

**TC İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME ÇERÇEVELERDE ENERJİNİN
YOĞALTILMASI VE BAZI DÜZENEKLERİN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülrihan GÖKDAĞ

1309211007

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Hatay ÖNEN

AĞUSTOS 2016

**TC İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME ÇERÇEVELERDE ENERJİNİN
YOĞALTILMASI VE BAZI DÜZENEKLERİN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülrihan GÖKDAĞ

1309211007

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Hatay ÖNEN
Jüri Üyeleri: Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN
Doç. Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Erdal COŞKUN**

AĞUSTOS 2016

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, her zaman destek ve teşviği ile yanımda olan çok değerli danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN ve Sayın Prof. Dr. Yusuf Hatay ÖNEN'e sonsuz şükran ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen, görüş ve önerilerinden faydalandığım değerli hocam Yard. Doç. Dr. Ahmet Anıl DİNDAR'a, tezin her aşamasında büyük yardımı ve desteği bulunan İnş. Müh. Hasan DOLUYURT'a, bu günlere gelmemede maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Ağustos, 2016

Gülnihhan Gökdağ

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------|
| KISALTMALAR..... | iv |
| TABLO LİSTESİ | v |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vi |
| SİMGE LİSTESİ..... | viii |
| TÜRKÇE ÖZET | x |
| YABANCI DİL ÖZET | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı | 1 |
| 1.2. Önceki Çalışmalar | 3 |
| 2. HAZIRLIK ÇALIŞMALARI | 6 |
| 2.1. Ayrıntılı İncelenecek Çerçevenin Yer Aldığı Örnek Alınan Yapı..... | 6 |
| 2.2. Örnek Yapının Boyutlandırılması ve Kullanılan Yardımcı Bilgisayar Programları..... | 7 |
| 2.3. Malzeme Özellikleri..... | 11 |
| 2.4. İç Kuvvet Şekildeğiştirme Bağlıntıları..... | 13 |
| 2.4.1. Kiriş ve kolon kesitlerinin kapasite bağıntıları | 14 |
| 2.4.2. Seçilen kısa çelik çapraz elemanların çekme ve basınç etkisinde sergiledikleri davranış | 17 |
| 2.4.3. Yatay yükler etkisindeki çelik yastık elemanların doğrusal olmayan davranışı1 davranışı | 18 |
| 2.4.3.1. Çelik yastığın çekme ve basınç yükleri etkisi altındaki doğrusal olmayan | 20 |
| 2.5. Yapısal Sistemin Belirlenmesi | 24 |
| 2.5.1. Çıplak çerçeve (Model-1) | 25 |
| 2.5.2. İki köşeden çelik çaprazlı çerçeve (Model-2) | 26 |
| 2.5.3. Kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanılması (Model-3) | 28 |
| 2.6. Yapıya Aktarılan Toplam Deprem Enerjisi | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 3.DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMELERDE SİSTEM DAVRANIŞININ İZLENMESİ | 34 |
| 3.1. Yatay Yük Artımı Yöntemi ile Birinci Ve İkinci Mertebe Hesap | 34 |
| 3.1.1. Çıplak çerçeve (Model-1) | 36 |
| 3.1.2. İki köşesinden çelik çaprazlı çerçeve (Model-2) | 40 |
| 3.1.3. Kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanılması (Model-3) | 42 |
| 3.2. Zaman Artım Yöntemi, Kalıcı Şekil Değişikliklerinin Yığılması Ve Bazı İrdellemeler | 47 |
| 3.2.1. Seçilen ivme kayıtları ve 2007 deprem yönetmeliği..... | 48 |
| 3.2.2. Seçilen ivme kayıtlarının ayıklanması, uygunsuz olanların kaldırılması | 55 |
| 3.2.3. Göçme süresinin saptanması | 57 |
| 3.2.3.1 İki kayıt arasında verilen zamanın belirlenmesi..... | 57 |
| 3.2.4. Yapılara aktarılan toplam deprem enerjileri ve kalıcı şekildeğişikliklerle yoğaltılan enerji..... | 60 |
| 3.2.4.1. Model 1 İçin Hesap | 60 |
| 3.2.4.2. Model 2 İçin Hesap | 64 |
| 3.2.4.3. Model 3 İçin Hesap | 68 |
| SONUÇLAR | 72 |
| ÖNERİLER | 74 |
| KAYNAKLAR | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ | 78 |

KISALTMALAR

UBC 97 : Uniform Building Code 1997

PGA : Peak Ground Acceleration

PGV : Peak Ground Velocity

PGD : Peak Ground Displacement

DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

DBE : Desing Basis Earthquake



TABLO LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1: S420 donatı çeliği özellikleri | 16 |
| Tablo 2.2: Yapı çeliği mekanik özellikleri..... | 16 |
| Tablo 2.3: Kirişlerdeki kesit kapasiteleri | 19 |
| Tablo 3.1: Yakın fay yumuşak zemin 2/50 depremleri..... | 49 |
| Tablo 3.2: Yakın fay yumuşak zemin 10/50 depremleri..... | 50 |
| Tablo 3.3: Yakın fay yumuşak zemin 50/50 depremleri..... | 51 |
| Tablo 3.4: Yakın fay yumuşak zemin 2/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar | 52 |
| Tablo 3.5: Yakın fay yumuşak zemin 10/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar | 53 |
| Tablo 3.6: Yakın fay yumuşak zemin 50/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar | 54 |
| Tablo 3.7: Çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtları..... | 56 |
| Tablo 3.8: İki kayıt arasında verilen süre..... | 58 |
| Tablo 3.9: NORTHR_STM090 depremi Model-1 için analiz sonuçları..... | 59 |
| Tablo 3.10: Model-1 plastik mafsal sonuçları..... | 61 |
| Tablo 3.11: Model-1 analiz sonuçları | 62 |
| Tablo 3.12: Model-2 plastik mafsal sonuçları..... | 64 |
| Tablo 3.13: Model-2 analiz sonuçları | 66 |
| Tablo 3.14: Model-3 plastik mafsal sonuçları..... | 68 |
| Tablo 3.15: Model-3 analiz sonuçları | 70 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1: Düşey yükler etkisi altındaki moment diyagramı..... | 1 |
| Şekil 1.2: Düşey ve yatay yükler etkisi altındaki moment diyagramı | 1 |
| Şekil 1.3: Deprem etkisindeki betonarme çerçevelerde enerjinin yoğaltılması ve bazı basit düzenekler | 2 |
| Şekil 1.4: Çelik yastıkların yüklenme şekilleri..... | 2 |
| Şekil 1.5: Çelik çaprazlı betonarme sistemlerin sonlu elemanlar modeli..... | 4 |
| Şekil 2.1: Sistem için modellenen betonarme yapı..... | 6 |
| Şekil 2.2: Binanın 3 boyutlu ve çerçeve görünümü..... | 8 |
| Şekil 2.3: Seçilen tek açıklıklı çerçeve modeli | 8 |
| Şekil 2.4: KZ08 kirişi detayı..... | 9 |
| Şekil 2.5: KZ08 kirişi kesit detayı | 10 |
| Şekil 2.6: SZ10 ve SZ11 kolon donatı detayı | 10 |
| Şekil 2.7: Kesit 1 ve Kesit 2 için sargılı beton dayanım grafikleri..... | 11 |
| Şekil 2.8: Kesit 3 ve Kesit 4 için sargılı beton dayanım grafikleri..... | 12 |
| Şekil 2.9: Sargısız C30 Beton Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi..... | 12 |
| Şekil 2.10: S420 Çeliği Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi..... | 12 |
| Şekil 2.11: KZ08 Kiriş Kesit 1 İçin Kapasite Diyagramı | 15 |
| Şekil 2.12: KZ08 Kiriş Kesit 2 İçin Kapasite Diyagramı | 15 |
| Şekil 2.13: SZ10 (Kolon Kesit 3) ve SZ11 (Kolon Kesit 4) için kapasite bağıntısı.. | 16 |
| Şekil 2.14: Çapraz elemanların kesit boyutları..... | 17 |
| Şekil 2.15: Çapraz elemanların varsayılan normal kuvvet – birim şekil değiştirme grafiği | 17 |
| Şekil 2.16: Oval çelik yastık tipik örneği | 18 |
| Şekil 2.17: Oval çelik yastık SAP2000 modeli | 19 |
| Şekil 2.18: Çelik yastık modeli için etkileşim diyagramı (Sap2000 programı) | 20 |
| Şekil 2.19: Çelik yastık modeli için moment eğrilik diyagramı (Sap2000 programı) | 20 |
| Şekil 2.20: Yastık elemanların (45 ⁰ 'lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu | 21 |
| Şekil 2.21: Yastık elemanların (45 ⁰ 'lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu | 21 |
| Şekil 2.22: Yastık elemanların (30 ⁰ 'lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu | 22 |
| Şekil 2.23 Yastık elemanların (30 ⁰ 'lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu | 22 |
| Şekil 2.24: Yastık elemanların (10 ⁰ 'lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu | 23 |

| | |
|--|----|
| Şekil 2.25: Yastık elemanların (10^0 'lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu | 23 |
| Şekil 2.26: Yastık elemanların doğrusal olmayan analizi | 24 |
| Şekil 2.27: Çıplak Çerçeve Modeli (Model 1)..... | 25 |
| Şekil 2.28: Çıplak çerçeve için tanımlanan plastik mafsallar (Model 1)..... | 25 |
| Şekil 2.29: Çıplak çerçeve kapasite diyagramı..... | 26 |
| Şekil 2.30: Çıplak çerçeve moment diyagramı..... | 27 |
| Şekil 2.31: Kısa Çaprazlı Çerçeve Modeli (Model 2) | 27 |
| Şekil 2.32: Kısa çaprazlı çerçeve için tanımlanan plastik mafsallar (Model 2) | 28 |
| Şekil 2.33: Kısa çapraz ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanımı (Model 3) | 29 |
| Şekil 2.34: Kısa Çapraz ve Enerji Yoğaltıcı Elemanların Birlikte Kullanıldığı sistemde tanımlanan palstik mafsallar (Model 3) | 29 |
| Şekil 2.35: Yer hareketine maruz tek serbestlik dereceli sistem | 30 |
| Şekil 2.36: Tasarım hız spektrumu (UBC-94)..... | 33 |
| Şekil 3.1: Yük artımı grafiği..... | 35 |
| Şekil 3.2: Model-1 için I. ve II. mertebe etkilerine göre itme analizi grafiği..... | 37 |
| Şekil 3.3: Model-1 için I. ve II. mertebe etkilerine göre enerji grafiği..... | 37 |
| Şekil 3.4: Yük Artımı Yöntemine göre Model-2'den elde edilen sonuçlar..... | 40 |
| Şekil 3.5: Yük Artımı Yöntemine göre Model-2'den elde edilen sonuçlar..... | 40 |
| Şekil 3.6: Yük Artımı Yöntemine göre Model-3'den elde edilen sonuçlar..... | 43 |
| Şekil 3.7: Yük Artımı Yöntemine göre Model-3'den elde edilen sonuçlar..... | 43 |
| Şekil 3.8: Model-1, Model-2 ve Model-3 için yük artımı grafikleri | 46 |
| Şekil 3.9: Model-1, Model-2 ve Model-3 için enerji grafikleri..... | 46 |
| Şekil 3.10: 2/50 depremleri spektrum grafiği | 49 |
| Şekil 3.11: 10/50 depremleri spektrum grafiği | 50 |
| Şekil 3.12: 50/50 depremleri spektrum grafiği | 51 |
| Şekil 3.13: 10/50 tasarım depremleri elastik spektrum grafiği..... | 56 |
| Şekil 3.14: Çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtlarının ivme spektrumu | 57 |
| Şekil 3.15: a. İvme-zaman grafiği | 59 |
| Şekil 3.15: b. Hız-zaman grafiği | 60 |
| Şekil 3.15: c. Deplasman-zaman grafiği..... | 60 |
| Şekil 3.16: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-1) | 64 |
| Şekil 3.17: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-2) | 68 |
| Şekil 3.18: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-3) | 69 |

SİMGE LİSTESİ

A_c : Kolon brüt kesit alanı

L_p : Plastik mafsal boyu

E_s : Donatı çeliğinin elastisite modülü

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

T_a, T_b : Spektrum karakteristik periyodları

P_b : Burkulma Yüğü

V_y : Akma yüğü

Z : Sismik bölge faktörü

Δ_{max} : Eşdeğer basınç çubuğunun yapacağı en büyük kısalma

Δ_y : Akma yerdeğıştirmesi

Δ_t : Zaman aralığı

ϵ : Birim boydeğışmesi

μ : Süneklik katsayısı

τ : Kayma gerilmesi

σ_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi

σ_{cc} : Sargılı beton dayanımı

σ_{co} : Sargısız beton dayanımı

σ_s : Donatı çeliğindeki gerilme

σ_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı

σ_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı

h : Çalışan doğrultudaki kesit boyutu

N_D : Düşey yükler altında kolonda oluşan eksenel kuvvet

T : Bina doğal titreşim periyodu

ϵ_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğıştirmesi

ε_{sh} : Donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekildeğiştirmesi

ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi

ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi

θ_p : Plastik dönme

S(T): Spektrum Katsayısı

δ_i : Etkin görelî kat ötelemesi

M_u : Kesitin taşıyabileceğı maksimum moment kapasitesi



Üniversite :İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü :Fen Bilimleri
Dalı :İnşaat Mühendisliği
Programı :Yapı
Tez Danışmanı :Prof. Dr. Yusuf Hatay Önen
Tez Türü ve Tarihi :Yüksek Lisans – Ağustos 2016

KISA ÖZET

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME ÇERÇEVELERDE ENERJİNİN YOĞALTILMASI VE BAZI DÜZENEKLERİN KULLANILMASI

Gülnihân Gökdağ

Ülkemiz depremselliği yüksek bir bölgede yer almaktadır. Özellikle İstanbul gibi ülke ekonomisi üzerinde ağırlığı bulunan hızla gelişen ve büyüyen şehirlerde büyük deprem riski nedeniyle depreme dayanıklı yapılar inşa etmek büyük önem kazanmaktadır. Yönetmeliklerce öngörülen deprem yüklerini karşılayabilecek yeni yapılar üretmek kadar mevcut yapıların deprem güvenliklerini de yükseltmek bu amaçla da yapılara aktarılacak deprem enerjisini sönmüleyebilen yeni düzenekler araştırmacıların ilgi alanına girmiştir.

Deprem yükleri etkisi altında yapıda oluşacak hasarları en aza indirmek ve depreme karşı performansı yüksek yapılar inşa etmek için çeşitli araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları betonarme çerçeve elemanların arasına uygun bir şekilde çaprazlı çelik çerçeveler eklenerek olası yapı davranışının irdelenmesi yoludur.

Bu çalışmada yapıya aktarılan deprem enerjisi hesaplanarak bu enerjinin yoğaltılması için çeşitli düzenekler oluşturup, ulaşılan sonuçlar irdelenmiştir.

Çalışmanın hazırlık aşamasında ilk olarak her yönde üç açıklığa sahip, beş katlı betonarme çerçeve bir binanın mevcut yönetmeliklere uygun bir tasarımı yapılmıştır. Buradan 3 boyutlu simetrik sistemin orta akslarından biri seçilmiş ve beş katlı çerçevenin en çok zorlanan bu sistemin deprem davranışını yaklaşık olarak temsil edecek küçük bir parçası olan zemin kat orta açıklığı, tek katlı ve tek açıklıklı fakat beş katın yüklerini taşıyan bir yapı olarak ayrıntılı incelemede kullanılacaktır.

Çalışmada, *çıplak çerçeve*, *iki adet kısa çaprazlı çerçeve*, *kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanıldığı çerçeve* olmak üzere üç farklı sistemi enerji yoğaltma özellikleri açısından karşılaştırılmak üzere birinci ve ikinci merteye kuramları göz önünde bulundurularak, malzemenin de doğrusal

olmayan davranışı dikkate alınıp, yük ve zaman artımı yöntemleriyle incelenmiştir.

Birinci Bölüm SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak üç farklı düzeneğin doğrusal olmayan itme analizlerine ayrılmıştır. Elemanların doğrusal olmayan özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen yük artımı hasarların hangi elemanlarda meydana geldiği gözlemlenmiş ve hasara yol açan nedenler incelenmiştir. Analizler sonucunda her bir çerçeveye ait elemanlarda oluşan plastik mafsallar ve sistemlerin kapasite eğrileri karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın İkinci Bölümünde yine SAP 2000 programı yardımıyla doğrusal olmayan zaman artımı analizleri yapılmış, yer hareketi nedeniyle yapıya aktarılan toplam enerji ve kesitlerde harcanan toplam enerji hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar kısa çaprazların ve enerji yoğunlaştırıcı elemanların yapının davranışını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kısa çaprazlar, çelik yastık, yer hareketi özellikleri

Bilim Dalı Sayısal Kodu:

University :Istanbul Kultur University
Institute :Graduate School of Natural and Applied Science
Department :Civil Engineering Department
Programme :Structural Engineering
Supervisor :Prof. Dr. Yusuf Hatay Önen
Degree Awarded and Date :MSc Thesis - June 2015

ABSTRACT

THE USE OF SOME MECHANISMS ON REINFORCED CONCRETE FRAME TO ABSORB THE EARTHQUAKE ENERGY

Gülrihan Gökdağ

Our country is located in an area with high seismicity. Therefore, building earthquake resistant structures are gaining relative importance in rapidly growing cities having economic importance like Istanbul where there is a great risk of earthquakes. Developing and proposing new mechanisms that can absorb the earthquake energy to be transferred to the structure have been introduced in the interest of researches in order to produce new structures that encounter seismic load prescribed by Turkish Seismic Code and to improve the seismic safety of existing structures.

Various studies are being conducted in order to build high-performance structures against earthquakes and to minimize the damage under earthquake loads. The most common example is to examine the possible structural behavior by adding a suitably braced steel frames between reinforced concrete frame members.

In this study, seismic energy transferred to a structure is calculated and various are built in order to consume this energy, then the results are compared.

In the preparation phase of this work, the design of a three span in each direction, five-story, reinforced concrete building was made in accordance with the existing codes regulations. One of the central frames of the symmetrical 3D system was selected. Ground floor mid-span is the most constraining part of the five-story frame and it approximately represents the seismic behavior of this system. This mid-span, single story and single span structure that carries five floors is used in the detailed examination.

In the study, three different types of system are compared in terms of energy consumption characteristics by using together with a bare frame, two knee

braced frame and a knee braced system with some special energy dissipating members. This knee braced system is a special form of diagonal braced frame connected to knee element positioned between RC frame member. Push-over and time history analysis are performed by taking non-linear behavior into consideration.

The first part consists of the non-linear pushover analysis of three different mechanisms using SAP2000 program. Taking the non-linear behaviors of frame members into consideration, the failure by load increment that occurs in which section and the cause of the failure are investigated. In the following analysis results, the plastic deformations that occur in each frame members and the capacity curves of each section are compared.

In the second part of the study, non-linear time history analysis are performed by using SAP 2000 program. In this analysis, the total energy transmitted to the structure due to ground motion and the total energy expenditure in sections are calculated. The results show that the new brace systems and the energy consumer elements significantly change the behavior of the structure under the lateral load effects.

Keywords: Knee bracing, steel cushion, grund motion properties

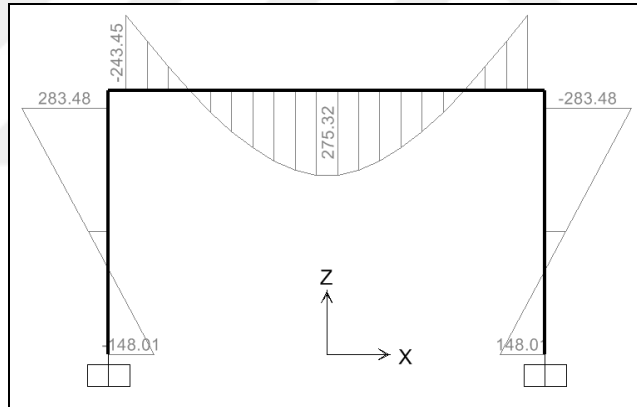
Science Code:

1. GİRİŞ

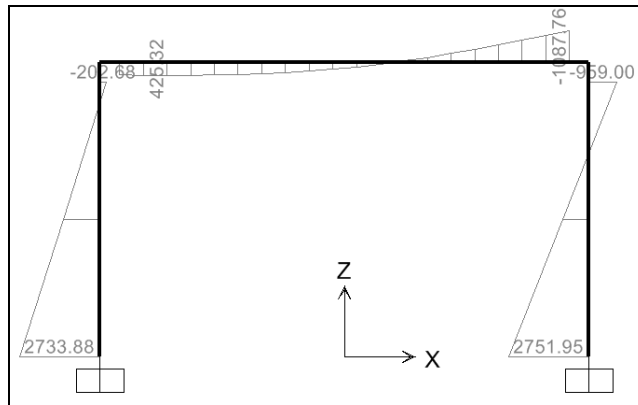
1.1. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Bu çalışmada, düşey ve yatay yükler etkisindeki çok katlı ve çok açıklıklı betonarme çerçevelerin deprem etkisi altında taşıyabilecekleri yatay yük düzeyini artırmak amacıyla sisteme bazı çaprazlar ile birlikte enerji yoğaltan elemanlar eklenerek sistemin deprem karşısındaki davranışının değişimi basitleştirilmiş bir örnek üzerinde incelenmektedir.

Çerçevelerin boyutlandırılmasında esas olan en büyük iç kuvvetler, örneğin momentler, sistemi oluşturan elemanların farklı kesitlerini aynı düzeyde zorlamamaktadır. Bazı bölgelerde momentin sıfırdan geçtiği bilinmektedir.



Şekil 1.1: Düşey yükler etkisi altındaki moment diyagramı

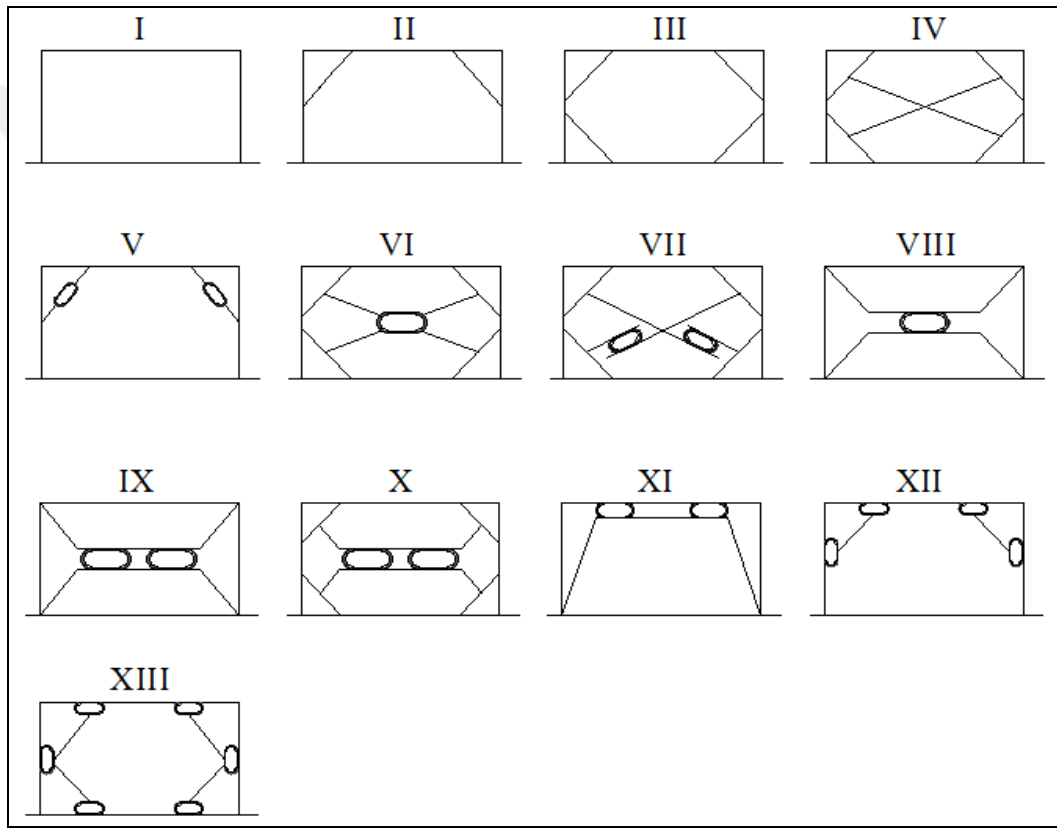


Şekil 1.2: Düşey ve yatay yükler etkisi altındaki moment diyagramı

Bu çalışma üzerinde durulan noktalardan biride amaç kapasitesinden çok daha az zorlanan kiriş ve kolon kesitlerinin olduğu bölgelere çaprazlarla bağlantılar kurarak bu kesitlerden daha çok yararlanılır durumlar yaratmaktır. Böylece sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin artacağı öngörülmektedir.

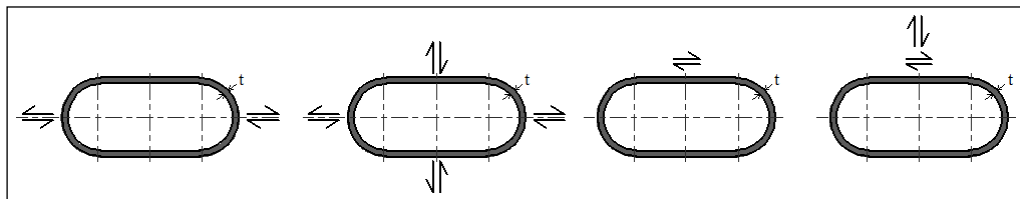
Çelik çaprazların, betonarme yapıdaki kiriş ve kolonlara doğrudan bağlanması, enerji yutabilen düzeneklerle birlikte kullanılması çeşitli şekillerde yapılabilecektir.

Bunlarla ilgili bazı örnekler Şekil 1.3’de yer almaktadır. Bu çalışma daha çok I, II ve V numaralı öneriler üzerinde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 1.3: Deprem etkisindeki betonarme çerçevelerde enerjinin yoğaltılması ve bazı basit düzenekler

Önerilerde yer alan çelik yastıklar farklı yüklemelere maruz kalabilecektir. Bunlardan bazıları Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Çelik yastıkların yüklenme şekilleri

Burada çelik yastıkların olası yüklenme şekilleri göz önüne alınarak yapıya uyarlanmaları sonucu hem sistem kapasitesinden yeterince yararlanılmayan kesitlerden faydalanıla bilinecek hem de çelik yastıklar sayesinde daha fazla enerji yutulabilecektir.

1.2. Önceki Çalışmalar

Geçmişte yaşanan yıkıcı depremlerin gözler önüne serdiği göçme biçimlerine de dayanılarak değiştirilen yönetmelikler sonucunda yapılardan artık daha yüksek dayanım beklenmektedir. Bunun neticesi olarak özellikle eski yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış sistemlerin yeni şartnamelere uygun hale getirilebilmesi için onarım veya güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine hız verilmiştir. Özellikle son yıllarda mevcut yapıların güçlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yeni tekniklere ulaşılmıştır.

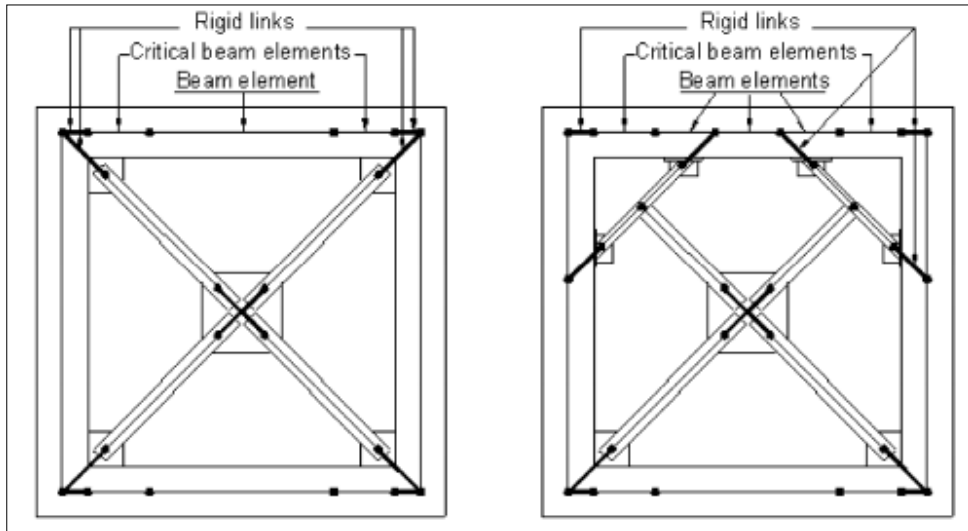
Taşkın, K. (2011), bu çalışmalardan biri olan Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi konusunu incelemiştir. Malzeme yönünden doğrusal olmayan davranış ele alınarak hazırlanan bu çalışma, betonarme kiriş ve kolon elemanların arasına kısa çaprazlar eklenmesiyle elde edilen farklı modellerin deneysel ve teorik olarak incelenmesinden oluşmaktadır. Seçilen sistemlerde köşelere yakın olarak yerleştirilen köşe çaprazları kullanılmıştır. Burada elemanlarda kontrollü düzeyde plastik şekil değiştirmeye izin verilerek daha fazla enerji yutabilen bir güçlendirme yöntemine ulaşmak amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada Buckingham's Pi-teorisi göz önüne alınarak bir model yapı üzerinden üretilen 1/3 ölçekli dokuz numune hazırlanmıştır. Numuneler laboratuarda iki doğrultulu eşdeğer deprem kuvvetine maruz bırakılmıştır. Oluşturulan her bir modelin enerji yutma kapasiteleri üzerinde durulmuş, betonarme elemanlarla bağlantı detaylarının davranışı gözlenerek sistemlerin süneklik düzeyleri hakkında fikir edinilmiştir. Elde edilen sonuçlar kuramsal çözümlerle karşılaştırılmıştır.

Modeller sırasıyla, yalın betonarme çerçeve (BF), tek köşeden çelik çaprazlı çerçeve (SKNEE), iki köşeden çelik çaprazlı çerçeve (DKNEE), dört köşeden çelik çaprazlı çerçeve (FKNEE) ve merkezi çelik çaprazlı çerçeve (CONBRACE) olarak isimlendirilmiştir.

Ortaya çıkan çaprazlı sistemlerde görelî kat öteleme si azalırken, sistemin serbest titreşim, frekans ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristiklerinin fazla değiştirmediği buna karşılık yatay yük kapasitesinin arttığı görülmüştür. Böylelikle mevcut yapının titreşim özellikleri çok değiştirilmeden yani üzerine gelebilecek deprem yükleri büyük olasılıkla arttırılmadan bir güçlendirmenin yapılabilmesi üzerinde durulmuştur.

Yatay yükler etkisi altında düğüm noktalarından bağlı çaprazlı sistem daha rijit ve gevrek davranış sergilemiş, kısa çaprazlı sistemler sünek ve esnek bir davranış gösterdiği görülmüştür.

Mahmoud R Maheri, R Akbari (2003), bu çalışmasında betonarme elemanların arasına yerleştirilen çelik çaprazların yapının sismik davranış katsayısı (R) üzerindeki etkisi incelenmiştir. R katsayısının hesabı için 4, 8 ve 12 katlı birbirinden farklı yüksekliklere sahip üç betonarme çerçeve kullanılmıştır. Betonarme çerçeveler arasına yerleştirilen “X” çaprazlı sistem ile “köşeden çelik çaprazlı sistem” olarak iki farklı çaprazlama modeli kullanılmıştır. Belirli ölçeklerde hazırlanan her bir numune için doğrusal olmayan yanal itme analizleri yapılmıştır. Her bir çerçevedeki itme analizinde en büyük taşıma kapasitesi yatay yerdeğiştirme değerlerinin yüksekliğin kat yüksekliğinin %1.5’una eşit olduğundaki durum şeklinde düşünölmüştür.



Şekil 1.5: Çelik çaprazlı betonarme sistemlerin sonlu elemanlar modeli

Davranış katsayısı belirlemede;

$$R = R_{\mu} \cdot R_s \cdot Y$$

$$R_{\mu} = V_e / V_y \quad R_s = V_y / V_s \quad Y = V_s / V_w$$

$$R = (V_e / V_y) \cdot (V_y / V_s) \cdot (V_s / V_w) = V_e / V_w$$

$\mu = \Delta_{max} / \Delta_y$ şeklindeki parametreler kullanılmıştır.

Burada μ yapı yerdeğiştirme sünekliğini göstermektedir. Kullanılan parametrelerden anlaşıldığı üzere bina davranış katsayısı belirlemede, çaprazlı sistem modeli, taban kesme kuvvetinin çaprazlarla paylaşımı ve bina kat sayısı gibi değişkenler önemli rol oynamaktadır.

Deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda, seçilen çaprazlı sistemlerin betonarme çerçevenin akma ve yatay yük taşıma kapasitelerini artırdığı görülmüştür. Böylece yalın çerçeveye göre daha sünek davranış sergiledikleri görülmüştür.

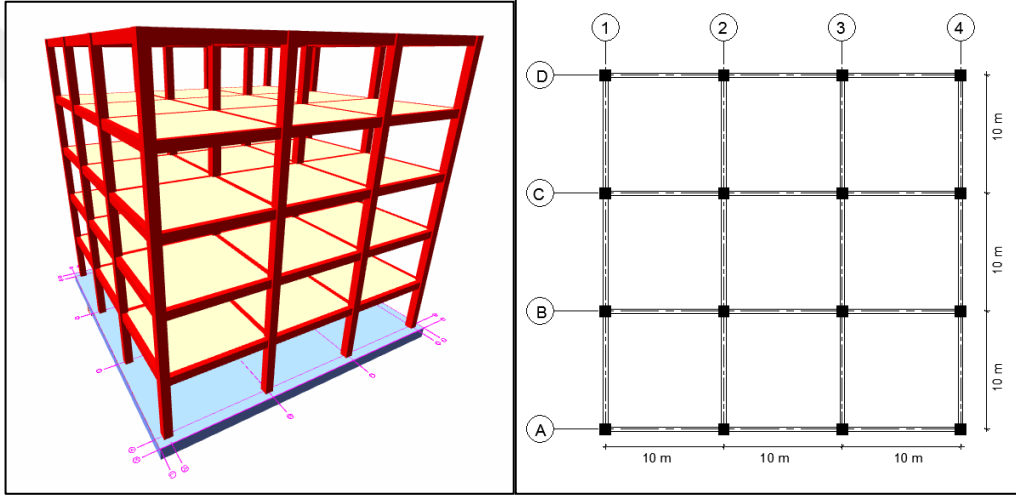
Az katlı yapılarda, köşeden çelik çaprazlı sistemler merkezi çaprazlı sistemlere göre daha sünek davranış sergilemişlerdir. Böylece en yüksek R katsayısına köşeden çelik çaprazlı sistemlerde ulaşılmıştır. Aynı durum yüksek yapılar için sağlanamamıştır. Analiz sonuçlarından anlaşıldığı üzere yüksekliğin artması yapının sünekliğini azalttığı görülmüştür. Yapılan karşılaştırmalarda her bir farklı sistem için bulunan süneklik seviyeleri deprem kuvveti azaltma katsayıları için belirleyici parametre olduğu görülmüştür.

Beton dayanımları öngörülen değerlerden düşük, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde yönetmelik kurallarına uyulmamış pek çok betonarme yapının depreme karşı güçlendirilmesi söz konusu olduğunda, düğüm noktalarına çaprazlarla ilave yükler aktarmak uygun olmayacaktır. Bu çalışmada göz önünde bulundurulmuş bu nokta bölgemizde ve benzeri pek çok yerde sanılandan daha çok sayıda yapı için geçerli olabilecek gerçekçi bir varsayımdır.

2. HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

2.1. Ayrıntılı İncelenecek Çerçevenin Yer Aldığı Örnek Alınan Yapı

Tez çalışması kapsamındaki betonarme bina modelimiz 5 katlı olup her yönde 3 açıklığa sahiptir. Kat yükseklikleri zemin katta 6 m diğer katlarda ise 3 m olup her iki yöndeki açıklık değeri 10 m'dir. Yapı konut kullanım amacına göre boyutlandırılacaktır. Hesaplarda kullanılan beton sınıfı C30 ve donatı çeliği türü S420'dir. Bina 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yerel zemin sınıfı Z3 olarak belirlenmiştir. Döşeme hareketli yükleri 2 kN/m^2 olarak seçilmiştir. Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı süneklik düzeyi $R=8$ olarak alınmıştır.



Şekil 2.1: Sistem için modellenen betonarme yapı

Yapı ile ilgili parametreler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Genel Bilgiler:

| | |
|-----------------------------------|---|
| Kat adedi | 5 |
| Kat Yüksekliği | 6m (zemin kat) 3m (diğer tüm katlar) |
| X ve Y yönündeki toplam açıklık | 3 |
| X ve Y Yönündeki Açıklık Uzunluğu | 10m |

Malzeme Bilgileri:

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| Beton | C30 |
| Donatı Çeliği | S420 |
| Beton Elastisite Modülü | 32000 Mpa |
| Donatı Çeliği Elastisite Modülü | 2×10^5 Mpa |

Binaya Etkiyen Yükler:

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Beton birim hacim ağırlığı | 25 kN/m^3 |
| Çeliğin birim hacim ağırlığı | 78.5 kN/m^3 |
| Tesviye betonu (t=10cm) | 2.2 kN/m^2 |
| Granit-Mermer Kaplama (t=10cm) | 2.8 kN/m^2 |
| Asma tavan, mekanik-elektrik, yalıtım | 1.40 kN/m^2 |
| Hareketli Yük | 2 kN/m^2 |

Yapı Parametreleri:

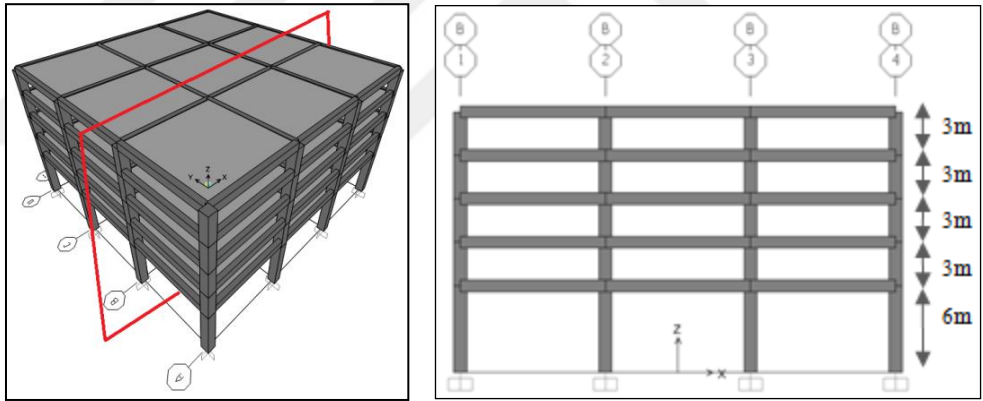
| | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Deprem Bölgesi | 1 |
| Etkin yer ivme katsayısı | 0.4 |
| Zemin Sınıfı | Z3 |
| Spektrum Karakteristik Periyotları | ($T_a = 0.15$, $T_b = 0.60$) |
| Zemin emniyet Gerilmesi | 27.00 t/m^2 |

2.2. Örnek Yapının Boyutlandırılması ve Kullanılan Yardımcı Bilgisayar Programları

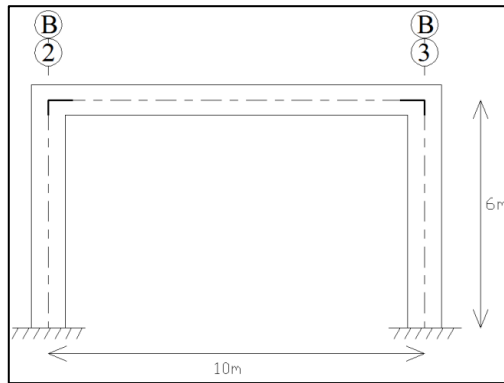
Betonarme binanın boyutlandırılmasındaki hesaplamalarda TS500, TS498 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerindeki standartlar esas alınmıştır. İdecad programı yardımıyla elemanlarda oluşan kesit zorları ve tanımlanan kesit özelliklerine göre enine ve boyuna donatı hesabı yapılmıştır.

Model TDY 2007'ye göre radye temele oturan bina olarak kabul edilmiştir. Kolonlar ve kirişler içi dolu dikdörtgen kesit olarak düşünülmüş ve çubuk eleman olarak modellenmiştir. Her bir katta rijit diyafram modeli oluşturulmuştur.

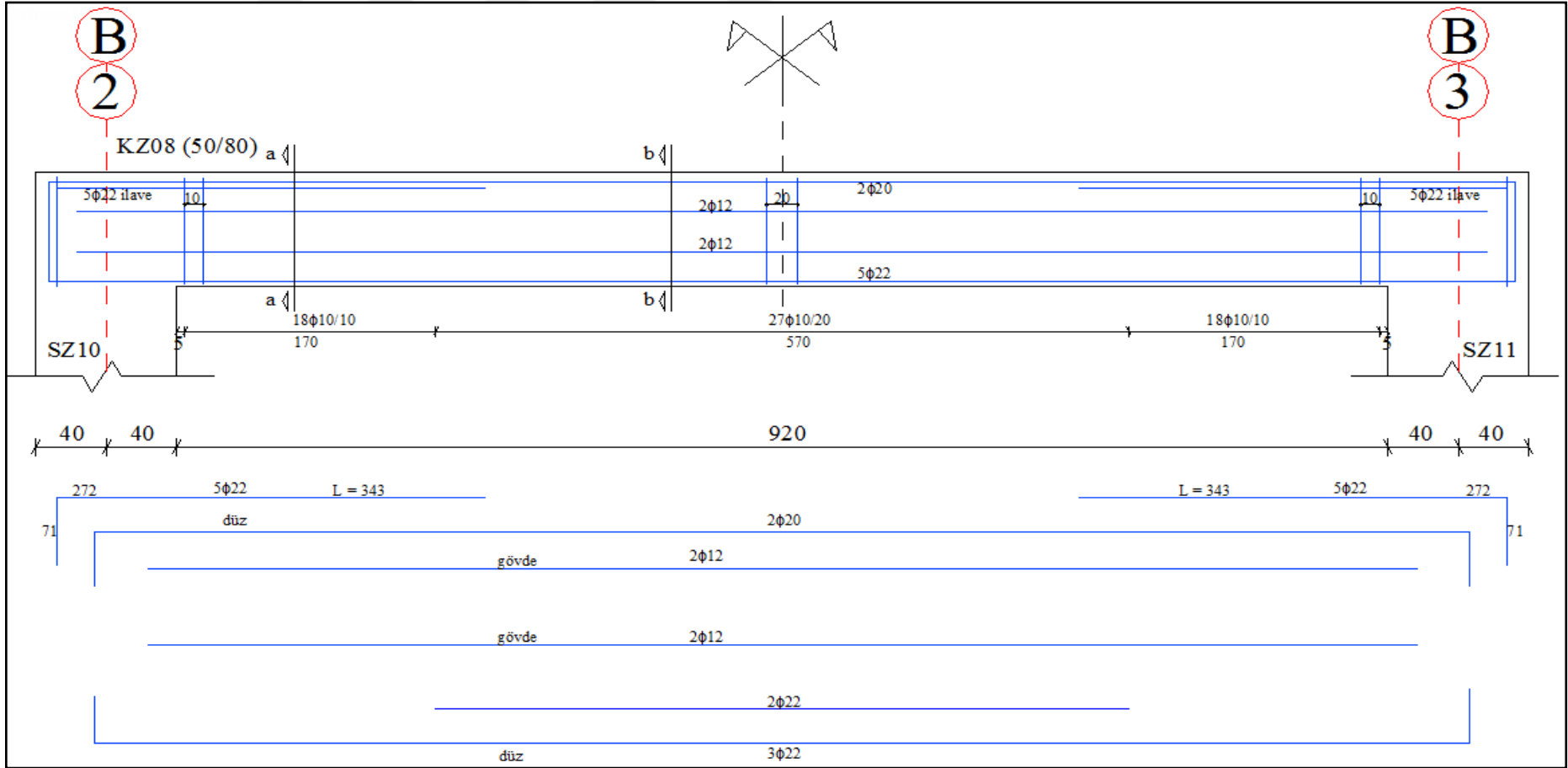
Düşey yük hesaplamalarında TS498'deki yük kombinasyonları kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında kullanılan deprem yükleri DBYBHY 2007'deki esaslara göre belirlenmiş, hesaplarda mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Mevcut yönetmeliğe göre etkin modların sayısının belirlenmesi için minimum %90 kütle katılım oranı öngörülmüştür. Yatay ve düşey yük kombinasyonları sonucu ortaya çıkan değerlere göre üç boyutlu sistemden indirgenen tek katlı tek açıklıklı çerçevenin betonarme elemanlarının boyutlandırılması ve donatı hesabı yapılmıştır. İndirgenen tek açıklıklı sistem Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de yer almaktadır. Burada sistemin B-B aksı üzerindeki çerçevesinin 2-3 açıklığına ait zemin katı kullanılmış olup, kiriş ve kolon elemanların detaylı kesit ve donatı özellikleri Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



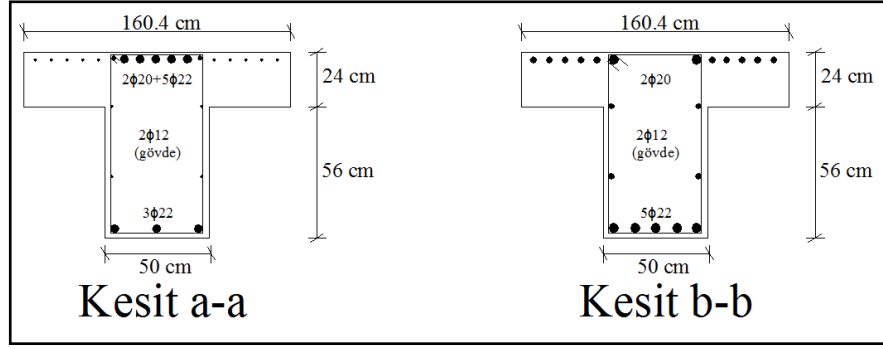
Şekil 2.2: Binanın 3 boyutlu ve çerçeve görünümü



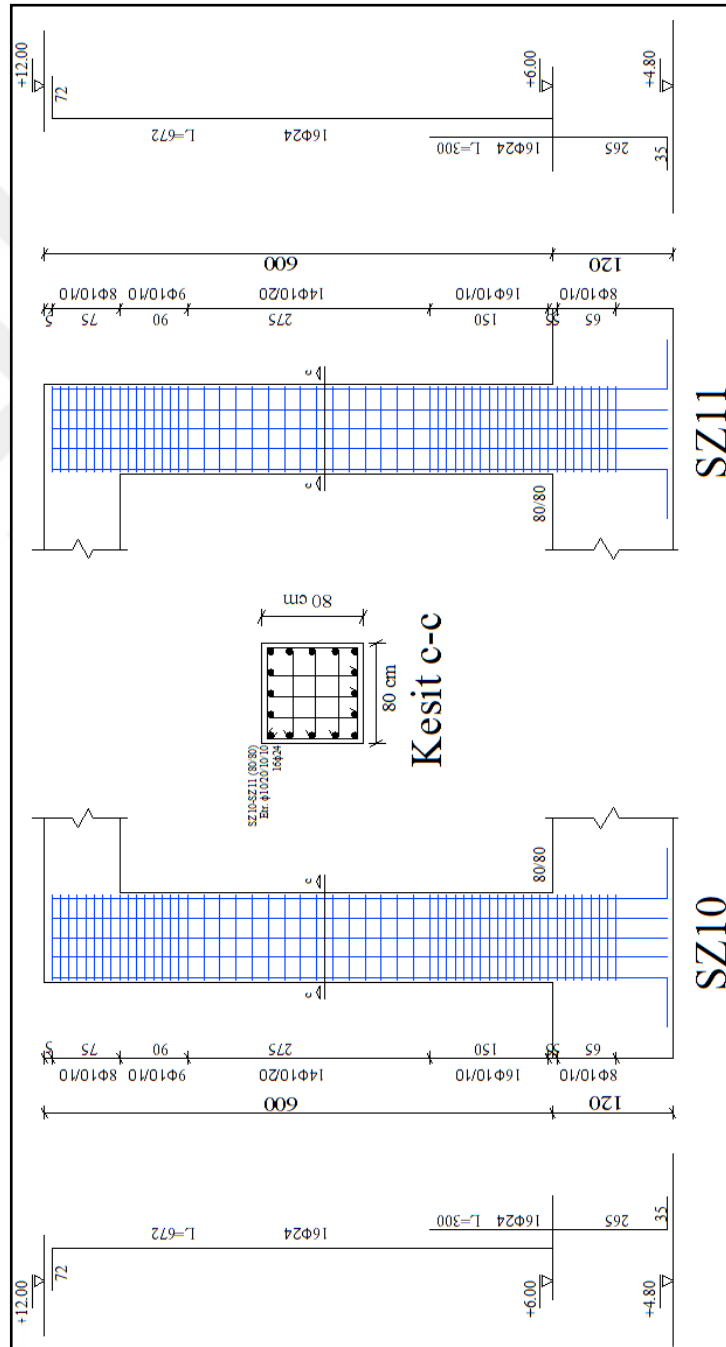
Şekil 2.3: Seçilen tek açıklıklı çerçeve modeli



Şekil 2.4: KZ08 kirişi detayı



Şekil 2.5: KZ08 kirişi kesit detayı

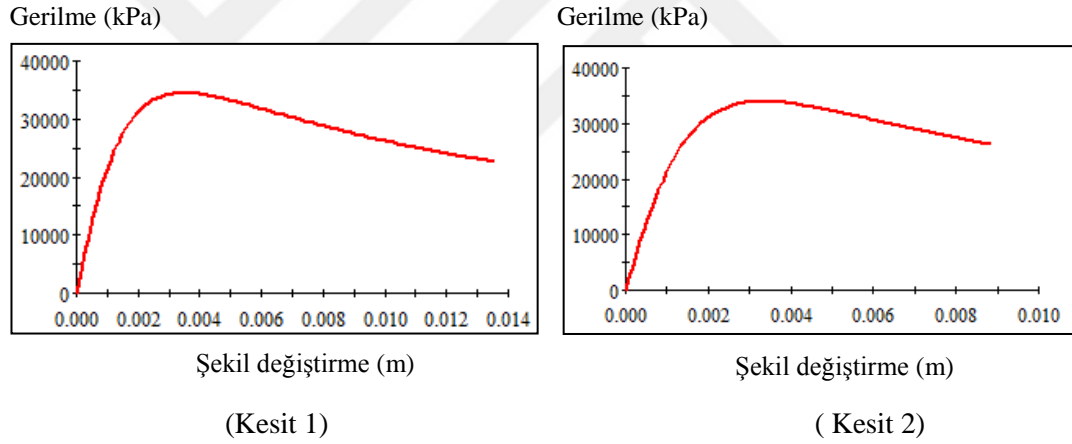


Şekil 2.6: SZ10 ve SZ11 kolon donatı detayı

2.3. Malzeme Özellikleri

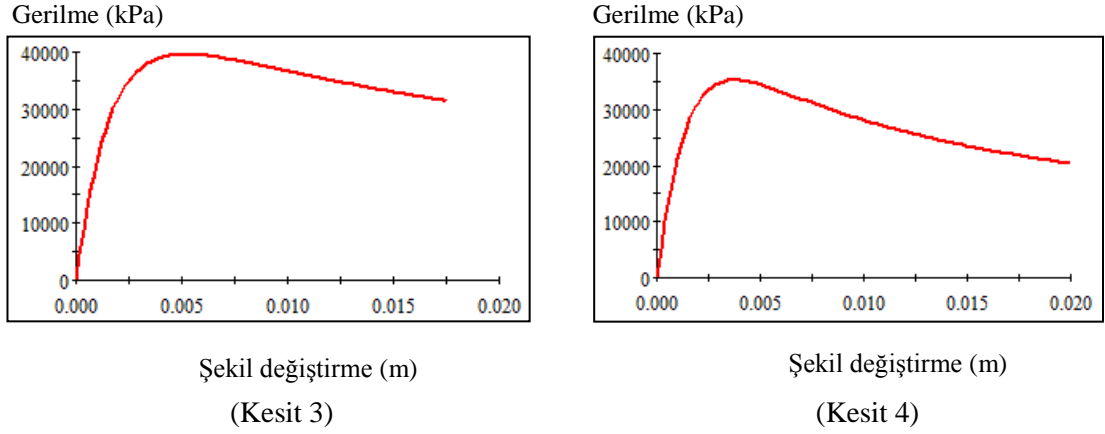
Bölüm 2.4’de sistem elemanlarında tanımlanacak olan plastik mafsallardaki iç kuvvet şekil değiştirme ilişkilerinin bulunabilmesi için öncelikle her bir kesitteki malzemelerin birim-deformasyon dayanım ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapısal elemanlar için kullanılan beton sınıfı C30 olarak alınmıştır. Beton modelleri için Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır (Mander vd., 1988). Çelik birim deformasyon dayanım ilişkisi DBYBHY (2007)’de sözü edilen şekilde dikkate alınmıştır. Sargılı beton modelleri bölüm2.4’de tanımlanan her bir farklı kesit ve donatı detaylarına sahip Kesit1, Kesit2, Kesit3 ve Kesit4 için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

KZ08 kirişi için açıklıkta (Kesit 2) ve kolon kiriş birleşim bölgesindeki (Kesit1) sargılı beton dayanım grafikleri Şekil 2.7’deki gibidir.



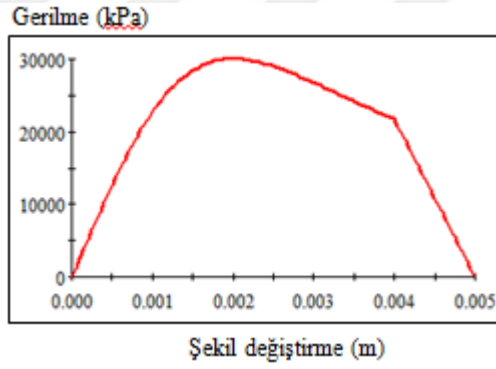
Şekil 2.7: Kesit 1 ve Kesit 2 için sargılı beton dayanım grafikleri

SZ10 ve SZ11 kolonları sahip oldukları donatı miktarları ve aralıkları aynı olduğundan sargılı beton dayanım grafikleri benzerdir. Kolon alt ve üst uçlarında sarılma bölgelerindeki kesitler Kesit 3, açıklıkta bulunan kesitler Kesit 4 olarak adlandırılmıştır ve bu kesitlere ait sargılı beton dayanım grafikleri Şekil 2.8’deki gibidir.



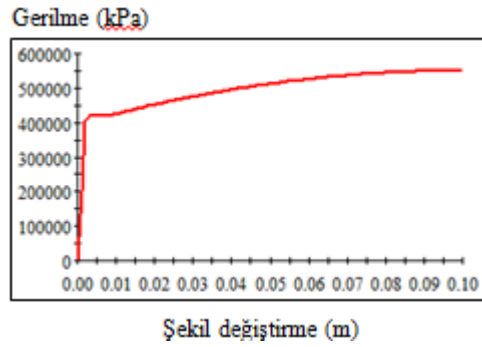
Şekil 2.8: Kesit 3 ve Kesit 4 için sargılı beton dayanım grafikleri

Sargısız beton modeli bütün betonarme kesitlerde aynı olduğundan tek bir diyagramla Şekil 2.9’da gösterilen biçimde tanımlanmıştır.



Şekil 2.9: Sargısız C30 Beton Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi

Donatı çeliği için S420 çeliği kullanılmış olup, aşağıdaki gerilme şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır. Elastisite modülü $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPa olarak alınmıştır.



S420 kalitesindeki donatı çeliğine ait detaylı bilgiler Tablo 2.1'den alınabilir.

Tablo 2.1: S420 donatı çeliği özellikleri

| Kalite | σ_{su} (MPa) | ϵ_{sy} (mm/mm) | ϵ_{sh} (mm/mm) | ϵ_{su} | σ_{sy} (MPa) |
|--------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|
| S420 | 420 | 0.0021 | 0.008 | 0.10 | 550 |

Yapı çeliği için kullanılan malzeme modelleri TS648 yönetmeliği esas alınarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında çapraz profiller ve yastık elemanlar için Fe37 çeliği kullanılmıştır.

Çapraz profiller ve yastık elemanlarda kullanılacak olan Fe37 çeliğinin malzeme özellikleri Tablo 2.2'deki gibidir.

Tablo 2.2: Yapı çeliği mekanik özellikleri

| Çeliğin Kısa Gösterilişi | σ_y (MPa) | ϵ_y (mm/mm) | σ_u (MPa) | ϵ_u (mm/mm) | Elastisite Modülü, E_s (MPa) |
|--------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Fe37 | 363 | 0.0011 | 235 | 0.1 | 210000 |

Yastık elemanlar için Fe37 çeliğinin kopma uzamasının 40 cm mertebesine kadar ulaşabileceği kabul edilmiştir. ($\epsilon_u=0.4$ mm/mm)

2.4. İç Kuvvet Şekildeğiştirme Bağlıları

Üç boyutlu sistemden bir ölçüde onu temsil etmek üzere alınıp uyarlanan tek açıklıklı tek katlı çerçevenin malzeme ve geometri yönünden doğrusal olmayan davranışları, plastik mafsalsı kabul eden SAP2000 bilgisayar programı aracılığı ile izlenmiştir. Ancak çerçevede özellikle iç kuvvetlerin hızlı değişmekte olduğu düğüm noktaları ve mesnetler civarında küçük parçalara ayrılarak kalıcı şekil değiştirmelerin yayılı gibi incelenebilmesinin yolu açık tutulmuştur.

Yapısal elemanların iç kuvvet şekildeğiştirme bağlantılarının belirlenmesinde XTRACT programı kullanılmıştır. Bu aşamada kolonlar aksenal kuvvet etkisi altında olduklarından dolayı moment eğrilik bağlantıları ile birlikte normal kuvvet-moment

etkileşim diyagramları da dikkate alınmıştır. Kirişlerde eksenel kuvvet bulunmadığı için yalnızca moment eğrilik bağıntıları oluşturulmuştur.

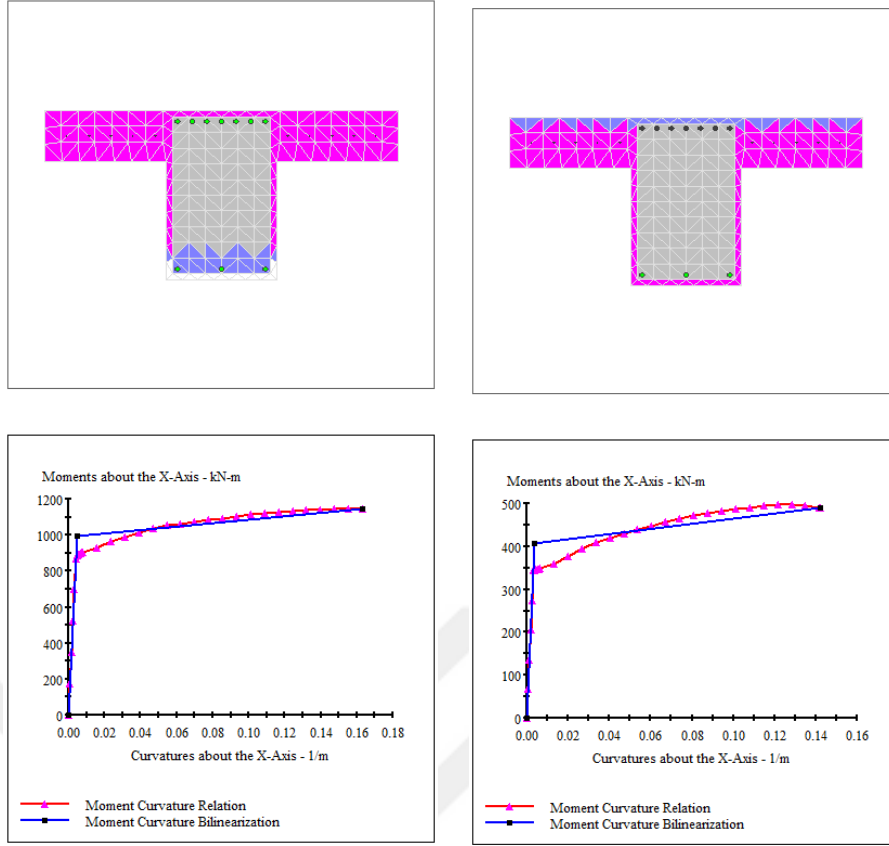
Model 2 ve 3’de kullanılacak olan çapraz profillerin iki ucu mafsallı olduğu düşünülmüş, böylece basınç ve çekme etkisinde kalabilecekleri durumları birbirinden ayrı ayrı temsil ederek burkulma olasılığını göz önüne alabilme olanağı yaratılmıştır.

Yastık elemanlarda kullanılan sacın dikdörtgen kesitleri hem eğilme momenti hem de eksenel kuvvetin etkisi altında kalan kesitler olduğu dikkate alınmıştır. Böylece iç kuvvet şekildeğişime bağıntılarında eksenel kuvvetin etkileri de hesaba katılmıştır. Bu özellik malzemenin doğrusal olmayan davranışını daha iyi temsil etmek üzere gözönünde tutulmuştur.

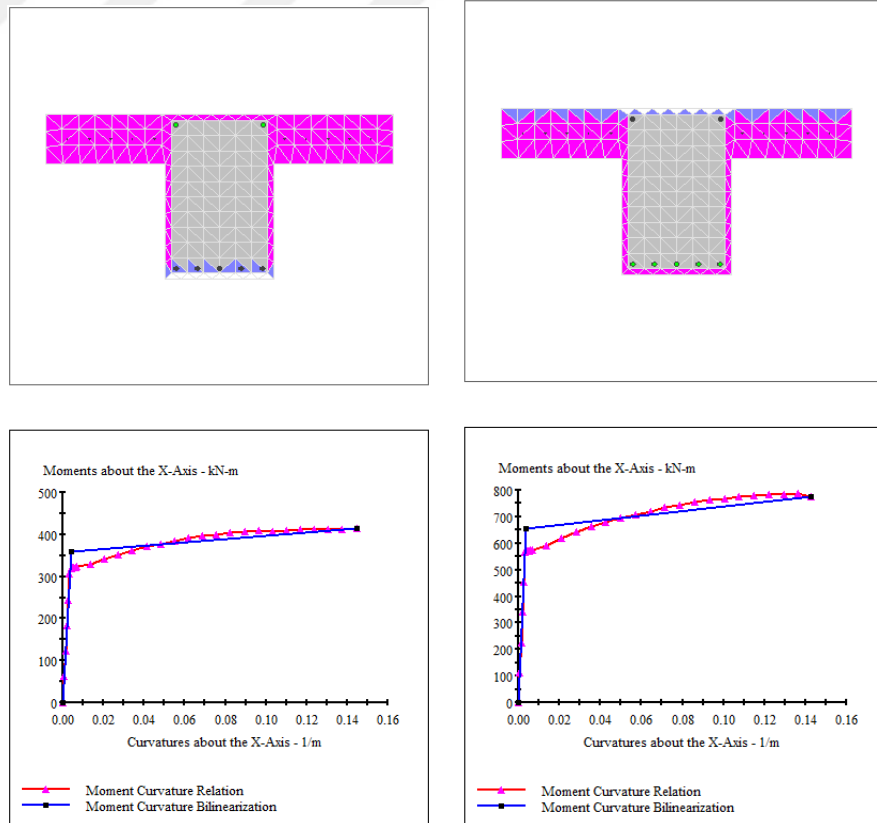
2.4.1. Kiriş ve kolon kesitlerinin kapasite bağıntıları

SAP2000’de sistemin doğrusal olmayan modellemesi yapılırken, yapısal eleman kesitlerindeki davranışın daha hassas biçimde belirlenmesini sağlamak amacıyla, elemanların doğrusal olmayan davranışları yayılı plastik mafsallı modeline göre yapılmıştır. Bu yüzden betonarme kolon ve kiriş elemanlar Bölüm 2.5’de detayları verilen şekilde parçalara ayrılmış ve her bir çubuğa plastik mafsallı ataması yapılmıştır. Mafsalların özellikleri, kesitlerdeki sargı donatısı aralığına ve boyuna donatı alanlarına bağlı olduğundan dolayı, çerçevenin kiriş ve kolon elemanlarında, açıklık ve birleşim bölgesine yakın kesitler olmak üzere iki farklı kesit modeli tanımlanmıştır.

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de kirişteki (Kesit 1) ve (Kesit 2)’ye ait iki yönlü moment eğrilik ilişkilerini gösteren diyagram verilmiştir.



Şekil 2.11: KZ08 Kiriş Kesit 1 İçin Kapasite Diyagramı



Şekil 2.12: KZ08 Kiriş Kesit 2 İçin Kapasite Diyagramı

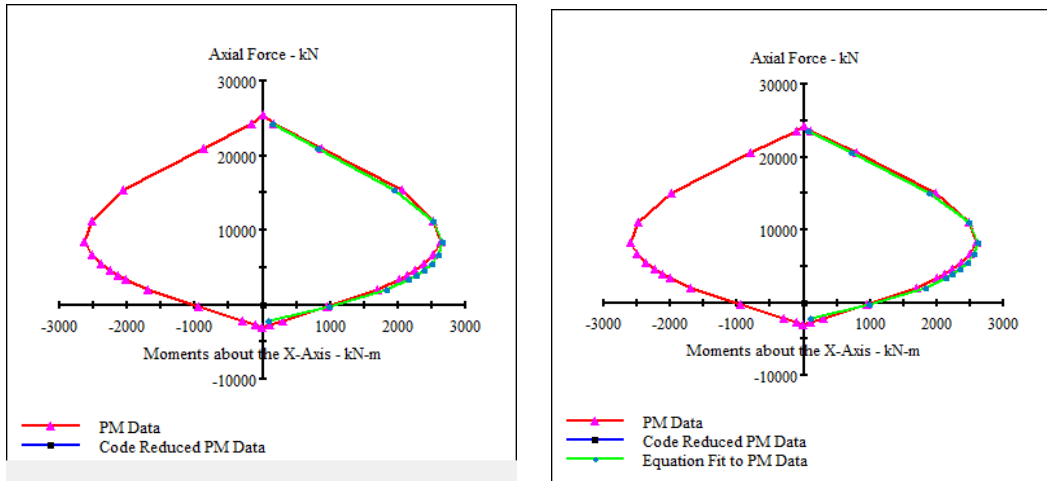
Tablo 2.3’de Kesit 1 ve Kesit 2’ye ait iç kuvvet ve şekildeğıştirmelerinin ulaşabileceği sınır değerler ve açısıl süneklik değerleri özetlemiştir.

Tablo 2.3: Kirişlerdeki kesit kapasiteleri

| KESİT | | Plastik Mafsıl Boyu | Akma Momenti | Akma Eğriligi | Maksimum Plastik Momenti | Maksimum Plastik Eğrilik | Açısıl (lokal) Süneklik |
|-------|---------|---------------------|--------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | $L_p(m)$ | (kNm) | (1/m) | (kNm) | (1/m) | |
| 1 | Pozitif | 0.4 | 996.2 | 0.0046 | 1146 | 0.1631 | 35.63 |
| | Negatif | 0.4 | 407.4 | 0.0037 | 489.4 | 0.1419 | 37.92 |
| 2 | Pozitif | 0.4 | 358.9 | 0.0040 | 414.5 | 0.1446 | 36.31 |
| | Negatif | 0.4 | 654.9 | 0.0038 | 776.6 | 0.1425 | 37.55 |

Burada pozitif ve negatif momentler etkisindeki iç kuvvet kapasiteleri ile şekildeğıştirebilme özelliklerinin farklı olduğuna dikkat edilmelidir. Burada seçilen her bir modelin doğrusal olmayan analizlerinde, şekildeğıştirme sınırlarına ulaşılması, sadece bölgesel göçme olarak değil sistemin de göçmesi olarak değerlendirilmektedir.

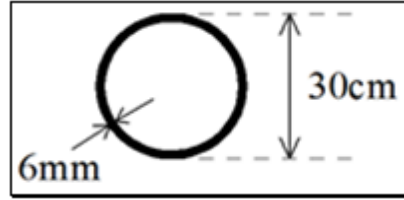
Kolon elemanlarındaki (Kesit 3) ve (Kesit 4)’e ait kapasite bağıntılarını gösteren diyagramlar Şekil 2.13’de gösterilmiştir. Eksenel kuvvetin küçük değerlerinde moment taşıma kapasitelerinin önemli ölçüde artmakta olduğu bu diyagramlardan gözlenmektedir.



Şekil 2.13: SZ10 (Kolon Kesit 3) ve SZ11 (Kolon Kesit 4) için kapasite bağıntısı

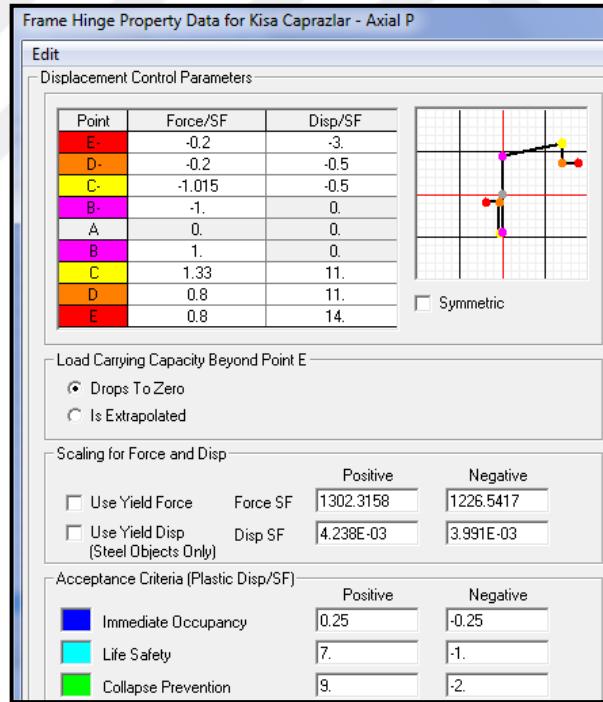
2.4.2. Seçilen kısa çelik çapraz elemanların çekme ve basınç etkisinde sergiledikleri davranış

Kısa çaprazlı sistemler için çapraz eleman olarak 300 mm çapında 6 mm et kalınlığına sahip boru kesitli profiller kullanılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Çapraz elemanların kesit boyutları

Çapraz elemanların iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları SAP2000 programı tarafından elde edilmiştir. Çaprazlar programa iki ucu mafsallı çubuklar olarak tariflenmiştir. Hesaplarda seçilen profile ait çekme ve basınç gerilmeleri altındaki öngörülen normal kuvvet-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 2.15'deki gibidir.



Şekil 2.15: Çapraz Elemanların Varsayılan Normal Kuvvet – Birim Şekil Değiştirme Grafiği

Çapraz elemanların basınç kuvvetleri altındaki kesit davranışlarında aksel kuvvetin, iki ucu mafsallı varsayıldığındaki çubuk Euler burkulma yüküne, karşılık gelen aksel gerilmeleri aşamayacağı öngörülmüştür.

Burada çekme kuvveti etkisi altındaki kesitin akma dayanımı malzeme özelliklerine, basınç kuvveti etkisinde kaldığında ise taşıyabileceği yükün üst sınırı yani burkulma yükü elemanın kesit ve geometri özelliklerine bağlı olmaktadır.

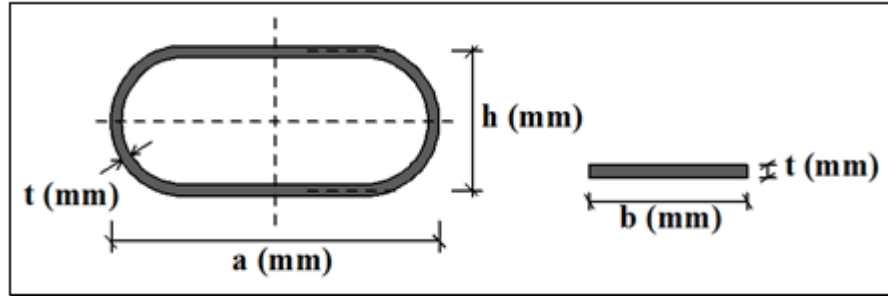
$$P_Y = \sigma_u * A \quad (2.1)$$

$$P_b = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (2.2)$$

Dolayısıyla burkulma yükü eğilme rijitliği ile artmakta, elemanın burkulma boyuna göre hızla azalmaktadır.

2.4.3. Yatay yükler etkisindeki çelik yastık elemanların doğrusal olmayan davranışı

Bir enerji yoğaltan eleman olarak kullanılan çelik yastıkların kesitleri, hazır borulardan kesilerek kolayca üretilebilen daire kesitli olabileceği gibi, sactan bükülürken tavlanarak artık gerilmeleri sıfırlanmış oval şekillerde de olabilmektedir. Dairesel kesitli elemanlarda yapılan bazı çalışmaları KHAJEHDEHI A. (2015), ÖZKAYNAK H. (2014), yayınlarından izlemek olanağı bulunmaktadır. Bu çalışmanın kapsamında kullanılmakta olan oval çelik yastıkların tipik bir örneği Şekil 2.16'da yer almaktadır.



Şekil 2.16: Oval çelik yastık tipik örneği

Bu elemanların doğrusal olmayan kendi davranışları farklı yükleme biçimlerinden biri esas alınarak, bu çalışmada kuramsal yönden incelenmekte ve ulaşılan sonuçlardan yararlanılarak bunların yapı davranışına etkileri de parametrik olarak Başlık 3'de gözden geçirilecektir.

Sistem geometrisi ve yüklemedeki ani değişimler sonlu elemanlar yöntemleriyle yapılan hesapların sonuçları üzerinde etkili olabilmektedir. Bu durum doğru eksenli çubuk sistemler için de geçerli olabilmektedir. Örneğin eğilme rijitliğinin çubuk

üzerinde ani değiştiği ya da çubuk üzerinde tekil kuvvetlerin bulunduğu durumlarda bu söz konusu olabilmektedir. Çalışmanın konusu olan çelik yastığın üzerinde de tekil yüklerin etkiliyor olması, aynı problem için seçilen çubuk eleman sayısı ile tekil yüklerin bu sisteme etki edilmesi koşuluna dikkat çekmektedir.

Buradaki kuşkuları gidermek üzere çelik yastık önce uç bölgelerden 45°'lik merkez açısıyla parçalara bölünerek hesap yapılmış daha sonra bunu doğrulamak üzere merkez açısı 30° ve 10°'ye bölünerek hesap yinelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Bölüm 2.4.3.1'de karşılaştırılmıştır.

Enerji yoğaltan yastık elemanların doğrusal olmayan analizlerine başlamadan önce bu elemanların boyutlandırılması yapılmış, seçilen boyutlara göre kapasite bağıntıları XTRACT programı kullanılarak çikartılmıştır. Çelik yastıkların kesit özellikleri belirlenirken, çaprazlı sistem için kullanılan çapraz elemanların aksenal rijitliği ile çelik yastığın bağlantı düzenek farkları esas alınarak tanımlanan rijitliklerinin birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir.

Seçilen yastık elemanların boyut ve kesit özellikleri aşağıdaki gibidir.

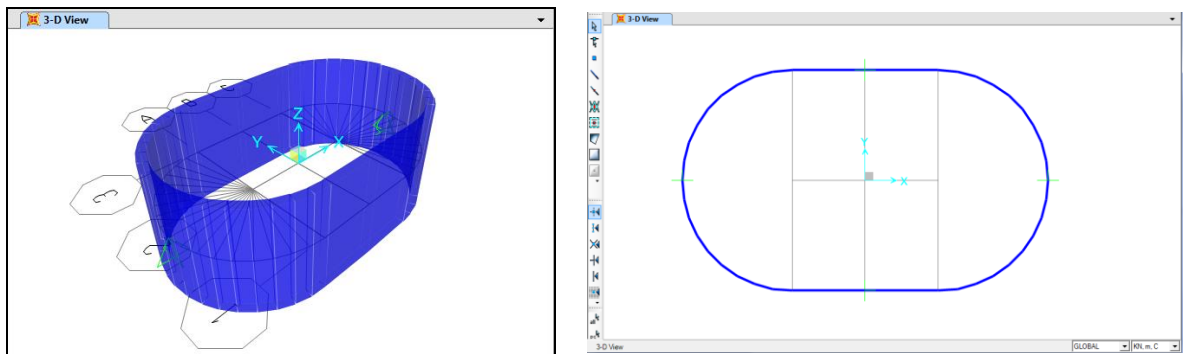
Yuvarlak dairenin çapı (D) = 300 mm

Et Kalınlığı (t) = 15 mm

Genişliği (b) = 190 mm

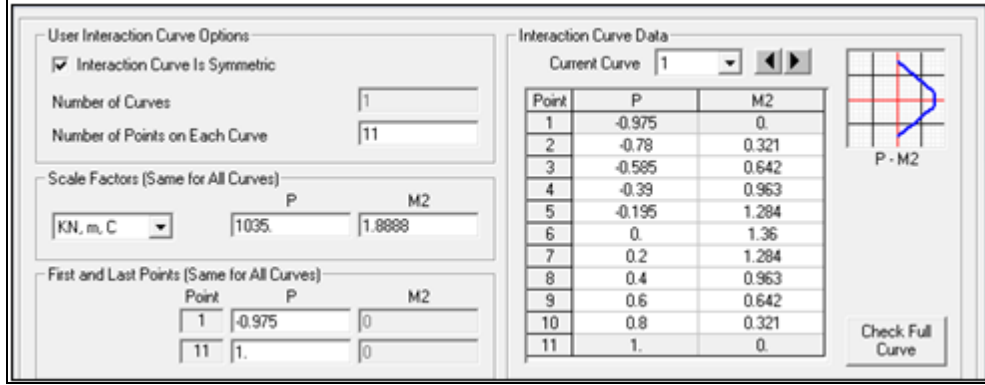
Uzunluğu (a) = 500 mm

Yüksekliği (h) = 300 mm

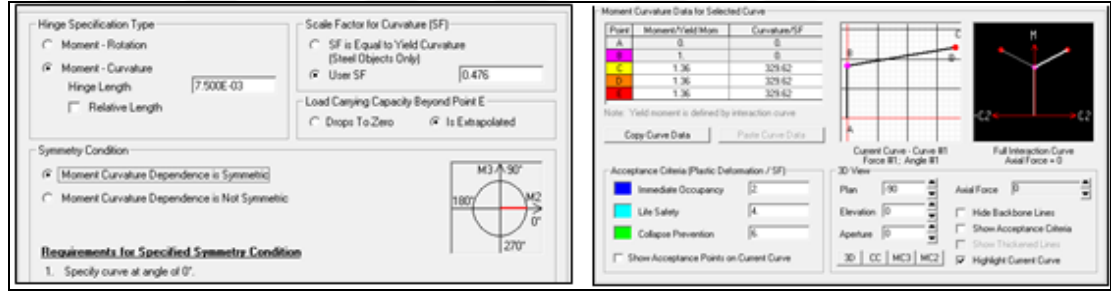


şekil 2.17: Oval çelik yastık SAP2000 modeli

Çelik yastık elemanların kırılma koşulları moment ve eksenel kuvvete bağlı olması durumu için SAP 2000 programına tanımlanan karşılıklı etki diyagramı ve moment eğrilik grafiği Şekil 2.18'deki gibidir.



Şekil 2.18: Çelik yastık modeli için etkileşim diyagramı (Sap2000 programı)



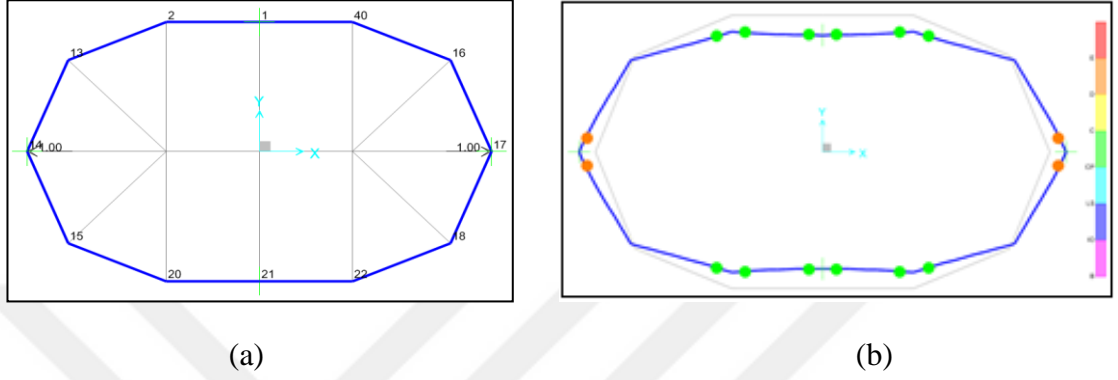
Şekil 2.19: Çelik yastık modeli için moment eğrilik diyagramı (Sap2000 programı)

2.4.3.1. Çelik yastığın çekme ve basınç yükleri etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışı

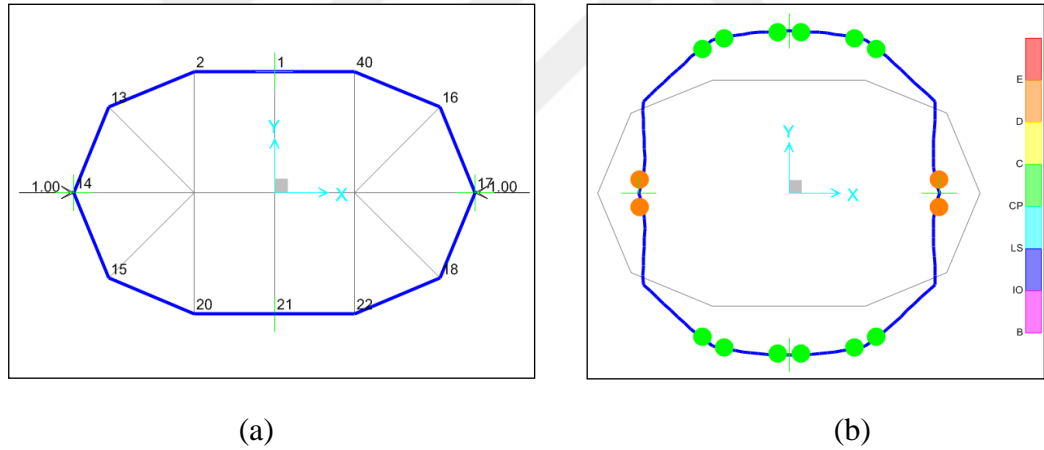
Çelik yastığın çekme ve basınç yükleri etkisindeki davranışı a- 45 derecelik (Model A), b- 30 derecelik (Model B) ve c- 10 derecelik (Model C) merkez açısına bölünmesi durumu için oluşturulan üç farklı modelleme şekline göre aşağıda ayrı ayrı gösterilmiş ve ulaşılan sonuçlar tek bir diyagram üzerinde özetlenmiştir (Şekil 2.26). Her bir model için meydana gelen göçme durumu, kırmızı renkte görülen plastik mafsalların moment kapasitelerine ulaşmasıyla meydana gelmiştir. Çelik yastığın doğrusal olmayan hesaplarında SAP2000 programı kullanılmıştır. Programda model üzerindeki 1 ve 21 numaralı düğüm noktalarının x ve z yönündeki yer değiştirmeleri tutulmuş, uç noktalarında ise sadece x yönündeki yer değişimine izin verilmiştir. Gerçeğe daha yakın bir şekilde modellemek amacıyla Ayrıca tekil yüklerin etkideği uç noktalardaki küçük bölgelere rijit çubuklar tanımlanmıştır.

Model A

Çelik yastığa, Şekil 2.20.a ve Şekil 2.21.a’da görüldüğü gibi 14 ve 17 numaralı düğüm noktasından 1’er kN’luk tekil yükler uygulanarak yatay yük artımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu yastıkta belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsalsal noktaları Şekil 2.20.b ve Şekil 2.21.b ‘de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Yastık elemanların (45^0 ’lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu

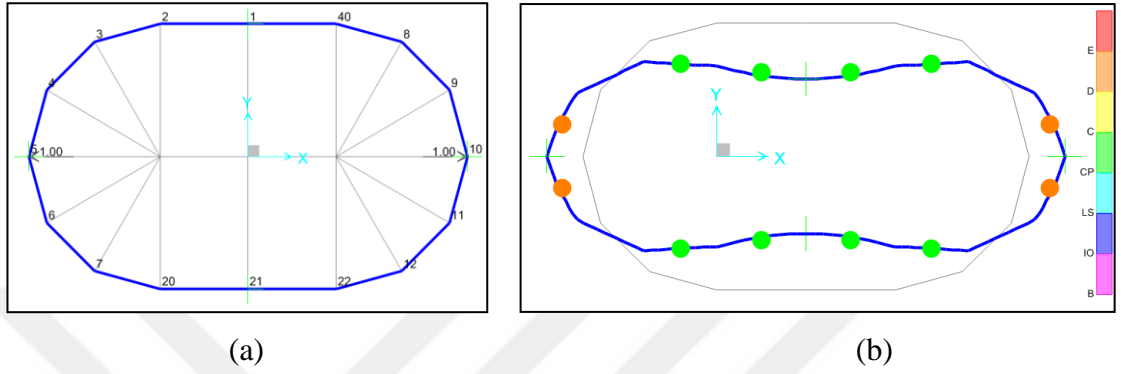


Şekil 2.21: Yastık elemanların (45^0 ’lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu

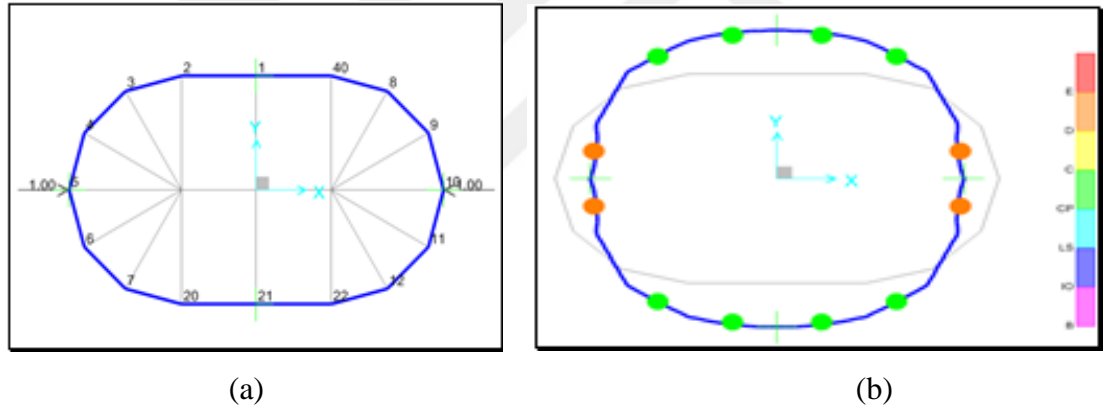
Her iki yükleme durum için de göçme, uçlardaki plastik mafsalsal durumunun malzeme sınırlarına ulaşmasıyla ortaya çıkmıştır. Çekme yükleri etkisi altında sistemin yatay yük taşıma kapasitesi 84.83 kN, ulaşılan maksimum yer değiştirmesi ise 0.178 m olduğu görülmüştür. Sistemin basınç kuvvetleri etkisi altındaki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 84.92 kN, maksimum yer değiştirmesi ise 0.178 m olarak bulunmuştur.

Model B

Çelik yastığa, Şekil 2.22.a ve Şekil 2.23.a’da görüldüğü gibi 5 ve 10 numaralı düğüm noktasından 1’er kN’luk tekil yükler uygulanarak yatay yük artımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu yastıkta belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 2.22.b ve Şekil 2.23.b’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22: Yastık elemanların (30^0 ’lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu

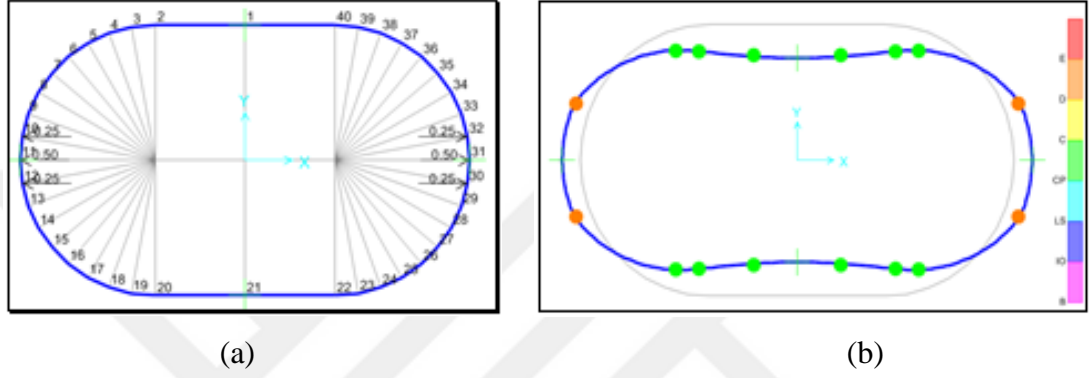


Şekil 2.23 Yastık elemanların (30^0 ’lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu

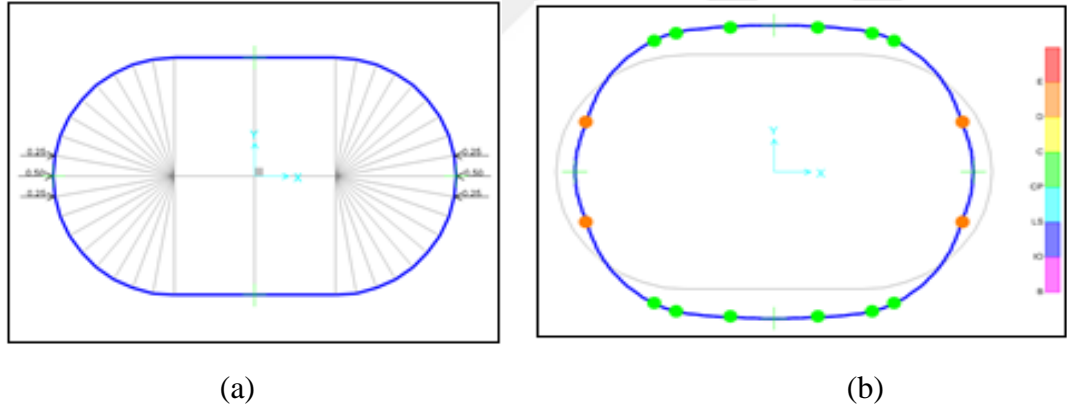
Her iki durum için göçme, uçlardaki plastik mafsaldaki şekil değiştirme durumunun malzeme sınırlarına ulaşmasıyla meydana gelmiştir. Çekme yükleri etkisi altında sistemin yatay yük taşıma kapasitesi 121.23 kN, ulaşılan maksimum yer değişimi ise 0.134 m olduğu görülmüştür. Sistemin basınç kuvvetleri etkisi altındaki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 121.20 kN, maksimum yerdeğişimi ise 0.134 m olarak bulunmuştur.

Model C

Yatay yük artımı yöntemi için SAP2000’de yastık uçlarına tanımlanan tekil yükler Şekil 2.24.a ve Şekil 2.25.a’da gösterildiği gibi 10,11,12 numaralı düğüm noktalarında $-x$ yönünde, 30,31,32 numaralı düğüm noktalarında $+x$ yönünde sırasıyla 0.25, 0.5 ve 0.25 kN olacak şekilde tanımlanmıştır. Analiz sonucu yastıkta belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallı noktaları Şekil 2.24.b ve Şekil 2.25.b’de gösterilmiştir.



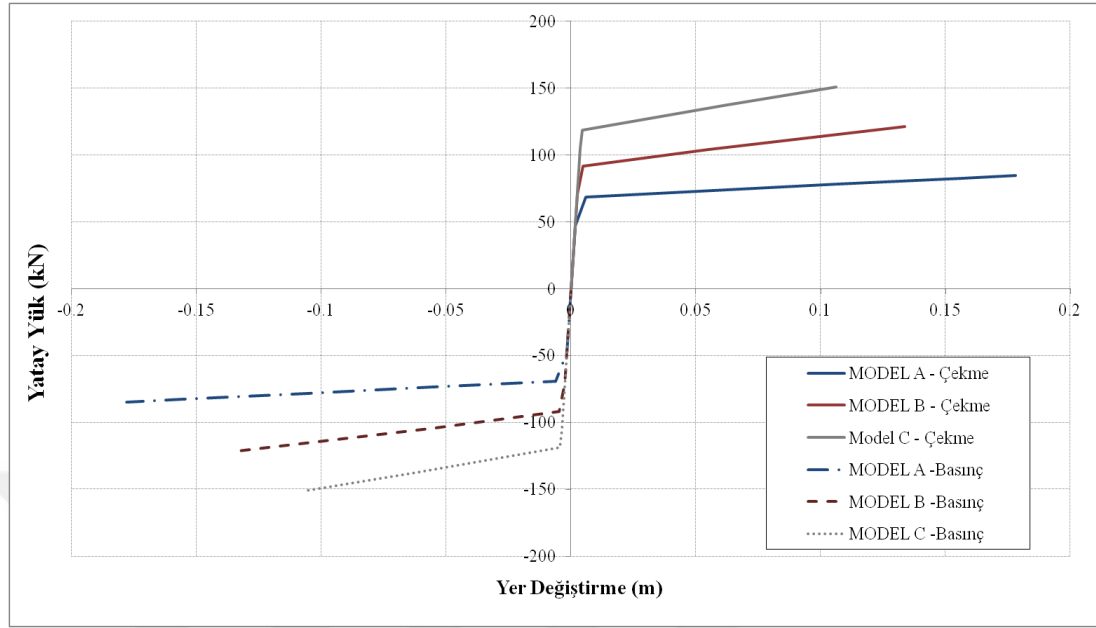
Şekil 2.24: Yastık elemanların (10^0 ’lik açıyla) çekme kuvvetleri altındaki durumu



Şekil 2.25: Yastık elemanların (10^0 ’lik açıyla) basınç kuvvetleri altındaki durumu

Her iki yükleme durum için göçme, uçlardaki plastik mafsallı şeklin değişirte durumunun malzeme sınırlarına ulaşmasıyla ortaya çıkmıştır. Çekme yükleri etkisi altında sistemin yatay yük taşıma kapasitesi 150.63 kN, ulaşılan maksimum yer değıştirmesi ise 0.106 m olduğu görülmüştür. Sistemin basınç kuvvetleri etkisi altındaki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 150.58 kN, maksimum yer değıştirmesi ise 0.106 m olarak bulunmuştur.

Seçilen üç model için çekme basınç kuvvetleri etkisi altında meydana gelen yatay yük yer değiştirme grafiği şekil...’da gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Yastık elemanların doğrusal olmayan analizi

Yukarıdaki karşılaştırmalardan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Çelik yastığın parça sayısı artırılmasıyla taşıma kapasitesi arttığı, bununla birlikte deplasman sünekliğinin azaldığı ve sistemin daha rijit bir hal aldığı görülmüştür.
- Basınç gerilmeleri altında yapılan itme analizi sonuçları ile çekme gerilmeleri altında yapılan itme analizi sonuçları karşılaştırılmış ve aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Normal kuvvetin çekme ve basınç olması bu sonuç üzerinde etkili değildir. Bu durumun nedeni çelik elemanların burkulmadığında basınç ve çekme gerilmeleri altında aynı davranışı göstermesidir. Çelik yastık elemanlar küçük parçalara bölünerek modellendiği için burkulmaması çekme ve basınç gerilmeleri altında aynı sonuçları vermesi beklenen makul bir sonuçtur.

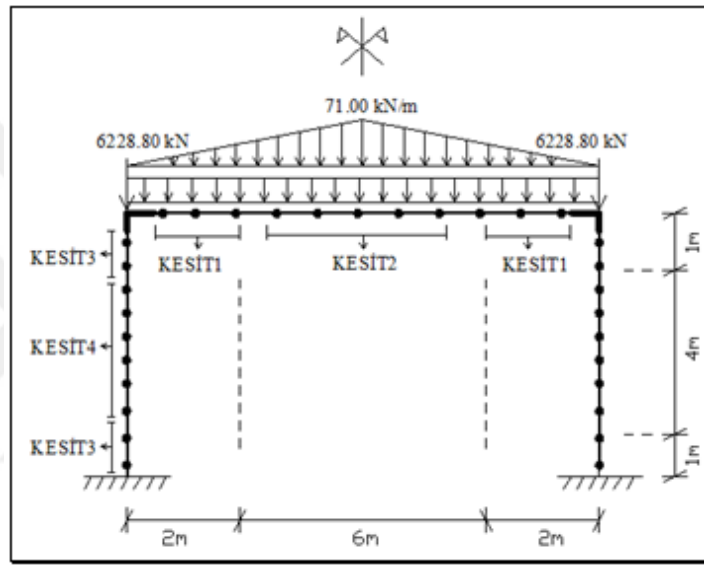
2.5. Yapısal Sistemin Belirlenmesi

Çalışmada çıplak çerçeve, iki köşeden kısa çaprazlı çerçeve, kısa çaprazlar ve enerji yoğunlaştırıcı elemanların birlikte kullanıldığı çerçeve olmak üzere üç farklı model kullanılmıştır. Üç boyutlu modelin seçilen orta açıklıktaki çerçevesine üst katlardan

aktarılan sabit ve hareketli yükler, kolon uçlarına aksenal kuvvet olarak etkilmiştir. Döşemelerden hareketli ve ölü yükler kirişlere yayılı yük olarak etkilmiştir. Betonarme kolon ve kiriş elemanların her iki ucuna sonsuz rijit uçlar tarif edilmiştir.

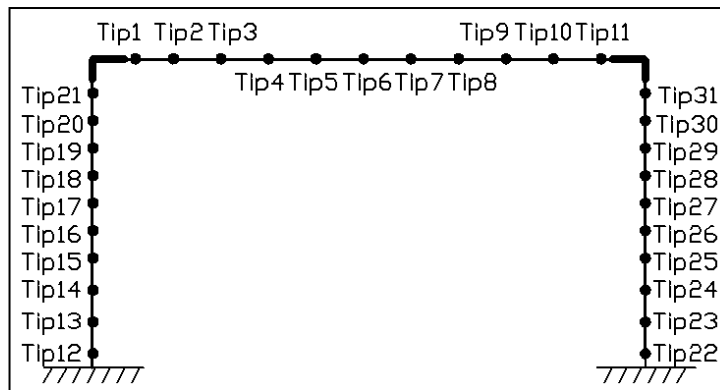
2.5.1. Çıplak çerçeve (Model-1)

SAP2000’de Model-1 için oluşturulan çıplak çerçeve Şekil 2.27’deki gibidir. Programda çerçeveye ait kolon ve kiriş elemanlar on parçaya bölünmüş, bölünen her bir parçaya denk gelen kesit kapasiteleri, Bölüm 2.4’de detayları verilen XTRACT programı kullanılarak oluşturulan grafiklerden alınmıştır.



Şekil 2.27: Çıplak Çerçeve Modeli (Model 1)

Çerçevenin doğrusal olmayan analizlerinde kesit davranışlarını daha iyi anlayabilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla programda tanımlanan her bir plastik mafsala numaralar verilmiştir (Şekil 2.28).

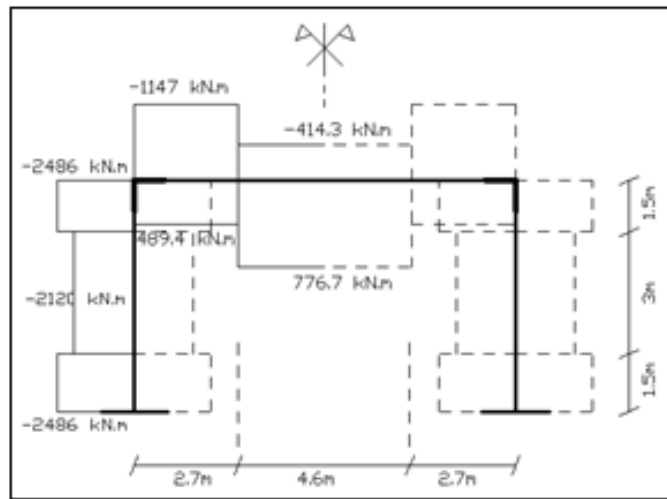


Şekil 2.28: Çıplak çerçeve için tanımlanan plastik mafsallar (Model 1)

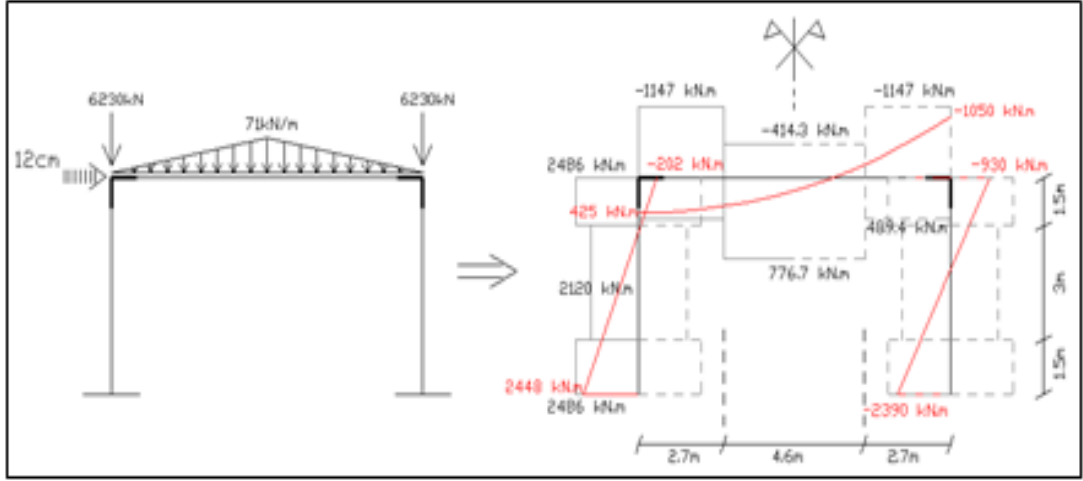
2.5.2. İki köşeden çelik çaprazlı çerçeve (Model-2)

Mühendislik literatüründe çaprazların bağlantı noktalarının seçimi konusunda çeşitli parametrik çalışmalara rastlamak mümkündür. Dış merkez çaprazların kiriş ve kolon elemanlarına bağlanmakta olduğu kesitler sistem davranışı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Burada düşey yükler açısından en çok zorlanan açıklık ortasındaki kesitlerle yatay yükler açısından en çok zorlanan düğüm noktasına yakın kesitlerden yeterince uzak kalınarak, düşey veya yatay yükler dolayısıyla eğilme kapasitesi kullanılmamış olan kiriş kesitlerine bağlanma yolu tercih edilmiştir. Kolon elemanlara bağlantı noktası ise bu elemanların yatay yükler etkisindeki büküm noktasına yakın bölgeler olarak seçilmiştir.

Şekil 2.29'da çıplak çerçevenin kapasite diyagramı verilmiştir. Deprem yönetmeliğinde belirtilen, her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değerinin, yüksekliğin 0.02 katından büyük olmama koşuluna göre, çalışmadaki tek açıklıklı tek katlı çerçevenin altında yapabileceği yatay ötelemesinin 12 cm'i geçemeyeceği düşünülmüştür. Burada çıplak çerçeveye düşey yükler etkisi altında 12 cm'lik yatay deplasman verilmiş ve bu durumda oluşacak moment diyagramı Şekil 2.30'daki gibi gösterilmiştir. Bu yöntem sistemin öngörülen koşullarında en az zorlanan kesitleri hakkında, dolayısıyla çaprazların kolon ve kirişlere bağlantı noktalarının yeri hakkında bilgi vermiştir.

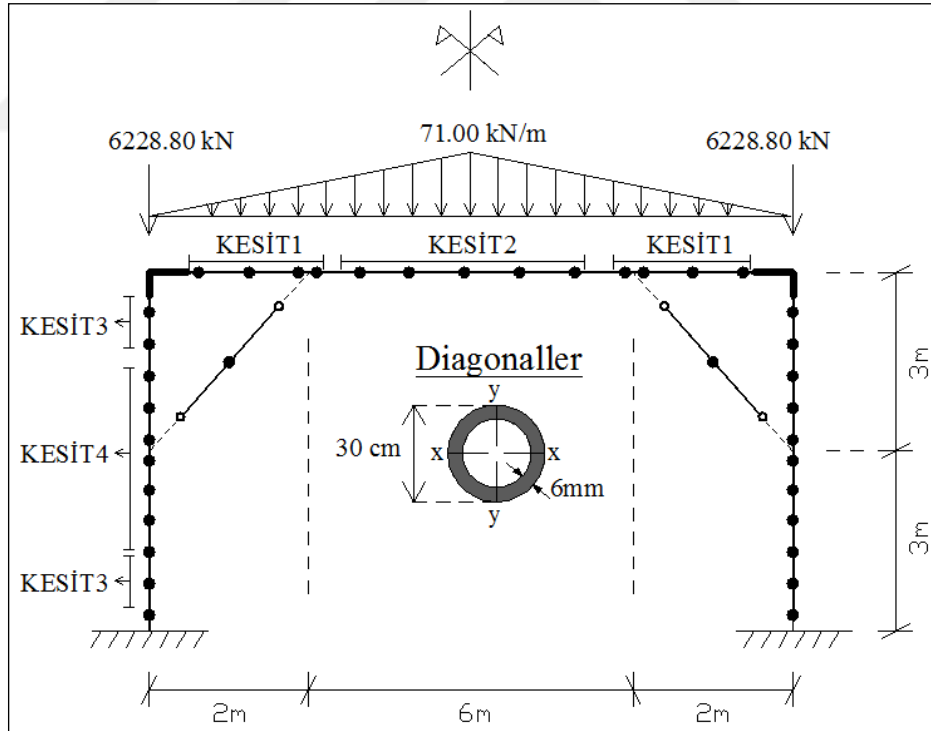


Şekil 2.29: Çıplak çerçeve kapasite diyagramı



Şekil 2.30: Çıplak çerçeve moment diyagramı

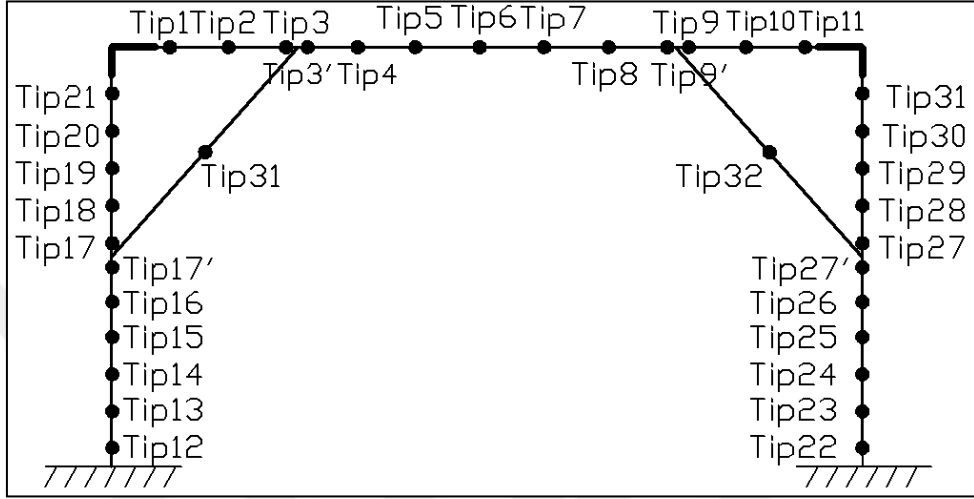
Yukarıda belirtilen koşullar ışığında seçilen çelik çaprazlı çerçeve modeli (Model2) şekil 2.31'deki gibidir. Özetle söylemek gerekirse bu çalışmada açıklığın dörtte bir noktasıyla kolonun orta noktasını birleştiren *eli belindeler* ile alt ve üst kat kirişlerini ¼ noktalarından birbirine birleştiren çaprazlar kullanılmıştır.



Şekil 2.31: Kısa Çaprazlı Çerçeve Modeli (Model 2)

Seçilen çapraz elemanların gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntılarına göre Normal kuvvet-Birim şekildeğiştirme bağıntıları XTRACT programı kullanılarak elde edilmiş ve Bölüm 2.4.2'de belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar SAP2000 programında çapraz

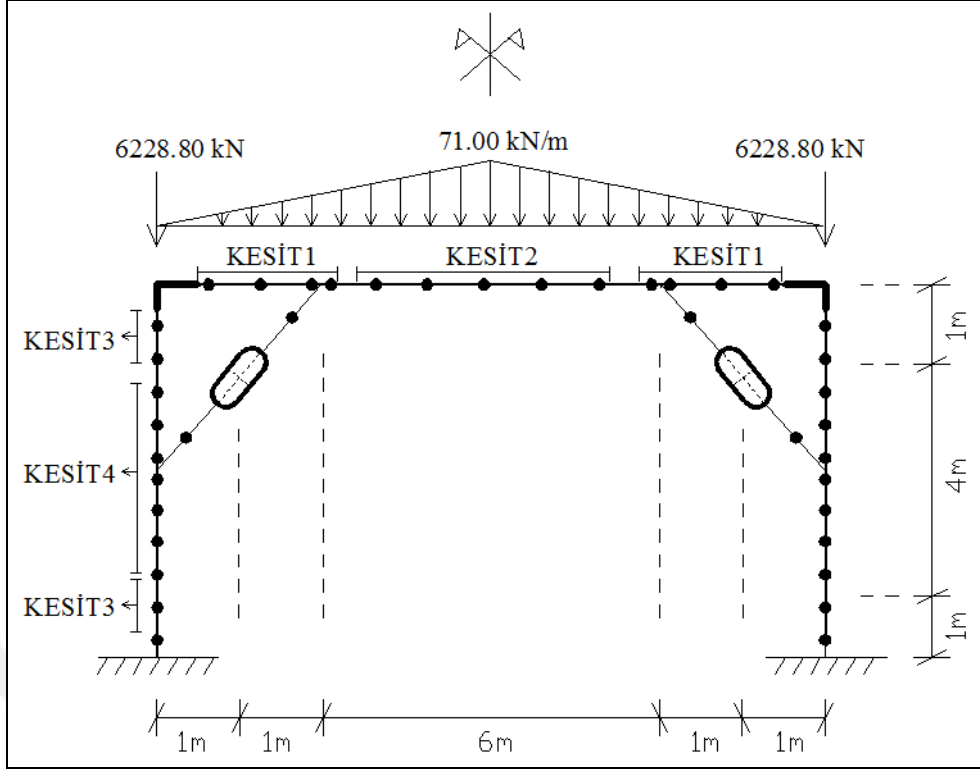
elemanların plastik mafsallı özellikleri olarak tanımlanmıştır. Çaprazların kolon ve kiriş elemanlarına mafsallı bağlı oldukları ve bu elemanlarda moment oluşmadığı, sadece aksel kuvvet etkisi altında oldukları varsayılmıştır. Çelik çaprazlar için tanımlanan plastik mafsallar çubuk ortalarında olacak şekilde tanımlanmıştır. Programda tanımlanan her bir plastik mafsala ait numaralandırmalar Şekil 2.32 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.32: Kısa çaprazlı çerçeve için tanımlanan plastik mafsallar (Model 2)

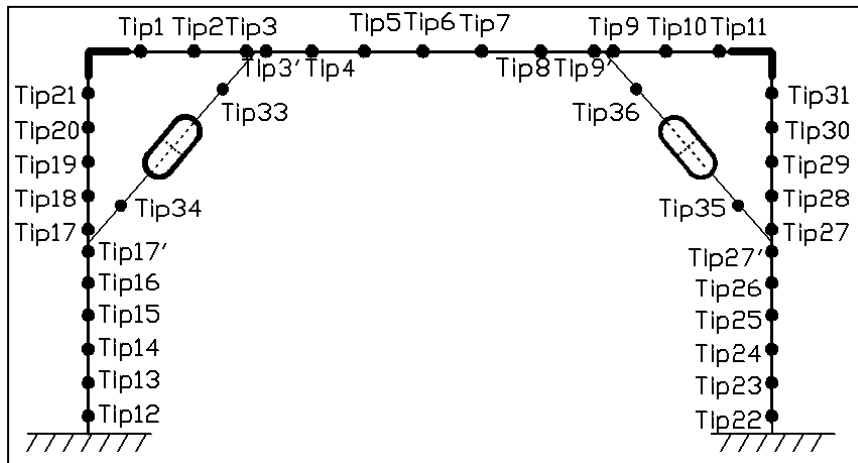
2.5.3. Kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanılması (Model-3)

Yer hareketi sonucu yapıya aktarılan deprem enerjisinin yoğaltılması ve yapının yatay yük kapasitesinin artırılması için, yapının uygun yerlerine uygun detaylarla enerji yutan çelik yastıklar eklemek mümkündür. Eklenen sönümleyicilerin birden fazla şekilde konumlandırılma ve farklı yüklenme olanakları vardır. Bunlarla ilgili örnekler Bölüm 1.1'de yer almaktadır. Bu çalışma için seçilen çelik yastıklı çerçeve modeli Şekil 2.33'de verilmiştir.



Şekil 2.33: Kısa çapraz ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanımı (Model 3)

Burada çelik yastıkların çerçevedeki konumları çapraz elemanların tam orta noktası olarak belirlenmiştir. Çaprazların Model 2'deki gibi sadece aksenal kuvvet etkisi altında olduğu varsayılmıştır. Ayrıca çapraz elemanlar çerçeveye mafsallı, çelik yastık elemanlara rijit şekilde bağlanmıştır. Yastıklar çok küçük elemanlara bölünmüş ve bu parçalara Bölüm 2.4.3'de tariflenen kapasite bağıntıları tanımlanmıştır. Model-3 için tanımlanan plastik mafsallar Şekil 2.34'deki gibi gösterilmiştir.

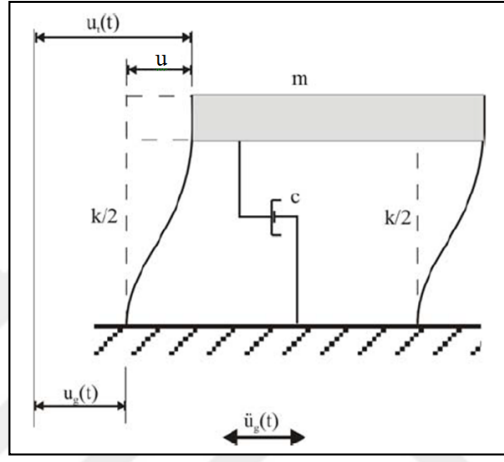


Şekil 2.34: Kısa Çapraz ve Enerji Yoğaltıcı Elemanların Birlikte Kullanıldığı sistemde tanımlanan palstik mafsallar (Model 3)

2.6. Yapıya Aktarılan Toplam Deprem Enerjisi

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları enerji esaslı olarak incelendiğinde, ilk olarak depremle birlikte yapıya giren enerji ele alınmalıdır. Bunun için öncelikle enerji denge denklemlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Yatay yer hareketi etkisindeki sönümlü, tek serbestlik dereceli sistemin (Şekil 2.35) genel hareket denklemi 2.3 ile ifade edilebilir (Chopra, 1995).

$$m\ddot{u}_t + c\dot{u} + f_s = 0 \quad (2.3)$$



Şekil 2.35: Yer hareketine maruz tek serbestlik dereceli sistem

Burada m : sistemin kütlesi, c : viskoz sönüm katsayısı, f_s : yay kuvveti olup, doğrusal bir sistem için sistemin rijitliği (k) ve deplasmanının (u) çarpımı şeklinde ifade edilebilir. u_t : kütlenin mutlak yer değiştirmesi, u : kütlenin yere göre rölatif yer değiştirmesidir. Kütlenin mutlak yer değiştirmesi, u_t denklem (2.4)'deki gibi ifade edilebilir.

$$u_t = u + u_g \quad (2.4)$$

Burada u_g : yer hareketinin yer değiştirmesidir. Buna göre denklem (2.3) ve (2.4) ifadesi kullanılarak yeniden yazılırsa;

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.5)$$

eşitliği elde edilir.

Doğrusal olmayan bir sisteme yer hareketi sırasında giren enerji; yapı kinetik enerjisi, viskoz sönüm enerjisi, elastik şekil değiştirme enerjisi ve doğrusal olmayan

davranış sonucu yapıda tüketilen enerjinin (histeretik enerji) toplamı olarak ifade edilebilir.

Yer hareketi sonucu yapıya aktarılan deprem enerjisi ile yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışı sonucu tükettiği enerji birçok yapısal özellik ve karakteristiğe bağlı olmakla beraber, enerji denge denklemleri ve hareket denklemlerinin integrasyonu sonucu denklem (2.6)'deki gibi hesaplanabilmektedir (Chopra, 1995).

$$\int m\ddot{u}(t)du + \int c\dot{u}(t) + \int f_s(u, \dot{u})du = - \int m\ddot{u}_g(t)du \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'de sağ tarafta kalan kısım yapıya giren toplam deprem enerjisini, (E_I), göstermektedir.

$$E_I(t) = - \int m\ddot{u}_g(t)d(u) = -m \int \ddot{u}_g(t)\dot{u}(t)dt \quad (2.7)$$

Tez çalışması kapsamında yapıya aktarılan enerji hesabında denklem (2.7)'deki ifade kullanılacaktır.

Denklem (2.6)'nın sol tarafındaki ilk terim kütle için yere göre relatif hareketiyle ilişkili olan kinetik enerjiyi, (E_K) göstermektedir.

$$E_K(t) = \int_0^u m\dot{u}(t)du = \frac{1}{2}m\dot{u}(t)^2 \quad (2.8)$$

Denklem (2.6)'da eşitliğin sol tarafındaki ikinci terim viskoz sönüm yoluyla tüketilen enerjiyi, E_D , göstermektedir.

$$E_D = \int_0^u c\dot{u}(t) du = \int_0^u f_D(t) du \quad (2.9)$$

Denklem (2.6)'nın sol tarafındaki üçüncü terim ise, doğrusal şekil değiştirme enerjisi, E_S ile, sistemin akması sonucu oluşan histeretik enerjinin, E_H toplamını göstermektedir. Bu değerler (2.10) ve (2.11) eşitliklerinden hesaplanabilir.

$$E_S = \frac{[f_s(t)]^2}{2k} \quad (2.10)$$

$$\int_0^u f_s(u, \dot{u})du = E_S(t) + E_H(t) \quad (2.11)$$

Burada k , doğrusal olmayan sistemin başlangıç rijitliğini olarak ifade edilmektedir. Yukarıda belirtilen enerji terimleri dikkate alındığında Tek Serbestlik Dereceli Sistemin enerji dengesinin en genel hali denklem (2.12)'deki gibi olmaktadır.

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) \quad (2.12)$$

Bu bölümdeki enerji terimleri, büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan dinamik bir kuvvete maruz sistem için incelenmiştir. Bu sebeple (2.12) denklemindeki enerji terimleri toplam hareket sonucu oluşan değil, kütle için yere göre rölatif hareketi sonucu oluşan hareket enerjisini ifade etmektedir. Burada toplam enerji, (E_I), yer hareketi sonucu yapının temelinde oluşan toplam kesme kuvvetinin yaptığı işe göre de mutlak enerji şeklinde ifade edilebilir [Uang ve Bertero, (1988)].

Deprem esnasında yapıda giren toplam enerji dengesinin en genel halini gösteren (2.12) eşitliğinin sol tarafında kalan anlık kinetik enerji, $E_K(t)$, ve doğrusal şekil değiştirme enerjisi, $E_S(t)$, herhangi bir zamanda sarsıntı süresindeki enerji girişinin küçük bir parçasıdır. Etkileri histeretik enerji, $E_H(t)$, ve sönüm enerjisi ile kıyaslandığında daha düşüktür. Bu nedenle kinetik enerji ve doğrusal şekil değiştirme enerjisinin doğrusal olmayan hesaplardaki etkisi ihmal edilmiştir.

Histeretik enerji, $E_H(t)$, yapısal elemanın doğrusal olmayan şekil değiştirmesiyle ve yapısal birleşimlerin şekil değiştirme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden enerji girişinin tüketilmesinde, toplam sönüm enerjisi ve histeretik enerji daha önemlidir [ÖZCEBE G. (2003)]. Hesaplarda kullanılan enerji dengesi Denklem (2.13)'deki gibidir.

$$E_I(t) = E_D(t) + E_H(t) \quad (2.13)$$

Histeretik enerji, yapı taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı sonucu soğurulan ve yapısal hasarlarda rol oynayan en önemli enerji bileşenidir. Çalışma kapsamında, yatay yüklerin etkisi altındaki betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı sonucundaki enerji tüketimi, SAP2000'de tanımlanan modeldeki doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin toplandığı kabul edilen plastik mafsallarda olduğu varsayılmıştır. Kesitlerin doğrusal olmayan davranışları sonucu tükettiği enerji, tekrarlı yük etkisindeki elemanların yaptıkları iç kuvvet-şekildeğiştirme çevrimleri sonucu oluşan alanın hesaplanmasıyla

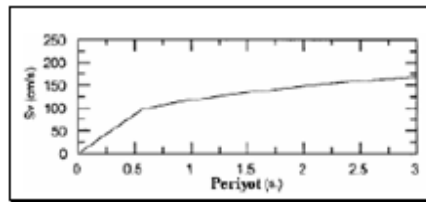
bulunmuştur. Kısaca özetlemek gerekirse, plastik mafsallardaki sönmölenen enerji, klasik iş-enerji ifadesinden yararlanılarak en basit şekilde,

$$E_{pi} = M_{pi} \cdot \theta_{pi} \quad (2.14)$$

eşitliği kullanılarak bulunmuştur. Burada M_{pi} taşıyıcı sistem elemanında oluşan plastik moment değerini, θ_{pi} plastik dönmeyi ve E_{pi} plastik mafsallarda tüketilen enerjiyi ifade etmektedir. Zaman artımı analizleri sonucu plastikleşen kesitlerde tüketilen enerjilerin hesabında, Yard. Doç. Dr. Ahmet Anıl Dindar tarafından MATLAB programı yardımıyla hazırlanmış kod yazılımı kullanılmıştır (DİNDAR A. 2009). İç kuvvet şekil değiştirme verileri öncelikle SAP2000 programında yapılan dinamik analizler sonucu elde edilmiş, daha sonra MATLAB'daki hazır koda işlenerek histeretik enerjiler hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada, doğrusal olmayan davranış gösteren yapı sistemlerine depremle birlikte giren enerjinin hesabı için kullanılan (2.7) eşitliğini karşılaştırmak üzere kullanılan bir diğer yaklaşım ise Housner (1956) tarafından geliştirilen 2.15 bağıntısıdır. Housner (1956), deprem tepki hız spektrumunun periyotla çizdiği eğrinin geniş bir periyot aralığında sabit kalma eğiliminin olduğunu göstermiş, bu varsayıma dayanarak, tek serbestlik dereceli sisteme giren maksimum deprem enerjisinin ortalama olarak;

$$E_I = \frac{1}{2} M S_V^2 \quad (2.15)$$

olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 2.36: Tasarım hız spektrumu (UBC-94)

Burada M tek sistemin kütleini, S_V ise sistemin elastik tepki hız spektrumunu göstermektedir. Denklem (2.15)'de ifade edilen bu enerji, aynı zamanda elastik sistem tarafından elde edilen maksimum enerjidir. Yer hareketi sonucu yapı elemanlarının bazı kısımlarında plastikleşme meydana gelmesi sonucu yapı rijitliği değişeceğinden, gerçekte yapıya giren enerjinin, (2.15)'de sözü edilen E_I enerji değerinden daha küçük olacağı düşünölmektedir.

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMELERDE SİSTEM

DAVRANIŞININ İZLENMESİ

3.1. Yatay Yük Artımı Yöntemi ile Birinci Ve İkinci Mertebe Hesap

Doğrusal olmayan yatay yük artımı analizi genel olarak, yapının yatay yük etkisindeki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artırılmaktadır. Çalışmada seçilen çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin bulunması amacıyla, malzeme ve geometri yönünden doğrusal olmayan analizleri SAP2000 programı kullanılarak yapılmış, her sistem için elde edilen kuvvet- yer değiştirme eğrileri adım adım incelenmiştir. Üç boyutlu sistemden çerçeveye indirgenen sabit ve hareketli yükler kolonlara eksenel kuvvet olarak etkilmiştir. Bu yükler etkisi altında yapılan yatay yük artımı analizlerinde ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ve katılmadığı iki durumda incelenmiştir. Elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiğinde oluşan ilk eğim, yapısal sistemdeki akma noktalarını göstermektedir.

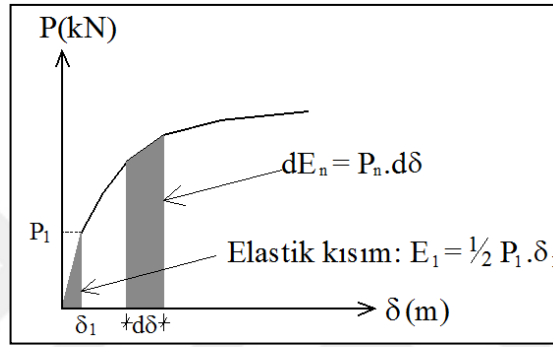
Analizlerin hepsinde göçme ölçütleri olarak aşağıda deprem yönetmeliği tarafından belirtilen durumlar göz önüne alınmıştır:

- i. **Kesit Sünekliği Üst Sınırı:** $M-\theta$ bağıntısında θ_u 'ya ulaşılan ilk aşama,
- ii. **Yerdeğiştirme Üst Sınırı:** Göreli uç yerdeğiştirmelerinin öngörülen sınıra erişmesi

Analizlerde, yukarıda daha önce tanımlanmış olan göçme ölçütlerinden herhangi birine öncelikle ulaşılan kadar yatay yükler belirli oranlarda artırılmaya devam edilmiştir.

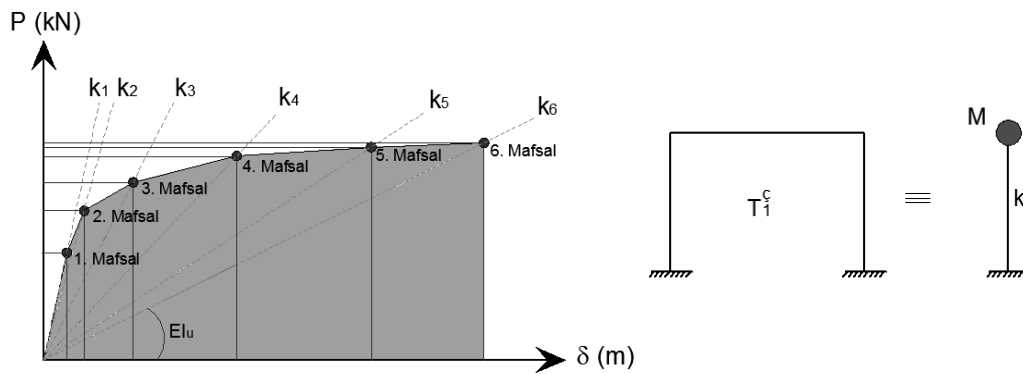
Yatay yük artımı analizlerinde seçilen modellerin sadece yatay yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmamış, çerçevelerin serbest titreşim periyodundaki değişimler ve dış kuvvetlerin yaptığı iş de hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çerçevenin statik yatay yük etkisi altında göçme durumuna ulaşana kadarki tüketebileceği enerji, her bir plastik mafsall oluşumu sırasında elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisi altında kalan alanın kümülatif olarak toplanmasıyla bulunmuştur (Şekil 3.1). Grafikteki ilk eğri altında kalan alan çerçevenin elastik sınırlar içerisinde yutabileceği enerjiyi göstermektedir.



Şekil 3.1: Yük artımı grafiği

Sabit düşey yük ve artan yatay yükler ile hesap yapılırken sistemde her plastik mafsallın ortaya çıkmasından sonra değişen serbest titreşim periyodu yatay yük-yerdeğiştirme eğrilerinin eğimi kullanılarak bulunmuştur.

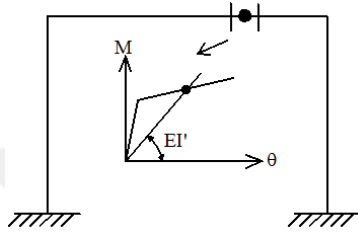


$$EI = \text{tg } \alpha_1 = k_1 = \frac{P}{\delta_1} \quad ; \quad \omega^2 = \frac{k}{M} \quad ; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Yatay yük artımı analizlerinden elde edilen eğrinin eğimi, yatay kuvvet ve deplasmanın orana eşittir. Bu eşitlik değişen rijitlik (k) değerini göstermektedir. Böylece meydana gelen her bir mafsall sonucu periyottaki değişim

hesaplanabilmektedir. Diyagramdan, yeni plastik mafsalsın oluştuğu her adımda yapının rijitliğinin azaldığı, dolayısıyla periyodunun arttığı gözlemlenmektedir.

Sistemin artan yükler etkisi altında her plastik mafsals açılmalarından sonraki periyotların bulunması ve yapı göçene kadar taradığı periyot aralığının belirlenmesi yatay kuvvet yer değiştirme eğrisinin eğimi kullanılarak hesaplanabildiği gibi, benzer şekilde her bir adımda plastikleşen kesitlerin $M-\theta$ bağıntısından gidilerek de bulunabilir.



$$\frac{M}{EI} = \frac{\Delta\varphi}{ds} = \chi \quad (3.1)$$

$$EI = \frac{M}{\chi} \quad (3.2)$$

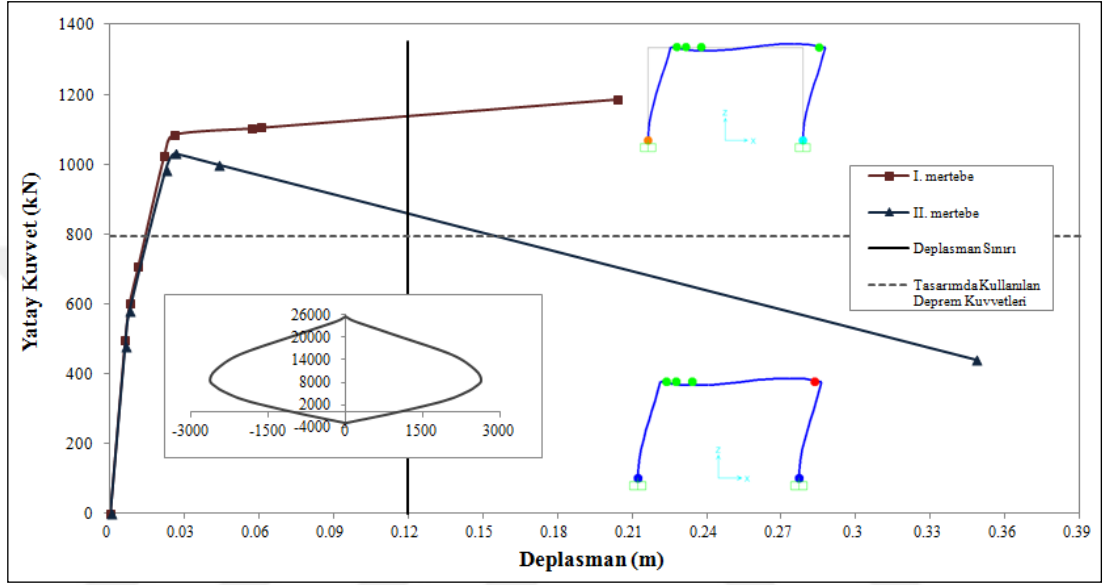
Burada her yük artımı adımı için plastik kesitlerin eğilme rijitliği denklem 3.2'deki gibi hesaplanarak sistemin periyoduna ulaşmak mümkündür. Adımlarda her bir kesitteki plastik moment ve dönmenin farklı olması, bu yüzden hesaplarda kesitlerdeki rijitlik farklılıklarının göz önüne alınması, bu çözüm yönteminin yatay kuvvet-deplasman eğrisi kullanılarak elde edilen periyoda göre daha yaklaşık sonuç vereceği görülmektedir.

3.1.1. Çıplak çerçeve (Model-1)

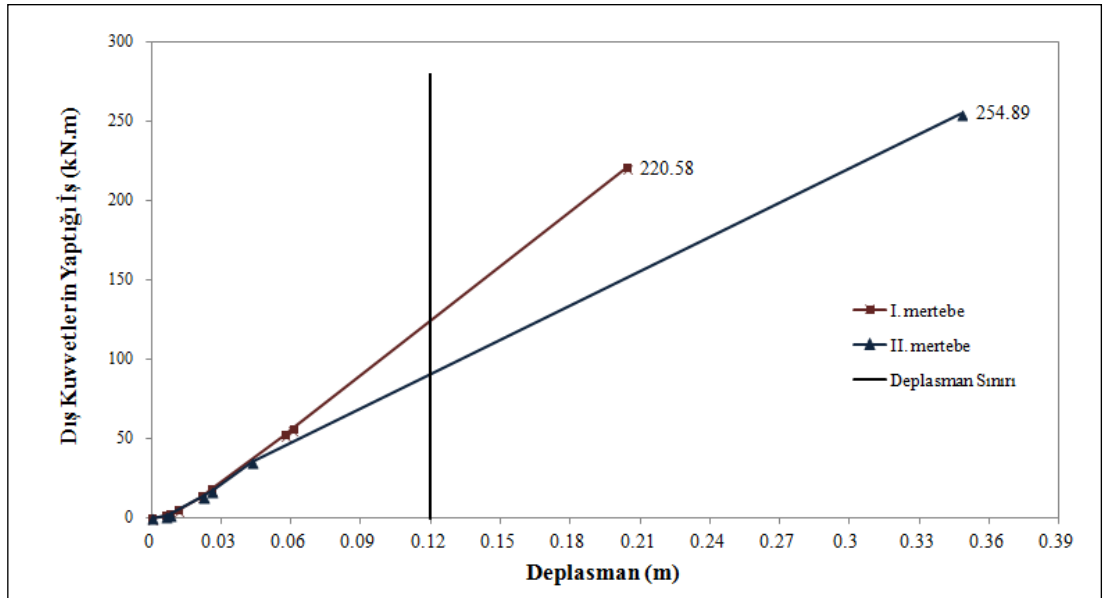
Buradaki analizde bölüm 2.5.1'de detayları verilen çerçeve modeli (Model-1) kullanılmıştır. Boyutlandırılmasına özen gösterilmiş olan simetrik çerçevenin birinci ve ikinci mertbe kuramlarına göre yapılan yatay yük artımı hesabı sonuçları Şekil 3.2'de aynı diyagram üzerinde verilmektedir. Sistemde belirli hasar düzeylerine ait oluşun mafsals noktaları, iki durumu karşılaştırma açısından aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3.3'de, I. ve II. mertbe kuramına göre yapılan yük artımı analizinde her adımda hesaplanan dış kuvvetin yaptığı iş gösterilmiştir.

Analizlerde doğrusal olmayan davranışın belirlenmesinde en önemli parametre yatay yük parametresi olduğundan boyutlandırmada kullanılan deprem yükleri ile itme analizinden elde edilen yatay kuvvet değerlerinin karşılaştırılması gereği duyulmuştur.

Şekil 3.2’de beş katlı binadan indirgenen tek katlı tek açıklıklı çerçevenin tasarımda kullanılan 791.59kN’luk deprem kuvvetinin, yük artımı yönteminde yapılan hesaplardaki yatay kuvvet değeri ile karşılaştırıldığında, doğrusallığın bozulduğu ve ilk plastik mafsalin açıldığı bölgeden yukarıda kaldığı görülmektedir. Buradan çıkarılan sonuç çerçeve elemanlarının tasarımında daha güvenli tarafta kalındığı, ve olması gerekenden biraz daha yüksek boyutlandırmanın yapıldığı anlaşılmaktadır.

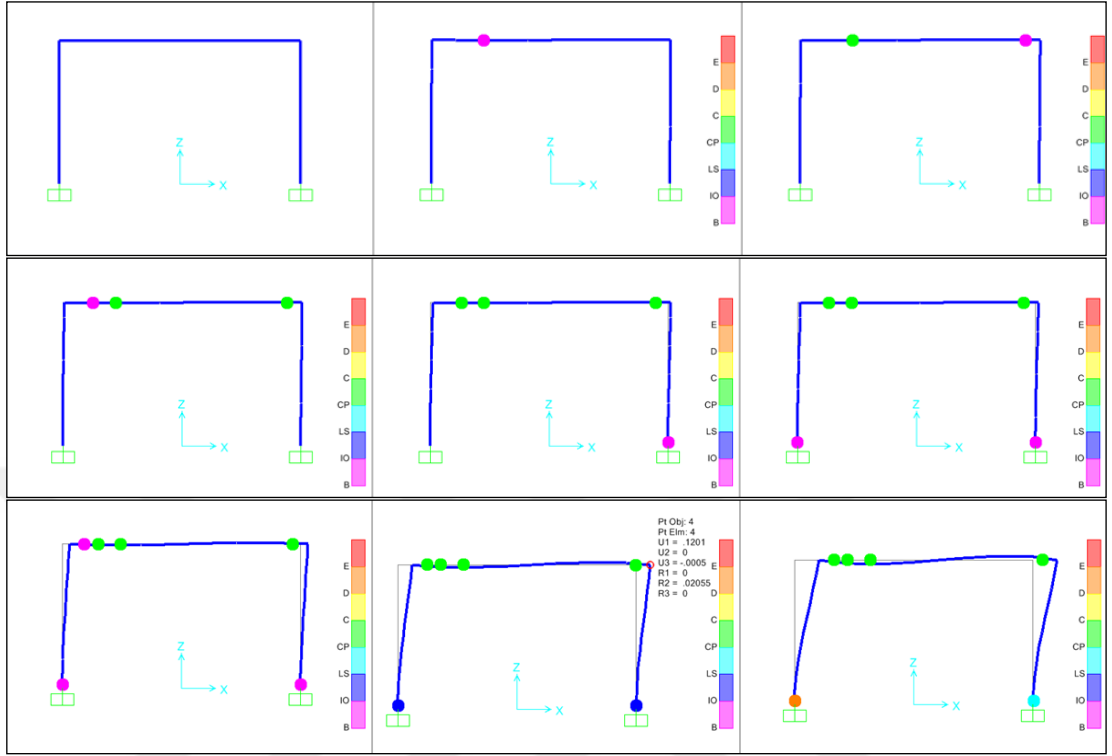


Şekil 3.2: Model-1 için I. ve II. mertebe etkilerine göre itme analizi grafiği

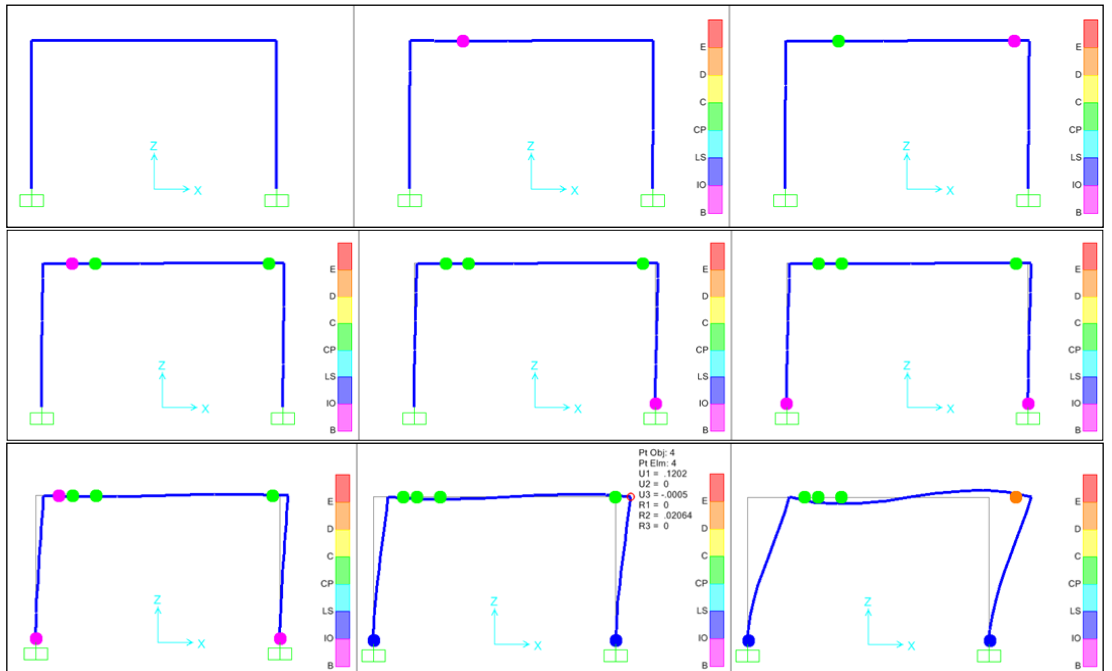


Şekil 3.3: Model-1 için I. ve II. mertebe etkilerine göre enerji grafiği

I. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde Model-1 için adım adım plastik mafsall oluşumları:



II. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde adım adım plastik mafsall oluşumları:

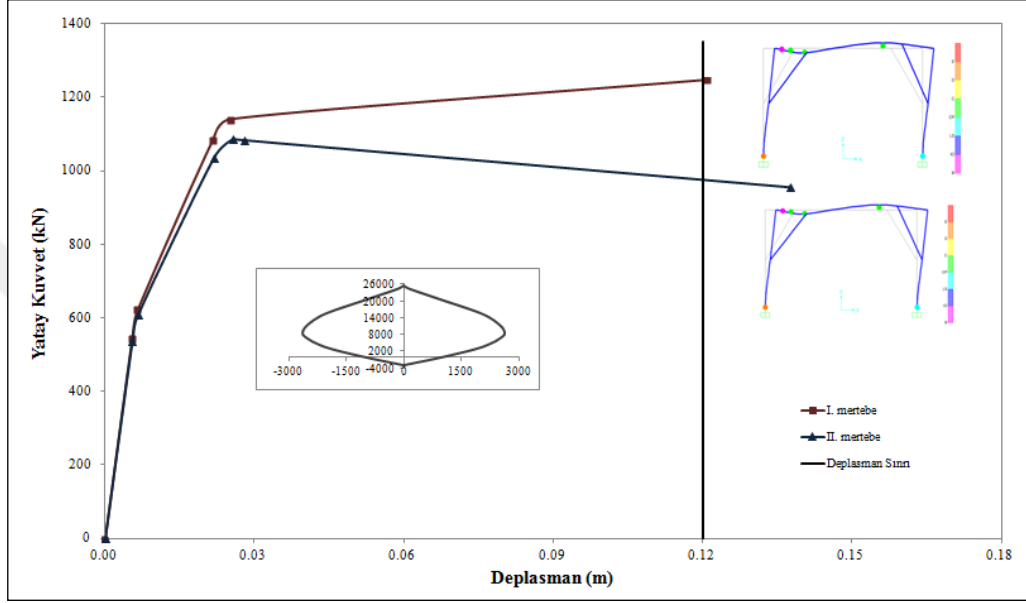


Bu sonuçlara bakıldığında dikkati çeken bazı özellikler şunlardır:

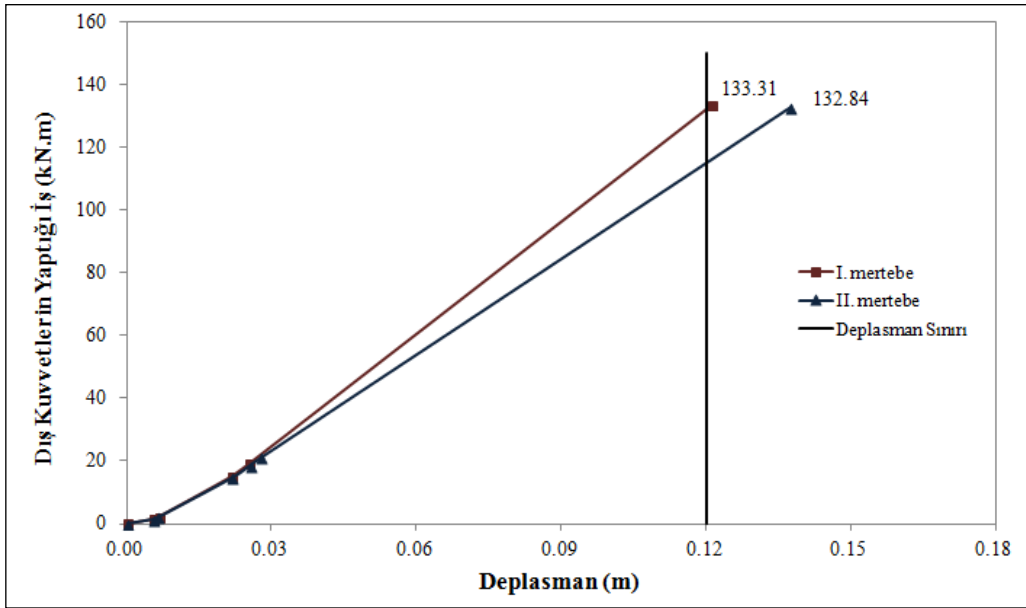
- i. İki durumda da göçme, kesit süneklik sınırlarına ulaşmadan çerçevenin 12 cm tepe yerdeğiştirmesi yaparak deplasman sınırına ulaşmasıyla meydana gelmiştir.
- ii. Yük artımlarının 35 cm tepe yerdeğiştirmesi üst sınırına kadar artırılması öngörüldüğünde ise I. Mertebe kuramına göre yapılan hesapta bu sınıra ulaşlamadan kesitte kırılma meydana gelirken II. Mertebe kuramına göre hesapta bu sınıra ulaşılmaktadır.
- iii. Çerçevenin tepe deplasman sınırının 12 cm'den 35 cm'e kadar artırılması durumunda, I. Mertebe kuramına göre hesapta göçme kolondaki plastik mafsalin şekil değiştirme durumunun malzeme sınırlarına ulaşmasıyla ortaya çıkarken, II. mertebe kuramına göre hesapta göçme kirişteki plastik mafsalin öngörülen malzeme sınırlarına ulaşmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bunu açıklamak üzere Şekil 3.2'de yer alan kolonlara ait M N Karşılıklı etki diyagramının yakından incelenmesi yeterli olmaktadır: Normal kuvvetin artmasıyla artan kolon moment kapasitesi göçmenin kolonda ortaya çıkmasını geciktirmekte bu arada kirişteki plastik mafsalda bölgesel göçme ortaya çıkmaktadır.
- iv. II. mertebe kuramlarından elde edilen diyagramların yataya yakın akmadan sonraki bölümlerinde eğimin I. mertebe kuramıyla elde edilenden farklı olarak azalıyor olması aksenal kuvvetin II. mertebe etkilerinin belirgin bir özelliğidir.
- v. Göçme Ölçütü olarak kesit sünekliği üst sınırı düşünöldüğünde sistemin enerji tüketim kapasitesinin II. mertebe kuramına göre yapılan hesaplarda fazla olduğu görölmüştür. Fakat gerçekte göçme iki durum için de yer değiştirme üst sınırına ulaşması sonucu meydana gelmektedir. Göçme ölçütü olarak 12 cm'lik yer değiştirme üst sınırı göz önüne alındığında, sistemin enerji tüketim kapasitesinin I. mertebe kuramına göre yapılan hesapta daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

3.1.2. İki köşesinden çelik çaprazlı çerçeve (Model-2)

İki köşeden çelik çaprazlı çerçevenin (Model-2), I. ve II. mertebe kuramına göre yapılan yatay yük artımı analizi grafiği Şekil 3.4’de verilmektedir. Modelde belirli hasar düzeyinde oluşan mafsal noktaları aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Çaprazlı Çerçevenin yük artımı analizi sonucu I. ve II. mertebe etkilerine göre dış kuvvetlerin yaptığı iş Şekil 3.5’de yer almaktadır.

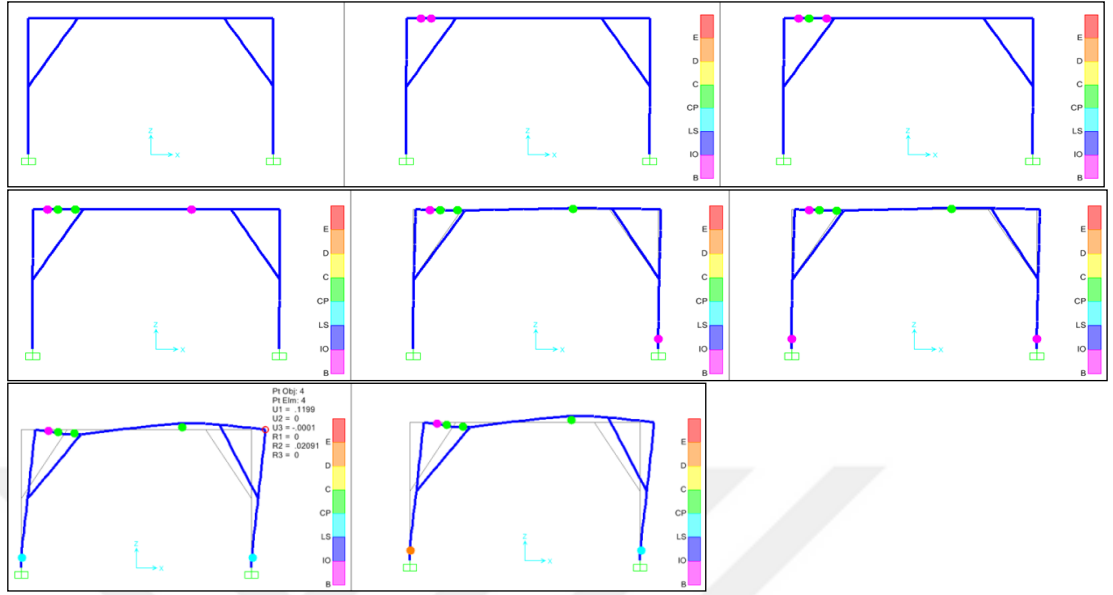


Şekil 3.4: Yük Artımı Yöntemine göre Model-2’den elde edilen sonuçlar

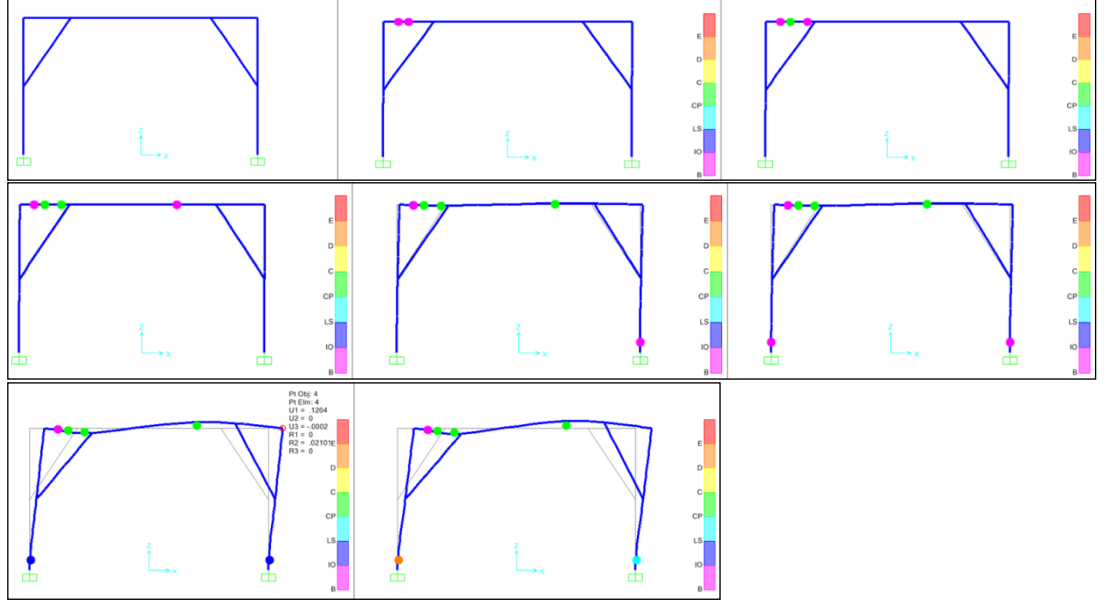


Şekil 3.5: Yük Artımı Yöntemine göre Model-2’den elde edilen sonuçlar

I. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde Model-2 için plastik mafsall oluşumları:



II. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde Model-2 için plastik mafsall oluşumları:



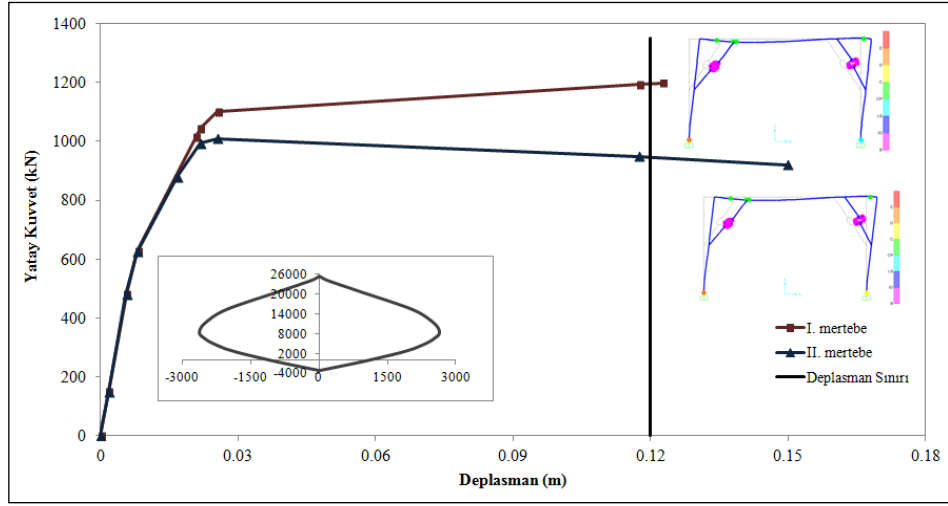
Elde edilen sonuçlara bakıldığı zaman aşağıda belirtilen yorumlara ulaşılmıştır:

- i. I. mertebe etkilerine göre yapılan hesapta göçme 12 cm tepe deplasmanına ulaşıldığı anda kolondaki plastik mafsallın maksimum kapasite değerlerine

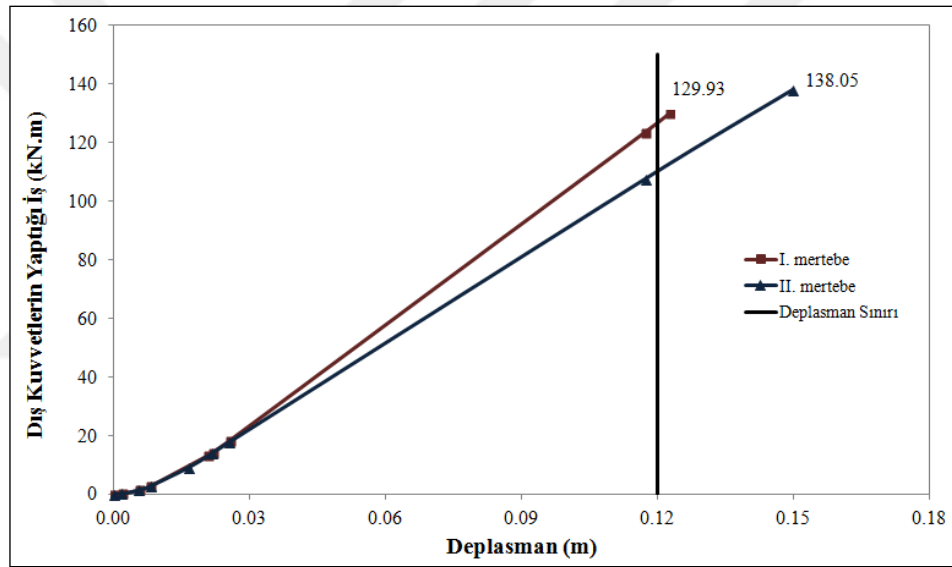
- ulaşılmasıyla meydana gelmiştir. Şekil...’ye göre sistem hem deplasman sınırına hem de kesit sünekliğine birbirine çok yakın adımlarda ulaşmıştır.
- ii. II. mertebe etkileri düşünüldüğünde göçme, deplasman sünekliğinden dolayı meydana gelmiştir. Sistemin 12 cm tepe deplasmanına ulaştığı anda kesitlerde hala kapasitenin olduğu görülmüştür.
 - iii. Burkulma etkileri göz önüne alındığında çerçevenin taşıyabileceği yatay limit yükünün azaldığı yapılan yük artımı analizlerinde izlenmiştir. Üst katlardan kolonlara etkiyen aksenal kuvvetlerin yatay deplasmanla birlikte çerçeve elemanlarda ekstra iç kuvvetler doğurması, yatay limit yükün azalmasında etkili olmuştur.
 - iv. Yük artımlarının 14 cm tepe yerdeğiştirilmesi üst sınırına kadar artırılması öngörüldüğünde ise I. Mertebe kuramına göre yapılan hesapta bu sınıra ulaşmadan kesitte kırılma meydana gelirken II. Mertebe kuramına göre hesapta bu sınıra ulaşılmaktadır. Her iki hesap yöntemine göre yapılan analizlerde göçme kolondaki plastik mafsalın şekil değiştirme durumunun malzeme sınırlarına ulaşmasıyla ortaya çıkmıştır.
 - v. Kesitte kırılma meydana geldiği andaki durumda dış kuvvetlerin yaptığı iş II. mertebe etkileri düşünüldüğünde daha fazla çıkmaktadır. Bunun nedeni uç deplasmanlarının II. mertebe etkilerinde daha fazla olmasıdır. Fakat gerçekte göçme iki durum için de yer değiştirme üst sınırına ulaşması sonucu meydana gelmektedir. Bu durumda en fazla enerji tüketim kapasitesi I. mertebe etkilerine göre hesapta ortaya çıkmaktadır.

3.1.3. Kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanılması (Model-3)

Kısa çaprazlar ve enerji yoğaltıcı elemanların birlikte kullanıldığı çerçevenin (Model-3), I. ve II. mertebe kuramına göre yapılan yatay yük artımı analizi grafiği Şekil 3.6’da verilmektedir. Modelde belirli hasar düzeyinde oluşan mafsal noktaları aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Çaprazlı Çerçevenin yük artımı analizi sonucu I. ve II. mertebe etkilerine göre dış kuvvetlerin yaptığı iş Şekil 3.7’de yer almaktadır.

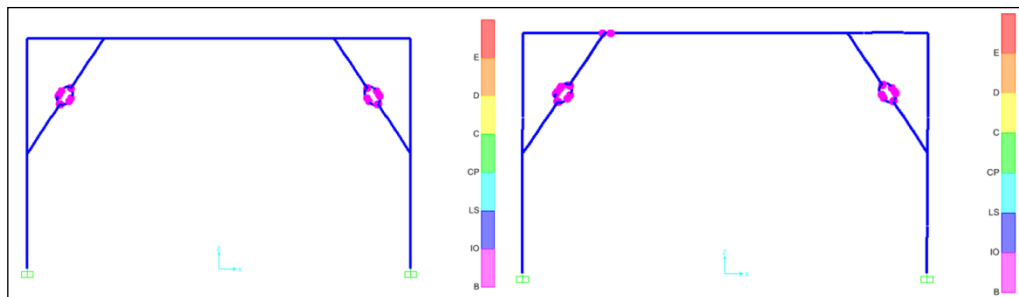


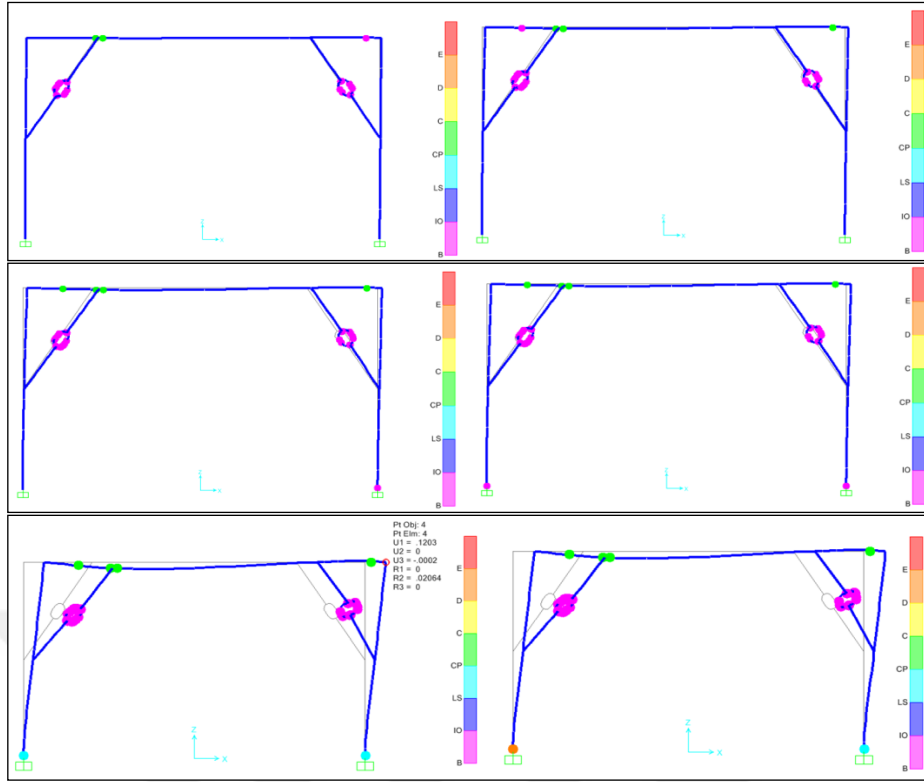
Şekil 3.6: Yük Artımı Yöntemine göre Model-3'den elde edilen sonuçlar



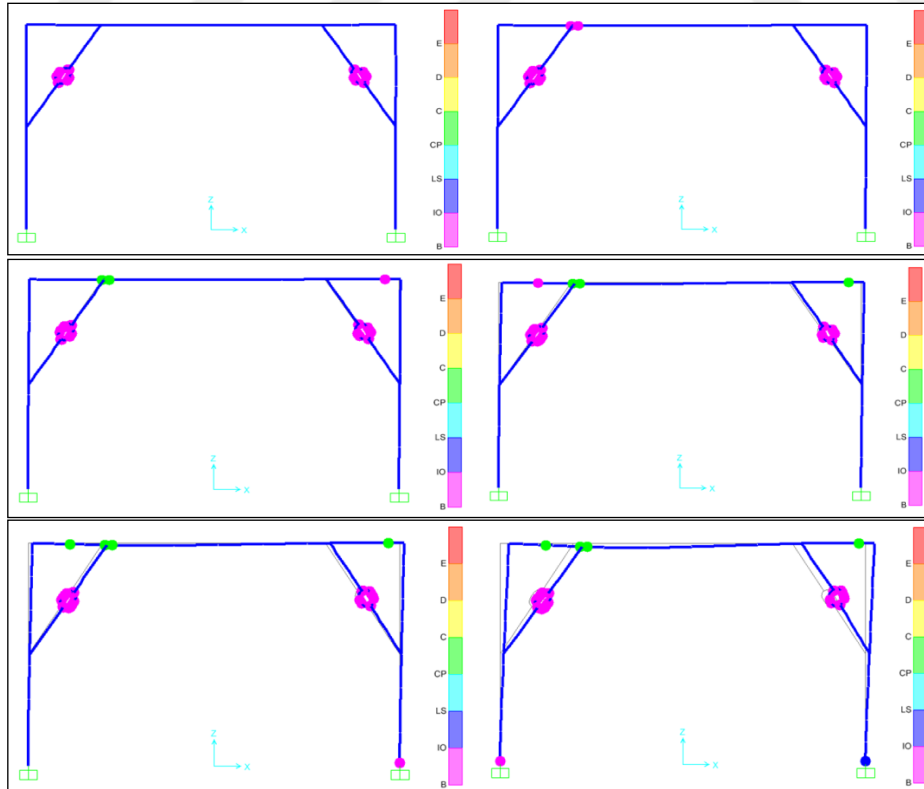
Şekil 3.7: Yük Artımı Yöntemine göre Model-3'den elde edilen sonuçlar

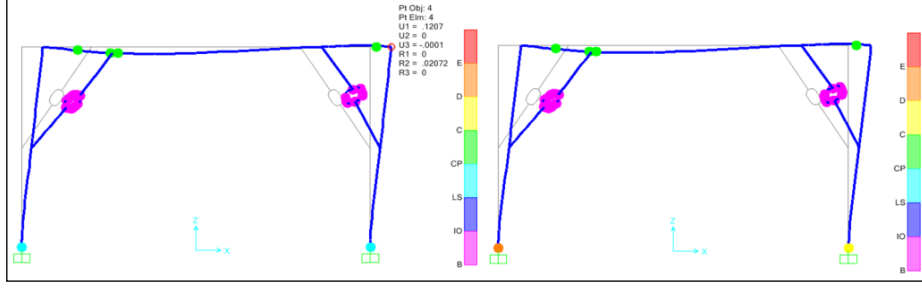
I. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde Model-2 için adım adım plastik mafsall oluşumları:





II. mertebe kuramına göre yapılan itme analizinde Model-3 için plastik mafsall oluşumları:

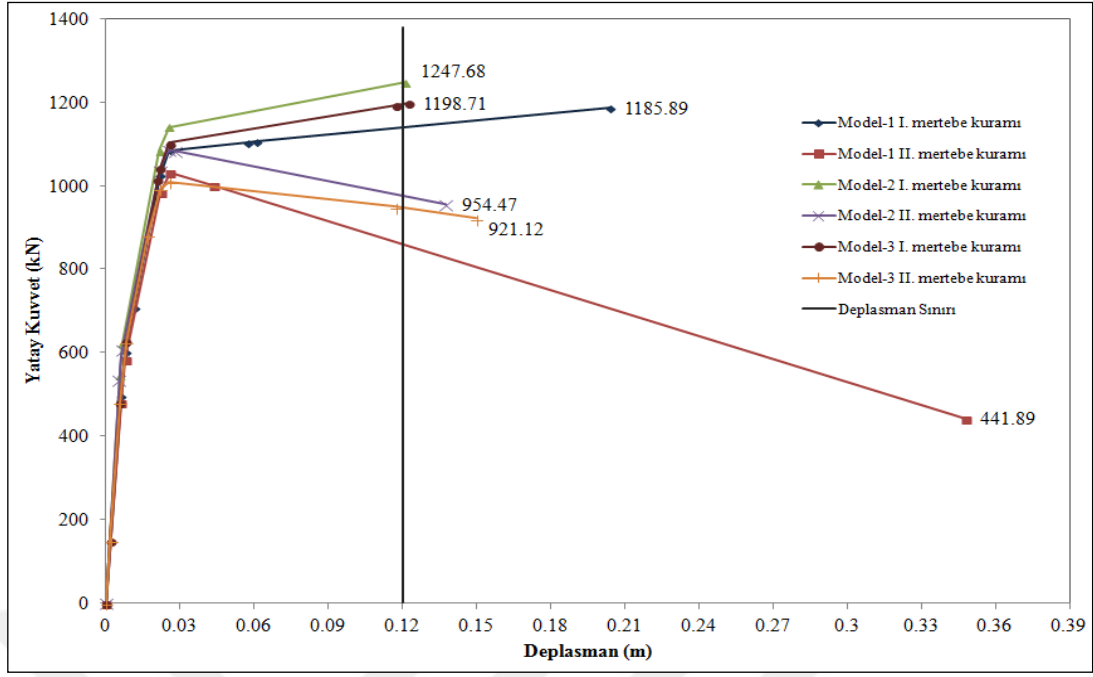




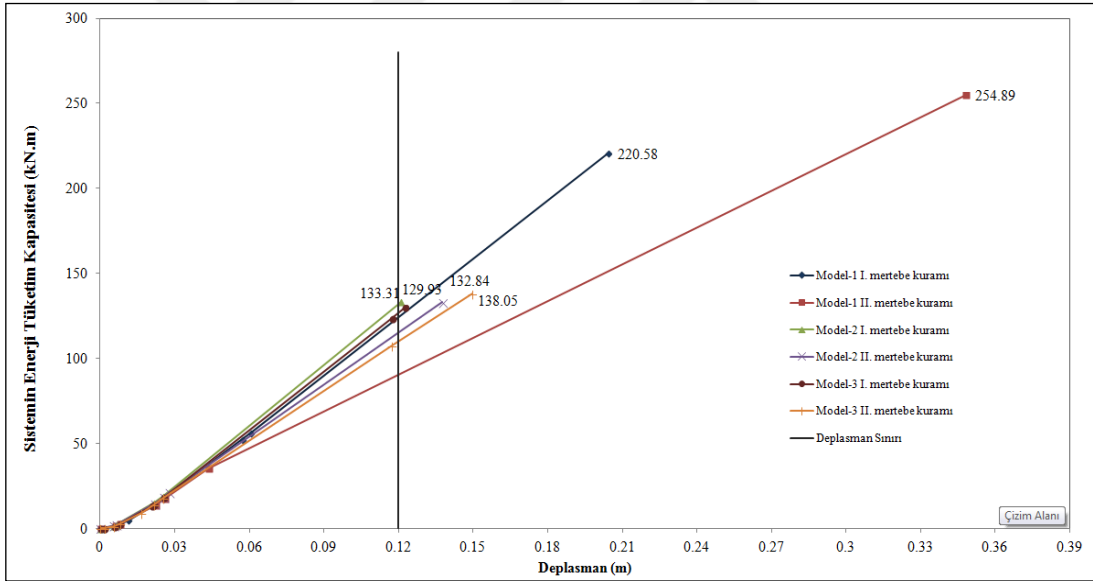
Yatay yük artımı yöntemine göre Model-3 için yapılan analizlerde elde edilen sonuçlara bakıldığında aşağıda belirtilen yorumlara ulaşılmıştır:

- i. Model-3 için yapılan her iki analiz yöntemi için de ilk plastikleşmenin yastık elemanlarda meydana geldiği görülmüştür.
- ii. I. mertebe etkilerine göre yapılan hesaplarda sistem hem deplasman sınırına hem de kesit kapasitesine çok yakın adımlarda ulaşmıştır.
- iii. II. mertebe etkilerine göre yapılan hesaplara göre burkulma etkisinin çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini azalttığı görülmüştür.
- iv. I. mertebe ve II. mertebe etkilerine göre yapılan her iki analiz için de göçme, sistemin yer değiştirme üst sınırına ulaşması sonucu meydana gelmiştir. Bu durumda en fazla enerji tüketim kapasitesi I. mertebe etkilerine göre yapılan hesapta ortaya çıkmıştır.
- v. Yük artımlarının 15 cm tepe yerdeğiştirmesi üst sınırına kadar artırılması öngörüldüğünde I. Mertebe kuramına göre yapılan hesapta bu sınıra ulaşmadan kolondaki kesitte kırılma meydana gelirken, II. Mertebe kuramına göre yapılan hesapta bu sınıra ulaşılmaktadır. Bu durumda sistemin enerji tüketim kapasitesinin II. mertebe kuramına göre yapılan hesaplarda daha fazla çıktığı görülmüştür.

Şekil 3.8’de Model-1, Model-2 ve Model-3 için yük artımı analizi sonucu yatay kuvvet yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 3.9’da ise Model-1, Model-2 ve Model-3 için yapılan yük artımı analizlerinde sistemin tüketebileceği enerji kapasitelerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Model-1, Model-2 ve Model-3 için yük artımı grafikleri



Şekil 3.9: Model-1, Model-2 ve Model-3 için enerji grafikleri

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'dan şu sonuçlar çıkarılabilir:

Çapraz elemanlar çerçevenin, yatay yük taşıma kapasitesi artırırken (1247.86 kN > 1185.89 kN) yatay kat ötelenmesi sınırlanmaktadır. Sistem yatay kuvvetlere karşı daha rijit bir hal almakta ve çerçevenin yatay deplasman sünekliliği azalmaktadır. II. mertebe kuramı üç model için de göz önüne alındığında, çerçevenin

yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde olumsuz etkilerinin çok fazla olduğu görülmüştür.

Çapraz elemanlı çerçevelere çelik yastıklar eklendiğinde (Model-3) yatay yük taşıma kapasitesi çıplak çerçeveye (Model-1) göre beklendiği gibi büyük iken, sade çelik çaprazlı çerçeveye (Model-2) göre daha küçüktür. Buna karşın çelik yastıklı çerçeve sistemin yapabildiği maksimum yatay kat ötelenmesi ile çaprazlı çerçeve sistemin yapabildiği maksimum yatay kat ötelenmesi birbirine yakın çıkmıştır. Buradan yastık elemanların çapraz elemanların arasına eklendiği durumda sistemin sünekliği üzerinde gözle görülür bir değişiklik oluşturmadığı anlaşılmıştır. Fakat bu sonuçlar çalışmada ele alınan yastık elemanların sadece uçlardan çekme veya basınç kuvveti etkisi altında olduğu durum için elde edilmiştir. Aynı analizleri yastık elemanların farklı yükleme koşulları altında, örneğin kayma kuvvetleri etkisi altında olduğu durum için gerçekleştirildiğinde sonuçların daha farklı değerler gösterebileceği ve sistem davranışının değişebileceği düşünülmektedir.

Yük artımlarının 12 cm deplasman sınırına kadar artırılması durumunda, en fazla enerji tüketim kapasitesi, kısa çaprazlı çerçeve modelinin (Model-2) I. mertebe kuramına göre yapılan analizlerinde ulaşılmıştır. Yük artımları sistemin herhangi bir kesitinde meydana gelebilecek kırılma durumuna kadar artırıldığında, en fazla enerji kapasitesine çıplak çerçevenin II. mertebe etkilerine göre yapılan analizinde ulaşılmaktadır.

3.2. Zaman Artım Yöntemi, Kalıcı Şekil Değiştirmelerinin Yığılması Ve Bazı

İrdelemeler

Doğrusal ivme yönteminin kullanıldığı ve malzemenin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alındığı bu çözümlerinde kritik kesitlerde yoğunlaşan enerji Moment-Eğrilik bağlantılarındaki alanların hesaplanması ile elde edilmelidir. Bu işlem yapılırken beton ve donatı için öngörülen deformasyon sınırları göz önünde tutulmuş buna göre bölgesel göçme olup olmadığına karar verilmiştir. Yalnız kesitlerin doğrusal olmayan davranışı değil fakat yatay yükler etkisindeki sistemin bir göstergesi olan çerçeve kirişi hizasındaki yatay yer değiştirmenin de değişimi göz önünde bulundurularak öngörülen sınır değerlere varılıp varılmadığına dikkat edilmiştir. Ayrıca kalıcı şekildeğiştirmelerin yığıldığı tüm plastik mafsallarda

yoğaltılmış bulunan kalıcı şekil değiştirme enerjisi ile yapıya o depremin aktardığı toplam enerji de hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliğinin deprem kayıtları kullanılarak yapılabilecek bir tasarım için öngörmekte olduğu iki yol bulunmaktadır.

- i. Seçilen yedi deprem kaydı ile hesap yapıp sonuçlardaki ortalamanın tasarımda esas alınması,
- ii. Üç deprem kaydı seçilip en büyük değerlerle çalışılması

Bu iki seçeneğin sunduğu sonuçları karşılaştırarak irdeleyebilmek amacıyla seçilen tek katlı tek açıklıklı çerçeveler üzerinde zaman artımı yöntemi ile bir dizi çözümleme yapılmıştır. Bu çözümlerinde daha önce Bölüm 3.2.1’de belirtilmiş olan göçme ölçütleri göz önüne tutulmuştur.

3.2.1. Seçilen ivme kayıtları ve 2007 deprem yönetmeliği

Bu irdeleme güçlü hareket kısımlarını içerecek şekilde filtrelenmiş olan yumuşak zemin, yakın deprem kayıtlarından elde edilmiş 50 yılda aşılma olasılığı %2 (Düzeş1), 50 yılda aşılma olasılığı %10 (Düzeş2) ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 (Düzeş3) olan üç farklı seçkilere dayanmaktadır (Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo.3.3). Bu seçkiler deprem kaydının frekans içeriğini en az değiştirecek biçimde 0.5-2 arasında değişen ölçek katsayılarına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir [Bal, İ. E., (2014)].

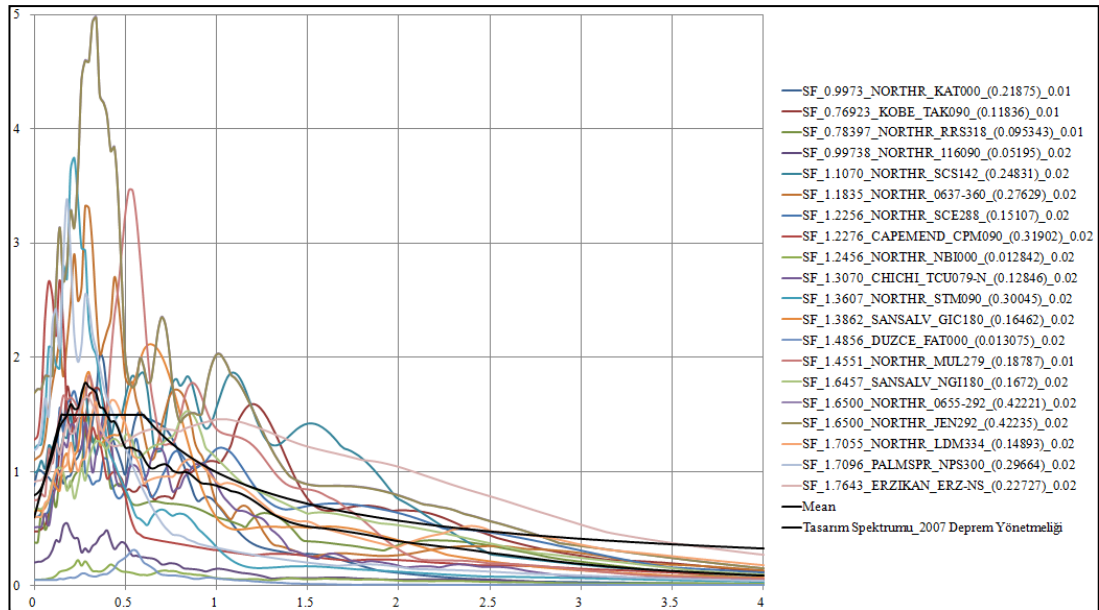
2007 Deprem yönetmeliğinin öngördüğü spektrum eğrisine uyan Düzeş2 kayıtlarının vereceği sonuçlar yapıdan onarılabılır hasarları öngörürken, Düzeş3 kayıtlarının etkisindeki aynı yapının elastik bir davranış sergilemesi, Düzeş1 deprem kayıtlarının etkisinde bırakılan aynı sistemde ise ağır hasarla karşılaşılmasına rağmen göçmenin gerçekleşmemesi beklenmektedir.

Bu kayıtlardan elde edilen mutlak ivme spektrumları 2/50, 10/50, 50/50 depremleri için sırasıyla Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmektedir. Yirmişer kayıttan oluşan bu seçimlerin ivme spektrumları göz önüne alındığında ve 0.2 - 2’nin aralığında ortalama spektrum değerlerinin öngörülen deprem yönetmeliği spektrum eğrileri ile karşılaştırılması yapıldığında bazı kayıtların beklenenden uzak düştüğü gözlenmektedir. Adım adım zaman artımıyla yapılan incelemede bunların

ayıklanması daha uygun bir ortalama vermektedir. Bu ayıklanmayı öngören bir irdelemeye de Bölüm 3.2.2’de yer verilmektedir.

Tablo 3.1: Yakın fay yumuşak zemin 2/50 depremleri

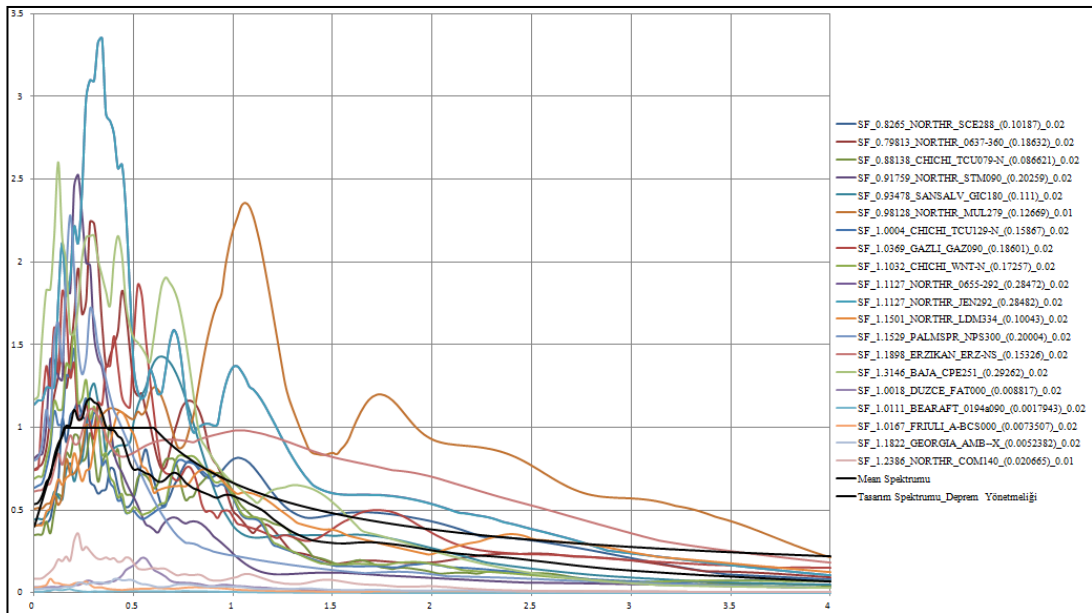
| Ölçek Katsayısı | Yer Hareketi - İstasyon İsmi | Max. İvme |
|-----------------|------------------------------|-----------|
| 0.9973 | NORTHR_KAT000 | 0.2188 |
| 0.7692 | KOBE_TAK090 | 0.1184 |
| 0.784 | NORTHR_RRS318 | 0.0953 |
| 0.9974 | NORTHR_116090 | 0.052 |
| 1.107 | NORTHR_SCS142 | 0.2483 |
| 1.1835 | NORTHR_0637-360 | 0.2763 |
| 1.2256 | NORTHR_SCE288 | 0.1511 |
| 1.2276 | CAPEMEND_CPM090 | 0.319 |
| 1.2456 | NORTHR_NBI000 | 0.0128 |
| 1.307 | CHICHI_TCU079-N | 0.1285 |
| 1.3607 | NORTHR_STM090 | 0.3005 |
| 1.3862 | SANSALV_GIC180 | 0.1646 |
| 1.4551 | NORTHR_MUL279 | 0.1879 |
| 1.4856 | DUZCE_FAT000 | 0.0131 |
| 1.6457 | SANSALV_NGI180 | 0.1672 |
| 1.65 | NORTHR_0655-292 | 0.4222 |
| 1.65 | NORTHR_JEN292 | 0.4224 |
| 1.7055 | NORTHR_LDM334 | 0.1489 |
| 1.7096 | PALMSPR_NPS300 | 0.2966 |
| 1.7643 | ERZIKAN_ERZ-NS | 0.2273 |



Şekil 3.10: 2/50 depremleri spektrum grafiği

Tablo 3.2: Yakın fay yumuşak zemin 10/50 depremleri

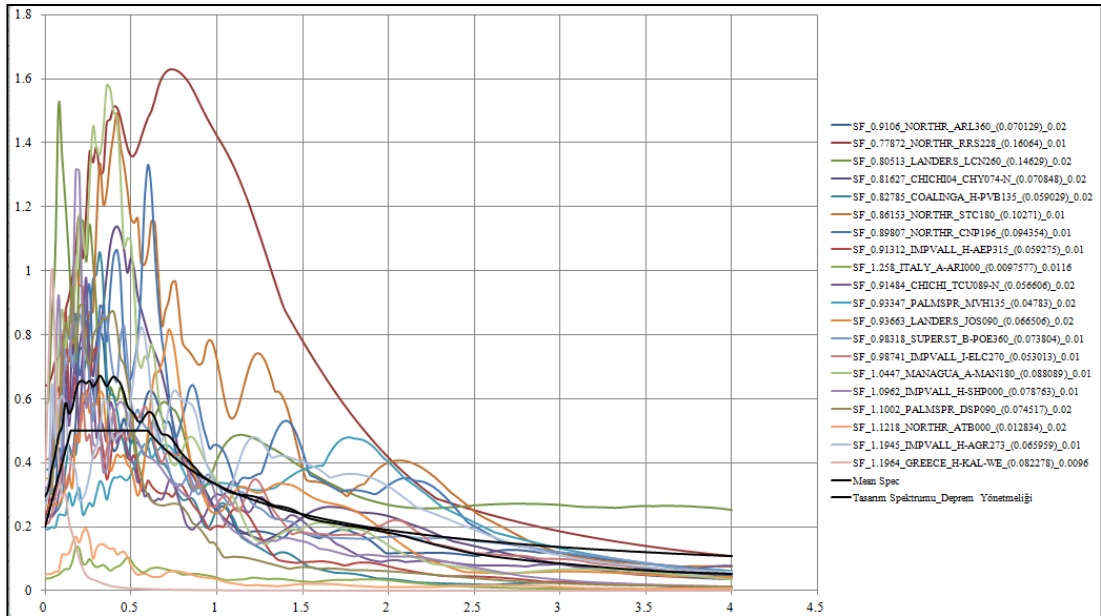
| Ölçek Katsayısı | Yer Hareketi - İstasyon İsmi | Max. İvme |
|-----------------|------------------------------|-----------|
| 0.8265 | NOTHR_SCE288 | 0.1019 |
| 0.7981 | NOTHR_0637-360 | 0.1863 |
| 0.8814 | CHICHI_TCU079-N | 0.0866 |
| 0.9176 | NOTHR_STM090 | 0.2026 |
| 0.9348 | SANSALV_GIC180 | 0.111 |
| 0.9813 | NOTHR_MUL279 | 0.1267 |
| 1.0004 | CHICHI_TCU129-N | 0.1587 |
| 1.0018 | DUZCE_FAT000 | 0.0088 |
| 1.0111 | BEARAFT_0194a090 | 0.0018 |
| 1.0167 | FRIULI_A-BCS000 | 0.0074 |
| 1.0369 | GAZLI_GAZ090 | 0.186 |
| 1.1032 | CHICHI_WNT-N | 0.1726 |
| 1.1127 | NOTHR_0655-292 | 0.2847 |
| 1.1127 | NOTHR_JEN292 | 0.2848 |
| 1.1501 | NOTHR_LDM334 | 0.1004 |
| 1.1529 | PALMSPR_NPS300 | 0.2 |
| 1.1822 | GEORGIA_AMB—X | 0.0052 |
| 1.1898 | ERZIKAN_ERZ-NS | 0.1533 |
| 1.2386 | NOTHR_COM140 | 0.0207 |
| 1.3146 | BAJA_CPE251 | 0.2926 |



Şekil 3.11: 10/50 depremleri spektrum grafiği

Tablo 3.3: Yakın fay yumuşak zemin 50/50 depremleri

| Ölçek Katsayısı | Yer Hareketi - İstasyon İsmi | Max. İvme |
|-----------------|------------------------------|-----------|
| 0.9106 | NORTHR_ARL360 | 0.0701 |
| 0.7787 | NORTHR_RRS228 | 0.1606 |
| 0.8051 | LANDERS_LCN260 | 0.1463 |
| 0.8163 | CHICHI04_CHY074-N | 0.0708 |
| 0.8279 | COALINGA_H-PVB135 | 0.059 |
| 0.8615 | NORTHR_STC180 | 0.1027 |
| 0.8981 | NORTHR_CNP196 | 0.0944 |
| 0.9131 | IMPVALL_H-AEP315 | 0.0593 |
| 0.9148 | CHICHI_TCU089-N | 0.0566 |
| 0.9335 | PALMSPR_MVH135 | 0.0478 |
| 0.9366 | LANDERS_JOS090 | 0.0665 |
| 0.9832 | SUPERST_B-POE360 | 0.0738 |
| 0.9874 | IMPVALL_I-ELC270 | 0.053 |
| 1.258 | ITALY_A-ARI000 | 0.0098 |
| 1.0447 | MANAGUA_A-MAN180 | 0.0881 |
| 1.0962 | IMPVALL_H-SHP000 | 0.0788 |
| 1.1002 | PALMSPR_DSP090 | 0.0745 |
| 1.1218 | NORTHR_ATB000 | 0.0128 |
| 1.1945 | IMPVALL_H-AGR273 | 0.066 |
| 1.1964 | GREECE_H-KAL-WE | 0.0823 |



Şekil 3.12: 50/50 depremleri spektrum grafiği

Her deprem grubu için çıplak çerçevede (Modell) yapılan çözümlerlerde çerçevenin tüm plastik mafsallarında yutulan toplam enerjilerden başka ilgili depremin yapıya aktardığı toplam enerji ile birlikte ortaya çıkmışsa kırılmanın kaydın kaçınıcı saniyesinde olduğu ve göçmenin hangi nedenle gözlemlendiği Tablo 3.4’de 2/50, Tablo 3.5’de 10/50 ve Tablo 3.6’da 50/50 depremi için özetlenmektedir.

Çıplak çerçeve çözümlenmeleri:

Tablo 3.4: Yakın fay yumuşak zemin 2/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar

| Kayıt | Ölçek Katsayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Zaman (sn) | | Göçme Durumu |
|-----------------|-----------------|--|---------------------------------------|------------|------------|-----------------------|
| | | | | kırılma | kayıt sonu | |
| NORTHR_KAT000 | 0.9973 | 385.14 | 872.21 | 3.2 | 4.5 | Kesit Süneklik Sınırı |
| KOBE_TAK090 | 0.7692 | 132.73 | 387.12 | 0.91 | 12.22 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_RRS318 | 0.784 | 263.88 | 449.24 | 2.82 | 11.65 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_116090 | 0.9974 | 44.69 | 117.63 | Yok | 12.18 | Yok |
| NORTHR_SCS142 | 1.107 | 114.7 | 529.27 | 0.76 | 5.76 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_0637-360 | 1.1835 | 294.81 | 893.07 | 2.64 | 44.52 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_SCE288 | 1.2256 | 264.81 | 273.82 | 2.64 | 9.3 | Deplasman Sınırı |
| CAPEMEND_CPM090 | 1.2276 | 117.51 | 412.36 | 0.64 | 4.28 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_NBI000 | 1.2456 | 21.65 | 57.92 | Yok | 27.74 | Yok |
| CHICHI_TCU079-N | 1.307 | 237.54 | 602.65 | 12.78 | 35.06 | Kesit Süneklik Sınırı |
| NORTHR_STM090 | 1.3607 | 164.46 | 797.31 | Yok | 2.98 | Yok |
| SANSALV_GIC180 | 1.3862 | 233.63 | 741.65 | 1.04 | 2.96 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_MUL279 | 1.4551 | 312.29 | 607.35 | 2 | 9.25 | Kesit Süneklik Sınırı |
| DUZCE_FAT000 | 1.4856 | 8.8 | 50.29 | Yok | 17.22 | Yok |
| SANSALV_NGI180 | 1.6457 | 266.95 | 1431.6 | 0.8 | 4.36 | Kesit Süneklik Sınırı |
| NORTHR_0655-292 | 1.65 | 111.75 | 679.73 | 0.22 | 5.54 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_JEN292 | 1.65 | 111.75 | 672.85 | 0.22 | 5.54 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_LDM334 | 1.7055 | 115.85 | 339.4 | 0.5 | 6.82 | Deplasman Sınırı |
| PALMSPR_NPS300 | 1.7096 | 117.13 | 250.36 | 0.5 | 2.44 | Deplasman Sınırı |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.7643 | 256.82 | 1639.8 | 0.68 | 4.94 | Kesit Süneklik Sınırı |

Tablo 3.5: Yakın fay yumuşak zemin 10/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar

| Kayıt | Ölçek Katsayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Zaman (sn) | | Göçme Durumu |
|------------------|-----------------|--|---------------------------------------|------------|------------|-----------------------|
| | | | | kırılma | kayıt sonu | |
| NORTHR_0637-360 | 0.7981 | 344.93 | 1035.4 | 4.5 | 8.86 | Kesit Süneklik Sınırı |
| CHICHI_TCU079-N | 0.8814 | 347.27 | 857.11 | 17.08 | 35.06 | Kesit Süneklik Sınırı |
| NORTHR_STM090 | 0.9176 | 86.2 | 389.68 | Yok | 2.98 | Yok |
| SANSALV_GIC180 | 0.9348 | 170.31 | 421.09 | 1.2 | 2.96 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_MUL279 | 0.9813 | 300.67 | 799.56 | 4.09 | 9.25 | Kesit Süneklik Sınırı |
| CHICHI_TCU0129-N | 1.0004 | 290.01 | 673.53 | 10.58 | 31.88 | Kesit Süneklik Sınırı |
| DUZCE_FAT000 | 1.0018 | 1.61 | 23.78 | Yok | 17.22 | Yok |
| BEARAFT_0194a090 | 1.0111 | 0 | 0.29 | Yok | 4.9 | Yok |
| FRIULI_A-BCS000 | 1.0167 | 0 | 3.08 | Yok | 10.86 | Yok |
| GAZLI_GAZ090 | 1.0369 | 312.87 | 855.24 | 6.42 | 9.66 | Kesit Süneklik Sınırı |
| CHICHI_WNT-N | 1.1032 | 244.15 | 559.34 | 7.18 | 31.72 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_0655-292 | 1.1127 | 120.6 | 300.3 | 0.38 | 5.54 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_JEN292 | 1.1127 | 119.42 | 296.15 | 0.38 | 5.54 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_LDM334 | 1.1501 | 243.31 | 418.92 | 1.22 | 6.82 | Kesit Süneklik Sınırı |
| PALMSPR_NPS300 | 1.1529 | 0 | 5.7 | Yok | 2.44 | Yok |
| GEORGIA_AMB--X | 1.1822 | 0 | 9.26 | Yok | 21.5 | Yok |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.1898 | 174.39 | 982.97 | 0.7 | 4.94 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_COM140 | 1.2386 | 0 | 68.86 | Yok | 22.06 | Yok |
| BAJA_CPE251 | 1.3146 | 0 | 7.25 | Yok | 3.2 | Yok |

Tablo 3.6: Yakın fay yumuşak zemin 50/50 depremleri 1. deprem sonrası sonuçlar

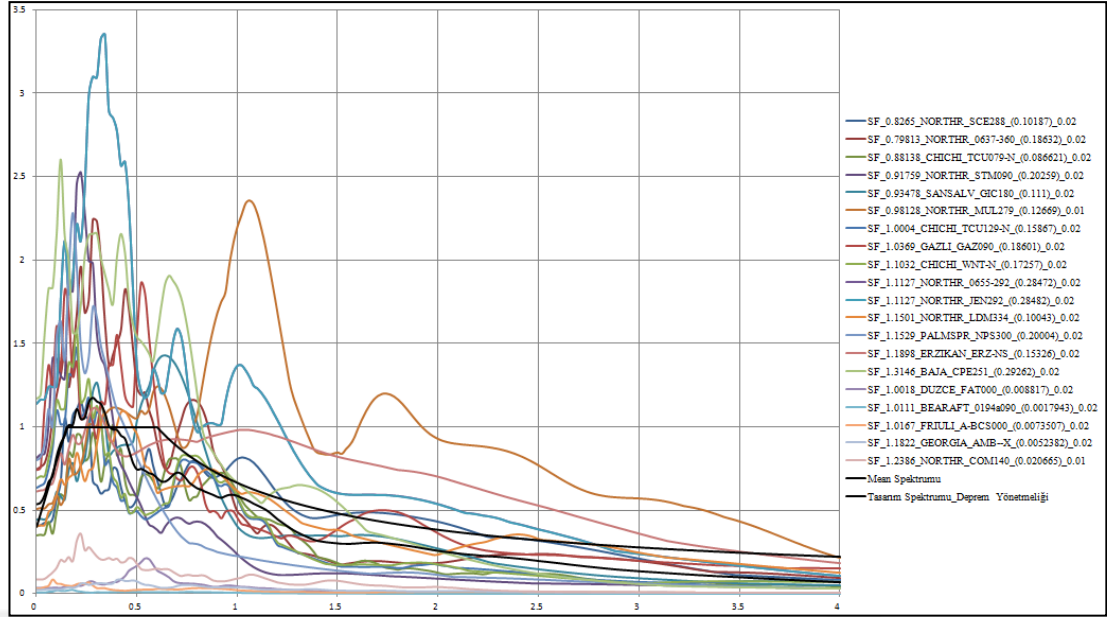
| Kayıt | Ölçek Katsayısı | Plastik Mafsallarda | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Zaman (sn) | | Göçme Durumu |
|-------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------|------------|------------|-----------------------|
| | | | | kırılma | kayıt sonu | |
| LANDERS_LCN260 | 0.8051 | 246.31 | 607.35 | 4.76 | 16.78 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_RRS228 | 0.7787 | 116.86 | 487.70 | 1.58 | 8.58 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_ARL360 | 0.9106 | 189.32 | 401.96 | Yok | 14.06 | Yok |
| CHICHI04_CHY074-N | 0.8163 | 197.31 | 437.75 | Yok | 5.78 | Yok |
| COALINGA_H-PVB135 | 0.8279 | 105.63 | 256.84 | Yok | 6.82 | Yok |
| NORTHR_STC180 | 0.8615 | 144.33 | 444.15 | 0.87 | 11.31 | Deplasman Sınırı |
| NORTHR_CNP196 | 0.8981 | 126.29 | 202.70 | 1.37 | 10.82 | Deplasman Sınırı |
| IMPVALL_H-AEP315 | 0.9131 | 110.04 | 211.22 | Yok | 8.85 | Yok |
| CHICHI_TCU089-N | 0.9148 | 223.79 | 527.82 | 25.18 | 27.8 | Kesit Süneklik Sınırı |
| PALMSPR_MVH135 | 0.9335 | 120.66 | 215.64 | 1.06 | 6.88 | Deplasman Sınırı |
| LANDERS_JOS090 | 0.9366 | 273.44 | 531.63 | 7.96 | 30.98 | Kesit Süneklik Sınırı |
| SUPERST_B-POE360 | 0.9832 | 273.28 | 504.22 | 11.84 | 16.58 | Kesit Süneklik Sınırı |
| IMPVALL_I-ELC270 | 0.9874 | 255.83 | 405.78 | 16.96 | 25.86 | Kesit Süneklik Sınırı |
| ITALY_A-ARI000 | 1.2580 | 1.35 | 9.87 | Yok | 20.29 | Yok |
| MANAGUA_A-MAN180 | 1.0447 | 258.13 | 596.46 | 9.42 | 10.09 | Kesit Süneklik Sınırı |
| IMPVALL_H-SHP000 | 1.0962 | 175.66 | 355.44 | Yok | 13.08 | Yok |
| PALMSPR_DSP090 | 1.1002 | 51.57 | 234.51 | Yok | 6.9 | Yok |
| NORTHR_ATB000 | 1.1218 | 1.92 | 14.34 | Yok | 15.64 | Yok |
| IMPVALL_H-AGR273 | 1.1945 | 284.84 | 427.85 | 7.15 | 15.26 | Kesit Süneklik Sınırı |
| GREECE_H-KAL-WE | 1.1964 | 180.38 | 357.24 | Yok | 4.656 | Yok |

Bulguların genellenebilmesi için yakın deprem-sert zemin, yakın deprem-yumuşak zemin, uzak deprem-sert zemin, uzak deprem-yumuşak zemin için seçilen deprem kayıtları göz önüne alınarak çalışmanın sürdürülmesi gerekmektedir. Kısıtlı da olsa uzun çözümlmeden sonra ulaşılan olası genellemeler aşağıda sıralanmaktadır

- i. Çerçevenin göçme nedenleri değişmektedir,
- ii. Yapıya aktarılan enerji miktarları değişmektedir,
- iii. Gelişigüzel seçilen yedi depremin ortalamasını almak gerçekçi görünmemektedir,
- iv. Üç depremden en büyüğünün alınması önceki seçeneğe göre daha da olumsuz gözükmemektedir,
- v. Yönetmeliğin öngördüğü üzere gelişigüzel yedi depremin ortalamasını almak yerine önce depremleri yakın fay, uzak fay, yumuşak zemin ve sert zemin oluşumlarına göre gruplandırmak, bunlar içerisinde uygunu saptadıktan sonra seçilen deprem sayısının yedi'den yukarı, örneğin 20 deprem olarak saptanması ve bunların ortalamasına başvurulması araştırmalarımızın şuanki geldiği duruma göre uygun görülmektedir. [DBYBHY, (2007)]

3.2.2. Seçilen ivme kayıtlarının ayıklanması, uygunsuz olanların kaldırılması

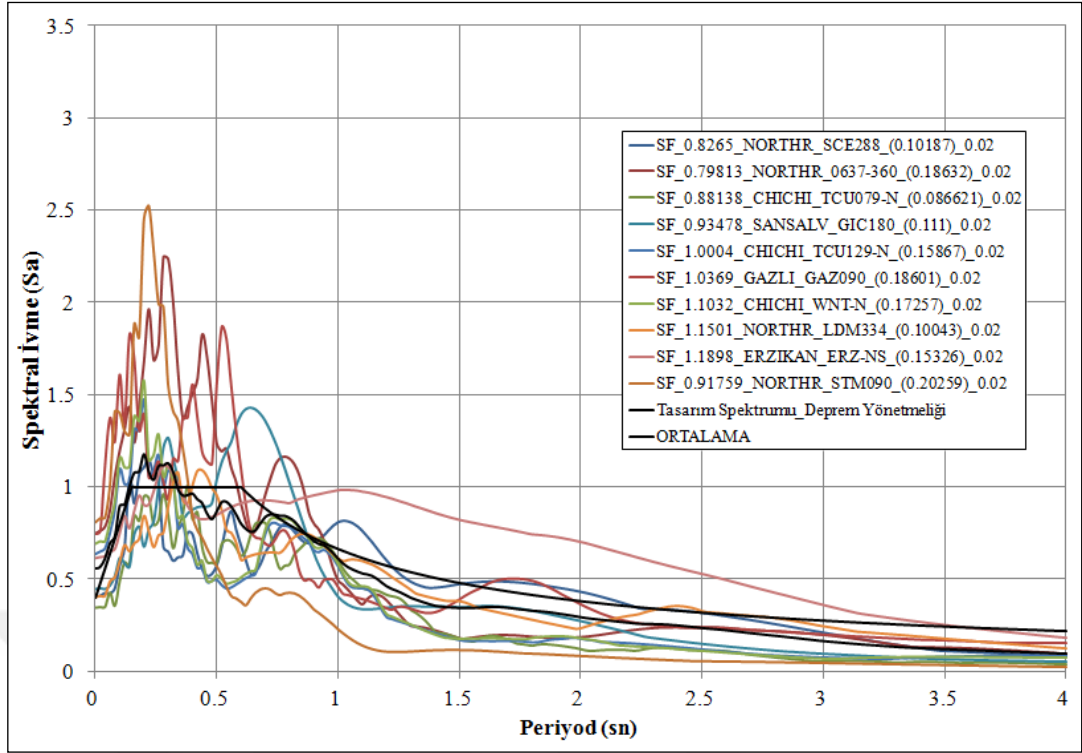
Her bir çerçeve modellerinin adım adım zaman artımıyla yapılan incelemelerinde bölüm...’de bahsedilen yakın fay yumuşak zemin kayıtları arasından 10/50 tasarım depremleri kullanılmıştır. Yirmi kayıttan oluşan bu depremlerin bazılarının ivme spektrumları 0.2 – 2 saniye aralığında deprem yönetmeliği spektrum eğrisi ile karşılaştırıldığında oldukça uzakta kaldığı görülmüştür (Şekil 3.13). Yapılan çözümlelerde daha iyi sonuç elde edebilmek amacıyla bu tür özellikteki kayıtların ayıklanması yoluna gidilmiştir. Yirmi deprem arasından analizlerde kullanılmak üzere on adet ivme kaydı seçilmiştir (Tablo 3.7). Ayıklanan kayıtların SEISMOSIGNAL programı kullanılarak elde edilen spektrum eğrileri ve bu eğrilerin ortalamasının, yönetmelikteki tasarım spektrumu ile karşılaştırılması Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13: 10/50 tasarım depremleri elastik spektrum grafiği

Tablo 3.7: Çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtları

| Seçilen Yer Hareketi-İstasyon İsmi | Ölçek katsayısı | Süre (s) | Max. İvme |
|------------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| NORTHR_SCE288 | 0.8265 | 9.3 | 0.1019 |
| NORTHR_0637-360 | 0.7981 | 8.86 | 0.1863 |
| CHICHI_TCU079-N | 0.8814 | 35.06 | 0.0866 |
| NORTHR_STM090 | 0.9176 | 2.98 | 0.2026 |
| SANSALV_GIC180 | 0.9348 | 2.96 | 0.1110 |
| CHICHI_TCU129-N | 1.0004 | 31.88 | 0.1587 |
| GAZLI_GAZ090 | 1.0369 | 9.66 | 0.1860 |
| CHICHI_WNT-N | 1.1032 | 31.72 | 0.1726 |
| NORTHR_LDM334 | 1.1501 | 6.82 | 0.1004 |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.1898 | 4.94 | 0.1533 |



Şekil 3.14: Çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtlarının ivme spektrumu

3.2.3. Göçme süresinin saptanması

3.2.3.1 İki kayıt arasında verilen zamanın belirlenmesi

Üzerine etkileyen ilk depremden sonra göçme durumuna gelmeyen çerçeveler, bu deprem sonrasında doğrusal davranıp hiç kalıcı yerdeğiştirmeler yapmayabileceği gibi belirli orandaki kalıcı şekildeğiştirmelerden sonra bir miktar kalıcı şekil değiştirme yaparak göçmeden ayakta kalabilmektedir. Bu çerçevenin yeniden benzer bir depremin etkisinde kalması halinde ek kalıcı şekildeğiştirmelere maruz kalabileceği ve ek kalıcı yerdeğiştirmeleri olabileceği bilinmektedir. Böyle bir incelemenin yapılabilmesi için birinci depremin son anında yapıda bulunan hız ve ivmenin sıfıra sönümlenmesi ve ikinci depremin bundan sonra yapıya etkimesi kuramsal açıdan gereklidir. Son andaki hız ve ivmenin sıfırlanması için öngörülen sönüm oranı ile ki bu oran %5 olarak alınmıştır, serbest titreşime bırakılması gerekmektedir.

Başka şekilde açıklamak gerekirse bu irdelemelerdeki amaç arka arkaya verilen depremlerde SAP2000 programının başlangıç koşulu olarak bir önceki depremin sonunda meydana gelen ivme hız ve deplasman değerlerini almasıdır. Oysa gerçekte

birinci depremle ikinci deprem arasında titreşimlerin sönümlenmesi açısından genellikle yeterli zaman kalmaktadır. Bu sürenin belirlenebilmesi için bir inceleme aşağıda yer almaktadır.

Burada, çıplak çerçeve üzerinde yukarıda sözü edilen özellikleri gösteren yumuşak zemin yakın fay depremlerinden 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan NORTHR_STM90 ivme kaydının Model-1 üzerindeki sonuçları incelenmiştir.

Tablo 3.8: İki kayıt arasında verilen süre

| | NORTHR_STM090 | | | | |
|--|----------------|--------|---------|---------|---------|
| | Süre farkı yok | 80 sn | 160 sn | 240 sn | 500 sn |
| Sonraki depremin başlangıcındaki ivme | -3.0785 | 0.0065 | 0.0011 | -0.0005 | 0 |
| Sonraki depremin başlangıcındaki hız | -0.0478 | 0.0040 | -0.0002 | -0.0001 | 0 |
| Sonraki depremin Başlangıcındaki deplasman | 0.0321 | 0.0209 | 0.0210 | 0.0248 | 0.02483 |

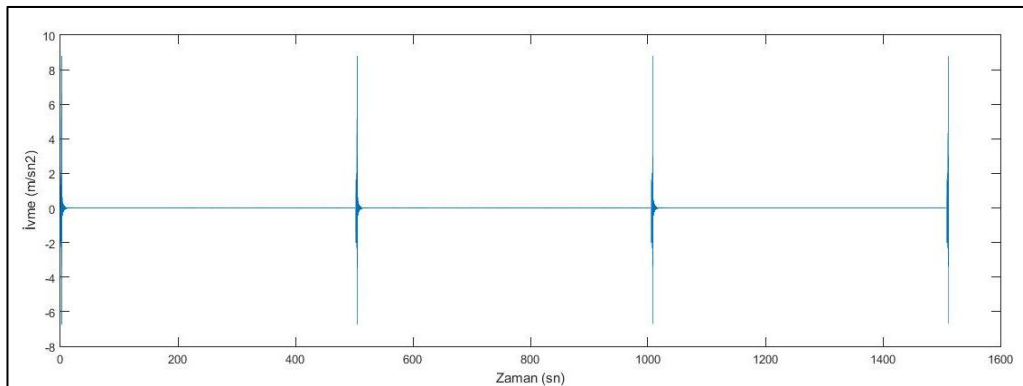
İncelemenin başlangıcında üç farklı sönüm aralığı göz önüne alınmıştır. Bu aralıklar periyodun 100 katı, 200 katı ve 300 katı olacak şekilde düşünülmüştür. Verilen sürenin yeterli olmadığı depremin sonunda yapıda kalan hız ve ivmelerin küçülmediği görüldüğünden, iki kayıt arasındaki zaman farkı 500 saniyeye kadar artırılmıştır. Elde edilen sonuçların 500 saniyede istenilen değerlere ulaştığı görülmüştür.

Tablo 3.9’da 500 saniye sönüm aralığında verilen ard arda NORTHR_STM090 kaydının çıplak çerçevedeki analiz sonuçları verilmiştir.

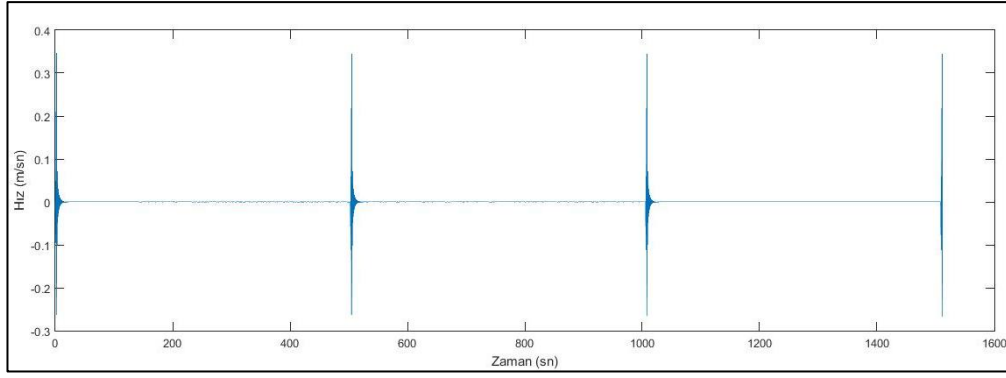
Tablo 3.9: NORTHR_STM090 depremi Model-1 için analiz sonuçları

| NORTHR_STM090 | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Plastik mafsalsal | 1.deprem | 2.deprem | 3.deprem | 4.deprem |
| No | Enerji (kN.m) | Enerji (kN.m) | Enerji (kN.m) | Enerji (kN.m) |
| Tip1 | 18.29 | 49.54 | 79.09 | 101.70 |
| Tip2 | 4.70 | 2.90 | 2.91 | 3.19 |
| Tip3 | 5.22 | 4.18 | 4.26 | 4.39 |
| Tip9 | 4.35 | 4.54 | 5.79 | 5.79 |
| Tip10 | 3.27 | 3.06 | 3.52 | 3.52 |
| Tip11 | 23.95 | 54.96 | 85.55 | 113.18 |
| Tip12 | 12.85 | 24.31 | 36.04 | 42.24 |
| Tip22 | 13.56 | 25.93 | 38.15 | 44.81 |
| Mafsalların Harcadığı Toplam Enerji | 86.20 | 169.42 | 255.30 | 318.82 |
| Göçme (sn) | YOK | YOK | YOK | 1511.26 |
| Toplam (sn) | 2.98 | 505.96 | 1008.94 | 1511.92 |
| Yapıya Aktarılan Toplam Enerji | 389.68 | 736.82 | 1110.50 | 1434.70 |
| Göçme Durumu | YOK | YOK | YOK | Deplasman sınırı |

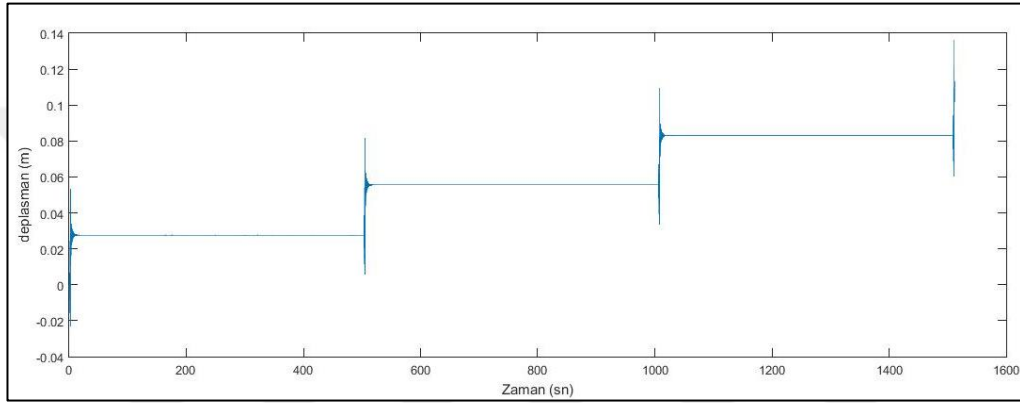
Davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için, 500 sn aralıklı ivme kaydı etkisi altındaki çıplak çerçevede kütlelerin yere göre yaptığı ivme, hız ve deplasman değerlerinin SAP2000 sonuçları Şekil 3.15’de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.15: a. İvme-zaman grafiği



Şekil 3.15: b. Hız-zaman grafiği



Şekil 3.15: c. Deplasman-zaman grafiği

3.2.4. Yapılara aktarılan toplam deprem enerjileri ve kalıcı şekildeğişmelerle yoğaltılan enerji

Model-1, Model-2 ve Model-3 için yapılan çözümlerinde çerçevenin tüm plastik mafsallarında yutulan toplam enerjilerden başka ilgili depremin yapıya aktardığı toplam enerji ile birlikte ortaya çıkmışsa kırılmanın kaydın kaçınıcı saniyesinde olduğu ve/veya aynı kaydın yapı sükunete gelip hız ve ivmeleri sıfırlandıktan sonra yeniden etkilmesi ile kaçınıcı saniyede ortaya çıkarken göçmenin hangi nedenle gözlemlendiği, Bölüm 3.2.2’de ayıklanmış 10/50 ivme kayıtları için aşağıdaki başlıklarda özetlenmektedir.

3.2.4.1. Model 1 İçin Hesap

Ayıklanmış 10/50 ivme kayıtları kullanılarak yapılan zaman artımı analizlerinde, çıplak çerçeve elemanları üzerinde oluşan plastik mafsallar ve burada yutulan enerjiler Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Model-1 plastik mafsal sonuçları

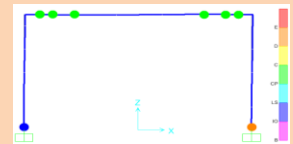
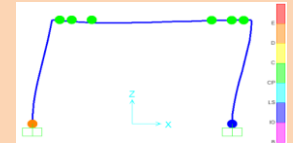
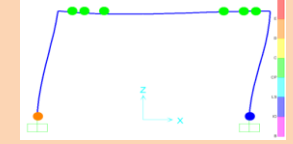
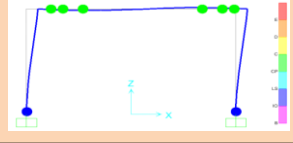
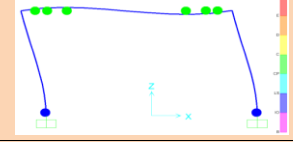
| ÇIPLAK ÇERÇEVE T=0.789 sn | | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | |
| Kayıtlar | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | | | | | | | |
| | Tip1 | Tip2 | Tip3 | Tip9 | Tip10 | Tip11 | Tip12 | Tip22 |
| | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit4 | Kesit4 |
| NORTHR_SCE288 | 46.31 | - | 36.22 | 19.08 | 1.96 | 34.02 | 89.05 | 87.90 |
| NORTHR_0637-360 | 64.38 | 15.68 | 11.53 | 11.26 | 15.05 | 67.22 | 80.61 | 79.20 |
| CHICHI_TCU079-N | 64.38 | 18.57 | 10.12 | 9.35 | 14.00 | 72.22 | 81.52 | 77.11 |
| NORTHR_STM090 | 101.70 | 3.19 | 4.39 | 5.79 | 3.52 | 113.18 | 42.24 | 44.81 |
| SANSALV_GIC180 | 37.58 | 1.87 | 3.60 | 6.48 | 6.97 | 14.37 | 49.13 | 50.29 |
| CHICHI_TCU0129-N | 70.23 | 11.17 | 9.10 | 11.75 | 16.13 | 50.89 | 60.06 | 60.68 |
| GAZLI_GAZ090 | 43.89 | 13.02 | 10.07 | 8.15 | 9.73 | 56.36 | 85.18 | 86.49 |
| CHICHI_WNT-N | 59.24 | 7.02 | 6.75 | 9.93 | 13.10 | 34.91 | 56.19 | 57.01 |
| NORTHR_LDM334 | 36.46 | 3.43 | 4.41 | 7.00 | 7.62 | 19.73 | 82.02 | 82.64 |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 34.21 | 0.72 | 2.90 | 5.64 | 5.58 | 10.51 | 56.88 | 57.96 |

Tablo 3.10'dan anlaşılacağı üzere enerji sönümü en çok, kolon alt uçlarında tanımlanan Tip12 ve Tip22 numaralı plastik mafsallarda meydana gelmiştir. Kirişlerde ise Tip1 ve Tip11 numaralı mafsalların, tanımlanan diğer mafsallara oranla daha çok zorlandığı ve yaptığı histeretik çevrimler sonucu daha fazla enerji sönümlendiği görülmüştür.

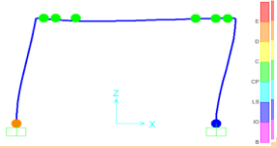
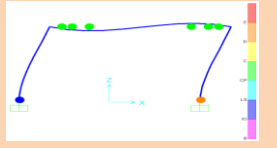
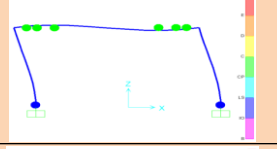
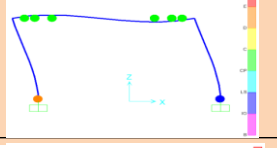
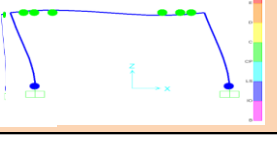
Yapılan zaman artımı yöntemi analizleri sonucu her kayıt için çerçeve üzerinde meydana gelen göçme modları, göçme durumu, kayıtların tekrar sayısı, yapıya aktarılan ve plastik mafsallarda yutulan toplam enerji değerleri Tablo 3.11'de özetlenmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere seçilen deprem kayıtlarının, başlangıç periyodu 0.789 saniye olan çıplak çerçeve üzerinden elde edilen hız spektrumu 'S_v' SEISMOSIGNAL programı kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 3.11'deki sonuçlara bakıldığında, analizlerde kullanılan her bir kaydın farklı genliklere sahip olması, yapı davranışı ve elde edilen enerji sonuçları üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Burada çerçevenin kısa sürede göçme moduna ulaştığı kayıtlar için sistemde meydana gelen plastik mafsallarda sönümlenen toplam enerjinin daha az olduğu görülmüştür. Sistemde göçme çoğunlukla kesit süneklik sınırına ulaşılmasıyla meydana gelmiştir.

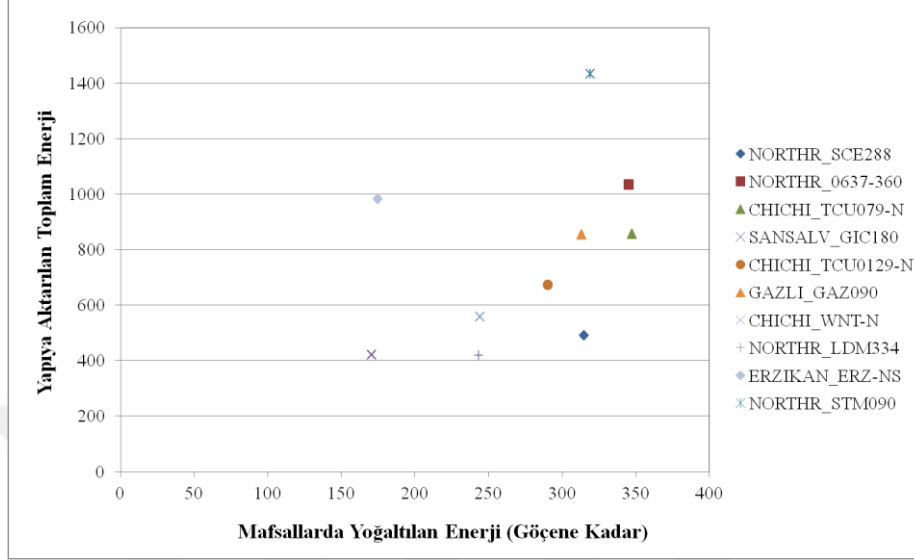
Tablo 3.11: Model-1 analiz sonuçları

| ÇIPLAK ÇERÇEVE T=0.789 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|--|---------------------------------------|-----------------------|---|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| NORTHR_SCE288 | 0.8265 | 0.10187 | 96.54 | 633.80 | 4.52 | 9.3 | 1 | 314.53 | 492.06 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| NORTHR_0637-360 | 0.79813 | 0.18632 | 141.62 | 1363.97 | 4.5 | 8.86 | 1 | 344.93 | 1035.40 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| CHICHL_TCU079-N | 0.88138 | 0.08662 | 76.92 | 402.39 | 17.08 | 35.06 | 1 | 347.27 | 857.11 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| NORTHR_STM090 | 0.91759 | 0.20259 | 60.12 | 245.77 | 1511.3 | 1511.9 | 4 | 318.8163 | 1434.70 | Deplasman Sınırı |  |
| SANSALV_GIC180 | 0.93478 | 0.111 | 137.10 | 1278.29 | 1.2 | 2.96 | 1 | 170.31 | 421.09 | Deplasman Sınırı |  |

Tablo 3.11: Model-1 analiz sonuçları (devamı)

| ÇIPLAK ÇERÇEVE T=0.789 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|---|---------------------------------------|-----------------------|---|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulmuş Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| CHICHI_TCU0129-N | 1.0004 | 0.15867 | 88.22 | 529.20 | 10.58 | 31.88 | 1 | 290.01 | 673.53 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| GAZLI_GAZ090 | 1.0369 | 0.18601 | 90.69 | 559.29 | 6.42 | 9.66 | 1 | 312.87 | 855.24 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| CHICHI_WNT-N | 1.1032 | 0.17257 | 93.37 | 592.85 | 7.18 | 31.72 | 1 | 244.15 | 559.34 | Deplasman Sınırı |  |
| NORTHR_LDM334 | 1.1501 | 0.10043 | 79.46 | 429.40 | 1.22 | 6.82 | 1 | 243.31 | 418.92 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.1898 | 0.15326 | 97.28 | 643.55 | 0.7 | 4.94 | 1 | 174.39 | 982.97 | Deplasman Sınırı |  |

Analizlerde tanımlanan her bir deprem kaydı için, çıplak çerçeveye aktarılan toplam enerji ve plastik mafsallarda göçme meydana gelene kadarki yoğaltılan enerjilerin dağılımı Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-1)

3.2.4.2. Model 2 İçin Hesap

Ayıklanmış 10/50 ivme kayıtları kullanılarak yapılan zaman artımı analizlerinde, kısa çaprazlı çerçeve elemanları üzerinde oluşan plastik mafsallarda yutulan enerjiler Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.12: Model-2 plastik mafsal sonuçları

| ÇAPRAZLI ÇERÇEVE T=0.717 | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | | | | | | | | | | | |
| | Tip1 | Tip2 | Tip3 | Tip3' | Tip4 | Tip8 | Tip9' | Tip9 | Tip10 | Tip11 | Tip12 | Tip22 |
| | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit2 | Kesit2 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit4 | Kesit4 |
| NORTHR_SCE288 | 0.36 | 0.83 | 6.35 | 10.59 | 17.02 | 14.24 | 12.19 | 9.13 | 0.77 | 0.09 | 45.44 | 44.32 |
| NORTHR_0637-360 | - | 1.14 | 10.58 | 16.96 | 19.06 | 22.79 | 13.78 | 11.42 | 0.67 | - | 33.17 | 30.36 |
| CHICHI_TCU079-N | - | 0.41 | 8.96 | 12.29 | 22.70 | 17.64 | 16.30 | 9.31 | 0.67 | - | 9.55 | 9.91 |
| NORTHR_STM090 | 0.29 | 0.97 | 7.59 | 11.81 | 20.49 | 15.56 | 9.22 | 6.22 | 0.06 | 0.10 | 20.73 | 23.84 |
| SANSALV_GIC180 | 0.38 | 0.67 | 10.03 | 5.83 | 18.96 | 7.88 | 15.53 | 8.75 | 0.98 | 0.19 | 43.16 | 44.63 |
| CHICHI_TCU0129-N | 0.20 | 0.45 | 7.66 | 4.53 | 17.89 | 6.34 | 14.27 | 7.54 | 0.98 | - | 44.67 | 45.95 |
| GAZLI_GAZ090 | 0.84 | 0.94 | 12.71 | 13.63 | 22.63 | 18.31 | 17.27 | 13.33 | 1.04 | 0.19 | 44.94 | 43.25 |
| CHICHI_WNT-N | 0.09 | 0.38 | 7.13 | 3.77 | 17.92 | 5.24 | 14.23 | 7.53 | 0.97 | - | 41.71 | 42.97 |
| NORTHR_LDM334 | 0.48 | 0.67 | 8.32 | 7.69 | 8.70 | 10.66 | 7.42 | 3.78 | 0.94 | - | 40.95 | 42.88 |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 0.89 | 0.46 | 11.49 | 3.05 | 13.27 | 4.16 | 12.47 | 6.03 | 1.40 | - | 47.09 | 48.03 |

Burada giriş uç bölgelerindeki kesitlerin daha az zorlandığı ve açıklıktaki Tip4 ve Tip8 numaralı plastik mafsalların girişteki değer kesitlere oranla daha fazla enerji sönümlendiği görülmüştür.

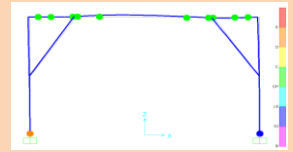
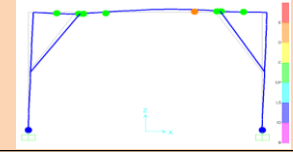
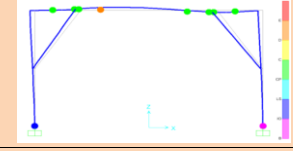
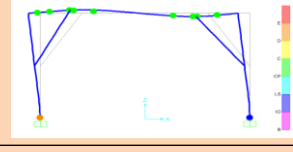
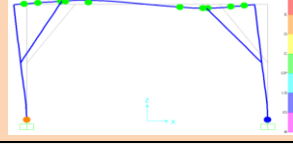
Sistemdeki en çok yutulan enerji önceki modelde olduğu gibi kolon alt uçlarında tanımlanan Tip12 ve Tip22 numaralı plastik mafsallarda meydana gelmiştir.

Tablo 3.12'deki değerler çıplak çerçeve ile karşılaştırıldığında, çıplak çerçevede doğrusal kalan bölgelerin beklenildiği gibi, çaprazların eklenmesiyle zorlanmaya başladığı böylece enerji tüketiminin uçlardan açıklıktaki kesitlere doğru dağıldığı görülmüştür.

Tablo 3.13'de zaman artımı yöntemi analizleri sonucu kısa çaprazlı çerçeveden elde edilen göçme modları, göçme durumu, kayıtların tekrar sayısı, yapıya aktarılan ve plastik mafsallarda yutulan toplam enerji değerleri gösterilmiştir.

Sistemde göçmenin çoğunlukla giriş veya kolonlardaki kesitlerin süneklik sınırına ulaşılmasıyla meydana gelmiştir. Hesaplanan enerji sonuçları çıplak çerçeve ile karşılaştırıldığında ve sistemde göçmenin daha kısa sürede meydana geldiği ve plastik mafsallarda sönümlenen enerjinin azaldığı görülmüştür.

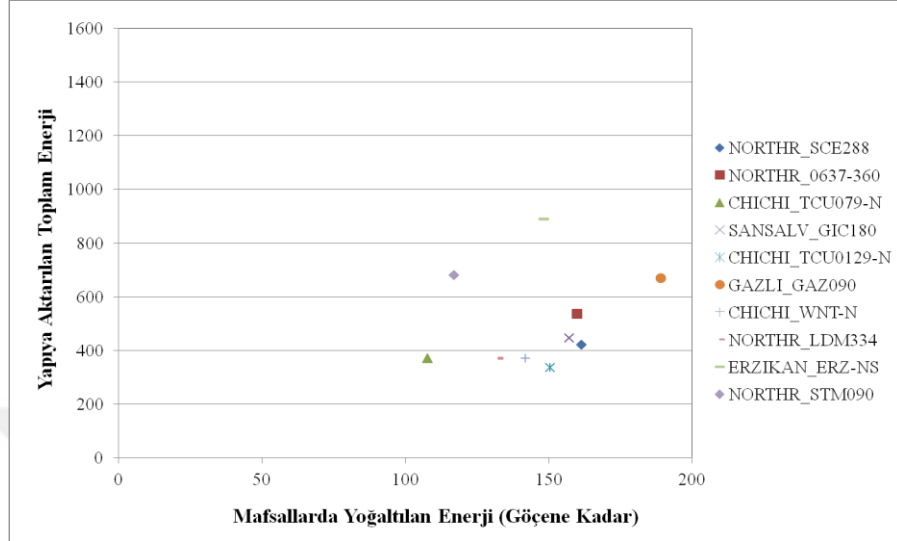
Tablo 3.13: Model-2 analiz sonuçları

| ÇAPRAZLI ÇERÇEVE T=0.717 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|--|---------------------------------------|-----------------------|---|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| NORTHR_SCE288 | 0.8265 | 0.10187 | 96.54 | 633.80 | 4.26 | 9.3 | 1 | 161.34 | 422.56 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| NORTHR_0637-360 | 0.79813 | 0.18632 | 141.62 | 1363.97 | 3.34 | 8.86 | 1 | 159.91 | 537.99 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| CHICHI_TCU079-N | 0.88138 | 0.08662 | 76.92 | 402.39 | 14.2 | 35.06 | 1 | 107.73 | 370.79 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| NORTHR_STM090 | 0.91759 | 0.20259 | 60.12 | 245.77 | 1510.94 | 1511.92 | 4 | 116.87 | 680.59 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| SANSALV_GIC180 | 0.93478 | 0.111 | 137.10 | 1278.29 | 1.18 | 2.96 | 1 | 157.00 | 446.82 | Kesit Süneklik Sınırı |  |

Tablo 3.13: Model-2 analiz sonuçları (devamı)

| ÇAPRAZLI ÇERÇEVE T=0.717 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|--|---------------------------------------|-----------------------|------------|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| CHICHL_TCU0129-N | 1.0004 | 0.15867 | 88.22 | 529.20 | 3.72 | 31.88 | 1 | 150.48 | 337.60 | Kesit Süneklik Sınırı | |
| GAZLI_GAZ090 | 1.0369 | 0.18601 | 90.69 | 559.29 | 5.8 | 9.66 | 1 | 189.07 | 669.76 | Kesit Süneklik Sınırı | |
| CHICHL_WNT-N | 1.1032 | 0.17257 | 93.37 | 592.85 | 3.7 | 31.72 | 1 | 141.93 | 371.74 | Deplasman Sınırı | |
| NORTHR_LDM334 | 1.1501 | 0.10043 | 79.46 | 429.40 | 0.92 | 6.82 | 1 | 132.49 | 372.07 | Kesit Süneklik Sınırı | |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.1898 | 0.15326 | 97.28 | 643.55 | 0.68 | 4.94 | 1 | 148.33 | 890.44 | Kesit Süneklik Sınırı | |

Analizlerde tanımlanan her bir deprem kaydı için, kısa çaprazlı çerçeveye aktarılan toplam enerji ve plastik mafsallarda göçme meydana gelene kadarki yoğaltılan enerjilerin dağılımı Şekil 3.17 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-2)

3.2.4.3. Model 3 İçin Hesap

Tablo 3.14’de Model-3 için yapılan zaman artımı analizleri sonucu tanımlanan her 10 ivme kaydı için plastik mafsallarda sönmülenen enerji değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.14: Model-3 plastik mafsal sonuçları

| YASTIKLI ÇERÇEVE T=0.732 | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Plastik Mafsallarda Yutulmuş Toplam Enerji (kN.m) | | | | | | | | | | | |
| | Tip1 | Tip2 | Tip3 | Tip3' | Tip4 | Tip8 | Tip9' | Tip9 | Tip10 | Tip11 | Tip12 | Tip22 |
| | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit2 | Kesit2 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit1 | Kesit4 | Kesit4 |
| NORTHR_SCE288 | 34.38 | 4.01 | 6.37 | 12.40 | 5.34 | 13.16 | 7.60 | 3.07 | 8.44 | 38.25 | 126.51 | 127.12 |
| NORTHR_0637-360 | 90.77 | 7.83 | 10.75 | 16.98 | 13.93 | 11.55 | 14.15 | 8.64 | 4.99 | 96.82 | 130.20 | 129.80 |
| CHICHI_TCU079-N | 131.74 | 5.50 | 10.62 | 14.71 | 17.14 | 16.99 | 14.64 | 10.12 | 5.11 | 133.05 | 85.37 | 83.77 |
| NORTHR_STM090 | 90.82 | 3.01 | 8.92 | 10.22 | 12.84 | 13.64 | 7.49 | 4.11 | 3.13 | 106.77 | 90.92 | 93.63 |
| SANSALV_GIC180 | 23.01 | 3.71 | 1.17 | 2.34 | 8.34 | 1.42 | 7.69 | 3.55 | 3.15 | 13.47 | 47.97 | 49.14 |
| CHICHI_TCU0129-N | 43.71 | 2.79 | 2.25 | 4.43 | 10.41 | 3.51 | 9.63 | 5.30 | 3.66 | 34.79 | 56.77 | 57.66 |
| GAZLI_GAZ090 | 35.72 | 3.94 | 6.38 | 12.33 | 7.79 | 12.15 | 7.70 | 3.90 | 2.74 | 49.62 | 109.84 | 110.68 |
| CHICHI_WNT-N | 41.94 | 2.24 | 2.31 | 4.53 | 9.98 | 3.93 | 9.17 | 5.05 | 3.72 | 32.13 | 55.38 | 56.13 |
| NORTHR_LDM334 | 64.16 | 4.88 | 5.19 | 10.75 | 16.92 | 7.86 | 16.30 | 9.03 | 4.68 | 58.34 | 146.94 | 147.82 |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 13.78 | 7.48 | 1.62 | 1.79 | 7.32 | 0.66 | 6.60 | 3.12 | 3.48 | 9.38 | 54.96 | 55.41 |

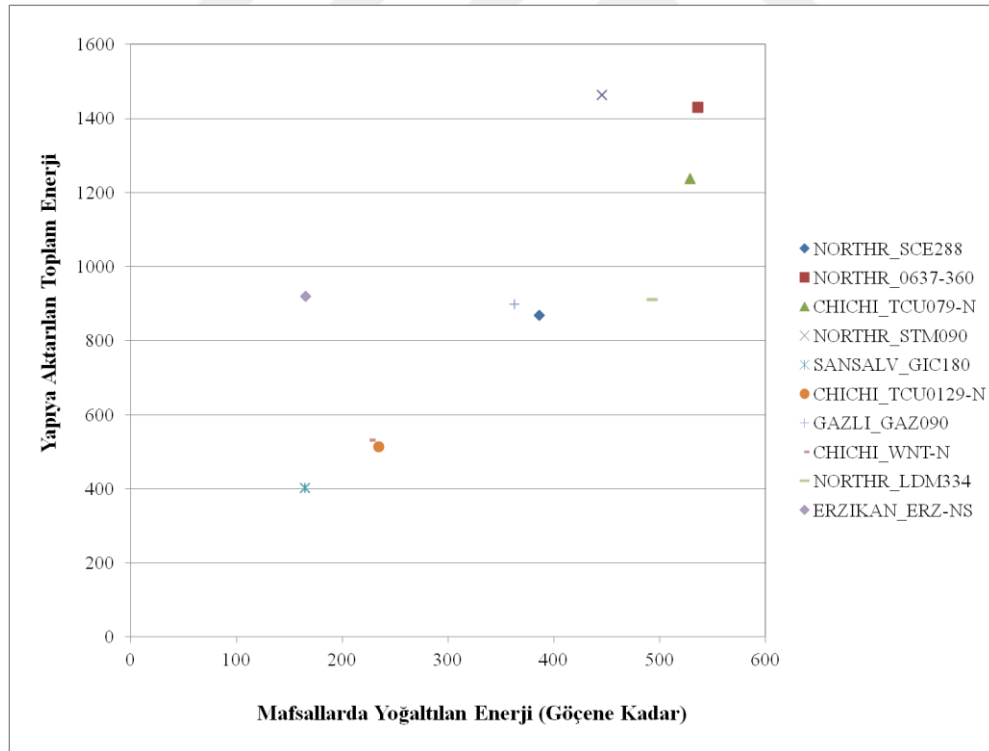
Model-3 için yapılan analizlerde, çapraz profillerin arasına yastıkların eklenmesiyle kesitlerdeki enerji sönmülerinin Model-2’ye göre karşılaştırıldığında miktarlarının

arttığı ve kirişlerdeki zorlanmanın Model-1'deki gibi mesnet kenarlarına yakın Tip1 ve Tip11 numaralı kesitlerde meydana geldiği görülmüştür.

Model-3 için yapılan zaman artımı yöntemi analizleri sonucu her kayıt için çerçeve üzerinde meydana gelen göçme modları, göçme durumu, kayıtların tekrar sayısı, yapıya aktarılan ve plastik mafsallarda yutulmuş toplam enerji değerleri Tablo 3.15'deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 3.15'deki sonuçlara bakıldığında, sistemde göçmenin genellikle kolon alt uçlarına tanımlanan kesitlerin süneklik sınırına ulaşılmasıyla meydana gelmiştir. Kırılma süresinin diğer modellere göre kıyaslandığında, daha uzun olduğu ve böylece yapıya aktarılan deprem enerjisinin Model-3'de daha fazla olduğu görülmüştür.

Her bir kayıt için edilen enerji sonuçlarının dağılımını Şekil 3.18 üzerinde gösterilmiştir

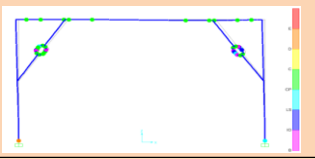
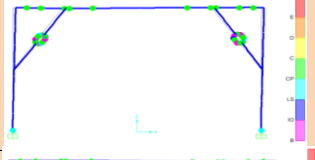
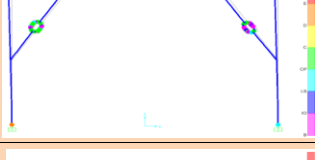
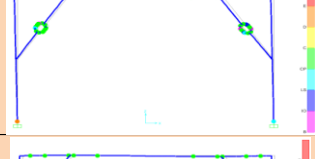
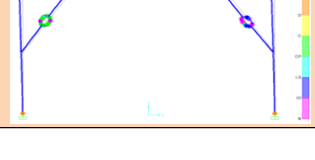


Şekil 3.18: Yapıya aktarılan toplam enerji ile mafsallarda yoğaltılan enerji (Model-3)

Tablo 3.15: Model-3 analiz sonuçları

| YASTIKLI ÇERÇEVE T=0.732 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulmuş Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| NORTHR_SCE288 | 0.8265 | 0.10187 | 96.54 | 633.80 | 5 | 9.3 | 1 | 386.65 | 868.91 | Deplasman ve Kesit Sünekliği Sınırı | |
| NORTHR_0637-360 | 0.79813 | 0.18632 | 141.62 | 1363.97 | 512.26 | 517.72 | 2 | 536.41 | 1429.80 | Kesit Süneklik Sınırı | |
| CHICHI_TCU079-N | 0.88138 | 0.08662 | 76.92 | 402.39 | 549.06 | 570.12 | 2 | 528.75 | 1236.90 | Kesit Süneklik Sınırı | |
| NORTHR_STM090 | 0.91759 | 0.20259 | 60.12 | 245.77 | 1511.62 | 1511.9 | 4 | 445.51 | 1462.81 | Deplasman Sınırı | |
| SANSALV_GIC180 | 0.93478 | 0.111 | 137.10 | 1278.29 | 1.22 | 2.96 | 1 | 164.96 | 403.30 | Kesit Süneklik Sınırı | |

Tablo 3.15: Model-3 analiz sonuçları (devamı)

| YASTIKLI ÇERÇEVE T=0.732 sn, M=1360.06 kN.s2/m | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|------------|--|------------|------------|---------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| YAKIN FAY YUMUŞAK ZEMİN 10/50 DEPREMLERİ | | | | | | | | | | | |
| KAYIT | Ölçek Katsayısı | PGA | Sv (cm/sn) | Yapıya Giren Enerji, Housner (1956) (kN.m) | Zaman (sn) | | Tekrar Sayısı | Plastik Mafsallarda Yutulan Toplam Enerji (kN.m) | Yapıya Aktarılan Toplam Enerji (kN.m) | Göçme Durumu | Göçme Modu |
| | | | | | kırılma | kayıt sonu | | | | | |
| CHICHI_TCU0129-N | 1.0004 | 0.15867 | 88.22 | 529.20 | 7.28 | 31.88 | 1 | 234.90 | 513.66 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| GAZLI_GAZ090 | 1.0369 | 0.18601 | 90.69 | 559.29 | 6.72 | 9.66 | 1 | 362.79 | 898.45 | Deplasman Sınırı |  |
| CHICHI_WNT-N | 1.1032 | 0.17257 | 93.37 | 592.85 | 7.18 | 31.72 | 1 | 226.51 | 531.24 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| NORTHR_LDM334 | 1.1501 | 0.10043 | 79.46 | 429.40 | 6.54 | 6.82 | 1 | 492.89 | 911.05 | Kesit Süneklik Sınırı |  |
| ERZIKAN_ERZ-NS | 1.1898 | 0.15326 | 97.28 | 643.55 | 0.7 | 4.94 | 1 | 165.59 | 919.90 | Deplasman ve Kesit Sünekliği Sınırı |  |

SONUÇLAR

Mevcut çelik yapıların güçlendirilmesinde veya yeni boyutlandırılacak çelik yapıların ekonomik tasarımında mimariyle uygun olmak üzere kullanılan çaprazların etkisi önemlidir. Diğer taraftan bilinmektedir ki çerçevelerin boyutlandırılmasında esas olan en büyük kesit zorları, sistemi oluşturan elemanların farklı farklı kesitlerini aynı düzeyde zorlamamaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, kapasitesinden daha az zorlanmakta olan kesitlere çaprazları bağlayarak bu kesitleri boyutlandırma açısından daha verimli kullanmaktır. Bu doğrultuda yapıya eklenen çeşitli çapraz elemanlar ile enerji yoğaltan düzeneklerin birlikte kullanılmaları sayesinde yapının yatay yük taşıma kapasitesinin beklendiği gibi arttığı görülmektedir.

Çelik yastığın boyutları ile buna bağlanan çaprazların kesitleri uygun seçilerek yatay yükler etkisi altındaki yapının göçme biçimi kontrol altına alınabilmektedir.

Bu çapraz ve çelik yastıklardan oluşan elemanların depremde hasar görmeleri halinde kolaylıkla değiştirilerek yerlerine yenilerinin konması mümkün olacaktır. Depreme karşı güçlendirme olarak ön görülen yolun izlenebilmesi bu düzeneğin sistemde yutulabilen deprem enerjisinin düzeyinin bilinmesine ve ona bağlı olarak eşdeğer sönüm yüzdesinin tanımlanmasına bağlıdır. Tez çalışmasında incelenen bu konun daha etkin bir düzeye getirilmesi için araştırmaların farklı düzeneklerde ve yükleme koşullarında yapılması gerekmektedir. Ancak beklenen eşdeğer sönüm yüzdesi bu düzenekler yardımıyla yönetmeliklerde ön görülen sönüm oranlarının üzerinde olacaktır. Bunun pratik sonucu çelik yastıklar kullanılmış düzeneklerle sönüm oranı arttırılmış olan yapıya aktarılabilecek deprem yüklerinin azalması anlamına gelecektir. Bu yapının ekonomik boyutlandırılması açısından yeni tasarımlar için önemli olurken mevcut yapıların güçlendirilmesi için de ekonomik olacaktır.

Ekonomik yapılar tasarlama olanağı veren çeliğin kullanılması narinlik sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bunun anlamı şekil değiştirmelerin göreceli olarak büyük çıkabilmesi olasılığıdır. Dolayısıyla sistemin şekil değiştirmiş eksenlerinin

denge denklemlerinde göz önüne alınarak doğrusal hesabını amaçlayan ikinci mertbe kuramıyla çözümlene çelik sistemlerde önemli olabilmekte ve basınca maruz elemanlarda burkulma olayını gündeme taşımaktadır. Bu noktadan hareketle incelenmiş olan çerçevelerin sadece I. mertbe kuramı hesabıyla değil aynı zamanda II. mertbe kuramı hesabıyla da taşıma kapasitelerinin bulunmasının gerekliliği yapılan karşılaştırmalarda ortaya konulmaktadır. Yığılan kalıcı şekil değiştirmeler sistemin sadece titreşim özelliklerini değil aynı zamanda burkulmaya karşı güvenliğini de değiştirmektedir.



ÖNERİLER

Depreme karşı güçlendirme olarak yapılan çalışmada ön görülen yolun izlenerek farklı düzeneklerin farklı yer hareketi düzeyine maruz sistemde yutulabilen deprem enerjisinin düzeyinin bilinmesine ve ona bağlı olarak eşdeğer sönüm yüzdesinin tanımlanmasına bağlıdır. Bu çalışmanın dışında tutulan bu aşamaların, incelemenin daha etkin bir düzeye getirilmesi için bu tanımlamaların ve çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Bal, İ. E., Yüksel, E., Durgun, Y., & Karadoğan, F. (2014), An Engineering Approach For Structure-Oriented Earthquake Record Selection, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul.

Chopra, A.K., (2000), *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice hall, Englewood Cliffs, N.J.

DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Ankara.

Dindar, A. A. (2009). Energy-Based Earthquake Response Analysis and Design of Reinforced Concrete SDOF Columns (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis),s. 172-189.

Ersoy, U. (1978), “Beton ve Betonarmenin Doğrusal Elastik Olmayan Davranışı”. İMO Yayınları Ankara,1–25.

Günay. M. K., (2003), Yer Hareketine Maruz Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Enerji-Periyot-Süneklik ilişkileri, s. 41-43

H. Özkaynak, A. Güllü, A. Khajehdehi, T. Gökçe, F. Azizisales, İ. E. Bal, E. Smyrou, E. Yüksel, F. Karadoğan. “Bi-Directional Loading Tests Of Steel Cushions” 14th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures (14WCSI) 9-11 September 2015, San Diego, California, USA.

Housner, G. W., (1956). Limit Design of Structures. *Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering*, 5, 1-11.

Khajehdehi, A., (2015). *Energy Dissipator Steel Cushions* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Maheri M R, Akbari R, (2003). Seismic behaviour factor, R, for steel X-braced and knee-braced RC buildings. *J Construction Steel Research*, 25:1505-1513

Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R., (1988). Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, **114**(8), 1804-1826.

MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.

Özer, E., (2009). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Özkaynak H., Güllü A., Gökçe T., Khajehdehi A., Mahdavi M., Azizisales F., Bal İ.E., Smyrou E., Yüksel E., Karadoğan F., (2014), “Energy Dissipater Steel Cushions”, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul.

Özmen, G., Orakdögen, E. ve Darılmaz, K. (2004). *Örneklerle SAP 2000 – V8.* İstanbul: Birsen Yayınevi.

SAFECLADDING Project, “Improved Fastening Systems of Cladding Wall Panels of Precast Buildings in Seismic Zones”

SAP 2000, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

SEISMOSIGNAL, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy

Taşkın, K. (2012). *Betonarme Çerçeveselerin Özel Köşe Çaprazları İle Güçlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE.

TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları, TSE.

Uang, C.M. and V.V. Bertero, (1990). “*Evaluation of Seismic Energy in Structures*”,

Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.19, s. 77-90.

Uang, C. M., & Bertero, V. V. (1988). *Use of energy as a design criterion in earthquake-resistant design* (Vol. 88, No. 18). Earthquake Engineering Research Center, University of California.

XTRACT, 2001, Kesit Analiz Programı, Imbsen Software Systems.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gülnihân GÖKDAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli - 1990

Lise: Ankara Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans Üniversitesi: İstanbul Kültür Üniversitesi

Yüksek Lisans: İstanbul Kültür Üniversitesi

Çalıştığı Kurum: İstanbul Kültür Üniversitesi