | 1416,9   | 1134                   | 0             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 3    | 75,753        | 2002,4   | 1130                   | 4             | 0             | 0             | 0              | 1134           | 0               | 0               | 0               | 1134   |
| 4    | 107,656       | 2493,4   | 1122                   | 0             | 12            | 0             | 0              | 1126           | 8               | 0               | 0               | 1134   |
| 5    | 143,241       | 2842,3   | 1118                   | 0             | 16            | 0             | 0              | 1122           | 12              | 0               | 0               | 1134   |
| 6    | 196,261       | 3220,7   | 1110                   | 8             | 16            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 7    | 214,316       | 3309,1   | 1104                   | 10            | 20            | 0             | 0              | 1118           | 16              | 0               | 0               | 1134   |
| 8    | 250,073       | 3388,3   | 1096                   | 18            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 16              | 4               | 0               | 1134   |
| 9    | 264,285       | 3409,7   | 1090                   | 24            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 16              | 4               | 0               | 1134   |
| 10   | 268,000       | 3412,3   | 1086                   | 28            | 20            | 0             | 0              | 1114           | 16              | 4               | 0               | 1134   |

Çizelge 4.32. Durum 2'ye göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |          | A'dan              | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |          | B'ye               | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 11,500        | 561,6    | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 23,000        | 1123,2   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 34,500        | 1684,8   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 46,000        | 2246,4   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 57,500        | 2807,9   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 69,000        | 3369,5   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 74,676        | 3646,7   | 1198               | 8     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 87,981        | 4038,7   | 1190               | 16    | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 9    | 107,424       | 4377,7   | 1182               | 10    | 14    | 0     | 0     | 1193  | 13     | 0      | 0      | 1206   |
| 10   | 115,000       | 4490,2   | 1182               | 10    | 14    | 0     | 0     | 1193  | 13     | 0      | 0      | 1206   |

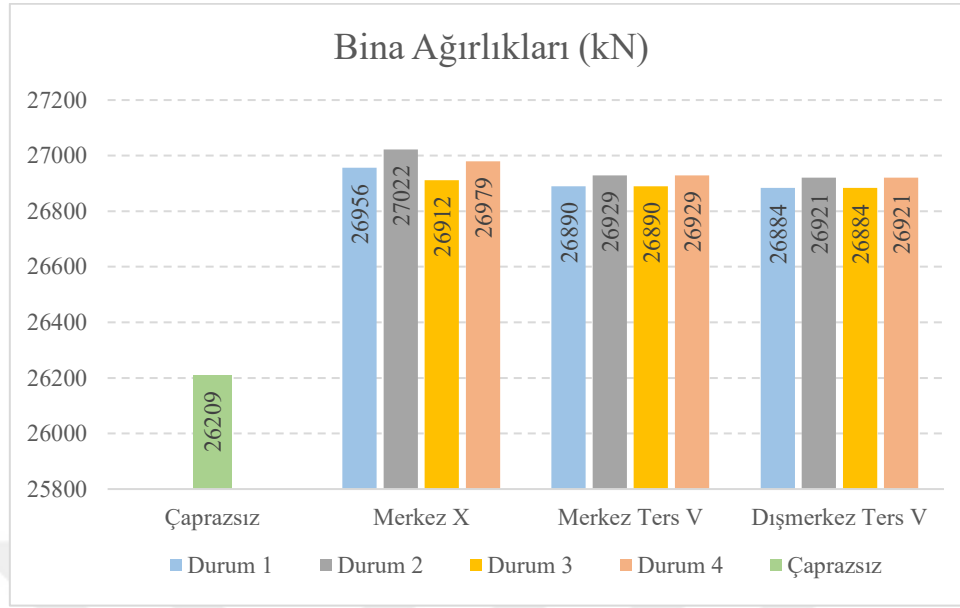
Çizelge 4.33. Durum 3'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |          | A'dan              | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |          | B'ye               | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1134               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 1    | 27,070        | 715,0    | 1134               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 2    | 54,140        | 1430,0   | 1134               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 3    | 75,797        | 2002,0   | 1130               | 4     | 0     | 0     | 0     | 1134  | 0      | 0      | 0      | 1134   |
| 4    | 107,701       | 2492,7   | 1122               | 0     | 12    | 0     | 0     | 1126  | 8      | 0      | 0      | 1134   |
| 5    | 143,259       | 2841,0   | 1118               | 0     | 16    | 0     | 0     | 1122  | 12     | 0      | 0      | 1134   |
| 6    | 196,634       | 3221,5   | 1110               | 8     | 16    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 7    | 214,320       | 3308,2   | 1104               | 10    | 20    | 0     | 0     | 1118  | 16     | 0      | 0      | 1134   |
| 8    | 250,262       | 3387,3   | 1096               | 18    | 20    | 0     | 0     | 1114  | 16     | 4      | 0      | 1134   |
| 9    | 266,936       | 3411,9   | 1090               | 24    | 20    | 0     | 0     | 1114  | 16     | 4      | 0      | 1134   |
| 10   | 270,700       | 3415,0   | 1084               | 30    | 20    | 0     | 0     | 1114  | 12     | 8      | 0      | 1134   |

Çizelge 4.34. Durum 4'e göre konumlandırılmış dışmerkez ters V çapraz tipine sahip yapının statik itme analiz sonuçları (Y doğrultusu)

| Adım | $\Delta$ (mm) | $F$ (kN) | Plastik mafsalları |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|------|---------------|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|      |               |          | A'dan              | B'den | C'den | D'den | E'nin | A'dan | SH'den | KH'den | GÖ'den | Toplam |
|      |               |          | B'ye               | C'ye  | D'ye  | E'ye  | Ötesi | SH'ye | KH'ye  | GÖ'ye  | Ötesi  |        |
| 0    | 0,000         | 0,0      | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 1    | 15,500        | 729,7    | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 2    | 31,000        | 1459,5   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 3    | 46,500        | 2189,3   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 4    | 62,000        | 2919,1   | 1206               | 0     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 5    | 77,470        | 3647,4   | 1198               | 8     | 0     | 0     | 0     | 1206  | 0      | 0      | 0      | 1206   |
| 6    | 93,555        | 4078,2   | 1190               | 2     | 14    | 0     | 0     | 1193  | 13     | 0      | 0      | 1206   |
| 7    | 115,867       | 4432,3   | 1182               | 10    | 14    | 0     | 0     | 1192  | 14     | 0      | 0      | 1206   |
| 8    | 134,891       | 4679,4   | 1180               | 4     | 22    | 0     | 0     | 1184  | 22     | 0      | 0      | 1206   |
| 9    | 150,692       | 4852,0   | 1168               | 16    | 22    | 0     | 0     | 1184  | 20     | 2      | 0      | 1206   |
| 10   | 154,289       | 4875,9   | 1166               | 18    | 22    | 0     | 0     | 1184  | 20     | 2      | 0      | 1206   |
| 11   | 155,000       | 4878,4   | 1166               | 18    | 22    | 0     | 0     | 1184  | 20     | 2      | 0      | 1206   |

#### 4.2.2. Yapı ağırlığı



Şekil 4.24. Modellerin ağırlık karşılaştırması

Tüm modellerin artış yüzdeleri çizelge 4.35’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Modellerin ağırlıklarının çaprazsız duruma göre artış yüzdeleri

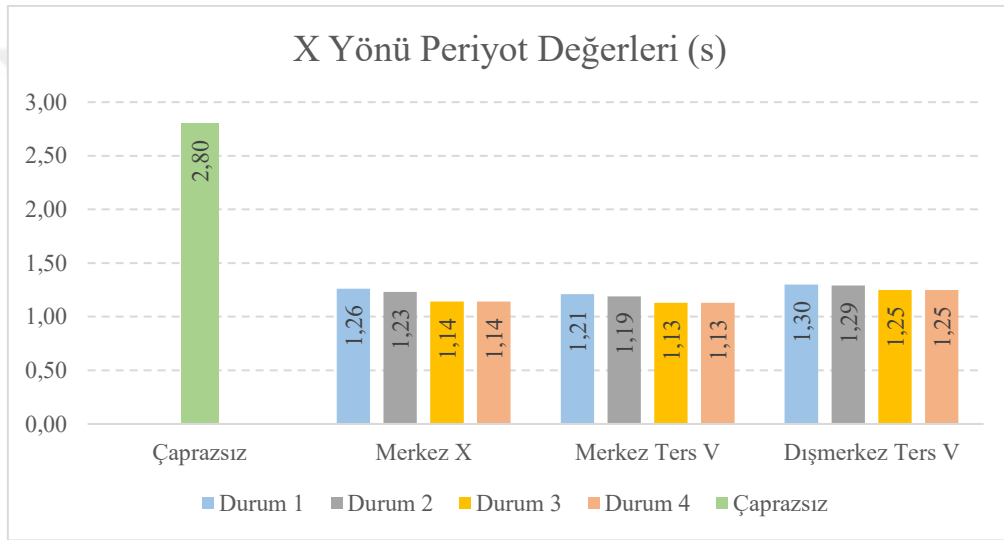
| Model isimleri      | Bina ağırlıkları | Çaprazsız duruma göre artış yüzdeleri |
|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| Çaprazsız           | 26209            | -                                     |
| Merkez X durum 1    | 26956            | 2,85                                  |
| Merkez X durum 2    | 27022            | 3,10                                  |
| Merkez X durum 3    | 26912            | 2,68                                  |
| Merkez X durum 4    | 26979            | 2,94                                  |
| Ters V durum 1      | 26890            | 2,60                                  |
| Ters V durum 2      | 26929            | 2,75                                  |
| Ters V durum 3      | 26890            | 2,60                                  |
| Ters V durum 4      | 26929            | 2,75                                  |
| Dışmerkez V durum 1 | 26884            | 2,58                                  |
| Dışmerkez V durum 2 | 26921            | 2,72                                  |
| Dışmerkez V durum 3 | 26884            | 2,58                                  |
| Dışmerkez V durum 4 | 26921            | 2,72                                  |

Şekil 4.24’e göre, merkez X çaprazlı sistemler, merkez ters V ve dışmerkez ters V çaprazlı sistemlere göre daha ağırdır. Çelik çaprazlı modeller içinde en yüksek yapı ağırlığına sahip olan, merkez X çaprazlı Durum 2 modelidir. Bu modelin ağırlığı, çaprazsız duruma kıyasla %3,10 daha fazladır. En düşük yapı ağırlığı ise dışmerkez ters V çaprazlı Durum 1 ve Durum 3 modelidir ve bu modelin ağırlığı, çaprazsız duruma

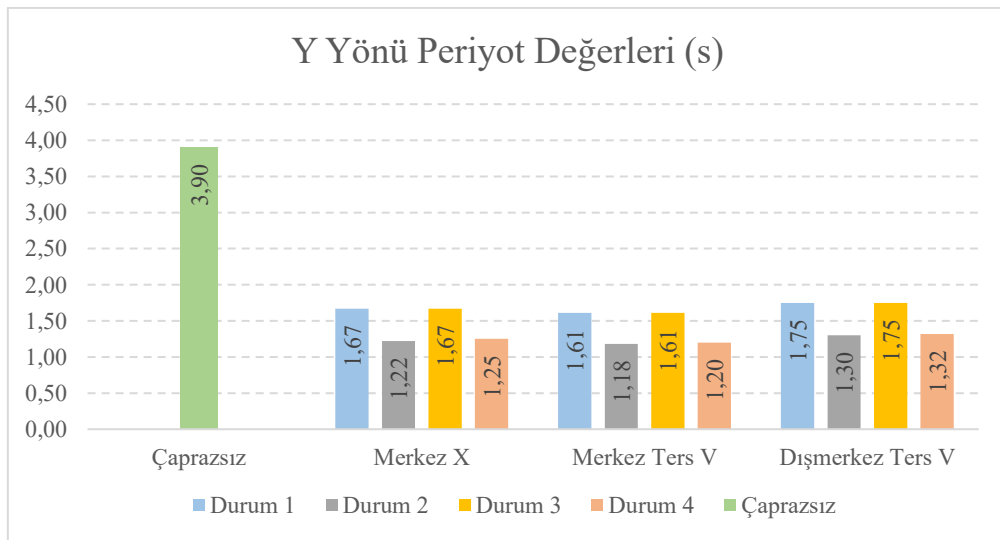
kıyasla %2,58 daha fazladır. Ayrıca, merkez ters V çaprazlı sistemler ile dışmerkez ters V çaprazlı sistemlerin ağırlıklarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

#### 4.2.3. Periyot değeri

Şekil 4.25'teki analiz sonuçlarına göre, dışmerkez ters V çaprazlı Durum 1 modeli, %53,57 oranı ile X doğrultusunda en yüksek periyot değerine sahiptir. Buna karşılık, merkez ters V çaprazlı Durum 3 ve Durum 4 modelleri, %59,64 azalma oranı ile X doğrultusunda en düşük periyot değerlerine sahip sistemlerdir. Merkez ters V çaprazlı modellerin, merkez X ve dışmerkez ters V çaprazlı modellere kıyasla daha düşük periyot değerlerine sahip olması, bu sistemlerin daha rijit olduğunu göstermektedir.



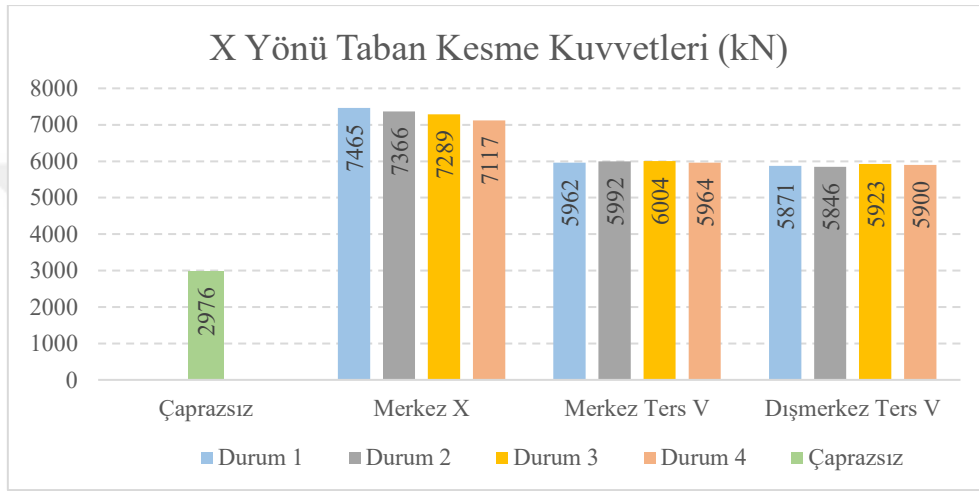
Şekil 4.25. Modellerin X doğrultusundaki periyot değerleri



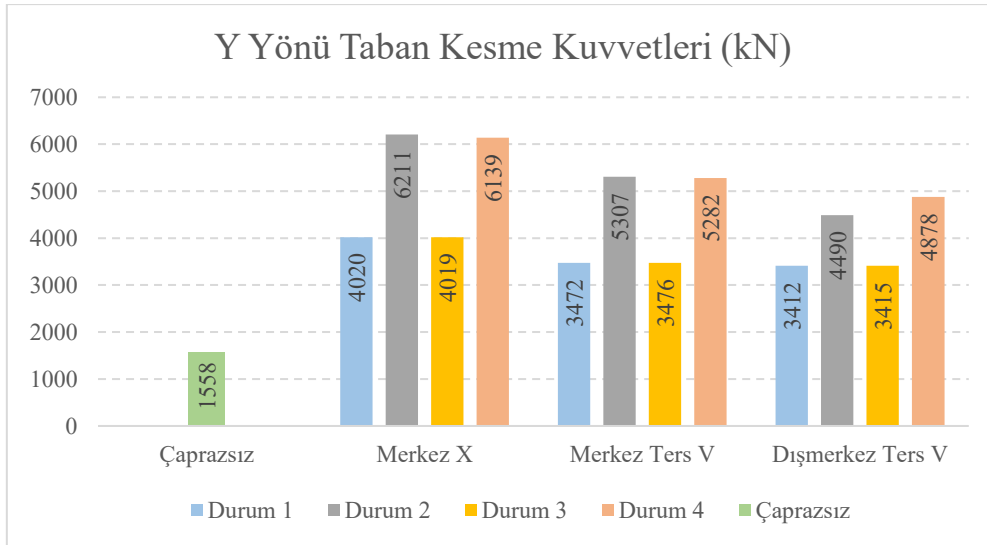
Şekil 4.26. Modellerin Y doğrultusundaki periyot değerleri

Şekil 4.26'daki analiz sonuçlarına göre, dışmerkez ters V çaprazlı Durum 1 ve Durum 3 modelleri, %55,13 azalma oranı ile Y doğrultusunda en yüksek periyot değerine sahiptir. Merkez ters V çaprazlı Durum 2 modeli ise %69,7 azalma oranıyla Y doğrultusunda en düşük periyot değerine sahip modeldir. Merkez ters V çaprazlı modellerin periyot değerlerinin, merkez X ve dışmerkez ters V çaprazlı modellere göre daha düşük olması, bu sistemlerin daha rijit olduğunu göstermektedir.

#### 4.2.4. Taban kesme kuvveti



Şekil 4.27. Modellerin X doğrultusundaki kesme kuvvetleri



Şekil 4.28. Modellerin Y doğrultusundaki kesme kuvvetleri

Bu bölümde, farklı çapraz sistemlerin çelik yapıların yatay taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan doğrusal olmayan statik analiz sonuçları sunulmaktadır. X ve Y doğrultularındaki taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılarak,

çeşitli çapraz türleri ve yerleşim senaryolarının, referans (çaprazsız) modele kıyasla yapısal performansta ne derece iyileşme sağladığı analiz edilmiştir.

Şekil 4.27’deki analiz sonuçlarına göre, çaprazsız modele kıyasla X doğrultusunda,

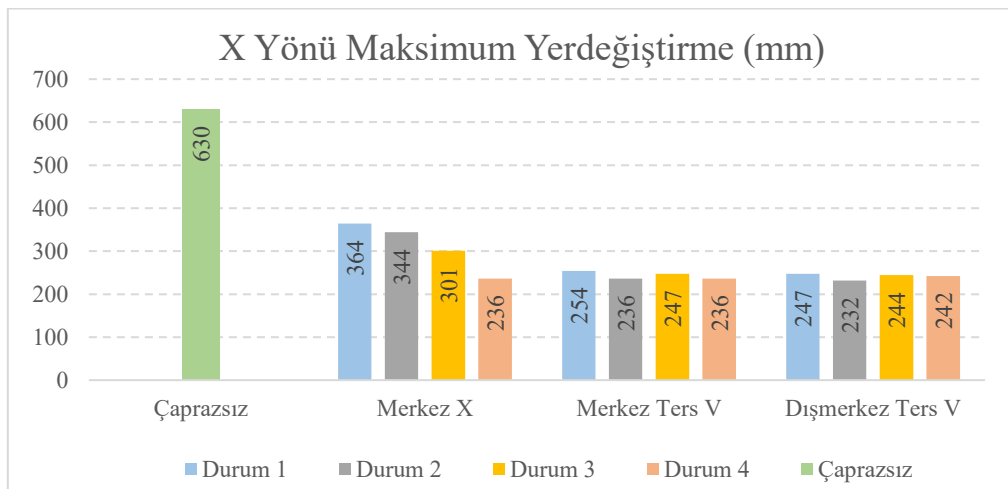
- En yüksek taban kesme kuvveti, %150,84 daha fazla taşıma kuvveti ile merkez X çelik çaprazlı Durum 1 modelde görülmektedir.
- En düşük taban kesme kuvveti ise %96,43 daha fazla taşıma kuvveti ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı Durum 2 bina modelinde elde edilmiştir.

Şekil 4.28’deki analiz sonuçlarına göre, çaprazsız modele kıyasla Y doğrultusunda,

- En yüksek taban kesme kuvveti, %298,70 daha fazla taşıma kuvveti ile merkez X çelik çaprazlı Durum 2 modelde görülmektedir.
- En düşük taban kesme kuvveti ise %118,99 daha fazla taşıma kuvveti ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı Durum 1 bina modelinde tespit edilmiştir.

#### 4.2.5. Maksimum yer değiştirme

Şekil 4.29’da 13 bina modeli için X doğrultusu yerdeğiştirme değerleri görülmektedir. Referans çaprazsız modelde 630 mm değerinde olan maksimum yerdeğiştirme değerine göre çaprazlı binaların X doğrultusu yer değiştirmelerinin azalma yüzdeleri çizelge 4.36’te gösterilmiştir.



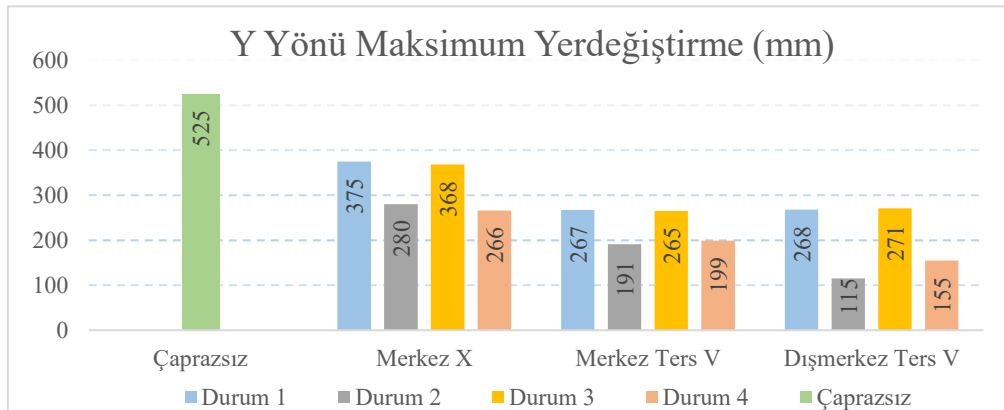
Şekil 4.29. Modellerin X doğrultusundaki maksimum yer değiştirmeleri

Çaprazsız modelle kıyaslandığında en yüksek azalma %63,17 ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı durum 2 modelinde tespit edilmiştir. En düşük azalma ise %42,22 ile merkez X çelik çaprazlı modelin durum 1’inde görülmektedir. Merkez X çaprazlı sistemlerden durum 1 modeli, merkez ters V çaprazlı sistemlerden durum 1 modeline göre %30,2 ve dışmerkez ters V çaprazlı sistemlerden durum 1 modeline kıyasla %32,1 oranında daha fazla yerdeğiştirme meydana gelmiştir.

Çizelge 4.36. Modellerin çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri (X doğrultusu)

| Model isimleri      | Maksimum yer değiştirme | Çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri |
|---------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Çaprazsız           | 630                     | -                                      |
| Merkez X Durum 1    | 364                     | 42,22                                  |
| Merkez X Durum 2    | 344                     | 45,40                                  |
| Merkez X Durum 3    | 301                     | 52,22                                  |
| Merkez X Durum 4    | 236                     | 62,54                                  |
| Ters V Durum 1      | 254                     | 59,68                                  |
| Ters V Durum 2      | 236                     | 62,54                                  |
| Ters V Durum 3      | 247                     | 60,79                                  |
| Ters V Durum 4      | 236                     | 62,54                                  |
| Dışmerkez V Durum 1 | 247                     | 60,79                                  |
| Dışmerkez V Durum 2 | 232                     | 63,17                                  |
| Dışmerkez V Durum 3 | 244                     | 61,27                                  |
| Dışmerkez V Durum 4 | 242                     | 61,59                                  |

Şekil 4.30’da 13 bina modeli için Y doğrultusu yerdeğiştirme değerleri görülmektedir. Referans çaprazsız modelde 525 mm değerinde olan maksimum yerdeğiştirme değerine göre çaprazlı binaların Y doğrultusu yer değiştirmelerinin azalma yüzdeleri çizelge 4.37’te gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Modellerin Y doğrultusundaki maksimum yer değiştirmeleri

Çaprazsız modelle kıyaslandığında en yüksek azalma %78,10 ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı Durum 2 modelinde tespit edilmiştir. En düşük azalma ise %28,57 ile merkez X çelik çaprazlı modelin Durum 1’inde görülmektedir. Merkez X çaprazlı sistemlerden Durum 1 modeli, merkez ters V çaprazlı sistemlerden Durum 1 modeline göre %28,8 ve dışmerkez ters V çaprazlı sistemlerden Durum 1 modeline kıyasla %28,5 oranında daha fazla yerdeğiştirme meydana gelmiştir.

Çizelge 4.37. Modellerin çaprazsız duruma göre azalma yüzdeleri (Y doğrultusu)

| Model İsimleri        | Maksimum<br>Yer değiştirme | Çaprazsız duruma<br>göre azalma<br>yüzdeleri |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| Çaprazsız             | 525                        | -                                            |
| Merkez X Durum 1      | 375                        | %28,57                                       |
| Merkez X Durum 2      | 280                        | %46,67                                       |
| Merkez X Durum 3      | 368                        | %29,90                                       |
| Merkez X Durum 4      | 266                        | %49,33                                       |
| Merkez Ters V Durum 4 | 267                        | %49,14                                       |
| Merkez Ters V Durum 4 | 191                        | %63,62                                       |
| Merkez Ters V Durum 4 | 265                        | %49,52                                       |
| Merkez Ters V Durum 4 | 199                        | %62,10                                       |
| Dışmerkez V Durum 4   | 268                        | %48,95                                       |
| Dışmerkez V Durum 4   | 115                        | %78,10                                       |
| Dışmerkez V Durum 4   | 271                        | %48,38                                       |
| Dışmerkez V Durum 4   | 155                        | %70,48                                       |

#### 4.2.6. Süneklik kapasitesi

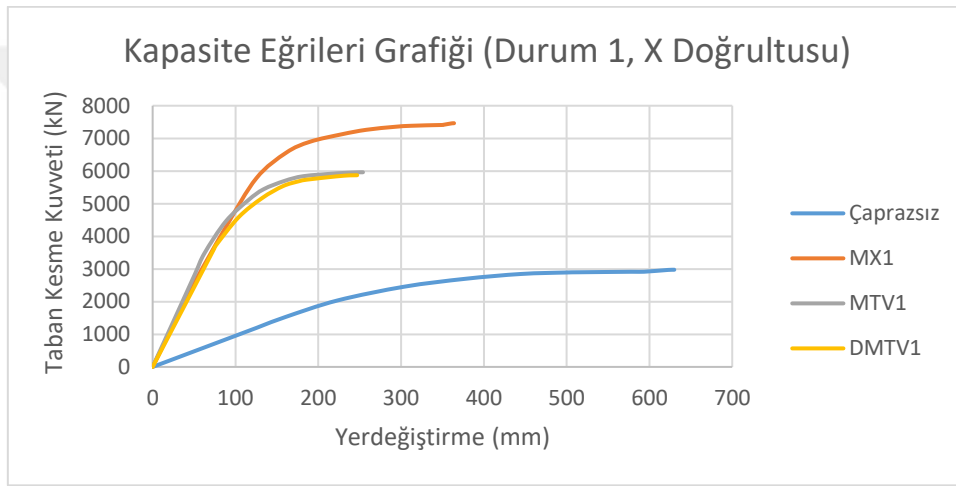
X doğrultusunda hesaplanan tüm süneklik kapasiteleri Çizelge 4.38’de sunulmuştur.

Çizelge 4.38. Modellerin X doğrultusundaki süneklik kapasiteleri

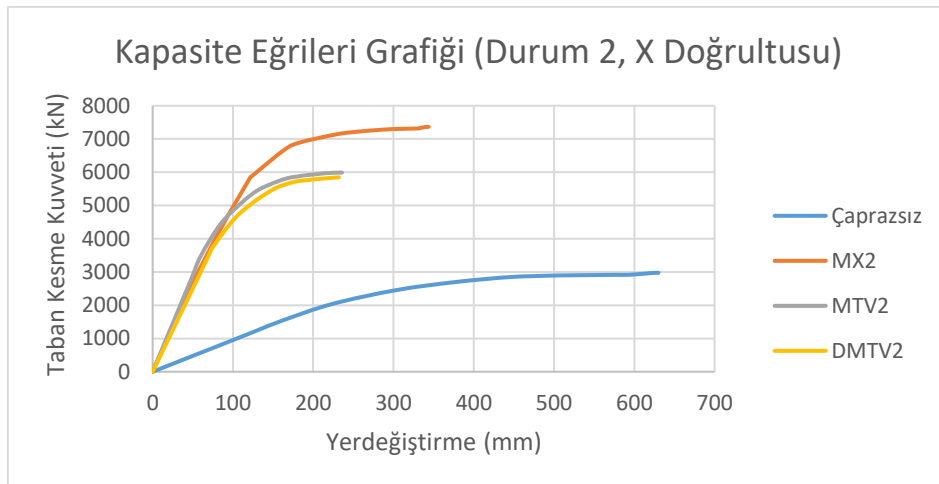
| Model İsimleri           | U <sub>max</sub><br>(Maksimum yer değiştirme) | U <sub>e</sub><br>(Akma anındaki yer değiştirme) | μ<br>(Süneklik katsayısı) |
|--------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|
| Çaprazsız                | 630                                           | 130                                              | 4,85                      |
| Merkez X Durum 1         | 364                                           | 50                                               | 7,28                      |
| Merkez Ters V Durum 1    | 254                                           | 50                                               | 5,08                      |
| Dışmerkez Ters V Durum 1 | 247                                           | 76                                               | 3,25                      |
| Merkez X Durum 2         | 344                                           | 35                                               | 9,83                      |
| Merkez Ters V Durum 2    | 236                                           | 48                                               | 4,92                      |
| Dışmerkez Ters V Durum 2 | 232                                           | 70                                               | 3,31                      |
| Merkez X Durum 3         | 301                                           | 35                                               | 8,60                      |
| Merkez Ters V Durum 3    | 247                                           | 50                                               | 4,94                      |
| Dışmerkez Ters V Durum 3 | 244                                           | 49                                               | 4,98                      |
| Merkez X Durum 4         | 236                                           | 24                                               | 9,83                      |
| Merkez Ters V Durum 4    | 236                                           | 48                                               | 4,92                      |
| Dışmerkez Ters V Durum 4 | 242                                           | 49                                               | 4,94                      |

Çaprazsız model referans alınarak, üç farklı çaprazlı sistemin durum 1, 2, 3 ve 4'e ait X doğrultusundaki statik itme analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına dayanarak, taban kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler, sırasıyla Şekil 4.31- 4.34'te sunulmaktadır.

Süneklik, bir malzemenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum deformasyon miktarını ifade eden bir özelliktir. Süneklik kapasitesi ise, malzemenin enerji absorbe edebilme ve plastik deformasyona karşı direnç gösterebilme yeteneğini tanımlar. Yüksek süneklik kapasitesine sahip malzemeler, büyük deformasyonlar sırasında enerjiyi etkin bir şekilde emerek ani kırılmalara karşı dayanıklılık gösterir.



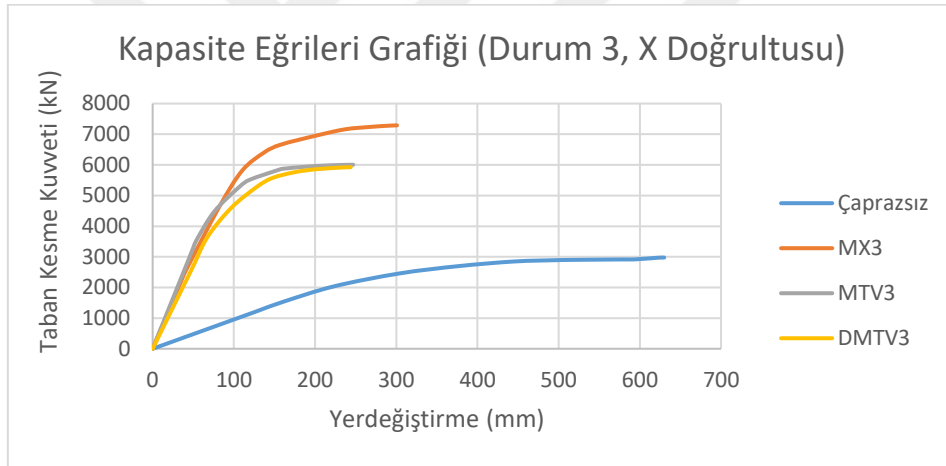
Şekil 4.31. Durum 1 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu)



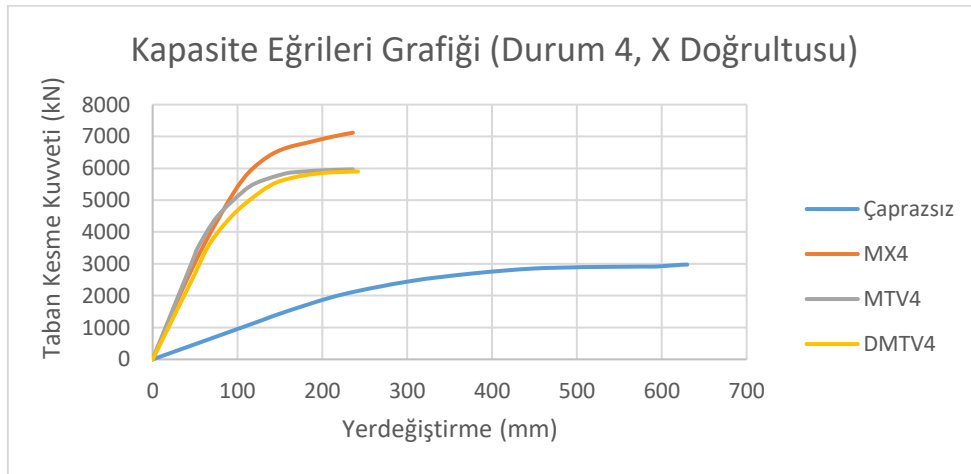
Şekil 4.32. Durum 2 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu)

Çaprazsız durumun X doğrultusu statik itme analizine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ) ve taban kesme kuvveti ( $F$ ) sonuçları referans alınarak, çok katlı çelik çaprazlı modellerin her bir

durumu için X doğrultusu statik itme analizine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ), taban kesme kuvveti ( $F$ ) ve plastik mafsalları ile ilgili çizelgeler ve kapasite eğrileri grafikleri oluşturulmuştur (çizelge 4.9 – 4.21). Bu grafikler üzerinden süneklik kapasiteleri hesabı yapılarak karşılaştırılacaktır. X doğrultusundaki Çaprazsız durumun süneklik kapasitesi 4,85 hesaplanmıştır. Merkez X Durum 1’in süneklik kapasitesi 7,28, Durum 2’nin 9,83; Durum 3’ün 8,60; Durum 4’ün 9,83 olarak hesaplanmıştır. Merkez ters V çaprazlı modelde, Durum 1’in süneklik kapasitesi 5,08; Durum 2’nin 4,92; Durum 3’ün 4,94; ve Durum 4’ün 4,92 olarak hesaplanmıştır. Dışmerkez ters V çaprazlı modelde ise, Durum 1’in süneklik kapasitesi 3,25; Durum 2’nin 3,31; Durum 3’ün 4,98; ve Durum 4’ün süneklik kapasitesi 4,94 olarak belirlenmiştir. X doğrultusunda yapılan incelemede, dışmerkez ters V çapraz Durum 1’in en düşük süneklik kapasitesine sahip olduğu, buna karşın merkez X çapraz Durum 2 ve Durum 4’ün en yüksek süneklik kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.33. Durum 3 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu)

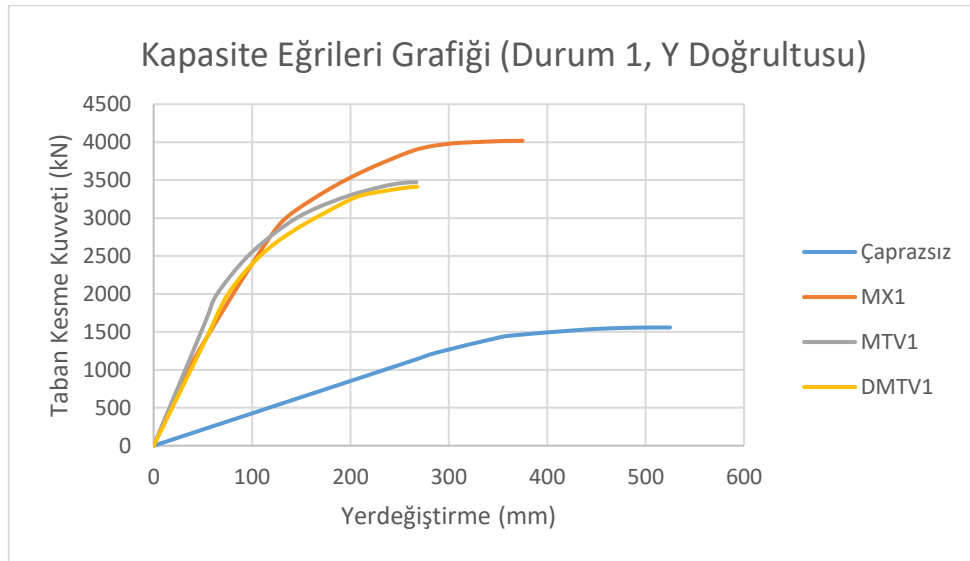


Şekil 4.34. Durum 4 kapasite eğrileri grafiği (X doğrultusu)

Çaprazsız durumun Y doğrultusu statik itme analizine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ) ve taban kesme kuvveti ( $F$ ) sonuçları referans alınarak, çok katlı çelik çaprazlı modellerin her bir durumu için X doğrultusu statik itme analizine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ), taban kesme kuvveti ( $F$ ) ve plastik mafsalları ile ilgili çizelgeler ve kapasite eğrileri grafikleri oluşturulmuştur (çizelge 4.22 – 4.34). Bu grafikler üzerinden süneklik kapasiteleri hesabı yapılarak karşılaştırılacaktır. Çaprazsız durumun Y doğrultusu statik itme analizine ait yer değiştirme ( $\Delta$ ) ve taban kesme kuvveti ( $F$ ) sonuçları referans alınarak, çok katlı çelik çaprazlı yapıların her bir durumu için Y yer değiştirme ( $\Delta$ ), taban kesme kuvveti ( $F$ ) ve plastik mafsalları içeren çizelgeler ve kapasite eğrileri grafikleri hazırlanmıştır.

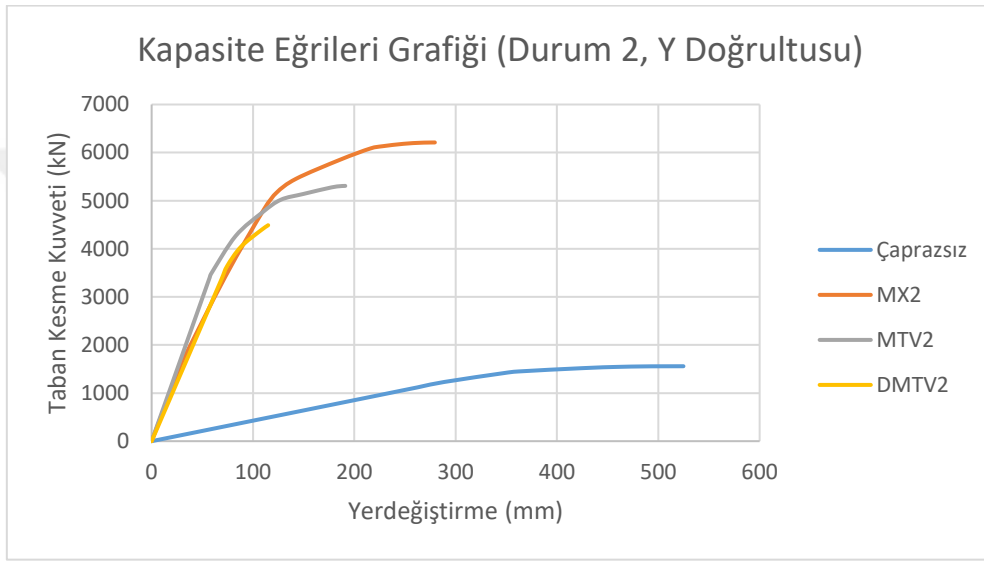
Bu grafikler üzerinden süneklik kapasiteleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonucunda, Y doğrultusundaki çaprazsız modelin süneklik kapasitesi 2,00 olarak belirlenmiştir.

Merkez X çaprazlı modelin Durum 1'in süneklik kapasitesi 12,50; Durum 2'nin 11,20; Durum 3'ün 12,27; ve Durum 4'ün 10,23 olarak hesaplanmıştır. Merkez ters V çaprazlı modelde, Durum 1'in süneklik kapasitesi 5,34; Durum 2'nin 3,35; Durum 3'ün 5,00; ve Durum 4'ün 3,32 olarak tespit edilmiştir. Dışmerkez ters V çaprazlı modelde ise, Durum 1'in süneklik kapasitesi 4,96; Durum 2'nin 1,67; Durum 3'ün 5,02; ve Durum 4'ün 2,50 olarak belirlenmiştir.

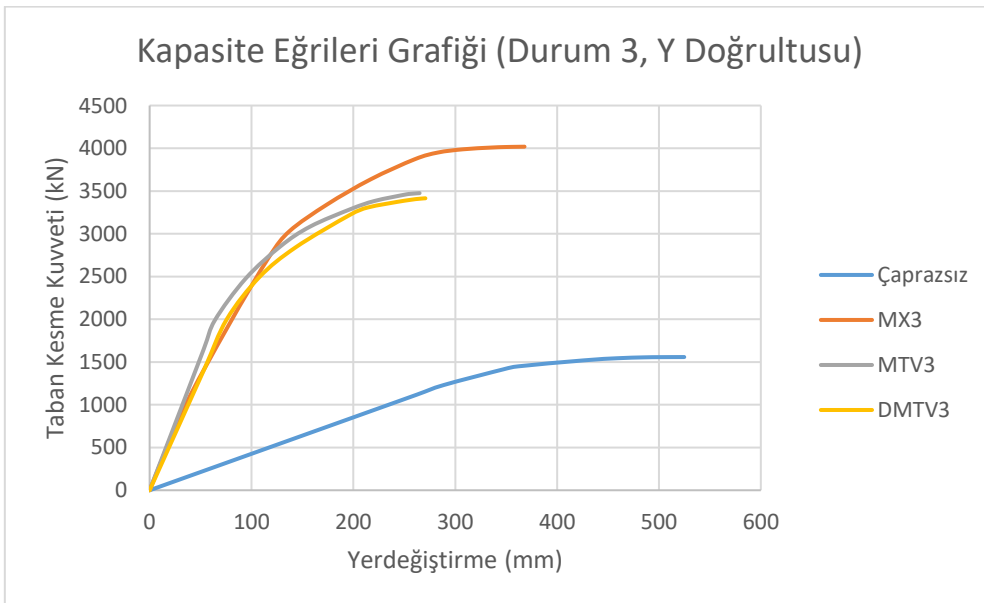


Şekil 4.35. Durum 1 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu)

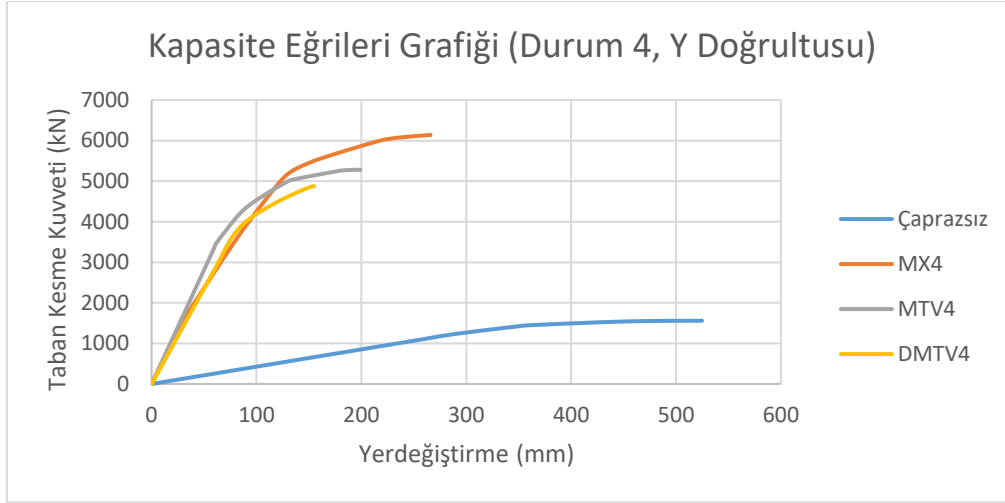
Y doğrultusunda, dışmerkez ters V çapraz Durum 2'nin en düşük süneklik kapasitesine sahip olduğu, buna karşın Merkez X çaprazlı modelin Durum 1'inin en yüksek süneklik kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Y doğrultusunda hesaplanan tüm süneklik kapasiteleri, Çizelge 4.39'da detaylı olarak sunulmaktadır. Çaprazsız model referans alınarak, üç farklı çaprazlı sistemin durum 1, 2, 3 ve 4'e ait Y doğrultusundaki statik itme analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına dayanarak, taban kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler, sırasıyla Şekil 4.35 - 4.38'de sunulmaktadır.



Şekil 4.36. Durum 2 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu)



Şekil 4.37. Durum 3 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu)



Şekil 4.38. Durum 4 kapasite eğrileri grafiği (Y doğrultusu)

Çizelge 4.39. Modellerin Y doğrultusundaki süneklik kapasiteleri

| Model İsimleri           | $u_{maks.}$<br>(Maksimum yer değiştirme) | $u_e$<br>(Akma anındaki yer değiştirme) | $\mu$<br>(Süneklik katsayısı) |
|--------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Çaprazsız                | 525                                      | 262                                     | 2,00                          |
| Merkez X Durum 1         | 375                                      | 30                                      | 12,50                         |
| Merkez Ters V Durum 1    | 267                                      | 50                                      | 5,34                          |
| Dışmerkez Ters V Durum 1 | 268                                      | 54                                      | 4,96                          |
| Merkez X Durum 2         | 280                                      | 25                                      | 11,20                         |
| Merkez Ters V Durum 2    | 191                                      | 57                                      | 3,35                          |
| Dışmerkez Ters V Durum 2 | 115                                      | 69                                      | 1,67                          |
| Merkez X Durum 3         | 368                                      | 30                                      | 12,27                         |
| Merkez Ters V Durum 3    | 265                                      | 53                                      | 5,00                          |
| Dışmerkez Ters V Durum 3 | 271                                      | 54                                      | 5,02                          |
| Merkez X Durum 4         | 266                                      | 26                                      | 10,23                         |
| Merkez Ters V Durum 4    | 199                                      | 60                                      | 3,32                          |
| Dışmerkez Ters V Durum 4 | 155                                      | 62                                      | 2,50                          |



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak, yüksek süneklik düzeyine sahip moment aktaran çelik çerçeve sistemlere sahip çok katlı bir yapının deprem performansı, doğrusal olmayan statik analiz yöntemiyle (itme analizi) detaylı biçimde incelenmiştir. İnceleme kapsamında, çapraz elemanların merkezi ve dışmerkezli konfigürasyonları ile bu elemanların yapı üzerindeki yerleşim pozisyonlarının etkileri araştırılmıştır.

Yapı modeli, X doğrultusunda 6 m aralıklarla yerleştirilmiş 5 aks ve Y doğrultusunda 8 m aralıklarla yerleştirilmiş 4 aks olmak üzere toplam 9 katlı olarak tasarlanmıştır. Zemin sınıfı ZB kabul edilen bu yapı için zemin kat yüksekliği 3,5 m, diğer kat yükseklikleri ise 3 m olarak alınmıştır. Yapının yapısal modellemesi ve tüm analizleri, SAP2000 v26 yapısal analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, moment aktaran sistemin yanı sıra üç farklı çapraz türü (Merkez X, Merkez Ters V, Dışmerkez Ters V) ve bunların dörder farklı yerleşim durumu ile toplam 12 farklı çaprazlı sistem, çaprazsız referans sistemle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Doğrusal analiz aşamasında eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi birlikte uygulanmış; deprem yüklerinin belirlenmesinde TBDY 2018, çelik elemanların taşıma gücü esaslı tasarımında ise Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE, 2016) dikkate alınmıştır.

Analiz sonuçlarında, yapıların taban kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri, plastik mafsallı dağılımları, süneklik kapasiteleri, maksimum yatay ötelenmeleri, doğal titreşim periyotları ve toplam ağırlıkları ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Çapraz elemanların türü ve konumlandırmasının, yapının yatay rijitliği ve süneklik davranışı üzerinde belirgin etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre:

- Plastik Mafsallı Oluşumu: X doğrultusundaki plastik mafsallı oluşumu, merkez ters V tipi çaprazlı sistemlerin 3 ve 4 numaralı yerleşim senaryolarında tamamen ortadan kalkmıştır. Bu sistem, 1 ve 2 numaralı durumlarda ise %96,72 oranında

azalma sağlayarak en yüksek iyileşme performansını göstermiştir. Y doğrultusunda, merkez ters V tipi çaprazlı sistemlerin tüm yerleşim senaryolarında plastik mafsall oluşumu tamamen engellenmiştir. Bu durum, bu sistemin Y yönlü yatay yükler altında üstün performans sergilediğini göstermektedir.

- Ağırlık: Yapı ağırlığı açısından, merkez X tipi çaprazlı sistemler en yüksek ağırlığa sahiptir. Özellikle Durum 2 modeli, çaprazsız modele kıyasla %3,10 daha fazla ağırlığa sahiptir. Öte yandan, dışmerkez ters V tipi çaprazlı Durum 1 ve 3 modelleri en düşük yapı ağırlığına sahip olup çaprazsız modele kıyasla sadece %2,58 artış göstermiştir.
- Periyot Değeri: Doğal titreşim periyotları bakımından, dışmerkez ters V tipi çaprazlı Durum 1 modeli X doğrultusunda en yüksek periyot değerine (%53,57 azalma) sahiptir. Merkez ters V tipi çaprazlı Durum 3 ve 4 modelleri ise en düşük X yönlü periyot değerlerini (%59,64 azalma) sunmaktadır. Y doğrultusunda, dışmerkez ters V çaprazlı Durum 1 ve 3 modelleri %55,13 azalma ile en yüksek değerlere, merkez ters V çaprazlı Durum 2 modeli ise %69,74 azalma ile en düşük değerlere sahiptir.
- Taban Kesme Kuvveti: Taban kesme kuvveti bakımından çaprazsız modele kıyasla X doğrultusunda en yüksek taban kesme kuvveti, %150,84 daha fazla taşıma kuvveti ile merkez X çelik çaprazlı durum 1 modeli sunmaktadır. En düşük taban kesme kuvveti ise %96,43 daha fazla taşıma kuvveti ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı durum 2 bina modeli sunmaktadır. Y doğrultusunda en yüksek taban kesme kuvveti, %298,70 daha fazla taşıma kuvveti ile merkez X çelik çaprazlı durum 2 modeli sunmaktadır. En düşük taban kesme kuvveti ise %118,99 daha fazla taşıma kuvveti ile dışmerkez ters V çelik çaprazlı durum 1 bina modeli sunmaktadır.
- Yer değiştirme: Yer değiştirme bakımından, çaprazsız modele kıyasla, X doğrultusunda dışmerkez ters V çelik çaprazlı model Durum 2'de %63,17, merkez X çelik çaprazlı model Durum 1'de %42,22 oranında azalma göstermiştir. Y doğrultusunda dışmerkez ters V çelik çaprazlı model Durum 2'de %78,10, merkez X çelik çaprazlı model Durum 1'de %28,57 oranında azalma göstermiştir.

- Süneklik Kapasitesi: Süneklik kapasitesi bakımından, X doğrultusunda Dışmerkez ters V çapraz durum 1'in en düşük süneklik kapasitesine sahip olduğu, merkez X çapraz Durum 2 ve Durum 4'ün en yüksek süneklik kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür. Y doğrultusunda dışmerkez ters V çapraz Durum 2'nin en düşük süneklik kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Merkez X çaprazlı modelin Durum 1'inin en yüksek süneklik kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Bu tez kapsamında yürütülen analizler doğrultusunda, ileri çalışmalar için yol gösterici olabilecek çeşitli öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Bu tezde üç farklı çapraz sistem ele alınmış olup, ilerleyen çalışmalarda farklı ya da hibrit çapraz sistemlerin analiz edilmesiyle süneklik ve mafsallaşma davranışları kapsamlı bir biçimde ele alınabilir.
- Daha düşük veya daha yüksek kat sayısına sahip üç boyutlu çelik yapılar üzerinde benzer analizler gerçekleştirilebilir; ayrıca farklı geometrilere sahip yapı sistemlerinde çapraz elemanların yerleşim düzenleri incelenebilir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kullanılarak sistemlerin performansı değerlendirilebilir.
- Farklı çelik sınıfları veya çelik-beton kompozit sistemler kullanılarak benzer analizlerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu doğrultuda, kompozit taşıyıcı sistemlerde kullanılan çapraz elemanların yapısal performansının değerlendirilmesi, malzeme türünün sistem davranışı üzerindeki etkisinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.
- Çapraz eleman türlerine ilişkin maliyet-fayda analizleri, ekonomik uygulanabilirliğin belirlenmesi açısından faydalı olacaktır.
- Farklı ülkelerin deprem yönetmelikleri kapsamında benzer çelik yapı sistemlerinin karşılaştırılması ise tasarım kriterlerinin yapısal performansa etkisini değerlendirmeye olanak sağlar.



## KAYNAKLAR

- Asfuroğlu, S.** (2018). Çok katlı çelik binaların itme analizi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi).
- ATC 19** (1995). Stuructural Responce Modification Factors, Applied Technology Council, California 94065.
- Aydın, M.F.** (2023). Az-orta katlı betonarme yapıların sismik hasar görülebilirlik değerlendirmesi için statik itme analizine dayalı bir yöntem. (Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi).
- Baş, E. E.** (2013). Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Büyütme Katsayısının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Coskun, A.** (2023). Çelik çok katmanlı çaprazlı çerçevelerde çapraz düzeninin sismik davranış üzerindeki etkisinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi).
- Çağlı, B.** (2004). Deprem bölgeleri için çelik konut teknolojileri ve taşıyıcı sistem önerileri. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Çınar, T.** (2023). Beton dolgulu çelik tüp kolonlara sahip kompozit çerçevelerde doğrusal olmayan itme analizi. (Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi).
- Çileli, E.** (2008). Çok Katlı Çelik Yapılarda Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin DBYBHY 2007'Ye Göre Tasarımı ve Süneklilik Düzeylerinin Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi).
- ÇYTHYE**, 2018. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Demir, F.** V-tipi kısa bağ kirişli çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin deprem performansı. (Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi).
- Ding, J., Wang, X., Ge, Y., Zhang, J., Shan, Q., Xu, S., ... & Li, Y.** (2023). Experimental and nonlinear analytical investigation of the flexural performance of single-box double-chamber steel-bamboo composite beams. *Thin-Walled Structures*, 183, 110424.
- Egi, E.** (2021). Statik itme analizi yöntemiyle betonarme yapılarda çeşitli taşıyıcı sistem tasarımlarının performanslarının değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi).

- FEMA 356** (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
- Güder, A. H.** (2006). Yatay yükler altındaki çok katlı çelik yapıların kat yüksekliğindeki değişimin performansa etkisinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi).
- Kan, A.** (2023). **Ahşap ve Çelik Yapı Hesapları Ders Notları**. Erişim: 20 Mart, 2025, <https://adm.atauni.edu.tr/course/view.php?id=315>
- Karagöz, R.** Burkulması önlenmiş çapraz sistemli çerçevelerin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Kaygusuz, A.** (2015). Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranışlarının Farklı Bağ Kirişi Teşkilleri İçin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Kırat, M.** (2025). Artırımsal itme analiziyle mevcut bir betonarme yapının farklı mander malzeme modelleri altında performans değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi).
- Kırımlı, M.H.** (2022). Az katlı betonarme yapıların doğrultu etkilerine bağlı olarak yapısal davranışının itme analizi ile incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi).
- Külekçi, A. K.** (2010). Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Statik İtme Analizi Yöntemi Kullanılarak Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Özalp, A.** Moment dayanımlı çelik çerçeveler ile çapraz elemanlara sahip çelik çerçevelerin değişken rüzgar yükü altındaki kırılma eğrilerinin kıyaslanması. (Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi).
- Özbay, E.** (2019). Üç boyutlu çelik çerçeve sistemlerinde merkezi ve dış merkezli çapraz kullanımı etkilerinin statik itme analizi yöntemi ile araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi).
- Özşahin, E.** (2014). Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemde AISC 341-10 Koşullarının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Park, Y. I., Cho, J. S., & Kim, J. H.** (2022). Numerical and experimental investigation of quasi-static crushing behaviors of steel tubular structures. *Materials*, 15(6), 2107.
- Pham, Q. V., Kusunoki, K., Maida, Y., & Yeow, T.** (2023, November). Nonlinear equivalent sdof analysis of steel frame structures using parameters estimated from recorded floor acceleration response: An experimental case study. In *Proceedings of the International Conference-Celebrating*

60 Years of IBST (pp. 174-180). Vietnam Institute for Building Science and Technology.

**Computers and Structures, Inc. (2025).** *SAP2000 v26: Structural analysis and design software*. Berkeley, CA: Computers and Structures, Inc.

**Sarıkaya, Ö. (2024).** Dinamik zemin-yapı etkileşiminin etkisi altında yüksek binaların doğrusal olmayan itme analizi. (Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi).

**TBDY (2018).** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

**Topaloğlu, N. (2007).** Merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin etkinliğinin doğrusal olmayan statik itme analizi ile incelenmesi. Lisans Üstü Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Topkaya, C.** Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Deprem Etkisindeki Çelik Binalar Sunumu. Erişim: 05 Mart, 2025, <https://ankara.imo.org.tr/Eklenti/8161,cem-topkaya--tbdy-2018-bolum-9pdf.pdf?0>

**TS-498, 1997.** Yapı Elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**Turna, İ. Ç. (2021).** Kat adetleri farklı iki adet betonarme yapının doğrusal olmayan statik itme analizine göre tasarım sonuçlarının TBDY 2019 kapsamında değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Aydın Üniversitesi).

**Türel, U. (2019).** Düz donatılı betonarme bina performansının statik itme analizi ile belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi).

**Türk, B. (2016).** Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeve Taşıyıcı Sistemin Tasarım Kurallarının ve Performansının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi).

**Tüfekci, E.S. (2022).** Betonarme yapıların tek modlu itme analiziyle performanslarının değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)

