

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK MOMENT VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE
SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞININ ARTIMSAL
DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

HÜSEYİN TÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK MOMENT VE MERKEZİ ÇAPRAZLI
ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM
DAVRANIŞININ ARTIMSAL
DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

HÜSEYİN TÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE

2017

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EVALUATION OF SEISMIC BEHAVIOUR
OF STEEL MOMENT AND
CONCENTRICALLY BRACED FRAMES BY
INCREMENTAL DYNAMIC ANALYSIS
METHOD**

HÜSEYİN TÜRK
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE

2017



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21/06/2017 tarih ve 2017/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/07/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hüseyin TÜRK'ün tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE

: Doç. Dr. Bilge DORAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Yapıların dinamik yükler altında doğrusal olmayan davranışının belirlenmesinde farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en kabul göreni doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntemde, elastik davranış spektrumuna uygun olarak seçilen deprem kayıtları ölçeklendirilerek yapıya etkiktirilir ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılır. Analiz sonucunda taşıyıcı sistemde oluşacak hasar seviyeleri değerlendirilir.

Tez kapsamında iki farklı sistemli çelik taşıyıcı üzerinde Artımsal Dinamik Analizler (ADA) gerçekleştirilmiştir. Seçilen çelik taşıyıcı sistemler beş açıklıklı, dokuz katlı ve bir bodrum katlı moment çerçevesi ile beş açıklıklı dokuz katlı merkezi çaprazlı çerçevedir. Binaların ofis amaçlı kullanılması planlanmış olup inşa yeri Yalı Mahallesi / Maltepe / İstanbul olarak karar verilmiştir. Analizlerde kullanılan elastik davranış spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliğine uygun olarak oluşturulmuştur. Zemin sınıfı moment çerçeve için “D”, merkezi çaprazlı çerçeve için ise “B” olarak seçilmiştir. Ofis binaları 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketlerine maruz bırakılmışlardır. Analizlerde 20 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Artımsal dinamik analizler (ADA) her yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerinin 0.1g artırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda yapısal elemanların plastik mafsallarda deformasyonları ve sistemin görece kat ötelemeleri verilmiştir.

Ayrıca tez kapsamında, merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinin görece kat öteleme oranlarının güvenlik sınırı (GV) performans seviyesinde istatistiksel çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artımsal Dinamik Analiz, Doğrusal Olmayan Davranış, Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi, Moment Çerçevesi, Merkezi Çaprazlı Çerçeve

SUMMARY

Various analytical methods are used to determine the nonlinear behavior of structures under dynamic loads. Among them, the widely accepted method is the nonlinear dynamic analysis method in time domain. In this method, nonlinear dynamic analyzes are made in the time domain by scaling selected earthquake records in accordance with the structural elastic response spectrum characteristics and evaluation of the damage levels in the structural system. To examine the effects of the increased intensity on the responses of the systems, Incremental Dynamic Analysis (IDA) was carried out.

In this study, two steel structural systems with different lateral resistance configuration were examined using IDA approach. The steel structure systems are moment resisting frame consists of five spans, nine stories with one basement as moment frame, and concentrically braced frames consists of five spans, nine stories. Buildings are used for office purpose and the construction site is located on Maltepe/İstanbul. The elastic response spectrum used in the analysis was established in accordance with the Istanbul Tall Building Seismic Design Codes (Draft), 2008. The soil classification was selected as "D" for the moment frame system and "B" for the concentrically braced frame system. Office buildings were exposed to seismic hazard with a 2% chance of passing over within 50 years. 20 different earthquake records were used in the analyses. Incremental Dynamic Analyses were performed by increasing the spectral acceleration value corresponding to the dominant period of each structure at 0.1g at each analysis. The analyses results show that plastic hinge deformations and relative shear displacements occurred.

In addition to this thesis, the statistical investigation of the relative floor slip rates safety limit at performance level for the concentrically braced frame systems have been carried out.

Keywords: Incremental Dynamic Analysis, Nonlinear Behavior, Scaling of Earthquake Records, Moment Frame, Concentrically Braced Frame

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmanın oluşmasına yardımcı olan danışmanın Prof. Dr. Bülent AKBAŞ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı; hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, eğitim hayatımda her daim yanımda olan abim Hasan Türk'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
TABLolar DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasında Yapılmak İstenenler	2
1.2. Tez Çalışmasında Uygulanacak Metot	2
1.3. Tezin Bilime Katkısı	3
2. ÇELİK MOMENT VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİ	4
2.1. Çelik Moment Çerçeve Sistemi	4
2.2. Çelik Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemi	5
3. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ	7
3.1. Kiriş Elemanlarının Özellikleri	7
3.1.1. Moment Aktaran Çerçevelerde Kirişlerin Tasarıma Esas Davranışları	7
3.1.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Kirişlerin Tasarıma Esas Davranışları	10
3.2. Kolon Elemanlarının Özellikleri	11
3.2.1. Kolonun Basınç Dayanımı Hesabı	12
3.2.2. Kolonun Çekme ve Eğilme Momenti Dayanımı Hesabı	13
3.2.3. Kolonun P-M Etkileşim Diyagramı	13
3.2.4. Kolonun Akma Dönmesinin Hesabı ve Plastik Mafsal Tanımı	14
3.3. Çapraz Elemanlarının Özellikleri	15

3.3.1. Çapraz Elemanın Basınç ve Çekme Dayanımı Hesabı	17
3.4. Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri	18
3.4.1. Kirişler ve Kolonlar için İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları	18
3.4.2. Çaprazlar için İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları	19
3.4.1. Göreli Kat Öteleme Sınırları	19
3.5. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu	
4. ARTİMSAL DİNAMİK ANALİZ	22
4.1. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	22
4.1.1. Deprem Kayıtlarının Yapı Elastik Davranış Spektrumuna Ölçeklenmesi	22
4.1.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklendirilmesi	23
4.1.3. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Yorumlanması	23
4.2. İstatiksel Kavramlar ve Normal Dağılım	24
4.2.1. İstatiksel Kavramların Tanımlanması	24
4.2.2. Normal Dağılım	25
5. SAYISAL UYGULAMA-1	30
5.1. Çelik Moment Çerçeve Sistemi	30
5.1.1. Yapısal Model ve Modelin Tanıtılması	30
5.1.1.1. Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması	33
5.1.1.2. Ölü ve Hareketli Yüklerin Tanıtılması	34
5.1.2. Doğrusal Olmayan Parametrelerin Sisteme Tanıtılması	38
5.1.2.1. Kirişlerin Plastik Mafsallık Bölgelerinin Tespiti ve Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşim Detayı	38
5.1.2.2. Kirişlerin Net Açıklıklarının Hesabı	40
5.1.2.3. Kirişlerin Moment Taşıma Kapasitelerinin Hesabı	40
5.1.2.4. Kirişlerin Plastik Mafsalların Tanımlanması	41
5.1.2.5. Kolonların Plastik Mafsallık Bölgelerinin Tespiti ve Plastik Mafsalların Tanıtılması	47
5.1.3. Bina Elastik Davranış Spektrumunun Oluşturulması	57
5.1.4. Bina Modal Analizinin Yapılması ve Modal Parametrelerin Belirlenmesi	60

5.1.5. Bina Sönüm Fonksiyonun Oluşturulması	62
5.1.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi	64
5.1.6.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Bina Tasarım Spektrumuna göre Ölçeklendirilmesi	64
5.1.6.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklendirilmesi	73
5.1.7. Artımsal Dinamik Analizlerin Yapılması	77
5.1.7.1. Doğrusal Olmayan Analiz için Başlangıç Koşulunun Oluşturulması	77
5.1.7.2. Doğrusal Olmayan Yük Kombinasyonların Oluşturulması	78
5.1.7.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması	80
5.1.8. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	83
5.1.8.1. Kolonlarda Oluşan Doğrusal Olmayan Davranışın İncelenmesi	83
5.1.8.2. Kirişlerde Oluşan Maksimum Plastik Dönmelerin Tespiti	89
5.1.8.3. Sistemdeki Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti	93
5.1.8.4. Kat Seviyelerinde Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti	97
6. SAYISAL UYGULAMA-2	102
6.1. Çelik Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemi	102
6.1.1. Yapısal Model ve Modelin Tanıtılması	102
6.1.1.1. Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması	104
6.1.1.2. Ölü ve Hareketli Yüklerin Tanıtılması	105
6.1.2. Doğrusal Olmayan Parametrelerin Sisteme Tanıtılması	106
6.1.2.1. Çaprazların Doğrusal Olmayan Parametrelerinin Hesaplanması ve Perform 3-D Programına Tanıtılması	107
6.1.2.2. Kolon, Kiriş ve Çapraz Elemanların Performans Seviyelerinin Tespiti	114

6.1.3. Bina Elastik Davranış Spektrumun Oluşturulması	119
6.1.4. Bina Modal Analizinin Yapılması ve Modal Parametrelerin Belirlenmesi	121
6.1.5. Bina Sönüm Fonksiyonun Oluşturulması	123
6.1.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi	125
6.1.6.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Bina Tasarım Spektrumuna göre Ölçeklendirilmesi	125
6.1.6.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklendirilmesi	128
6.1.7. Artımsal Dinamik Analizlerin Yapılması	131
6.1.7.1. Doğrusal Olmayan Analiz için Başlangıç Koşulunun Oluşturulması	131
6.1.7.2. Doğrusal Olmayan Yük Kombinasyonların Oluşturulması	132
6.1.7.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması	133
6.1.8. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	141
6.1.8.1. Çaprazlarda Oluşan Doğrusal Olmayan Davranışın İncelenmesi	141
6.1.8.2. Çaprazlarda Oluşan Maksimum Birim Şekil Değiştirme Tespiti	145
6.1.8.3. Sistemdeki Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti	148
6.1.8.4. Kat Seviyelerinde Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti	151
6.1.8.5. Maksimum Görelî Kat Ötelemesinin İstatiksel olarak Değerlendirilmesi	152
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	160

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kısaltmalar

A	: İlgili kesitin alanı.
A_g	: Kayıpsız enkesit alanı.
b_{bf}	: Kiriş kesitinin başlık genişliği.
b_f	: Kesitin başlık genişliği.
C_d	: Göreli kat ötelemesi oranı büyütme katsayısı.
d_b	: Kiriş enkesit yüksekliği.
d_c	: Kolon enkesit yüksekliği.
DL	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybetmeden ulaşabileceği maksimum birim şekil değiştirmesi.
DX	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde maksimum birim şekil değiştirmeleri.
DR	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybı esnasında ulaşacağı birim şekil değiştirmeleri.
E	: Yapı çeliği elastisite modülü.
E_b	: Kiriş elemanının elastisite modülü.
E_c	: Kolon elemanının elastisite modülü.
f_1	: Birinci sınır değer için bina doğal titreşim frekansı.
f_2	: İkinci sınır değer için bina doğal titreşim frekansı.
F_a	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı.
F_{cr}	: Beklenen kritik burkulma gerilmesi.
F_e	: Beklenen elastik burkulma gerilmesi.
$F_{u(Basınç)}$	: Çapraz elemanlar için basınç bölgesindeki beklenen burkulma gerilmesi.
$F_{u(Çekme)}$	: Çapraz elemanlar için çekme bölgesindeki beklenen akma gerilmesi.
F_x	: Normal dağılım fonksiyonu.
F_v	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı.
F_y	: Yapı çeliğinin akma gerilmesi.
F_{ye}	: Yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesi.

FR/FU	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybı oranı.
g	: Yer çekimi ivmesi.
g_i	: Kat seviyelerindeki toplam ölü yük.
G	: Toplam sabit yük.
$G_{(A,B)}$	: Kolonun üst veya alt uçlarında birleşen kolonların ve kirişlerin eğilme rijitlikleri toplamalarının oranı.
h	: İlgili “I” kesitli kirişlerin enkesit yüksekliğinden başlık genişlikleri çıktıktan sonra kalan mesafesi.
h_{ji}	: İlgili elemanın yüksekliği.
I_b	: Kirişin atalet momenti.
I_c	: Kolonun atalet momenti.
I_x	: Elemanın x yönündeki atalet momenti.
i_y	: Kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümün 1/3’ünün yanal doğrultudaki atalet yarıçapı.
K	: Kolon burkulma katsayısı.
K_x	: Kolonun x yönündeki burkulma katsayısı.
K_y	: Kolonun y yönündeki burkulma katsayısı.
L	: İlgili elemanın boyu.
L_b	: Kirişin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık.
L_c	: Kolonun net açıklığı.
L_h	: Kiriş net açıklığının rijit bölgelerin çıktıktan sonra kalan uzunluğu.
L_k	: Kirişin, düğüm noktaları arasındaki uzunluğu.
L_n	: Kirişin net açıklığı.
L_z	: Kirişin, kolon yüzeyinden plastik mafsallara olan uzaklığı.
M_n	: Eğilme momenti kapasitesi.
M_{nx}, M_x	: Elemanın x yönünde eğilme momenti kapasitesi.
M_{ny}	: Elemanın y yönünde eğilme momenti kapasitesi.
M_{rx}	: Yük birleşimleri için x yönünde gerekli eğilme momenti dayanımı.
M_{ry}	: Yük birleşimleri için y yönünde gerekli eğilme momenti dayanımı.
M_{zn}	: Azaltılmış kiriş enkesitinde eğilme momenti kapasitesi.
n	: Hareketli yük katılım katsayısı.
P	: Maksimum plastik dönme durumunda çelik kesitte bulunan eksenel yük.

P_{CL}	: Çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımı.
P_n	: Eksenel basınç veya çekme kuvveti dayanımı.
P_D	: Ölü tekil yük.
P_L	: Hareketli tekil yük.
P_R	: Yük birleşimleri için gerekli eksenel kuvvet dayanımı.
P_{ye}	: Çelik elemanın beklenen eksenel akma kuvveti.
r	: Atalet yarıçapı.
r_x	: Elemanın x yönünde atalet yarıçapı.
r_y	: Elemanın y yönündeki atalet yarıçapı.
S_{MS}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme.
S_{M1}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme.
S_s	: Referans zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme.
S_1	: Referans zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme.
Q	: Toplam hareketli yük.
q_D	: Ölü yayılı yük.
q_i	: Kat seviyelerinde toplam hareketli yük.
q_L	: Hareketli yayılı yük.
$S_{a(g)}$	: Yerçekimi ivmesi cinsinden spektral ivme değeri.
S_{ae}	: Elastik spektral ivme.
$SF_{(i)}$	: Bina spektrumuna ölçeklenmiş ivme değeri – Ölçekleme faktörü.
T	: Bina periyodu.
T_L	: Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu.
T_o	: Spektrum köşe periyodu.
T_s	: Spektrum köşe periyodu.
T_1	: Birinci sınır değer için bina titreşim periyodu.
T_2	: İkinci sınır değer için bina titreşim periyodu.
t_f	: Kesitin başlık kalınlığı.
t_w	: Kesitin gövde kalınlığı.
u	: Poisson oranı.
Z_x	: Enkesitin x yönünde plastik mukavemet momenti.
Z_{zx}	: Azaltılmış enkesitinde x yönünde plastik mukavemet momenti.
Z_i	: Standart normal değişken katsayısı.

W	: Toplam bina ağırlığı.
λ_{hd}	: Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri.
λ	: Narinlik oranı.
λ_x	: Elemanın x yönündeki narinlik oranı.
λ_y	: Elemanın y yönündeki narinlik oranı.
θ_p	: Plastik dönme istemi.
θ_y	: Akma dönmesi.
Δ_c	: Çelik elemanın eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi.
Δ_t	: Çelik elemanın eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesidir.
$[C]$	: Bina sönüm matrisi.
$[K]$	: Bina rijitlik matrisi.
$[M]$	: Bina kütle matrisi.
α	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için kütle matrisi katsayısı.
β	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için rijitlik matrisi katsayısı.
ζ_1	: Birinci sınır değer için bina sönüm katsayısı.
ζ_2	: İkinci sınır değer için bina sönüm katsayısı.
ζ_i	: Bina titreşim periyotlarına karşı gelen bina sönüm fonksiyonu.
ω_1	: Birinci sınır değer için bina açısal frekansı .
ω_2	: İkinci sınır değer için bina açısal frekans.
δ_{ji}	: i' inci katta j' inci kolonun alt ve üst uçları arasındaki yerdeğiştirme farkı.
x_i	: İstatistik hesaplamalar için gözlem veya deney sonuçları.
σ	: Veri setinin standart sapması.
μ	: Veri setinin aritmetik ortalaması.
$\epsilon_{y(\text{Çekme})}$	: Elemanın çekme bölgesinde birim şekil değiştirmesi.
$\epsilon_{y(\text{Basınç})}$	: Elemanın basınç bölgesinde birim şekil değiştirmesi.
ADA	: Artımsal dinamik analiz.
CG	: Can güvenliği.
DYT	: Düşey yük taşıyan .
GÖ	: Göçme öncesi.
HK	: Hemen kullanım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Moment aktaran çelik çerçevelerde kapasitesi korunan bölgeler.	8
3.2: Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayı.	8
3.3: Kiriş elemanların moment-dönme davranış grafiği.	9
3.4: Deprem esnasında dengelenmemiş kuvvetlerin oluşumu.	10
3.5: Kolonların P-M etkileşim diyagramı.	14
3.6: W6X20 çaprazın çevrimsel davranışı (Narinlik Oranı:80; $F_y=250$ MPa).	15
3.7: W6X16 çaprazın çevrimsel davranışı (Narinlik Oranı:120; $F_y=250$ MPa).	16
3.8: Genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi.	16
3.9: Rayleigh Sönüm Fonksiyonu.	21
4.1: Deprem kaydının yapı elastik spektrumuna ölçeklenmesi.	23
4.2: Deprem kaydının artımsal olarak ölçeklenmesi.	24
4.3: Normal dağılım grafiği.	26
4.4: Kümülatif dağılım fonksiyonu.	27
5.1: Bina plan görünüşü.	30
5.2: Bina kesit görünüşü.	31
5.3: Malzeme özelliklerinin SAP2000 programı ortamında gösterilmesi.	33
5.4: Kolon etkili yük alanı ve yayılı yükler.	34
5.5: DYT kolonların SAP2000 programındaki model görünüşü ve kesit özelliklerinin modifikasyonu.	35
5.6: Moment çerçevesine etkileyen tekil ölü yükler.	36
5.7: Moment çerçevesine etkileyen tekil hareketli yükler.	36
5.8: Moment çerçevesine etkileyen yayılı ölü yükler.	37
5.9: Moment çerçevesine etkileyen yayılı hareketli yükler.	37
5.10: 1.kat 1 aksı üzerindeki A-A ile B-B aksı arasındaki kirişin zayıflatılmış enkesit geometrik boyutlarının ve plastik mafsallık bölgelerinin tespiti.	38
5.11: Moment aktaran kirişlerin net açıklıkları.	40
5.12: Sistem elemanlarının SAP2000 programında numaralandırılması.	41

5.13:	24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesit görünüşü.	42
5.14:	24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesiti plastik moment hesabı.	44
5.15:	24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesiti plastik moment hesabı.	47
5.16:	Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçeve deformasyon şekli.	48
5.17:	Burkulma boyu katsayısının (K) hesabı.	49
5.18:	32 numaralı kolonun ($P - M_3$) etkileşim diyagramı.	52
5.19:	SAP2000 programında 32 numaralı kolonun basınç, çekme, moment dayanımı ve P-M etkileşim diyagramı görüntüsü.	56
5.20:	SAP2000 programında 32 numaralı çevrimsel doğrusal olmayan davranış parametreleri.	57
5.21:	Bina elastik tasarım spektrumu.	59
5.22:	SAP2000 programında bina elastik tasarım spektrumu.	59
5.23:	Bina kat ağırlıklarının SAP2000 programına tanıtılması.	60
5.24:	Bina mod şekilleri ve titreşim periyodları.	61
5.25:	Sönüm fonksiyonun grafik olarak gösterimi.	63
5.26:	Sönüm parametrelerinin SAP2000 programında tanıtılması.	64
5.27:	Seçilen deprem kayıtlarının ivme-zaman grafikleri.	65
5.28:	Binanın I.Mod periyoduna karşılık gelen yer ivmesi.	67
5.29:	SAP2000 programında davranış spektrumlu yük tanımlanması.	67
5.30:	SAP2000 programında LA09 deprem kaydı analiz parametreleri.	68
5.31:	LA09 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.	69
5.32:	SAP2000 programında LA09 deprem kaydının ölçeklendirilmesi.	70
5.33:	Ölçeklenmiş LA09 deprem kaydının analizi sonucunda elde edilen tepe deplasman zaman grafiği.	70
5.34:	LA11 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.	72
5.35:	LA16 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.	72
5.36:	LA18 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.	73
5.37:	LA09 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.	75
5.38:	LA11 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.	75
5.39:	LA16 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.	76
5.40:	LA18 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.	76
5.41:	SAP2000 programında başlangıç yük koşulunun oluşturulması.	78

5.42:	SAP2000 programında LA09 deprem kaydının 0.2g spektral ivme değerinde yük tanımlanması.	80
5.43:	LA09 kaydı altında 10 adet ölçeklenmiş depremlerde oluşan maksimum deformasyon şekilleri.	81
5.44:	Dört deprem kaydı için ($SF_{1.0}$) spektral ivme değerinde doğrusal olmayan en olumsuz deformasyon şekilleri.	83
5.45:	20 H1 numaralı plastik mafsalsın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA09 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.	85
5.46:	20 H1 numaralı plastik mafsalsın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA16 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.	86
5.47:	23 H1 numaralı plastik mafsalsın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA09 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.	87
5.48:	23 H1 numaralı plastik mafsalsın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA16 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.	88
5.49:	4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama plastik dönmeler.	93
5.50:	$t=16,24$ saniyede kat seviyelerinde oluşmuş görelî kat ötelemeleri ve deformasyon şekli.	94
5.51:	$t=16,80$ saniyede kat seviyelerinde oluşmuş görelî kat ötelemeleri ve deformasyon şekli.	95
5.52:	4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama görelî kat ötelemeleri.	95
5.53:	Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerinde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan maksimum-ortalama görelî kat ötelemesi oranı.	99
5.54:	Bütün spektral ivme değerlerinde katlarda oluşan maksimum-ortalama görelî kat öteleme oranları.	100
6.1:	Bina plan görünüşü.	102
6.2:	Bina kesit görünüşü.	103
6.3:	Kolonlara ve kirişlere gelen tekil yükler.	105
6.4:	1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının eksenel gerilme-birim şekil değiştirme grafiğı.	110
6.5:	1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının histerezis eğri parametreleri.	111

6.6:	1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının Perform-3D programına tanıtılması.	111
6.7:	1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının performans seviyeleri.	119
6.8:	Bina elastik tasarım spektrumu.	121
6.9:	Bina kat ağırlıklarının Perform-3D programına tanıtılması.	122
6.10:	Bina mod şekilleri ve titreşim periyodları.	123
6.11:	Sönüm fonksiyonun grafik olarak gösterimi.	125
6.12:	LA05 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.	127
6.13:	LA05 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.	130
6.14:	Perform-3D programında başlangıç yük koşulunun oluşturulması.	132
6.15:	Perform-3D programında LA05 deprem kaydının 0.9g spektral ivme değerinde yük tanımlanması.	133
6.16:	Perform-3D programında talep/kapasite oranları.	134
6.17:	$SF_{0.7}$ için 20 adet ölçeklenmiş depremlerde oluşan performans seviyeleri.	135
6.18:	LA_03_SF_0.7 analiz sonucu sistemde oluşan enerji dağılımı.	139
6.19:	LA_03_0.7 analiz sonucu taşıyıcı elemanlarda oluşan enerji dağılımı	140
6.20:	1-B Aksı 1.ve 2.Kat arası çaprazın zamana bağlı çevrimsel davranışı.	142
6.21:	1-B Aksı 1.ve 2. Kat arası çaprazın performans seviyeleri.	142
6.22:	1-B Aksı 1.- 2. Kat arası çaprazın zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı.	143
6.23:	1-C Aksı 7.ve 8. Katlar arası çaprazın zamana bağlı çevrimsel davranışı.	144
6.24:	1-C Aksı 7.ve 8. Kat arası çaprazın performans seviyeleri.	144
6.25:	1-C Aksı 7.- 8. Kat arası çaprazın zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı.	145
6.26:	Çapraz elemanlarda oluşan maksimum birim şekil değiştirmeler.	147
6.27:	Sistemdeki maksimum görel kat öteleme oranı (%).	150
6.28:	Yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan maksimum-ortalama görel kat ötelemesi oranı.	152
6.29:	Normal-Kümülatif dağılım ve histogram eğrileri.	153

6.30:	Normal dağılım ve $SF_{(i)}$ -Normal Dağılım karşılaştırılması.	154
6.31:	Kümülatif dağılım ve $SF_{(i)}$ -Kümülatif Dağılım karşılaştırılması.	155
6.32:	Normal dağılımın maksimum görelî kat öteleme & artımsal dinamik analiz grafiğinde gösterimi.	156

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayının uygulama sınırları.	9
3.2: HSS kesitli çaprazların ASCE 41-13 yönetmeliğine göre sınır değerleri.	17
3.3: Kirişler ve kolonlar için izin verilen şekil değiştirme sınırları.	18
3.4: Çaprazlar için izin verilen şekil değiştirme sınırları.	19
4.1: Standart normal dağılım değerleri ($Z < 0$).	28
4.2: Standart normal dağılım değerleri ($Z > 0$).	29
5.1: Moment çerçevesi kiriş ve kolon ebatları.	32
5.2: Kirişlerin plastik mafsal noktalarının tespiti.	39
5.3: Kirişlerin plastik mafsal özellikleri.	45
5.4: 32 numaralı kolonun ($P - M_3$) etkileşim değerleri.	53
5.5: Kolonların plastik mafsal özellikleri.	54
5.6: Bina elastik davranış spektrum değerleri.	59
5.7: Mod katılım kütle oranları.	61
5.8: Seçilen deprem kayıtların özellikleri.	64
5.9: Deprem kayıtlarının bina spektrumuna göre ölçeklenmesi.	71
5.10: Deprem kayıtlarının artımsal ölçeklenmesi.	74
5.11: Sap2000 programında yük durumlarının tanıtılması.	78
5.12: LA09 deprem kaydı altında 0.6g spektral ivme değerinde kirişlerde oluşan plastik mafsal dönmeleri.	90
5.13: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama plastik dönmeler.	92
5.14: $t=16.24$ saniyede katlarda oluşmuş göreceli kat öteleme oranları.	94
5.15: $t=16.80$ saniyede katlarda oluşmuş göreceli kat öteleme oranları.	94
5.16: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama göreceli kat ötelemeleri.	96
5.17: Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerinde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum göreceli kat öteleme oranı.	97

5.18:	Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerinde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan maksimum-ortalama görelî kat ötelemesi oranı.	98
5.19:	Bütün spektral ivme değerlerinde katlarda oluşan maksimum-ortalama görelî kat öteleme oranları.	101
6.1:	Merkezi çaprazlı çerçeve kiriş ve kolon ebatları.	104
6.2:	Çapraz eleman kesitlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerin hesabı.	113
6.3:	Kolon elemanlarının performans seviyeleri (rad).	116
6.4:	Kiriş elemanlarının performans seviyeleri (rad).	117
6.5:	Çapraz elemanlarının performans seviyeleri.	118
6.6:	Bina elastik davranış spektrum değerleri.	121
6.7:	Mod katılım kütle oranları.	123
6.8:	Seçilen deprem kayıtların özellikleri.	126
6.9:	Deprem kayıtlarının bina spektrumuna göre ölçeklenmesi.	128
6.10:	Deprem kayıtlarının artımsal ölçeklenmesi.	129
6.11:	LA_03_SF_0.7 analiz sonucu enerji dağılımlarının nümerik gösterimi.	141
6.12:	Çapraz elemanlarda oluşan maksimum birim şekil değıştirmenin ϵ_y cinsinden oranları.	146
6.13:	Sistemdeki maksimum görelî kat öteleme oranı (%).	149
6.14:	Yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı.	151
6.15:	GV performans seviyesi ivme değerleri ve istatıksel parametreler.	153

1. GİRİŞ

Yapıların planlanmasında en uygun taşıyıcı sistemin seçilmesi yapının ondan istenen fonksiyonları yerine getirebilmesi bakımından önemlidir. Yapı tasarım felsefesi ise güvenlik, ekonomik, estetik ve rijitlik gibi önemli etkenlere bağlıdır. Çelik taşıyıcı sistemlerin bu bağlamda ülkemizde uygulama alanları giderek artmakta ve gelişmektedir. Özellikle çelik elemanların diğer taşıyıcı elemanlara kıyasla daha sünek bir davranış göstermesi ve imalat-montaj aşamasının çok daha hızlı olması sebebiyle tercih edilen bir taşıyıcı sistem haline gelmiştir. Yaygınlaşan çelik taşıyıcı sistemlerin beraberinde ise yeni analiz yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Bu metotlar arasında literatürde en yaygın olanı, yapı sisteminin deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışının belirlenmesidir.

Yapısal sistemlerin dinamik yükler altında doğrusal olmayan davranışının belirlenmesinde ise farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en kabul göreni doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntemde, elastik davranış spektruma uygun olarak seçilen deprem kayıtları ölçeklendirilerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılır ve taşıyıcı sistemde oluşacak hasar seviyeleri yönetmelik kapsamında değerlendirilir.

Artımsal Dinamik analiz (ADA) ise doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz odaklı bir yöntem olup yapı sisteminin farklı deprem seviyelerinde oluşacak deformasyonları değerlendirilmesini sağlar. Bu yöntemde, birbirinden farklı birçok deprem kayıtları yapı davranış spektrumuna artımsal olarak ölçeklenerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılır. Artımsal Dinamik Analiz yönteminde deprem kayıtlarının birden çok seçilmesinden dolayı sonuçlar fazla ve farklı olacak, dolayısıyla bu yöntem sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilebilecektir.

Yapısal sistemlerin ve taşıyıcı elemanların farklı deprem seviyelerinde göstereceği doğrusal olmayan davranışın istatistiksel olarak değerlendirilmesi konusu son dönemlerde oldukça önemli bir yere sahiptir. Artımsal Dinamik Analizi sonucunda çıkan istatistiksel çalışmalar, depremde meydana gelecek hasarların oluşma olasılıkları bilmemizi sağlayacak bu olasılıklar ile binalar depremlere karşı sigortalanabilecektir.

1.1. Tez Çalışmasında Yapılmak İstenenler

Tez kapsamında farklı iki çelik sistem üzerinde artımsal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Seçilen çelik taşıyıcı sistemler daha önceden tasarımı yapılmış moment ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinden oluşmaktadır. Her iki sistemin kullanım amacı ofis olarak planlanmıştır.

Analizlerde kullanılan davranış spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem yönetmeliğine uygun olarak oluşturulmuştur. Ofis binaları 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Çelik moment çerçeve sistemin analizinde 4 farklı deprem kaydı, merkezi çaprazlı çerçeve sistemin analizinde ise 20 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Artımsal dinamik analizler, her yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin moment çerçeve sistemlerinde 0.1g -1.0g aralığında, merkezi çaprazlı çelik sistemlerinde ise 0.1g-2.3g aralığında 0.1g'lik artımlarla artırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları plastik mafsallı deformasyonları ve göreceli kat ötelemeleri olarak verilmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca merkezi çaprazlı çelik sistemlerin göreceli kat öteleme oranlarının Güvenlik Sınırı performans seviyesinde istatistiksel çalışmaları yapılmıştır.

Her iki çelik sistemin hesap modelleri oluşturulmadan önce artımsal dinamik analizlerde kullanılacak konular hakkında önceden detaylı bir şekilde literatür araştırılmış ve konu ile alakalı yönetmelikler incelenmiştir.

Sistemlerin analizi SAP2000 ve PERFORM-3D yapısal analiz programı ile yapılmıştır.

Çalışma kapsamında ise taslağı sunulan Türkiye Bina Deprem yönetmeliği-Taslak-(2016), İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği-(2008), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-(2007), ASCE 7-(2010), AISC 341-(2010) ve AISC 360-(2010) yönetmelikleri kullanılmıştır.

1.2. Tez Çalışmasında Uygulanacak Metot

Her iki yapısal sistem için aşağıdaki metotlar adım adım uygulanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

- Daha öncesinden tasarımı yapılmış moment çerçeve sistemin modeli SAP2000 programında, merkezi çaprazlı sistem modeli ise PERFORM-3D programında oluşturulması.
- Bina Elastik Davranış Spektrumunun oluşturulması.
- Plastik Mafsal Bölgelerinin Tespiti ve doğrusal olmayan davranış gösteren yapısal elemanların tanımlanması.
- Sistem modal analizlerinin yapılması.
- Deprem kayıtlarının seçilmesi ve bina davranış spektruma göre ölçeklendirilmesi
- Deprem kayıtlarının artımsal olarak ölçeklendirilmesi
- Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizlerin yapılması
- Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

1.3. Tezin Bilime Katkısı

Bu çalışma kapsamında bina yönetmeliklerde yer alan moment ve merkezi çaprazlı sistemlerin farklı deprem seviyelerinde binada oluşan deformasyon şekillerinin detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca son dönemlerde oldukça yaygın hale gelen doğrusal olmayan analiz metotlarının kullanımına katkı sağlanmış ve analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. ÇELİK MOMENT VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİ

2.1. Çelik Moment Çerçeve Sistemi

Moment aktaran çerçeve sistemlerin yapısal elemanları kolonlar ve kirişlerdir. Mimari olarak temiz açıklıklara sahip olmasından dolayı geniş mekanlara fırsat vermesi sistemin avantajı; düşük elastik rijitliğe sahip olması ve göreceli kat öteleme oranlarını yönetmelik sınırlarında sağlayabilmek için büyük kesitler kullanılması ise sistemin dezavantajı olarak bilinir.

Çelik moment çerçevede var olan kiriş elemanları kolonlara çoğunlukla rijit bağlantı olacak şekilde teşkil edilir. Bu yüzden kirişlerden kolonlara moment aktarımı söz konusudur. Ancak bazı açıklıklarda veya birleşimlerde mafsallı bağlantı olabilir.

Moment aktaran çelik çerçeve sistemlerinde yapısal süneklik; kirişlerin eğilme moment etkisi altında, kiriş-kolon birleşimlerin kesme kuvveti altında ve en son olarak kolonların eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisinde altında doğrusal olmayan davranışı ile sağlanır. Ancak deprem esnasında yapısal taşıyıcı elemanlardan sadece kirişlerde hasar görülmesi ve deprem enerjisinin sadece kiriş uçlarında sönmülmesi istenir. Bu yüzden tasarım aşamasında kolon elemanları kirişlere göre daha güçlü (güçlü kolon zayıf kiriş) olması sağlanır. Sadece kiriş elemanlarında doğrusal olmayan davranış beklenmesinden dolayı moment aktaran çelik çerçeve sistemlerinde “sigorta” eleman kirişlerdir. Doğrusal olmayan davranış ve enerji sönmülme, kirişlerin eğilme moment altında kalıcı dönme hareketi ile oluşur. Kirişlerin deprem esnasında olası plastik mafsallık noktaları (uç noktaları), kırılma veya stabilite kaybı başlamadan önce büyük elastik olmayan dönmeleri karşılayabilecek şekilde tasarlanır. Kiriş uçlarının tam moment kapasitesine ulaşması için süneklik düzeyi yüksek kiriş enkesitleri seçilmeli, kirişlerin yanal olarak burkulması önlenmeli ve olası plastik mafsallık bölgelerinde saplama kirişler bağlanmamalı ve bu bölgenin kapasitesi korunmalıdır.

Deprem kuvvetleri altında kiriş-kolon birleşim bölgelerinde çok büyük kesme kuvvetleri meydana gelmekte bunun sonucu panel bölgelerinde kesmeden dolayı doğrusal olmayan davranışlar gözlenmektedir. Kiriş-kolon birleşimlerinde oluşacak plastik deformasyonlar sınırlı bir düzeyde olmalı ve birleşim göçmeksizin sistemde büyük süneklik sağlanmalıdır.

17 Ocak 1994 Northridge depreminde moment aktaran çerçeve sistemlerin hiçbirinde göçme meydana gelmemiş ancak kiriş-kolon birleşim bölgelerinde ciddi hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar daha çok küt kaynakta kırılma, divot kırılması, kolon ve kiriş başlığının sünek olmayan gevrek kırılması şeklinde meydana gelmiştir. Depremden sonra birleşim bölgeleri için yoğun çalışmalar yapılmış, kaynaklama ve malzeme kaliteleri artırılmış, moment aktaran birleşim tasarımları ve detaylandırılması yapılmıştır.

Yönetmeliklerde, moment aktaran kiriş elamanlarda oluşacak olası plastik mafsallık bölgeleri kiriş-kolon birleşimleri özel olarak detaylandırılması istenir. Bunlar güçlendirilmiş, patentli, zayıflatılmış kiriş enkesitli ve SAC-FEMA araştırma programı ile incelenen birleşimler olarak adlandırılır.

Tez kapsamında ise kiriş elemanlarında 2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte geçen zayıflatılmış kiriş enkesitli kaynaklı birleşimler kullanılmış ve Sayısal Uygulama-1 de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Amerikan yönetmeliğinde, kiriş elemanlarının deprem yükleri altında farklı performans seviyelerinde plastik dönme sınırları ve göreceli kat öteleme oranları değerlendirilmesi istenir. Tez kapsamında kirişler ve kolonlar için bu değerlendirmeler detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

2.2. Çelik Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemi

Çelik merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin yapısal elemanları kolonlar, kirişler ve çaprazlardır. Yüksek elastik rijitliğe sahip olması sisteminin avantajı; diğer taşıyıcı sistemlere kıyasla daha az sünek olması ve açıklıklarda çaprazların boşluk alanını azalttığından mimarı açıdan tercih edilmemesi sistemin dezavantajı olarak bilinir.

Merkezi çaprazlı çerçeveler, çaprazların yerleşimine göre farklı taşıyıcı sistemlere sahiptirler. Bunlar diyagonal, ters “V”, “V”, “X”, iki kat “X”, formunda çaprazlar olabilir. Tez kapsamında ters “V” formundaki çaprazlar ele alınmıştır.

Ters “V” formundaki çapraz elemanların kolonlara ve bağlı olduğu kirişlere, çaprazlı açıklıktaki kirişlerin ise kolonlara bağlantılarının çoğunlukla mafsallı birleşim olduğu düşünülür. Çelik merkezi çapraz elemanlarında bütün açıklıklarda çapraz olmayabilir. Çapraz olmayan açıklıklardaki kirişler kolonlara mafsallı teşkil edilebildiğinden yatay yüklere maruz kalmayacak bu yüzden sadece üzerindeki düşey

yükleri taşıyacaktır. Çaprazlı açıklıktaki kirişlerde ve kolonlarda ise yatay yüklere maruz kalacak deprem esnasında çaprazlarda oluşacak doğrusal olmayan davranış sonucu dengelenmemiş kuvvetler ortaya çıkacağından kolon ve kirişlerde yüksek mertebede kuvvetler ve eğilme momentleri oluşacaktır (Bölüm 3.1.2.).

Merkezi çaprazlı sistemlerde süneklik, sadece çapraz elemanın doğrusal olmayan davranışı ile sağlanması beklenir. Doğrusal olmayan dinamik analizlerde çaprazlar hasar görecektir ancak kolonlarda, kirişlerde ve birleşimlerde herhangi bir hasar gözükmesi beklenmeyecektir. Bu yüzden kolonların ve kirişlerin çaprazlardan daha güçlü olması istenir. Bu davranış ise çapraz elemanları “sigorta” eleman özelliği kazandırır.

Deprem esnasında çaprazlar devamlı çekme ve basınç kuvveti altındadırlar. Deprem yönüne göre ters “V” şeklindeki çaprazların bir tarafı çekme kuvveti, diğer tarafı basınç kuvveti tesiri altındadır. Çekme bölgesinde çaprazın akması, basınç bölgesinde ise çaprazın burkulması söz konusudur. Çekmeye maruz kalan çapraz eleman sünek, burkulmaya maruz kalan çapraz ise gevrek bir davranış gösterecektir. Çaprazlı sistemlerde süneklik daha çok çekme bölgesinde akan çaprazlar tarafından sağlanır.

Merkezi çaprazlı sistemlerin tasarım aşamasında bütün kolon, kiriş ve çapraz birleşimlerinin mafsallı olduğu düşünülür ve çapraz elemanlar boyutlandırılır. Çaprazların doğrusal olmayan davranışı sonucu çıkan dengelenmemiş kuvvetler ile de kolonlar ve kirişler boyutlandırılır. Yük aktaran bağlantılar ise deprem esnasında göçmeyecek şekilde güçlü tasarlanır. Bu tasarım yaklaşımı daha sünek ve güvenli bir sistem oluşturmamıza fırsat verir.

Merkezi çaprazlı sistemlerde doğrusal olmayan davranış sadece çaprazlarda olması beklendiğinden, çaprazın doğrusal olmayan parametrelerin hesabı oldukça önemlidir. Yapılan birçok deney sonucu çapraz elemanın davranışı çıkartılmış ve sınır değerleri yönetmeliklerde verilmiştir. Ayrıca yönetmeliklerde farklı performans seviyelerinde birim kısalma ve uzama oranları da gösterilmiş olup ilerleyen bölümlerde daha detaylı bir şekilde konuya yer verilmiştir.

3. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ

3.1. Kiriş Elamanların Özellikleri

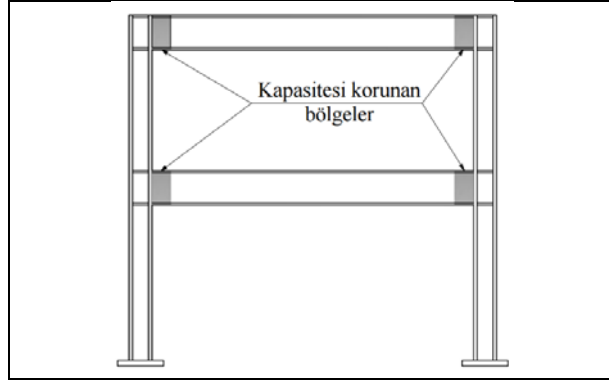
3.1.1. Moment Aktaran Çerçevelerde Kirişlerin Tasarıma Esas Davranışları

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerde kiriş elemanları deprem ve düşey yük etkileri altında öncelikli olarak eğilme momentine ve kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu etkiler kiriş elemanında yanal veya lokal burkulmalar oluşturmakta ve burkulmaya maruz kalan kirişlerde dayanım kayıpları yaşatmaktadır. Tasarım ilkesinde esas olan kirişlerin burkulma olmadan tam taşıma kapasitesine ulaştırmaktır.

Tersinir yükler altında süneklik düzeyi yüksek çelik kirişlerin alt ve üst başlıkları Denklem (3.1) ile verilen koşulları sağlayacak şekilde yanal burkulmaya karşı desteklenecektir. Ayrıca kiriş elemanları başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranları Türkiye Bina Deprem Taslak Yönetmeliği-2016-Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmayacak şekilde seçilmelidir.

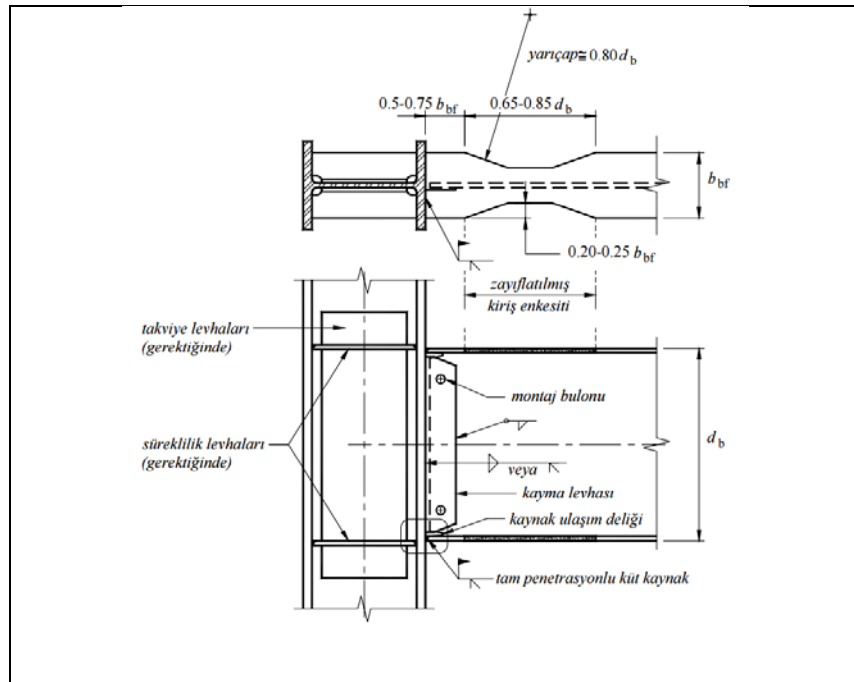
$$L_b = 0.086 * i_y * \frac{E}{F_y} \quad (3.1)$$

Moment aktaran çerçeve sistemlerinde deprem yükleri altında kiriş-kolon birleşim bölgelerinde sınırlı miktarda, kirişlerde ise önemli miktarda doğrusal olmayan davranış beklenmektedir. Kirişlerde doğrusal olmayan davranış eğilme etkisi altında ve kiriş uçlarında, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde ise kesme etkisi altında gerçekleşmektedir. Tasarım ve analiz aşamalarında kiriş-kolon birleşimlerinin (panel bölgelerinin) rijit bölge olarak düşünülebilir ve doğrusal olmayan davranışın ve enerji sönümlemenin sadece kiriş uçlarında oluşacağı beklenir. Bu yüzden kirişler moment aktaran çerçeve sistemlerinde sigorta eleman olarak adlandırılır (Bölüm 2.1.). Sigorta elemanlar deprem esnasında hasar görecektir, plastik mafsallar oluşacak ve enerjiyi sönümleyecektir. Kolonlarda ise doğrusal davranış beklenmektedir. Kiriş uçlarında güvenli bir şekilde enerji sönümlemesi için bu bölgelerinin kapasiteleri korunmalı ve bölgelere saplama kirişler bağlanmamalıdır (Şekil 3.1) [TBDY,2016].



Şekil 3.1: Moment aktaran çelik çerçevelerde kapasitesi korunan bölgeler.

Plastik mafsallık noktaları birleşimden uzakta tasarlanmalıdır. Plastik mafsallık noktaları için yönetmelikte birleşim detayları mevcut olup tez kapsamında zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı kullanılmıştır. Zayıflatılmış kiriş enkesiti detayı ve geometrik boyutlar Şekil 3.2’de, uygulama sınırları ise Tablo 3.1’de verilmiştir [DBYBHY,2007].



Şekil 3.2: Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayı.

Tablo 3.1: Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayının uygulama sınırları.

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	≤ 1000 mm
Kiriş birim boy ağırlığı	≤ 450 kg/m
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	≥ 7
Kiriş başlık kalınlığı	≤ 45 mm
Kolon enkesit yüksekliği	≤ 600 mm
Kaynak ulaşım deliği	gerekli
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

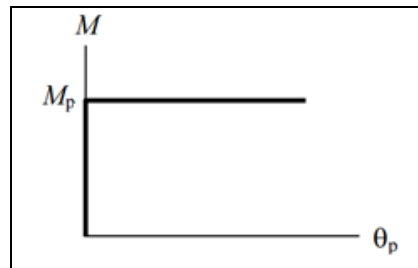
Doğrusal olmayan analizlerde plastik mafsalları zayıflatılmış kiriş bölgesinin merkezi alınır. Kiriş-kolon birleşim bölgesinden plastik mafsallara kadar olan bölgede ise rijit davranış yapacağı düşünülerek analiz yapılmaktadır.

Plastik mafsalların akma sınır durumu için eğilme moment dayanımı ve akma dönmesinin hesabı Denklem (3.2) ve Denklem (3.3) ile hesaplanacaktır.

$$M_{zn} = F_{ye} * Z_{zx} \quad (3.2)$$

$$\theta_y = \frac{F_{ye} * Z_{zx} * L_h}{6 * E * I_b} \quad (3.3)$$

Çelik kirişlerin moment-dönme bağlantılarındaki pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik moment artışı) terk edilebilir (Şekil 3.3), [DBYBHY,2007]. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kiriş elemanların çevrimsel davranışı elasto-plastik standart çevrim modeli ile ifade edilebilir.



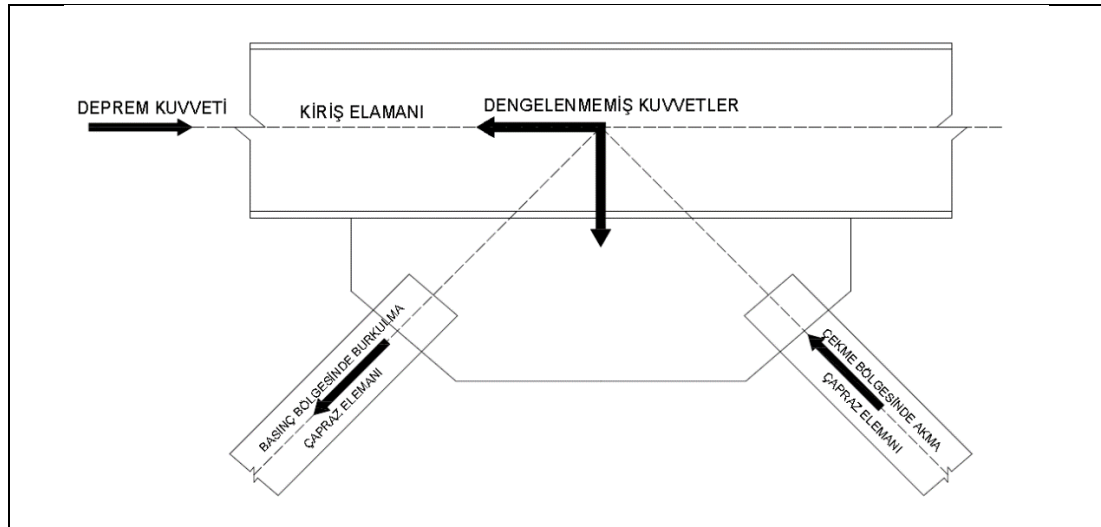
Şekil 3.3: Kiriş elemanların moment-dönme davranış grafiği.

3.1.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Kirişlerin Tasarıma Esas Davranışları

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde çaprazların ters “V” şeklinde bağlandığı kirişler ve çapraz olmayan açıklıktaki kirişler olarak iki grupta değerlendirilir. Çapraz olmayan açıklıktaki kirişler kolonlara mafsallı bağlandığından deprem yüklerine maruz kalmayacak ve sadece kirişlerin üzerindeki düşey yükleri güvenli bir şekilde kolonlara aktaracak şekilde tasarımı yapılmalıdır.

Çaprazların bağlandığı kirişlerde ise özel tasarım hesapları gerektirmektedir. Çaprazlı açıklıktaki kirişler kolonlara mafsallı olarak bağlanır. Zaman tanım alanında yapılan doğrusal analizler sonucunda yatay yükler altında kirişlerde eğilme momenti oluşmayacaktır. Çünkü elastik sınırlar içinde her iki çaprazda oluşacak kuvvetler büyüklük olarak eşit ve zıt yönlü olduğundan kuvvetlerin düşey bileşenleri birbirini götürür ve kirişlere herhangi bir düşey kuvvet aktarmaz [Akbaş B..2015].

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde ise çapraz elemanlar elastik olmayan davranış göstereceğinden dengelenmemiş kuvvetler oluşacak ve kiriş elemanına büyük mertebede eğilme etkisi gösterecektir Şekil (3.4). Bu etkiler göz önüne alınarak kirişler deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranış göstermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 3.4: Deprem esnasında dengelenmemiş kuvvetlerin oluşumu.

3.2. Kolon Elamanların Özellikleri

Moment aktaran ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde burulması önlenmiş kolonlar, aksenal ve kesme yükü ile eğilme momenti etkisi altındadırlar. Bu etkiler altında kolonlar tasarlanmalı ve analizleri yapılmalıdır. Stabilitate Tasarımı ilkesinde yer alan Burkulma Boyu Yöntemi kolonların tasarımında kullanılabilir.

Bu yöntemde kolonların burkulma katsayıları (K) Denklem (3.4) ile veya iteratif çözüm sunan Denklem (3.5) ile bulunabilir. Her iki çözümde birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca kolonun her iki yönü içinde burkulma boyu hesaplanmalıdır.

$$K = \sqrt{\frac{1,6 * G_A * G_B + 4,0 * (G_A + G_B) + 7,5}{G_A + G_B + 7,5}} \quad (3.4)$$

$$\frac{G_A * G_B * (\pi/K)^2 - 36}{6 * (G_A + G_B)} - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)} = 0 \quad (3.5)$$

Her iki denklemde de yer alan G_A ve G_B değerleri, sırasıyla söz konusu kolonun üst ve alt uçlarında birleşen kolonların ve kirişlerin eğilme rijitlikleri toplamalarının oranına bağlı olarak Denklem (3.6) ile hesaplanırlar.

$$G_{(A,B)} = \frac{\sum(E_c * I_c / L_c)}{\sum(E_b * I_b / L_n)} \quad (3.6)$$

Tasarımı yapılan merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde kiriş kolon bağlantıları mafsallı olduğundan ve çapraz elemanları, kolonların yanal olarak ötelemesini engellediğinden kolonun her iki yönde burkulma katsayısı 1.00 alınabilir.

Üç boyutlu sistemler iki boyuta indirgenerek çözülebilir. Üç boyutlu sistemin P-Delta etkilerini iki boyutta hesaba katmak için sistemde var olmayan ancak katların ağırlıklarını temsilen düşey yük taşıyan kolonlar (DYT) oluşturulabilir. DYT kolonlar bağ kirişleri ile yapısal sisteme mafsallı bağlanır. Ayrıca bağ elemanların ve DYT kolonların mevcut sistemin rijitliğine bir etkisi olmaması için çok büyük kesitler seçilmelidir. Bu bilgiler ışığında kolon elemanlarının basınç, çekme ve eğilme dayanımları, P-M etkileşim diyagramları ve akma dönmesi aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

3.2.1. Kolonun Basınç Dayanımı Hesabı

Eksenel yük etkisi altındaki bir elemanda ana göçme modu burkulmadır. Kolonun basınç dayanımı hesabının başlangıç adımı; burkulma katsayısının ve narinlik oranlarının kolonun her iki yönü için aşağıda verilen Denklem (3.7) ile hesaplanmasıdır.

$$\lambda_x = \frac{K_x * L}{r_x} ; \lambda_y = \frac{K_y * L}{r_y} \quad (3.7)$$

Bulunan narinlik oranlarının maksimumu seçilir ve Denklem (3.8) ve Denklem (3.9) ile burkulma bölgesi tespit edilir.

$$\lambda \leq 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \text{Elastik Olmayan Burkulma} \quad (3.8)$$

$$\lambda > 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \text{Elastik Burkulma} \quad (3.9)$$

Elastik Olmayan Burkulma bölgesinde çıkan kolonların sırasıyla F_e , F_{cr} ve P_n değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_{ye}}{F_e}}\right) * F_{ye} \quad P_n = F_{cr} * A_g \quad (3.10)$$

Elastik Burkulma bölgesinde çıkan kolonların sırasıyla F_e , F_{cr} ve P_n değerleri ise aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad F_{cr} = 0.877 * F_{ye} \quad P_n = F_{cr} * A_g \quad (3.11)$$

3.2.2. Kolonun Çekme ve Eğilme Momenti Dayanımı Hesabı

Kolonun eksenel çekme ve eğilme momenti dayanımı sırasıyla Denklem (3.12) ve Denklem (3.13) ile bulunur.

$$P_n = F_{ye} * A_g \quad (3.12)$$

$$M_n = F_{ye} * Z_x \quad (3.13)$$

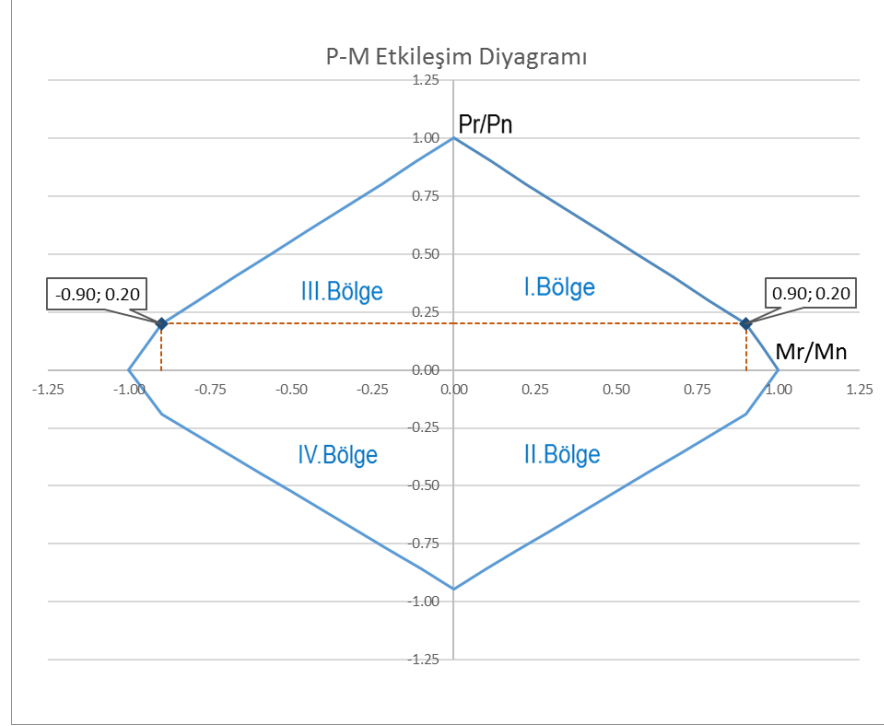
3.2.3. Kolonun P-M Etkileşim Diyagramı

Kolon elemanları yapısal sistem içerisinde tek eksenli veya çift eksenli eğilme etkisi altındadırlar. I kesitli kolon elemanların eğilme altında bir yönlü güçlü diğer yönü ise zayıf davranışlıdır. Bu yüzden moment aktaran çerçeve sistemlerinde I kesitli kolonların zayıf yönü kiriş bağlantısı çoğunlukla mafsallı teşkil edilmekte sadece kuvvetli eksen tarafında moment almakta ve tek yönlü eğilme davranışı göstermektedir. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde ise kolonun her iki yönü kirişler ile mafsallı teşkil edilmesine rağmen deprem yükleri altında kolonların güçlü yönlerinde eğilme momentleri oluşacaktır. Bu tasarım yaklaşımı iki boyutlu sistemlerin çözümünde sağlıklı sonuçların vermesi beklenir. Ayrıca iki boyutta çözülen bu sistemlerde diğer boyuttan gelecek olan deprem etkileri dikkate alınmaz. Diğer boyuttan gelecek deprem etkileri yine o boyuttaki çerçeveler tarafından karşılayacağı düşünülür.

Eksenel yük ve eğilme momenti altında kolon elemanlar için birçok deney yapılmış, eksenel yük-eğilme momenti etkileşim diyagramları (P-M) çıkartılmış (Şekil 3.5) ve ampirik olarak aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur.

$$\frac{P_r}{P_n} \geq 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{P_n} + \frac{8}{9} * \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (3.14)$$

$$\frac{P_r}{P_n} < 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{2 * P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (3.15)$$



Şekil 3.5: Kolonların P-M etkileşim diyagramı.

P-M etkileşim diyagramına eksenin üst kısmı (I. ve III. Bölge) çekme kuvveti-eğilme etkileşimi, alt kısmı (II. ve IV. Bölge) ise basınç kuvveti-eğilme etkileşimi ifade etmektedir. Kolonda oluşacak her iç kuvvet-moment etkileşimi bu zarf içerisinde herhangi bir yerde veya zarf çizgisinin üzerinde olması beklenir. Etkileşim zarfı içerisinde olmayan her durum kolon elemanında doğrusal olmayan davranışı ifade etmektedir.

3.2.4. Kolonun Akma Dönmesinin Hesabı ve Plastik Mafsal Tanımı

Çelik kolonlarda akma sınırı Denklem (3.16) ile hesaplanır. Denklem içerisinde yer alan “P” değeri, sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz sonucuna kolon elemanında oluşan eksenel kuvvet değeri alınabilir. Düşey yükler ise ölü ve hareketli yüklerin bir kombinasyonu olup (G+n.Q) ile hesaplanır. Tanımlanan düşey yük kombinasyonu, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşuludur.

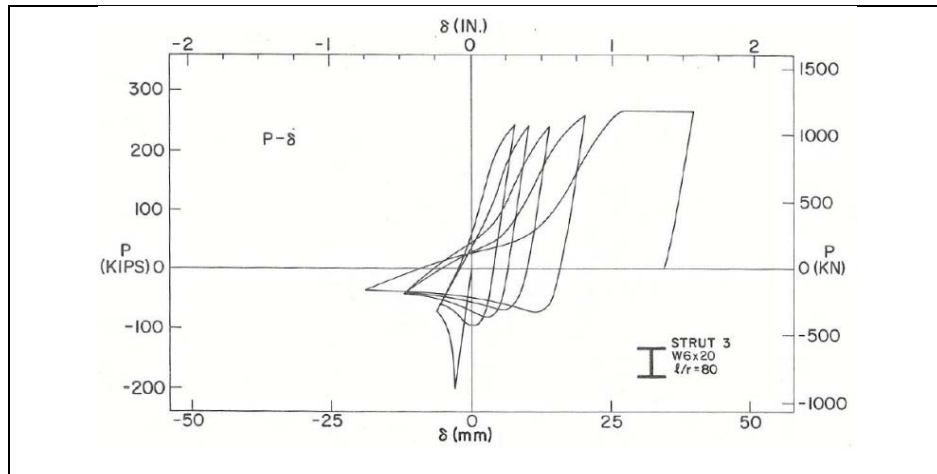
$$\theta_y = \frac{F_{ye} * Z_x * L_c}{6 * E * I_c} * \left[1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] \quad (3.16)$$

Kolonların olası plastik mafsallık bölgeleri kolon kiriş birleşim yüzeyinin hemen altında (kolon net açıklığının alt ve üst ucu) oluşacağı düşünülür. Plastik mafsallık özellikleri ise yukarıda hesaplanan değerlerden oluşacaktır.

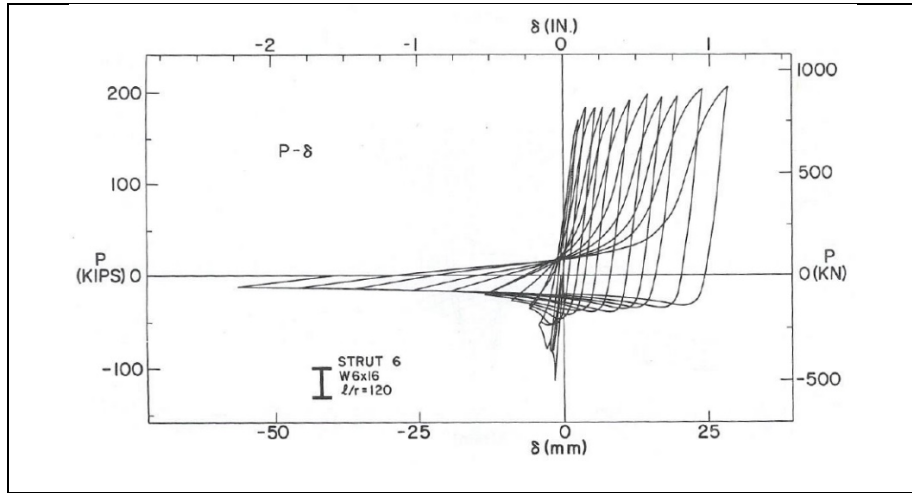
3.3. Çapraz Elamanların Özellikleri

Bilindiği üzere çelik yapısal sistemlerde dikkat etmemiz gereken en önemli öğelerden birisi burkulmadır. Çelik elemanlar yapısı gereği basınç kuvvetleri altında çekme kuvvetlerine göre daha az dayanım sağladığından yüksek basınç kuvvetleri altında burkulacak ve dayanım kaybına uğrayacaktır. Süneklik düzeyi yüksek olan çapraz elemanlar deprem yükleri altında elastik olmayan büyük deformasyonlara dayanması beklenir. Bu deformasyonlar yapısal elemanda çevrimsel davranış göstererek deprem enerjisini sönmölemektedir.

Bölüm 2.2’de bahsedildiği üzere merkezi çaprazlı sistemlerde sigorta eleman çaprazdır. Sistemdeki doğrusal olmayan davranışın tamamı çaprazlar tarafından karşılanması beklenir. Çaprazlara bağlanan kirişlerde ve kolonlarda deprem esnasında doğrusal olmayan davranış göstermemesi beklenir. Çapraz elemanlar, tasarım felsefesi olarak kolonlara ve kirişlere mafsallık bağlandığı düşünölür ve bu yüzden sadece çekme ve basınç yüklerine maruz kalırlar. Çaprazların eksenel yükler altındaki davranış deneyler sonucu çıkartılmıştır. Aşağıda narinlik oranı verilen iki farklı kesitin eksenel yükler altında deney sonuçları incelenmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi burkulan kesitlerde ani dayanım kayıpları oluşmuştur [Akbaş B..2015].



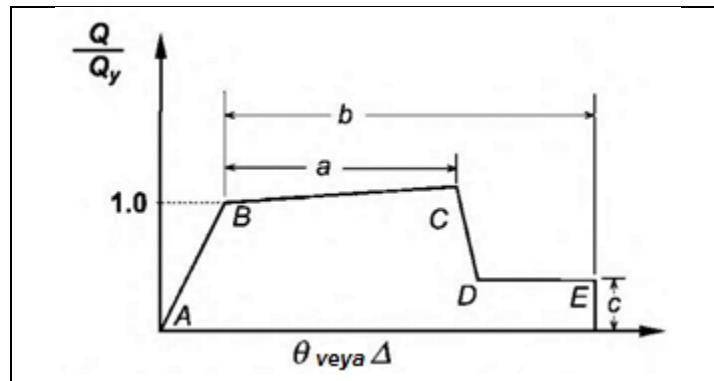
Şekil 3.6: W6X20 çaprazın çevrimsel davranış (Narinlik Oranı:80; $F_y=250$ MPa).



Şekil 3.7: W6X16 çaprazın çevrimsel davranışı (Narinlik Oranı:120; $F_y=250$ MPa).

Basınç yüküne maruz kalan çapraz elemanların narinlik oranı artıka çevrimsel davranışın içinde kalan alan azalmakta bunun sonucu enerji sönümlemesi düşmektedir.

Deneyler sonucunda yönetmeliklerde çapraz elemanın akma ve burkulma davranışının sınır değerleri verilmektedir. ASCE 41-13 yönetmeliğinde çapraz elemanlar için genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi Şekil 3.8'deki gibidir [AISC 341, 2013].



Şekil 3.8: Genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi.

Çapraz kesitlerin kuvvet-deformasyon ilişkisindeki sınır değerleri (a, b, c) ASCE 41-13 Tablo 9-7' de verilir. Kesitin tok veya narin olmasına göre bu değerler değişmektedir. Kesitin tok ile narin arasında kalması durumunda ise doğrusal

enterpolasyon yapılmalıdır. Çaprazların HSS (İçi boş kapalı kesit) olması halinde sınır değerleri Tablo 3.2’de görüldüğü gibidir.

Tablo 3.2: HSS kesitli çaprazların ASCE 41-13 yönetmeliğine göre sınır değerleri.

Basınç Altında Çapraz Elemanlar	Plastik Deformasyonlar		Artık Dayanım Oranı
	a	b	
Narin Kesitler $Kl/r \geq 4.2 \sqrt{E/F_{ye}}$			
HSS kesitler	0.5Δ _c	9Δ _c	0.3
Tok Kesitler $Kl/r \leq 2.1 \sqrt{E/F_{ye}}$			
HSS kesitler	1Δ _c	7Δ _c	0.5
Çekme Altında Çapraz Elemanlar	Plastik Deformasyonlar		Artık Dayanım Oranı
	a	b	
HSS Kesitler	9Δ _t	11Δ _t	0.6

Çapraz elemanların davranışını bilgisayar programları ile modellemek mümkündür. PERFORM-3D programında çaprazın sınır değerleri tanımlanabilmektedir. Ancak genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon grafiğinin eksen takımlarını programın anlayabileceği şekilde revize edilir. Grafiğin X eksen, kısalma veya uzama cinsinden birim şekil değiştirmeye çevrilir. Grafiğin Y eksen, basınç veya çekme kuvvetinden eksenel gerilmeye çevrilir.

3.3.1. Çapraz Elemanın Basınç ve Çekme Dayanımı Hesabı

Çaprazın, çekme dayanımı, kolonların çekme dayanımına benzer şekilde Denklem (3.12) ile hesaplanır.

HSS kesitli çaprazlar her iki ucu mafsallı bağlantı düşünüldüğünden, çapraz boyunca çaprazın her iki yönünden herhangi bir yanal destek sağlanmadığından, burkulma katsayıları (K) her iki yönde eşit olup 1.00 eşittir.

$$K_x = K_y = 1.00$$

Çapraz elemanın basınç dayanımının hesap adımları kolon hesaplarındaki gibidir, yalnızca hesaplarda burkulma katsayıları 1.00 alınarak işlemlere devam edilir.

Bulunan eksenel kuvvet değerleri Perform-3D programı için gerilmeye çevrilir ve birim şekil değiştirmeler kısalma ve uzama için ayrı ayrı hesaplanır.

3.4. Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri

3.4.1. Kirişler ve Kolonlar için İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları

Çelik kirişlerin ve kolonların şekil değiştirme sınırları akma dönmesi cinsinden hesaplanır. Akma dönmelerin hesabı kirişler için Denklem (3.3), kolonlar için Denklem (3.16) ile bulunur. Elemanların şekil değiştirme sınırları ASCE 41-13- Tablo 9-6 kullanarak hesaplanabilir. Yönetmelikte, kirişler ve kolonlar için Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GÖ) şekil değiştirme sınırları plastik dönme cinsinden aşağıdaki tabloda sunulduğu gibidir. Tablo 9-6'da İngiliz Birim Sistemi kullanıldığına dikkat edilmelidir.

Kesitlerin belirlenen şartlar arasında olmaması durumunda ise doğrusal enterpolasyon yapılmalıdır.

Tablo 3.3'de yer alan "P" değeri, sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz sonucuna kolon elemanında oluşan eksenel kuvvet değeri alınabilir. Ayrıca kolonlar için P/P_{CL} değeri 0.50 den büyük olması istenmez.

Tablo 3.3: Kirişler ve kolonlar için izin verilen şekil değiştirme sınırları.

Kiriş (Eğilme)	Şekil Değiştirme Sınırları		
	HK	CG	GÖ
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ ve } \frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	10_y	90_y	110_y
$\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ veya } \frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	0.250_y	30_y	40_y
Kolon (Eğilme)	Şekil Değiştirme Sınırları		
	HK	CG	GÖ
$P/P_{CL} < 0.2$			
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ ve } \frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	10_y	90_y	110_y
$\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ veya } \frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	0.250_y	30_y	40_y
$0.2 \leq P/P_{CL} \leq 0.5$			
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ ve } \frac{h}{t_w} \leq \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$	0.250_y	$14(1 - \frac{5}{3} * P/P_{CL})\theta_y$	$17(1 - \frac{5}{3} * P/P_{CL})\theta_y$
$\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ veya } \frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	0.250_y	1.20_y	1.20_y

3.4.2. Çaprazlar için İzin Verilen Şekil Değişirme Sınırları

Çaprazların şekil değişirme sınırları eksenel plastik şekil değiştirmeler cinsinden hesaplanır. Eksenel plastik şekil değiştirmeler basınç ve çekme bölgesi için sırasıyla Denklem (3.17) ve Denklem (3.18) ile bulunur.

$$\Delta_c = \frac{P_{CL} * L}{E * A} \quad (3.17)$$

$$\Delta_T = \frac{P_{ye} * L}{E * A} \quad (3.18)$$

Çaprazların şekil değişirme sınırları ASCE 41-13- Tablo 9-7 kullanarak hesaplanabilir. Yönetmelikte, çaprazların HSS kesit olması durumunda Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GÖ) şekil değişirme sınırları eksenel plastik şekil değiştirmeler cinsinden aşağıdaki tabloda sunulduğu gibidir.

Kesitlerin belirlenen şartlar arasında olmaması durumunda ise doğrusal enterpolasyon yapılmalıdır.

Tablo 3.4: Çaprazlar için izin verilen şekil değişirme sınırları.

Basınç Altında Çapraz Elemanlar	Şekil Değişirme Sınırları		
	HK	CG	GÖ
Narin Kesitler $Kl/r \geq 4.2 \sqrt{E/F_{ye}}$			
HSS kesitler	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$9\Delta_c$
Tok Kesitler $Kl/r \leq 2.1 \sqrt{E/F_{ye}}$			
HSS kesitler	$0.5\Delta_c$	$6\Delta_c$	$7\Delta_c$
Çekme Altında Çapraz Elemanlar	Şekil Değişirme Sınırları		
	HK	CG	GÖ
HSS Kesitler	$0.5\Delta_t$	$8\Delta_t$	$11\Delta_t$

3.4.3. Göreli Kat Öteleme Oranı Sınırları

Deprem doğrultusunda ardışık katlar arasındaki yerdeğiştirmenin ilgili kat yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanan Göreli Kat Öteleme Oranlarının sınırları, İstanbul Yüksek Yapılar Deprem yönetmeliği kapsamında değerlendirilecektir.

3.5. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu

Rayleigh Sönümü; çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşimlerinde gözlenen enerji kaybını hesaba katmakta kullanılan, viskoz sönüm matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal birleşimleri ile oluşturduğu modeldir. Rayleigh Sönümü, hesaplama kolaylığı ile karmaşık bir konu olan sönümün anlaşılabilir hale getirmesi nedeniyle dinamik analizlerde sıklıkla kullanılır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerde bina sönümü önemli bir parametre olup analiz sonuçlarını büyük mertebede etkilemektedir. Doğru bir sönüm tanımı daha gerçekçi sonuçlara götürecektir.

Rayleigh sönüm fonksiyonunda bahsedildiği gibi iki parametreden oluşur. Binanın kütlesi ve rijitlik matrisi. Kütle matrisi α katsayısı ile, rijitlik matrisi β katsayısı ile çarpılarak toplanır (Denklem (3.19)).

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3.19)$$

α ve β katsayıları ise aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

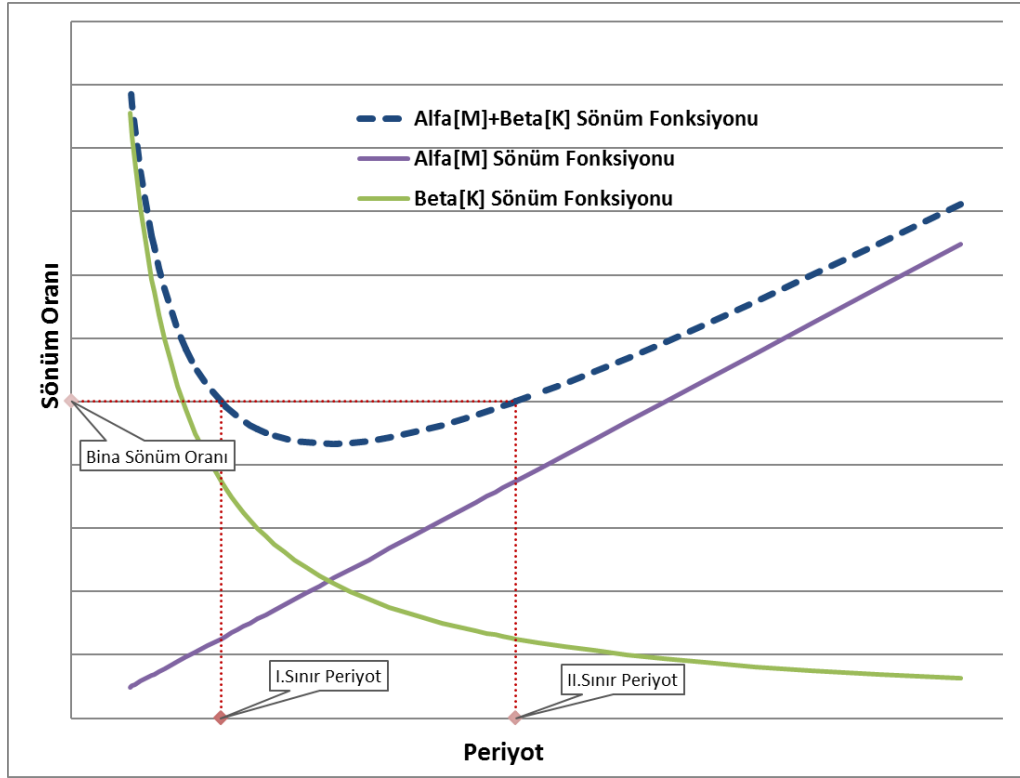
$$\alpha = 2 * \zeta_1 * \omega_1 - \beta * \omega_1^2 \quad (3.20)$$

$$\beta = \frac{2 * \zeta_1 * \omega_1 - 2 * \zeta_2 * \omega_2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \quad (3.21)$$

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde her bir yapısal elemanın göstereceği doğrusal olmayan davranış sistemin rijitlik matrisini ve doğal titreşim periyodunu etkileyecektir. Değişen doğal titreşim periyoduna karşı sönüm fonksiyonu değişeceğinden sönüm tekrardan tanımlanması gerekmektedir. Bu yüzden Rayleigh sönüm modeli tanımlanırken sınır iki adet doğal titreşim periyodu dikkate alınır. Sınır periyotlarının seçilmesi analiz sonuçlarının doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Esas olan binanın doğal titreşim periyotlarına karşılık gelen kütle katılım oranlarının yüzdelidir. Titreşim periyotları açısal frekanslara çevrilir (ω_1 ve ω_2). Sınır periyotlarına karşılık gelen sönüm katsayıları belirlenir (ζ_1 ve ζ_2). Denklem (3.20) ve Denklem (3.21) yardımıyla α ve β katsayıları hesaplanır. Hesaplanan katsayılar ile binanın i modunun sönümü Denklem (3.22) ile oluşturulur.

$$\zeta_i = \frac{\alpha}{2 * \omega_i} + \frac{\beta * \omega_i}{2} \quad (3.22)$$

Titreşim periyotlarına karşılık gelen sönüm fonksiyonun (ζ_i) grafik olarak gösterimi Şekil 3.9’da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9: Rayleigh sönüm fonksiyonu.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz esnasında binanın periyodu seçilen iki sınır periyodu arasında değişeceği düşünülür. Sınır periyotlara karşılık gelen bina sönüm oranı tespit edilir ve sönüm fonksiyonu tanımlanan denklemler ile tanımlanır (Şekil 3.9) . Şekilden görüldüğü gibi sınır periyotlar arasında bina sönüm oranı değeri parabolik olarak sönüm oranına yakın bir şekilde azalmaktadır. Bu azalış oranı binada beklenen sönüm oranı ile alakalıdır.

Belirlenen sönüm fonksiyonu farklı analiz programlarına (SAP2000, PERFROM-3D vb.) sınır periyotlar girilerek tanımlanabilmektedir.

4. ARTIMSAL DİNAMİK ANALİZ

Yapısal sistemler ömürleri boyunca dinamik yüklere maruz kalırlar. Dinamik yükleri altında yapısal sistemlerde doğrusal olmayan davranışlar gözlenebilmekte ve bu davranışlar yönetmelikler tarafından sınırlandırılmaktadır.

Yapısal sistemlerin dinamik yükler altında doğrusal olmayan davranışının belirlenmesinde ise farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en kabul göreni doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemidir.

Artımsal Dinamik Analiz (ADA), elastik davranış spektrumuna uygun olarak seçilen deprem kayıtları belirli adımlarla ölçeklendirilerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılması ve taşıyıcı sistemde oluşacak hasar seviyelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesini sağlar.

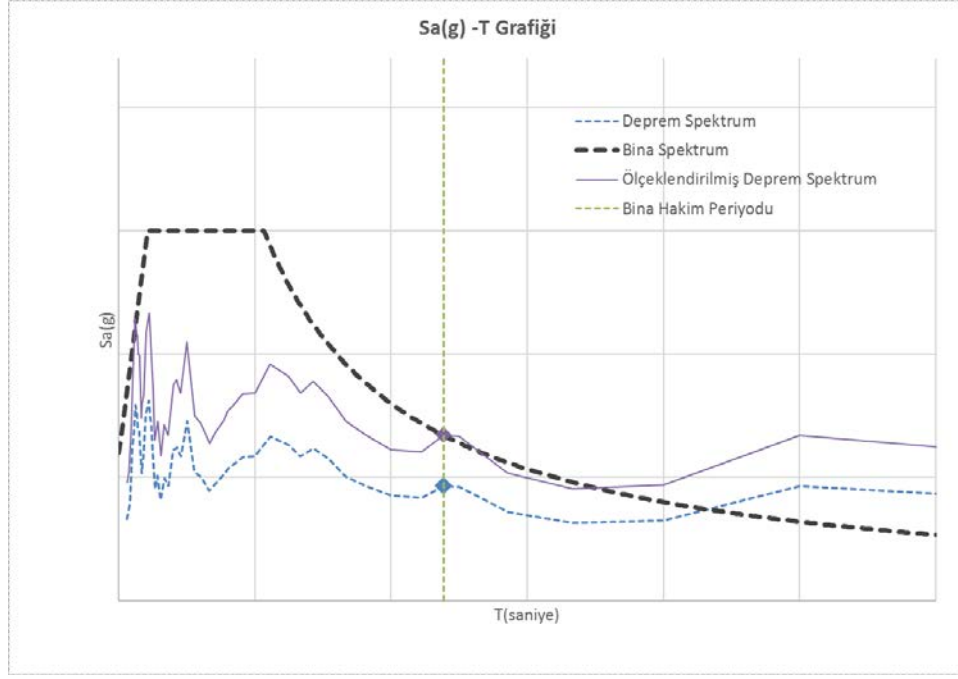
4.1. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

4.1.1. Deprem Kayıtlarının Yapı Elastik Davranış Spektrumuna Ölçeklenmesi

Deprem kayıtlarının yapı elastik davranış spektrumuna ölçeklenmesinde farklı yöntemler mevcuttur. Yönetmeliklerde ölçekleme işlemlerinin nasıl yapıldığına dair bilgiler anlatılmaktadır.

Yapı elastik davranış spektrumu yönetmelikler kapsamında oluşturulur. Üç boyutlu yapısal sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri belirli kurallar ile iki boyuta indirgenerek çözülebilir. İki boyuta indirgenen yapının doğal titreşim hakim periyodu tespit edilir. Seçilen deprem kayıtlarının ivme spektrumları hesaplanır. Binanın hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerine göre deprem kayıtlarının ivme spektrumları ölçeklenir. Ölçekleme katsayısı, deprem kayıtlarının ivme değerleri ile çarpılarak değiştirilir. Ölçeklenen deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek taşıyıcı sistemde oluşan hasar seviyeleri tespit edilir.

İvme spektrumu oluşturulmuş herhangi bir deprem kaydının bina elastik davranış spektrumuna ölçekleme işlemi Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1: Deprem kaydının yapı elastik spektrumuna ölçeklenmesi.

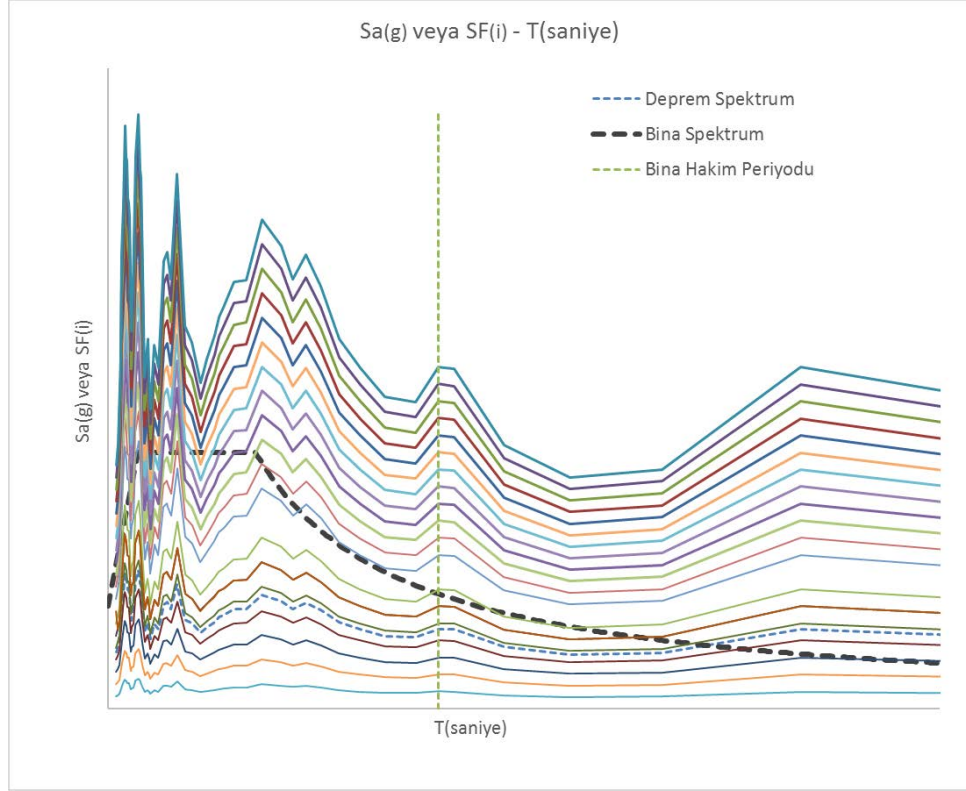
4.1.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklenmesi

Deprem kayıtlarının ivme spektrumları belirlenen adımlarla ölçeklenerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilir ve taşıyıcı sistemdeki hasar seviyeleri tespit edilir.

İvme spektrumu oluşturulmuş herhangi bir deprem kaydının belirli adımlarla ölçekleme işlemi temsili olarak Şekil 4.2’de görülmektedir.

4.1.3. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Yorumlanması

Artımsal Dinamik Analizler, doğrusal olmayan davranışlar hakkında bilgiler vermektedir. Analizler, kiriş ve kolon elemanlarının plastik dönme düzeylerini, çapraz elemanların birim şekil değiştirme miktarlarını, yapının farklı zaman dilimlerinde göreceli kat öteleme oranlarını ve binada var olan başka taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarını detaylı bir şekilde sunmaktadır.



Şekil 4.2: Deprem kaydının artımsal olarak ölçeklenmesi.

4.2. İstatiksel Kavramlar ve Normal Dağılım

4.2.1. İstatiksel Kavramların Tanımlanması

İstatistik yöntemler; bilgileri toplamak, düzenlemek, tanımlamak, özetlemek, olasılıksal olarak değerlendirmek amacı ile kullanılır.

Artımsal Dinamik Analizler sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirmesi için yeterli sayıda deprem kayıtları seçilmeli, kayıtların ölçekleme adımları belirli adımlarla yapılmalı ve ölçekleme üst sınırının yapıda beklediğimiz doğrusal olmayan deformasyonlara göre hesaplanması gerekir.

Elde ettiğimiz yeteri sayıda veri, olasılık hesapları yapılmasına fırsat vermektedir. Verilerin maksimumu, minimumu, ortalaması, varyansı, standart sapması, basıklık katsayısı, medyanı gibi değerleri hesaplanabilmektedir. Bu istatistiksel parametreler ile olasılık dağılım grafikleri oluşturulmakta yapı veya yapı elemanlarının davranışı hakkında istatistiksel hesaplamalar yapılabilmektedir. Yukarıda bahsedilen istatistiksel kavramların ne anlam ifade ettiğini özetle şu şekilde açıklanabilir.

- **Maksimum Değer:** Veri setinin ulaşabildiği en yüksek değerdir.
- **Minimum Değer:** Veri setinin ulaşabildiği en küçük değerdir.
- **Aritmetik Ortalama:** Veri setinin toplamının veri sayısına bölümüdür.
- **Varyans:** Veri setinin ortalama değer etrafındaki dağılım ölçütüdür.
- **Standart Sapma:** Varyansın karekökü olup veri setinin ortalamadan ne kadar saptığının göstergesidir.
- **Çarpıklık Katsayısı:** Veri setinin simetrik dağılımın değişikliği ölçütüdür. Normal dağılıma göre simetrik ya da çarpık olup olmadığının kontrolünü sağlar
- **Basıklık Katsayısı:** Dağılımın dikliği ve düzgünlüğü hakkında bilgi veren ölçüttür.
- **Medyan (Ortanca):** Veri setinin küçükten büyüğe sıralandığında ortada kalan değerdir.

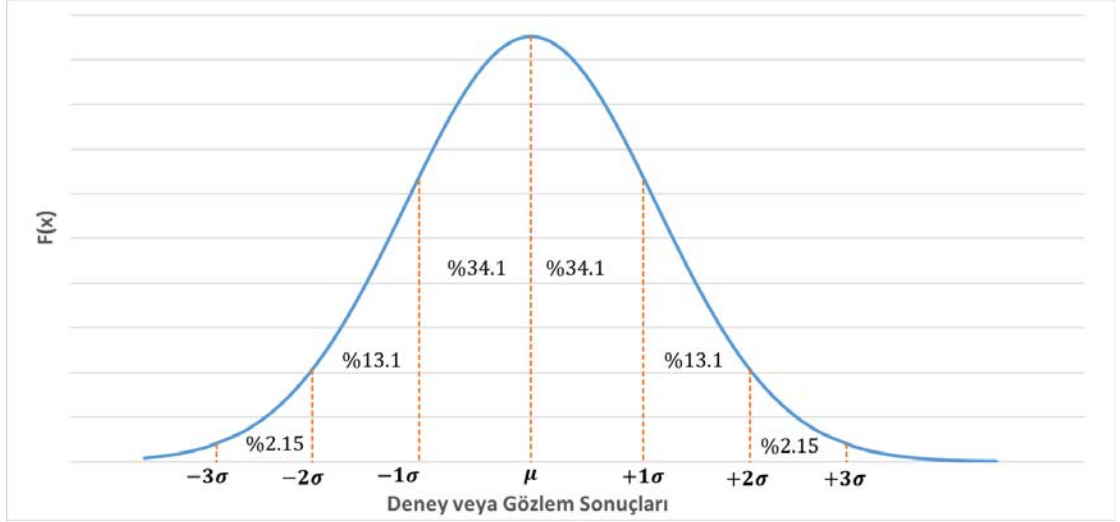
4.2.2. Normal Dağılım

İstatistiksel yorumlamaların temelini oluşturan normal dağılım, doğada gerçekleşen olaylara karşı başarılı bir uyum göstermektedir. Yapılan birçok farklı deney ve gözlem sonuçları çan biçiminde ve simetrik bir dağılım vermekte ve dağılımlar şekil olarak birbirlerine benzemektedir. Bu benzerlikler Gauss Dağılımı olarak ta isimlendirilen normal dağılımın temelini oluşturan sürekli ve olasılıklı bir fonksiyon eğrisidir. Normal dağılım eğrisinin fonksiyonu ise Denklem (4.1) ile oluşturulur.

$$F(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} * e^{-(x_i - \mu)^2 / (2 * \sigma^2)} \quad (4.1)$$

Denklemden de görüldüğü üzere normal dağılım fonksiyonu veri setinin ortalaması, varyansı ve standart sapmasına bağlıdır.

Yeterli sayıda doğada gerçekleşen gözlemlerin veya deney sonuçlarının bu fonksiyon ile tanımlandığında Şekil 4.3'e benzer bir eğri elde edilir.



Şekil 4.3: Normal dağılım grafiği.

Normal dağılım eğrisinin özellikleri ise aşağıdaki gibidir.

- Deney veya gözlem sonuçlarının orta noktalarda yoğunlaşır uç bölgelerde ise seyrekleşir.
- Fonksiyon eğrisi ortalamaya göre simetrik veya simetriye çok yakın bir dağılışa sahiptir.
- Normal dağılım eğri altında toplam alanın olasılığı 1'dir.
- Veri setinin ortalaması değiştikçe normal dağılım grafiği X eksenine üzerine gezmektedir.
- Veri setinin standart sapması değiştikçe dağılımın sivrilmesine veya basıklığına tesir etmektedir.
- Veri setinin aritmetik ortalaması, medyanı (ortanca) ve tepe değeri birbirine eşit veya çok yakındır.
- Gözlemlerin; %68.2 i $\mu \pm 1\sigma$, %94.4 i $\mu \pm 2\sigma$ ve %98.7 i $\mu \pm 3\sigma$ arasındadır.

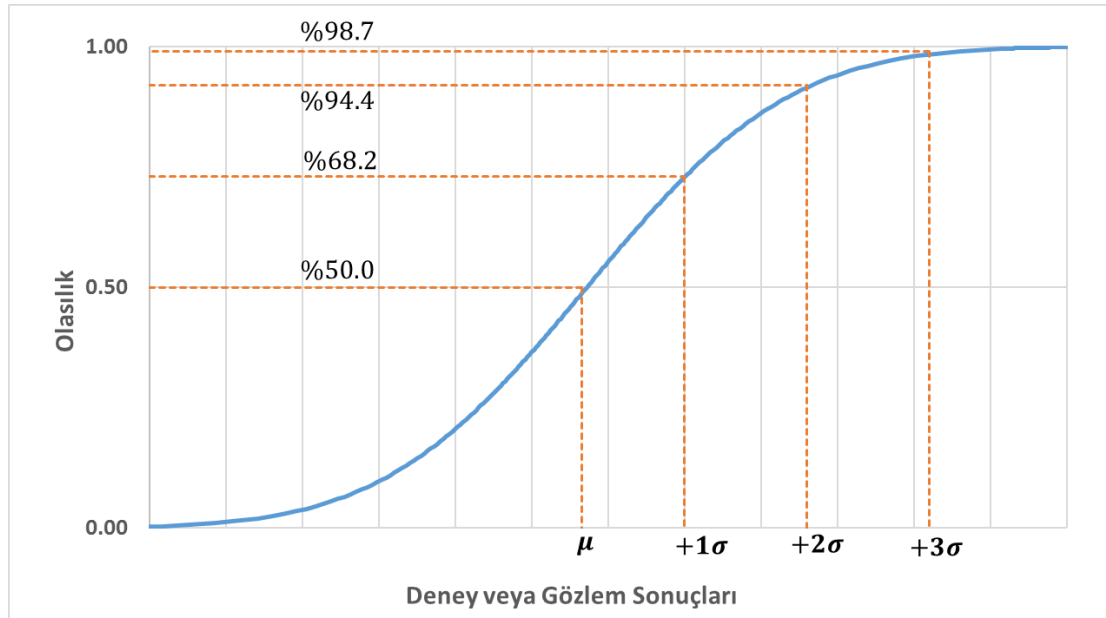
Deney ve gözlem sonuçlarına göre normal dağılımlar sağa, sola, sivri veya basık dağılım özellikleri gösterebilir. Bu yüzden verilerin normal dağılıma uygunluğun testi yapılmalıdır. Uygulamada farklı yöntemler mevcut olup daha basit kontrollerle normal dağılıma uygunluğu kontrol edilebilir. Bu basit yöntemin kontrolü aşağıdaki adımlarla sağlanır.

- Normal dağılım grafiğini Denklem (4.1) yardımı ile çizilmesi ve grafiğin yorumlanması.
- Veri setinin Aritmetik Ortalaması, Mod ve Medyanı hesaplanıp, değerlerin birbirine yakınlığının gösterilmesi.
- Veri setinin basıklık ve çarpıklık katsayısı hesaplanıp, sıfır değerine yakınlığının gösterilmesi

Normal dağılım eğrisinin özelliklerinde belirtildiği gibi dağılımın aritmetik ortalama, mod ve medyan değerleri birbirine eşit veya çok yakındır. Bu değerler birbirinden uzaklaştıkça dağılım eğrisi çarpıklaşır.

Normal dağılımda çarpıklık ve basıklık katsayısı 0'dır. Negatif çarpıklık katsayısı sağa çarpık, pozitif çarpıklık katsayısı ise sola çarpık dağılımdır. Pozitif basıklık katsayısı sivri dağılımı, negatif katsayısı ise basık dağılımı ifade eder. Normal dağılıma uygunluğu ise veri setinin çarpıklık ve basıklık katsayısının (-1,+1) değerleri arasında olması kabul edilebilir düzeyde sayılabilir.

Normal dağılım grafiklerinden verilerin olasılık hesapları yapılır. Normal dağılım grafiğinden yararlanılarak kümülatif dağılım fonksiyonları oluşturulur (Şekil 4.4). Grafiğin Y eksenini oluşturma olasılığı X eksenini ise veri takımını ifade etmektedir.



Şekil 4.4: Kümülatif dağılım fonksiyonu.

Normal dağılım fonksiyonu, ortalamaya ve standart sapmaya bağlı olan sonsuz sayıda oluşturulabilir. Her bir dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanarak olasılık hesaplama oldukça zahmetlidir. Normal dağılımlar tablo yardımıyla dönüşüm yapılarak tek bir dağılım ile ifade edilebilir. Bu dönüşüm ortalaması sıfır, standart sapması 1 olan Standart Normal Dağılım ile beraber Z tabloları ile yapılır. Standart Normal Değişkeni olarak adlandırılan Z ise Denklem (4.2) ile hesaplanır.

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (4.2)$$

Z_i negatif değerleri için Tablo 4.1, pozitif değerleri için Tablo 4.2 kullanılarak herhangi bir gözlem veya deney sonucunun olasılık hesabı yapılabilir.

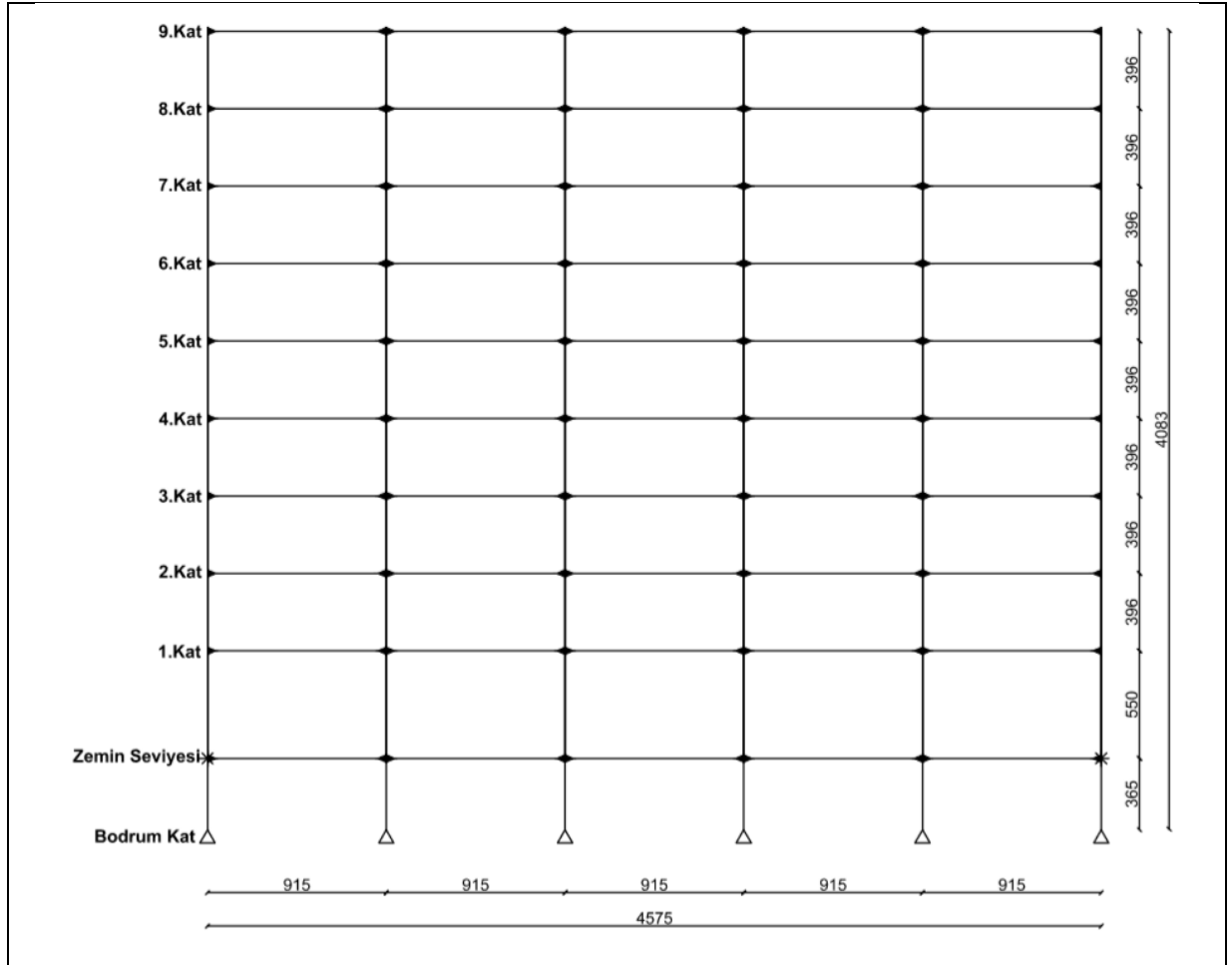
Tablo 4.1: Standart normal dağılım değerleri ($Z < 0$).

$Z < 0$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.47210	0.46812	0.46414
0.1	0.46017	0.45621	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42466
0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
0.4	0.34458	0.34090	0.33724	0.33360	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.29460	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.27760
0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.24510
0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.23270	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.21770	0.21476
0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
1.0	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
1.1	0.13567	0.13350	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.12100	0.11900	0.11702
1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10384	0.10204	0.10027	0.09853
1.3	0.09680	0.09510	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
1.4	0.08076	0.07927	0.07780	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03363	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00509	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00403	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00170	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00140
3.0	0.00135	0.00131	0.00126	0.00122	0.00118	0.00114	0.00111	0.00107	0.00104	0.00100
3.1	0.00097	0.00094	0.00090	0.00087	0.00085	0.00082	0.00079	0.00076	0.00074	0.00071
3.2	0.00069	0.00066	0.00064	0.00062	0.00060	0.00058	0.00056	0.00054	0.00052	0.00050
3.3	0.00048	0.00047	0.00045	0.00043	0.00042	0.00040	0.00039	0.00038	0.00036	0.00035
3.4	0.00034	0.00033	0.00031	0.00030	0.00029	0.00028	0.00027	0.00026	0.00025	0.00024
3.5	0.00023	0.00022	0.00022	0.00021	0.00020	0.00019	0.00019	0.00018	0.00017	0.00017

Tablo 4.2: Standart normal dağılım değerleri ($Z>0$).

$Z>0$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983

Bina 9 kat ve 1 kat bodrum olup toplam yüksekliği 40.83 m dir. Bodrum kat yüksekliği 3.65 m, zemin kat yüksekliği 5.50 m ve diğer kat yükseklikleri 3.96 m dir. Bina simetrik bir geometriye sahiptir. Her iki yönde 5 açıklığı olup her açıklık 9.15 m dir. Plan ölçüleri ise 45.75 m x 45.75 m dir. Zemin kat hizasında binanın X koordinatı yönündeki ötelenmesi engellenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Bina kesit görünüşü.

X yönündeki deprem kuvvetlerinin tamamını iki adet moment aktaran çerçeve tarafından karşılanmıştır. Bina içi kolonların ve merkezi çaprazlı çerçeve elemanların X yönünde deprem kuvvetlerine karşı katkısı olmayacak şekilde tasarım öngörüsü yapılmıştır.

Bina da bütün ikincil kirişler ana kirişlere ve bina içi bütün ana kirişler kolonlara mafsallı birleşim olarak tasarlanmıştır. Binada döşemeler kompozit olarak detaylandırılmış ve bu yüzden rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Moment aktaran kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda tali kirişler ile mafsallı olarak mesnetlenmiş olup tersinir yükler altında ana kirişlerin yanal olarak burkulması önlemiştir. Tali kirişler yük aktarmayacak yalnızca moment aktaran kirişlere yanal yönde ötelemesini engelleyecektir.

Bina ofis amaçlı kullanım olup inşa yeri Yalı Mahallesi / Maltepe / İstanbul olarak karar verilmiştir. Bina elastik ivme spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği kapsamında oluşturulmuştur. Ayrıca deprem parametreleri bu yönetmelik kapsamında değerlendirilmiştir. İvme Spektrumuna esas alınacak zemin sınıfı D ($v_s=180-360$ m/sn) olarak belirlenmiştir.

Bu örnek kapsamında moment aktaran çerçeve analizlerinin tamamı iki boyutlu olarak SAP2000 Sonlu Elemanlar yazılımı ile analiz edilmiştir.

Bina kat ağırlıklarının moment aktaran çerçevelerdeki P-Delta etkilerini görmek için düşey yük taşıyan (DYT) kolonlar oluşturulmuştur. Bu çalışma için yapının sönüm oranı %5 düşünülmüştür.

Tablo 5.1: Moment çerçevesi kiriş ve kolon enkesitleri.

Kat Seviyesi	Kenar Kolonlar	İç Kolonlar	Kirişler
9	W14x257	W14x311	W24x55
8	W14x257	W14x311	W27x94
7	W14x311	W14x426	W30x132
6	W14x311	W14x426	W30x132
5	W14x398	W14x500	W33x141
4	W14x398	W14x500	W33x141
3	W14x455	W14x550	W33x141
2	W14x455	W14x550	W33x141
1	W14x550	W14x730	W36x194
Bodrum	W14x550	W14x730	W36x194

Tasarım aşamasında görelî kat ötelemesi $C_d = 5.5$ olarak alınmıştır.

Moment Aktaran çerçevelerde kiriş kolon birleşim bölgelerinde deprem yönetmeliğince zayıflatılmış en kesit birleşim detayı kullanılmıştır.

Bu yapı ofis kullanım amaçlı olduğundan Hareketli Yük katılım katsayısı (n) 0.30 olarak alınmıştır.

Sistem, 50 yılda aşım olasılığı %2 olan (buna karşı gelen dönüş periyodu 2475 yıldır) D3 Deprem düzeyinde değerlendirilecektir.

Moment aktaran çerçevede kolonlar zemine basit mesnet olarak tasarlanmış diğer bütün birleşimler rijit tanımlanmıştır.

5.1.1.1. Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması

Moment aktaran bütün elemanların akma dayanımı $F_y = 345$ MPa olarak tayin edilmiş ve beklenen akma dayanımı (F_{ye}) 1.1 katsayısı ile büyütülerek hesaplanmıştır [FEMA 356,2000].

$$\bullet F_{ye} = 1.1 \times F_y \rightarrow F_{ye} = 1.1 \times 345 \rightarrow F_{ye} = 379.50 \text{ MPa}$$

Çelik elemanların Elastite Modülü $E = 200,000$ MPa ve Poisson Oranı $\gamma = 0.30$ alınmıştır. Çelik birim hacim ağırlığı 76.97 kn/m^3 olup hesaplarda çelik yapı elemanların kendi ağırlıkları sistemde ölü yüke dâhil edildiğinden çelik birim hacim ağırlığını ihmal edilerek işlemlere devam edilmiştir. Malzeme özelliklerinin SAP2000 programı ortamındaki giriş bilgi ekranı Şekil 5.3’de sunulmuştur.

The screenshot shows the 'Material Properties' dialog box in SAP2000 for material A992Fy50. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color (A992Fy50, red square), Material Type (Steel), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (0.), Mass per Unit Volume (0.), and Units (N, mm, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E (200000.), Poisson, U (0.3), Coefficient of Thermal Expansion, A (1.170E-05), and Shear Modulus, G (76923.08).
- Other Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy (345.), Minimum Tensile Stress, Fu (448.1593), Effective Yield Stress, Fye (379.5), and Effective Tensile Stress, Fue (492.9752).

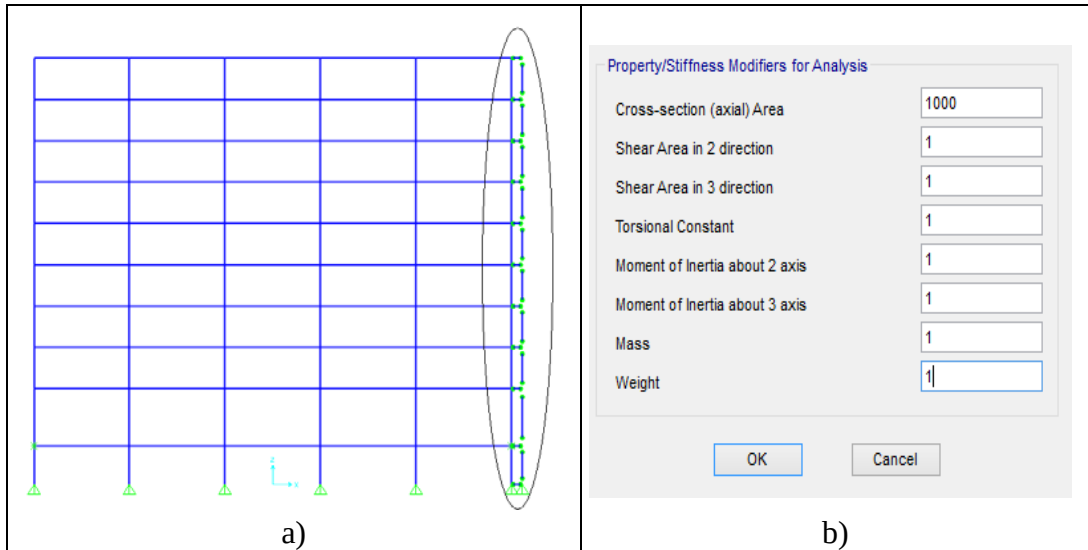
At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 5.3: Malzeme özelliklerinin SAP2000 programı ortamında gösterilmesi.

$$\rightarrow P_L = 3.05 \times 9.15/2 \times 2.50 \rightarrow P_L = 34.88 \text{ kN}$$

- Kirişler $\rightarrow q_D = 5.00 \times 3.05/2 \rightarrow q_D = 7.63 \text{ kN/m}$
 $\rightarrow q_L = 2.50 \times 3.05/2 \rightarrow q_L = 3.81 \text{ kN/m}$

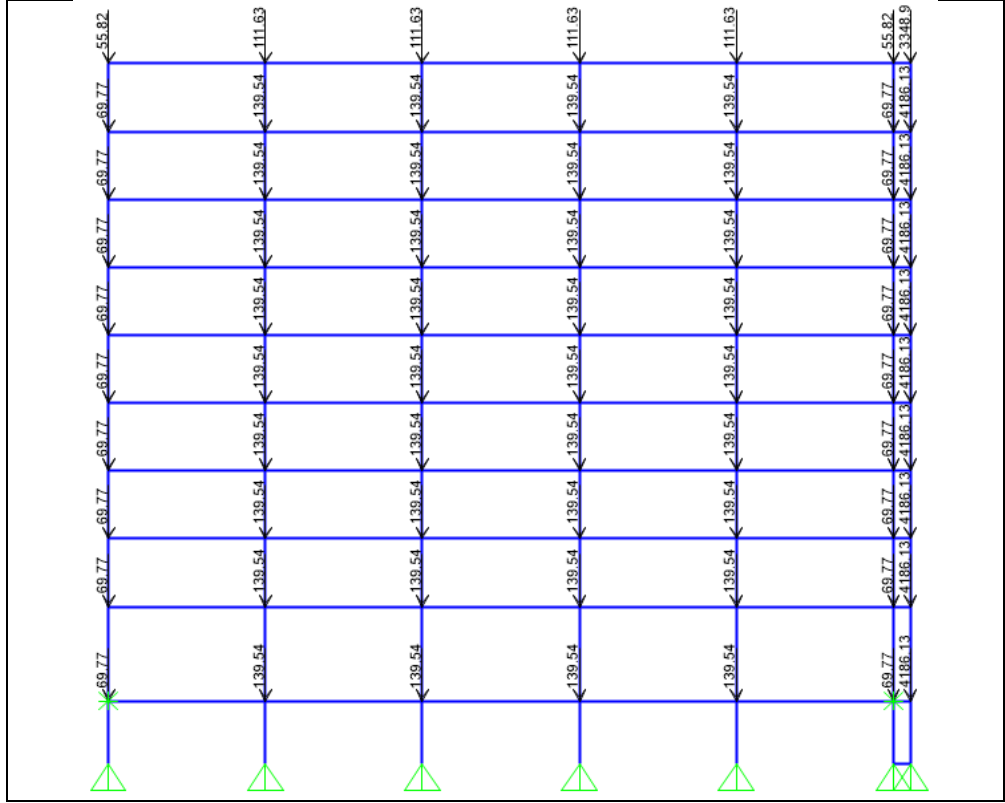
Sistemde ayrıca DYT kolonlar tanımlanmıştır. DYT kolonlar her kat seviyesinde toplam kat ağırlıklarını bulunduğu katta temsil etmekte olup, moment çerçevesinin P-Delta (İkinci mertebe) etkilerini hesaba katmak ve yapının gerçek davranışını göstermek için sisteme eklenmiştir (Şekil 5.5). DYT kolonlar moment çerçevesi kolonlarına bağ elemanları ile bağlanmıştır. Bağ elemanları ve DYT kolonların moment çerçevesinin rijitlik matrisine bir katkısı olmaması için bağlanan her düğüm noktası mafsallı teşkil edilmiş bu yüzden DYT kolonların ve bağ elemanların kesitleri yüksek rijitlikte seçilmiştir (Şekil 5.5). Ayrıca hesap karışıklığı olmaması için DYT kolonların ve bağ elemanların kendi ağırlıkları hesaba katılmamış bu elemanlar yalnızca kat ağırlıklarını temsil etmiştir.



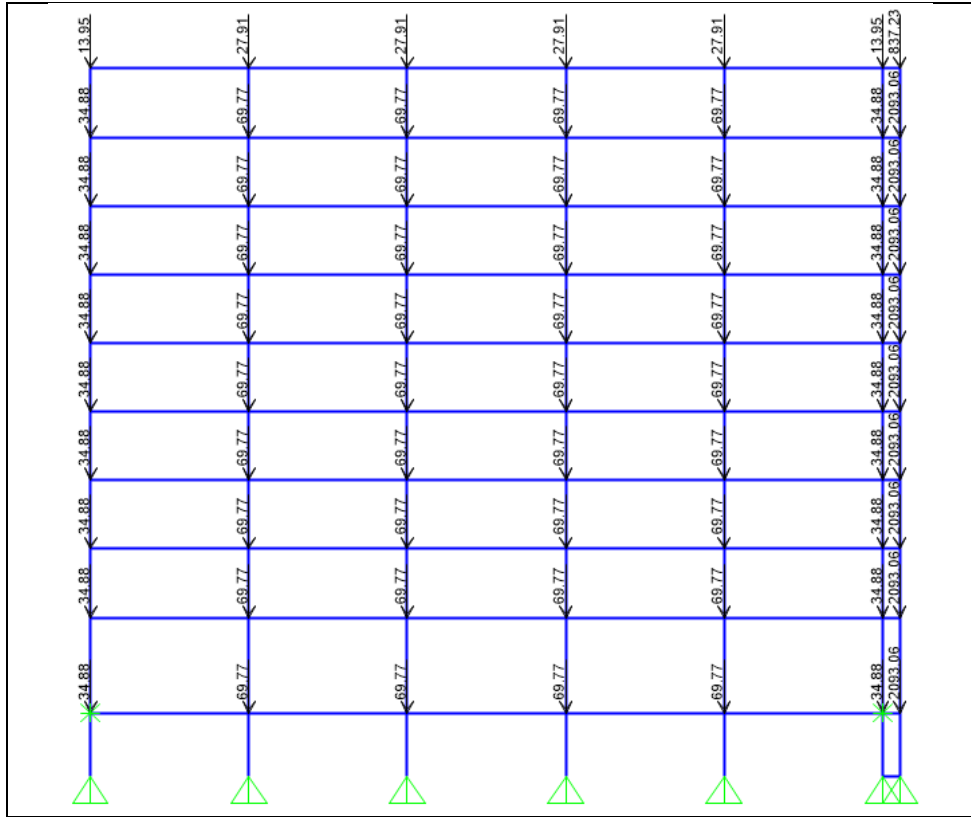
Şekil 5.5: a) DYT kolonların SAP2000 programındaki model görünüşü b) Kesit özelliklerinin modifikasyonu.

• DYT Kolona Etkiyen Kat Ağırlıkları:

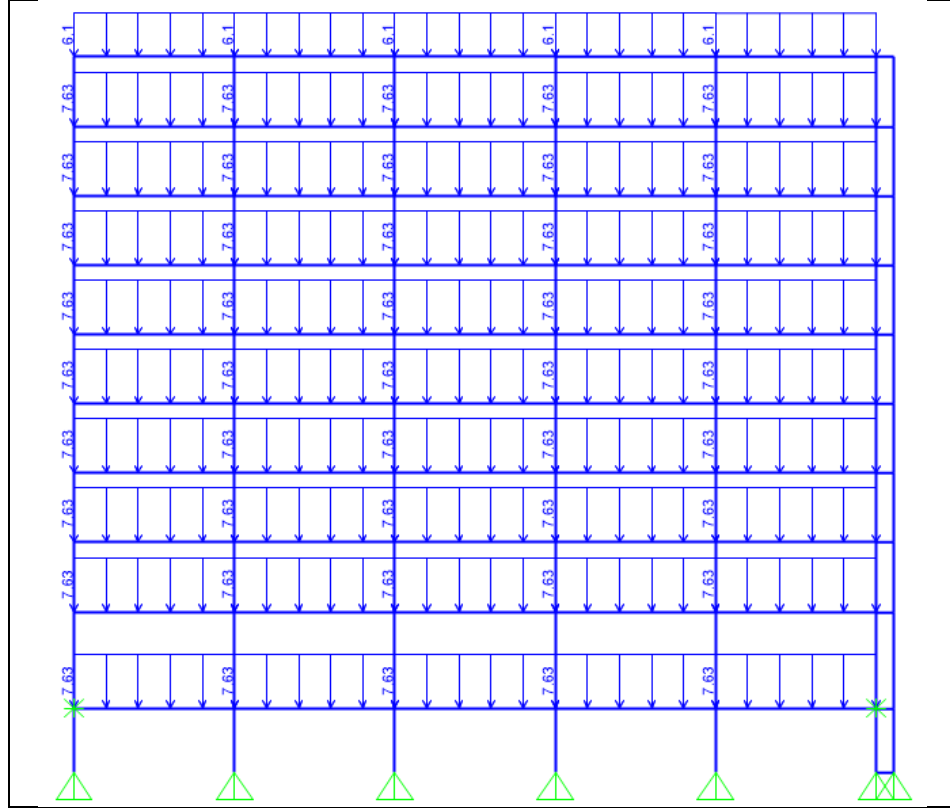
- Çatı Katı $\rightarrow P_D = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 4.00 \rightarrow P_D = 3348.90 \text{ kN}$
 $\rightarrow P_L = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 1.00 \rightarrow P_L = 837.23 \text{ kN}$
- Normal Kat $\rightarrow P_D = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 5.00 \rightarrow P_D = 4186.13 \text{ kN}$
 $\rightarrow P_L = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 2.50 \rightarrow P_L = 2093.06 \text{ kN}$



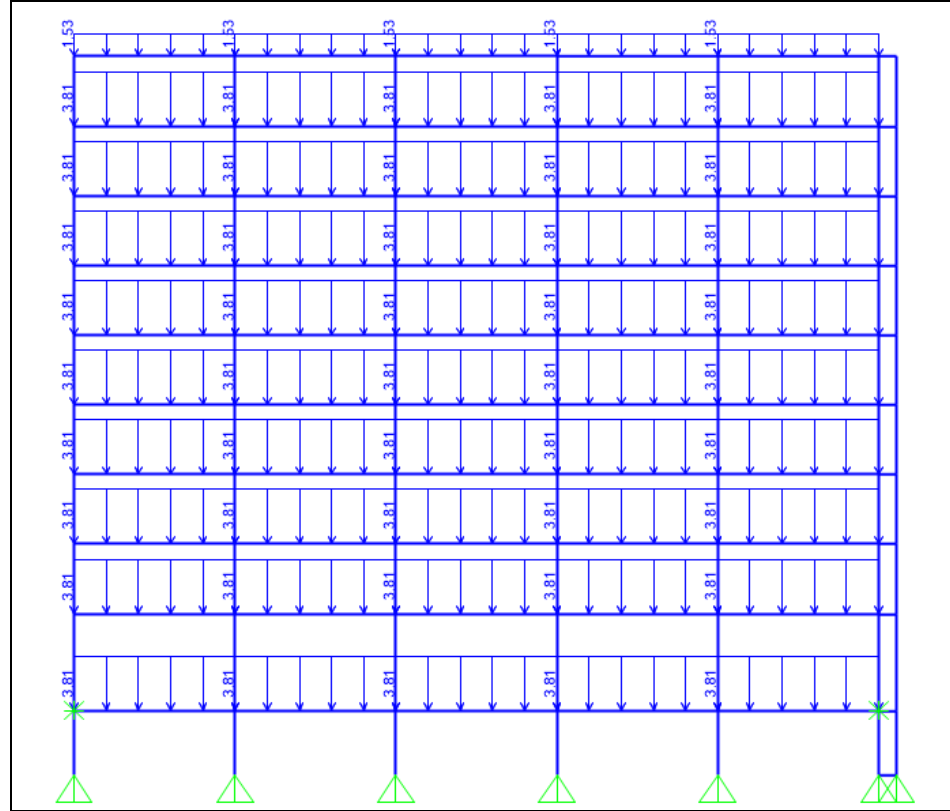
Şekil 5.6: Moment çerçevesine etkileyen tekil ölü yükler.



Şekil 5.7: Moment çerçevesine etkileyen tekil hareketli yükler.



Şekil 5.8: Moment çerçevesine etkiyen yayılı ölü yükler.



Şekil 5.9: Moment çerçevesine etkiyen yayılı hareketli yükler.

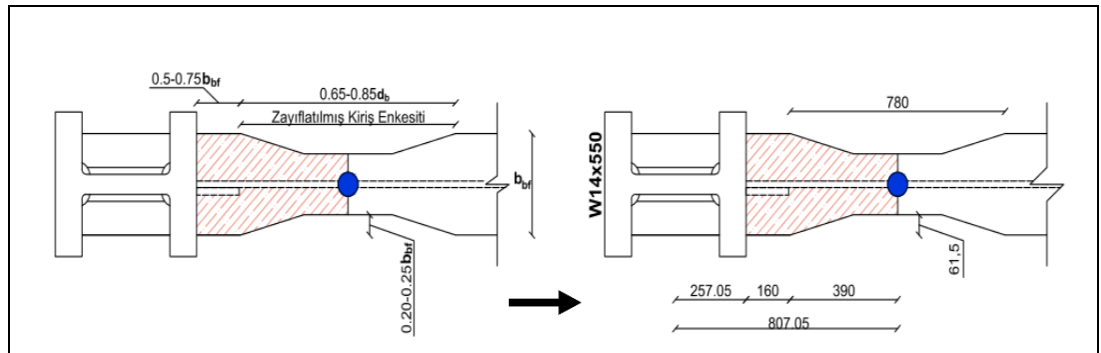
5.1.2. Doğrusal Olmayan Parametrelerin Sisteme Tanıtılması

Bu konuda kolon ve kiriş elemanların doğrusal olmayan parametreleri adım adım tanıtılmıştır. Yapılan bütün hesaplar SAP2000 programı ile entegreli olarak ilerlenmiştir. Ayrıca konunun daha anlaşılabilir olması için örneklere yer verilmiştir.

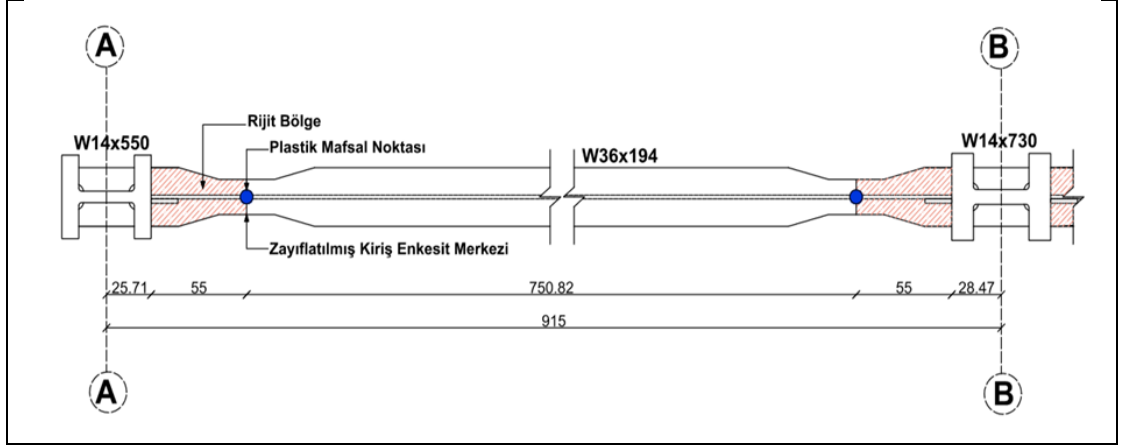
Öncelikle kiriş elemanlar irdelenmiş ve doğrusal olmayan parametreler hesaplanmıştır. Kiriş elemanlara plastik mafsallardan atanmadan önce bütün kirişlerin moment taşıma kapasitelerine ulaşip ulaşmayacağı kontrolleri yapılmış ancak hesaplarına girilmemiştir.

5.1.2.1. Kirişlerin Plastik Mafsallı Bölgelerinin Tespiti ve Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşim Detayı

Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı 2007-Deprem Yönetmeliği Bölüm 4A.2.6'ya göre yapılacaktır. Zayıflatılmış kiriş enkesiti için öngörülen geometrik boyutlar Bölüm 3.1'de anlatılmıştır. Bu konuya örnek olarak 1.kat 1 aksı üzerindeki A-A ile B-B aksı arasındaki moment aktaran kirişin zayıflatılmış enkesit geometrik boyutları ve olası plastik mafsallı bölgesi hesapları yapılmıştır (Şekil 5.10). Diğer katlardaki moment aktaran kirişler içinde aynı şekilde hesaplar tekrarlanmış ve (Tablo 5.2)'de gösterilmiştir. Kirişlerin plastik mafsallı bölgesi ise zayıflatılmış kiriş enkesitinin merkezi olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.10). Ayrıca kiriş kolon birleşimlerinin zayıflatılmış kiriş enkesitine kadar olan mesafe tam rijit bölge olarak tasarlanmıştır.



Şekil 5.10: 1.kat 1 aksı üzerindeki A-A ile B-B aksı arasındaki kirişin zayıflatılmış enkesit geometrik boyutlarının ve plastik mafsallı bölgelerinin tespiti.



Şekil 5.10: Devam.

Zayıflatılmış Kiriş Enkesit merkezi ile kolon yüzeyi arasındaki mesafe her kiriş için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çıkan sonuç işlem kolaylığı için yönetmelikteki sınır değerler göz önüne alınarak yuvarlatılmıştır.

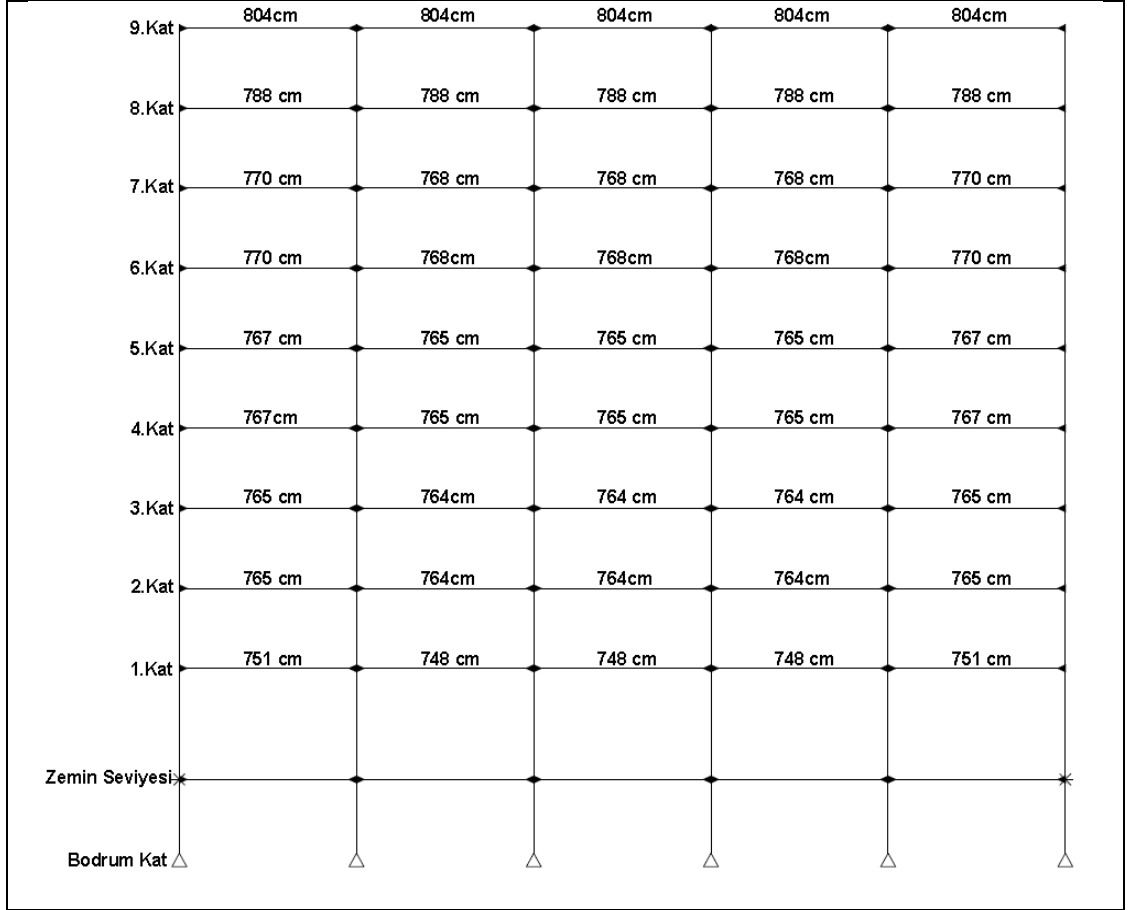
- W36x194 → $b_{bf} = 307.721 \text{ mm}$; $d_b = 926.846 \text{ mm}$
- W14x550 → $d_c = 514.096 \text{ mm}$
- W14x730 → $d_c = 569.468 \text{ mm}$
- $L_z = 0.5 \times 307.721 + 0.42 \times 926.846 \rightarrow L_z = 543.14 \text{ mm} \rightarrow L_z = 550 \text{ mm}$
- $L_h = L_k - \frac{d_{c(W14x550)}}{2} - \frac{d_{c(W14x730)}}{2} - 2 \times L_z$
- $L_h = 9150 - \frac{514.096}{2} - \frac{569.468}{2} - 2 \times 550$
- $L_h = 7508.2 \text{ mm}$

Tablo 5.2: Kirişlerin plastik mafsal noktalarının tespiti.

Kat Seviyeleri	Kiriş Kesit	b_{bf} (mm)	d_b (mm)	L_z (mm)	L_z (mm) Yuvarlatılmış
9	W24x55	177.93	598.68	340.41	340.00
8	W27x94	253.75	683.77	414.06	420.00
7	W30x132	267.84	769.87	457.27	500.00
6	W30x132	267.84	769.87	457.27	500.00
5	W33x141	292.99	845.82	501.74	500.00
4	W33x141	292.99	845.82	501.74	500.00
3	W33x141	292.99	845.82	501.74	500.00
2	W33x141	292.99	845.82	501.74	500.00
1	W36x194	307.72	926.85	543.14	550.00
Bodrum	W36x194	307.72	926.85	543.14	550.00

5.1.2.2. Kirişlerin Net Açıklıklarının Hesabı

Kiriş net açıklığı; kirişin her iki ucunda bulunan zayıflatılmış kiriş enkesitinin merkezleri arasındaki mesafesidir. Bu bağlamda kiriş net açıklıkları her kat için ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Moment aktaran kirişlerin net açıklıkları.

5.1.2.3. Kirişlerin Moment Taşıma Kapasitelerinin Hesabı

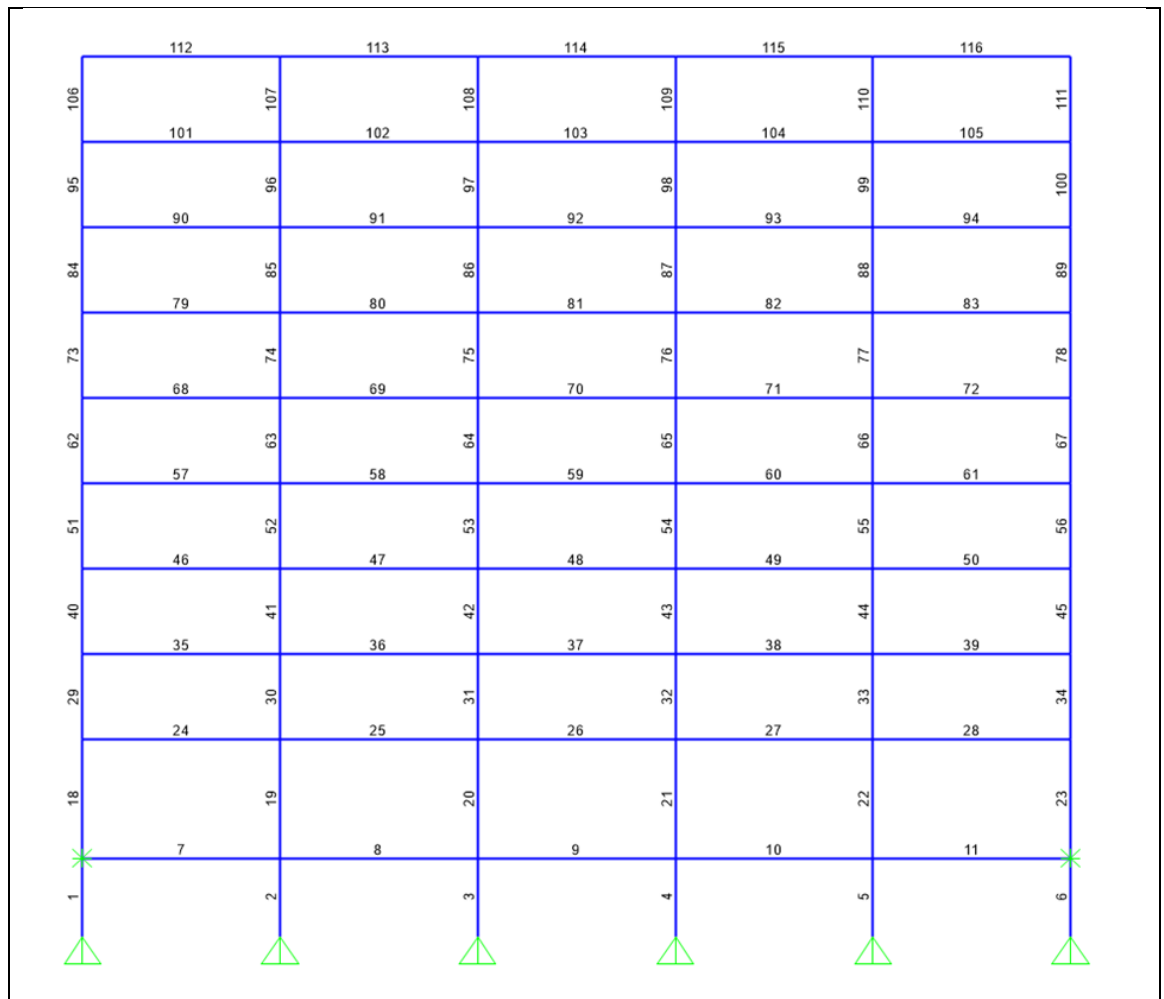
Seçilen kiriş elemanları süneklik düzeyi yüksek kesitler olduğundan ve tersinir yükler altında kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda tali kirişler ile mafsallı olarak teşkil edildiğinden bütün kirişler tam moment taşıma kapasitelerine ulaşacaklardır. Kirişlerin süneklik düzeyi kontrolü ve yanal burkulma tahkiki kontrolü yapılmış ve moment taşıma kapasitesi Denklem (3.2) ile hesaplanmıştır.

5.1.2.4. Kirişlerin Plastik Mafsalların Tanımlanması

Bölüm 5.1.2.1’de kirişlerin plastik mafsallarının yeri hesaplanmıştı. Bu bölümde ise kirişlerin plastik mafsal özellikleri tanımlanmış ve SAP2000 programında kirişlerin plastik mafsal özellikleri atanmıştır.

Moment Aktaran kirişlerde plastik mafsallar zayıflatılmış kiriş enkesitinin tam merkezinde oluşacaktır (Şekil 5.10) . Bu yüzden plastik mafsalların statik değerleri zayıflatılmış kiriş enkesitinin merkezindeki değerler olacaktır.

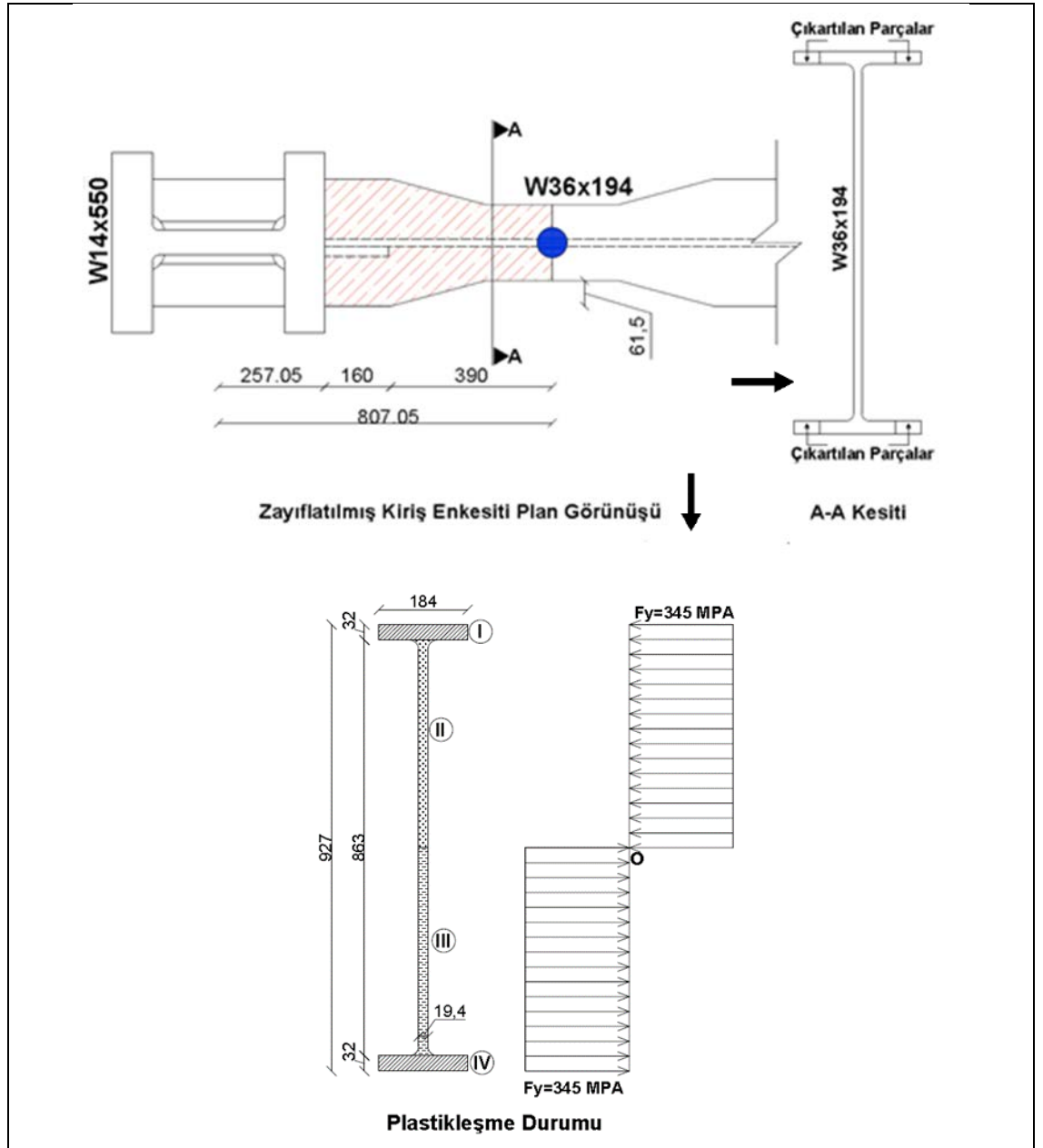
Sistemdeki bütün elemanlarının SAP2000 ortamında numaralandırılması Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Binanın tasarımı esnasında her açıklıktaki bir kiriş tali kirişlerin bağlandığı noktalardan bölünerek tasarımı yapılmıştır. Bu bölümde ise kirişlere plastik mafsal atama kolaylığı için her açıklıktaki kirişler tek bir kiriş haline getirilmiş ve kirişlerin uç kısımlarına plastik mafsallar tanımlanmıştır.



Şekil 5.12: Sistem elemanlarının SAP2000 programında numaralandırılması.

24 Numaralı kirişin plastik mafsal statik özellikleri adım adım hesaplanmış ve SAP2000 ortamında oluşturulan plastik mafsal statik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Diğer kirişler için de aynı adımlar EXCEL yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 5.3 de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Şekil 5.13’de 24 Numaralı kirişin plastik mafsal bölgesi ve zayıflatılmış kiriş enkesiti ve zayıflatılmış kiriş enkesitinin plastikleşme durumundaki gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.13: 24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesit görünüşü.

Zayıflatılmış kiriş enkesitinin plastik mukavemet momenti ile tam kesit plastik mukavemet momenti oranları hesaplanmıştır.

- I. Bölge $\rightarrow Z_{zx} = 32 \times 184 \times \left(\frac{32}{2} + \frac{863}{2}\right) = 2,634,880 \text{ mm}^3$
- II. Bölge $\rightarrow Z_{zx} = 19.4 \times \frac{863}{2} \times \left(\frac{863}{4}\right) = 1,806,065 \text{ mm}^3$
- III. Bölge $\rightarrow Z_{zx} = 19.4 \times \frac{863}{2} \times \left(\frac{863}{4}\right) = 1,806,065 \text{ mm}^3$
- IV. Bölge $\rightarrow Z_{zx} = 32 \times 184 \times \left(\frac{32}{2} + \frac{863}{2}\right) = 2,634,880 \text{ mm}^3$
- $\sum Z_{zx} = 8881890 \text{ mm}^3 \rightarrow \sum Z_{zx} \cong 8,923,903.38 \text{ mm}^3$ alınmıştır¹.
- W36X194 için $Z_x = 12,568,878 \text{ mm}^3$
- Oran = $8,923,903.38 / 12,568,878 = 0.71$

Hesaplarda görüldüğü üzere kirişte azaltılmış enkesiti kullandığında kesitin plastik mukavemet momenti %29 azalmaktadır. Moment taşıma kapasitesi ise Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $M_{zn} = 379.50 \times 8,923,903.38 \times 10^{-6} \rightarrow M_{zn} = 3,386.62 \text{ kNm}$

24 Numaralı Kiriş için Akma Dönmesinin Hesabı ise Denklem (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $\theta_y = \frac{379.50 \times 12,568,878 \times 7,508.2}{6 \times 200,000 \times 5,036,400,250} \rightarrow \theta_y = 5.926 \times 10^{-3} \text{ rad}$

Bulunan akma dönmesi ile moment taşıma kapasitesi SAP2000 programı ile karşılaştırılmış ve aynı olduğu görülmüştür. Plastik mafsalların çevrimsel doğrusal olmayan davranış parametreleri Şekil 5.14'de görüldüğü gibi atanmıştır (Moment/SF ve Rotation/SF). Bu tez kapsamında çelik yapıların performans değerlendirilmesi yapılmadığından kesitlerin plastik dönme sınırları dikkate alınmamıştır (Acceptance Criteria (Plastic Rotation /SF)).

¹ Azaltma oranının tam değerini bulmamız için (0.710...) Z_{zx} değeri yuvarlatılmıştır. Hata oranının (%0.5) ihmal edilebilir seviyede olduğu görülmüştür.

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-120
D-	-0.2	-100
C-	-0.71	-100
B-	-0.71	0
A	0	0
B	0.71	0
C	0.71	100
D	0.2	100
E	0.2	120

☒ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero
☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment
☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Positive Negative

Moment SF 4769.8892

Rotation SF 5.926E-03

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy
☐ Life Safety
☐ Collapse Prevention

Positive Negative

2. 4. 6.

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type Isotropic

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 5.14: 24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesiti plastik moment hesabı.

Örnek kapsamında bütün kirişlerin plastik mafsallık özellikleri ayrı ayrı Tablo 5.3'de hesaplanmıştır.

24 numaralı kirişin zayıflatılmış enkesit plastik mukavemet momenti ile tam kesit plastik mukavemet moment oranı hesaplarla gösterilmiş, diğer kirişlerin plastik mukavemet moment oranları SAP2000 programı yardımıyla bulunmuştur.

Tablo 5.3: Kirişlerin plastik mafsallık özellikleri.

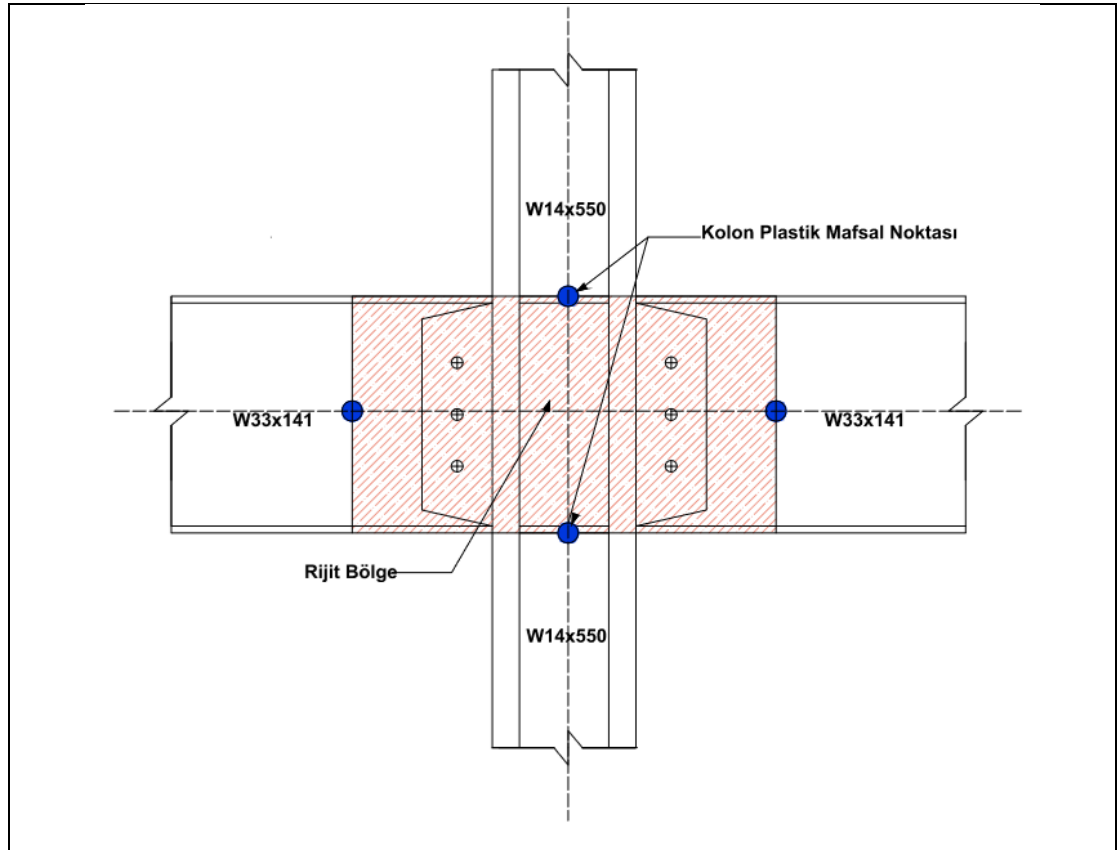
Eleman	Kesit	Plastik Mafsallık	Uzunluk	I Ucu Rijitlik	J Ucu Rijitlik	Net Uzunluk	F _{ye}	E	I	Z _x	M _n	Z _{z_x}	M _{zn}	Oran	Dönme
-	-	-	mm	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	mm ⁴	mm ³	KNm	mm ³	KNm	-	rad
7	W36X194	7H1-7H2	9150	807.05	834.73	7508.22	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.926E-03
8	W36X194	8H1-8H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
9	W36X194	9H1-9H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
10	W36X194	10H1-10H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
11	W36X194	11H1-11H2	9150	834.73	807.05	7508.22	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.926E-03
24	W36X194	24H1-24H2	9150	807.05	834.73	7508.22	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.926E-03
25	W36X194	25H1-25H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
26	W36X194	26H1-26H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
27	W36X194	27H1-27H2	9150	834.73	834.73	7480.53	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.904E-03
28	W36X194	28H1-28H2	9150	834.73	807.05	7508.22	379.5	200000	5036400250	12568878	4769.89	8923903	3386.62	0.71	5.926E-03
35	W33X141	35H1-35H2	9150	741.55	757.05	7651.40	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
36	W33X141	36H1-36H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
37	W33X141	37H1-37H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
38	W33X141	38H1-38H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
39	W33X141	39H1-39H2	9150	757.05	741.55	7651.40	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
46	W33X141	46H1-46H2	9150	741.55	757.05	7651.40	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
47	W33X141	47H1-47H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
48	W33X141	48H1-48H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
49	W33X141	49H1-49H2	9150	757.05	757.05	7635.90	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.559E-03
50	W33X141	50H1-50H2	9150	757.05	741.55	7651.40	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
57	W33X141	57H1-57H2	9150	732.28	748.92	7668.80	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.588E-03
58	W33X141	58H1-58H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
59	W33X141	59H1-59H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
60	W33X141	60H1-60H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
61	W33X141	61H1-61H2	9150	748.92	732.28	7668.80	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.588E-03

Tablo 5.3: Devam.

Eleman	Kesit	Plastik Mafsal	Uzunluk	I Ucu Rijitlik	J Ucu Rijitlik	Net Uzunluk	F_{ye}	E	I	Zx	M_n	Z_{zx}	M_{zn}	Oran	Dönme
-	-	-	mm	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	mm ⁴	mm ³	KNm	mm ³	KNm	-	rad
68	W33X141	68H1-68H2	9150	732.28	748.92	7668.80	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.588E-03
69	W33X141	69H1-69H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
70	W33X141	70H1-70H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
71	W33X141	71H1-71H2	9150	748.92	748.92	7652.16	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.573E-03
72	W33X141	72H1-72H2	9150	748.92	732.28	7668.80	379.5	200000	3100924121	8422951	3196.51	5980295	2269.52	0.71	6.588E-03
79	W30X132	79H1-79H2	9150	717.42	737.11	7695.47	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.257E-03
80	W30X132	80H1-80H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
81	W30X132	81H1-81H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
82	W30X132	82H1-82H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
83	W30X132	83H1-83H2	9150	737.11	717.42	7695.47	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.257E-03
90	W30X132	90H1-90H2	9150	717.42	737.11	7695.47	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.257E-03
91	W30X132	91H1-91H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
92	W30X132	92H1-92H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
93	W30X132	93H1-93H2	9150	737.11	737.11	7675.78	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.238E-03
94	W30X132	94H1-94H2	9150	737.11	717.42	7695.47	379.5	200000	2401655326	7161147	2717.66	5084414	1929.54	0.71	7.257E-03
101	W27X94	101H9-101H2	9150	628.03	637.42	7884.55	379.5	200000	1361076762	4555604	1728.85	3234479	1227.48	0.71	8.346E-03
102	W27X94	102H9-102H2	9150	637.42	637.42	7875.15	379.5	200000	1361076762	4555604	1728.85	3234479	1227.48	0.71	8.336E-03
103	W27X94	103H9-103H2	9150	637.42	637.42	7875.15	379.5	200000	1361076762	4555604	1728.85	3234479	1227.48	0.71	8.336E-03
104	W27X94	104H9-104H2	9150	637.42	637.42	7875.15	379.5	200000	1361076762	4555604	1728.85	3234479	1227.48	0.71	8.336E-03
105	W27X94	105H9-105H2	9150	637.42	628.03	7884.55	379.5	200000	1361076762	4555604	1728.85	3234479	1227.48	0.71	8.346E-03
112	W24X55	112H5-112H2	9150	548.03	557.42	8044.55	379.5	200000	561912425	2195867	833.33	1624941	616.67	0.74	9.942E-03
113	W24X55	113H5-113H2	9150	557.42	557.42	8035.15	379.5	200000	561912425	2195867	833.33	1624941	616.67	0.74	9.930E-03
114	W24X55	114H5-114H2	9150	557.42	557.42	8035.15	379.5	200000	561912425	2195867	833.33	1624941	616.67	0.74	9.930E-03
115	W24X55	115H5-115H2	9150	557.42	557.42	8035.15	379.5	200000	561912425	2195867	833.33	1624941	616.67	0.74	9.930E-03
116	W24X55	116H5-116H2	9150	557.42	548.03	8044.55	379.5	200000	561912425	2195867	833.33	1624941	616.67	0.74	9.942E-03

5.1.2.5. Kolonların Plastik Mafsal Bölgelerinin Tespiti ve Plastik Mafsalların Tanıtılması

Kolonların olası plastik mafsal bölgeleri kolon kiriş birleşim yüzeyin hemen altında (kolon net açıklığının alt ve üst ucu) oluşacağı düşünülmüş ve plastik mafsallar bu bölgelerde tanımlanmıştır. Örnek olarak 2.Kat 1-C Aksı kolonunun plastik mafsal bölgeleri gösterilmiştir. (Şekil 5.15).



Şekil 5.15: 24 numaralı kirişin azaltılmış kiriş enkesiti plastik moment hesabı.

Bütün kolonlar için olası plastik mafsal bölgeleri SAP2000 programına tanıtılmıştır.

Örnek temsil etmesi amacı ile 32 numaralı kolonun (Şekil 5.12) plastik mafsal statik özellikleri ve P-M etkileşim diyagramı elde edilmiş ayrıca SAP2000 programında oluşturulan plastik mafsal statik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Diğer kolonlar için de aynı adımlar EXCEL yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 5.5’de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

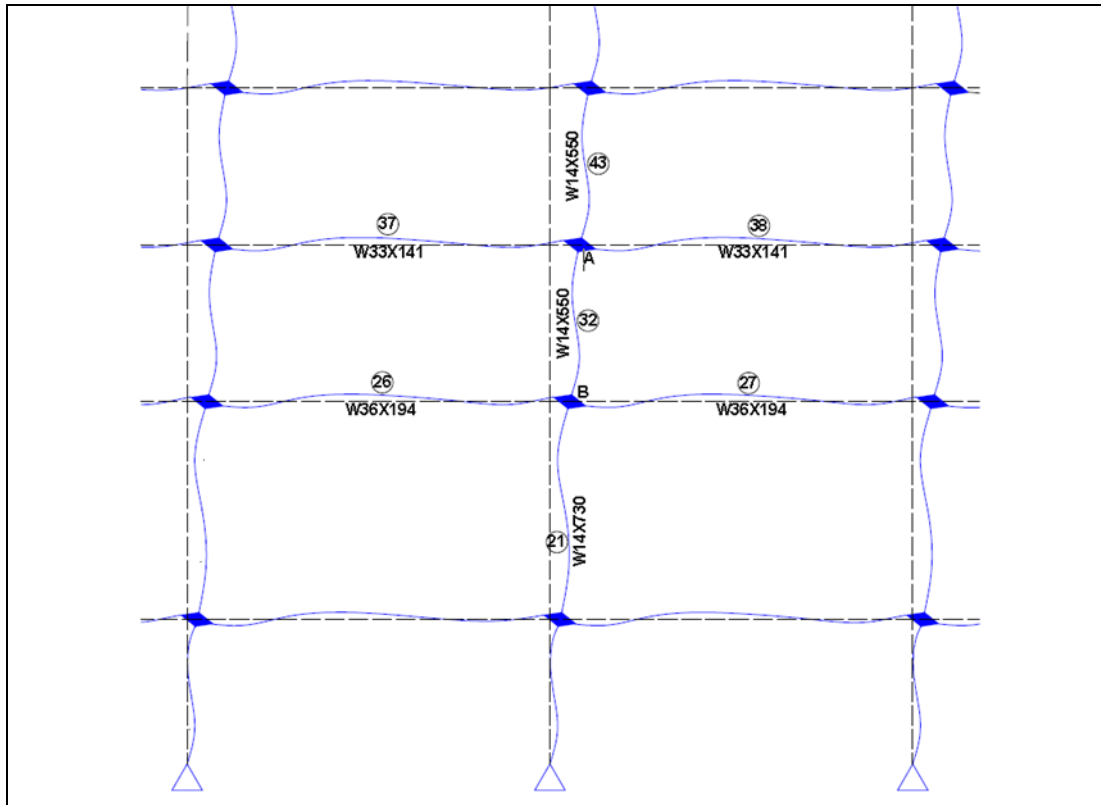
Burkulması önlenmiş kolonlarda 3 farklı iç tesir etkilidir. Bunlar basınç, çekme kuvvetleri ve eğilme momentidir. Bu kuvvetler ve moment altında 32 numaralı kolon kesitinin dayanımları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sistem 3 boyutlu olduğundan moment aktaran çerçevelerdeki bütün kolonlar (1-6 numaralı aks çerçeveleri) diğer yönden bağlanan (Y yönü) ana kirişlere ve merkezi çaprazlı sisteme mafsallı teşkil edildiğinden kolonlarda birleşik eğilme oluşmamış ve kolonlarda tek yönlü eğilme gözlenmiştir.

• 32 Numaralı Kolonun Basınç Dayanımı Hesabı:

32 numaralı kolonun burkulma boyları her iki yönde de (X ve Y yönü) hesaplanacaktır. Kolonun zayıf yönü (Y yönü) tutulu olduğundan yanal yer değiştirmesi önlenmiştir. Bu yüzden;

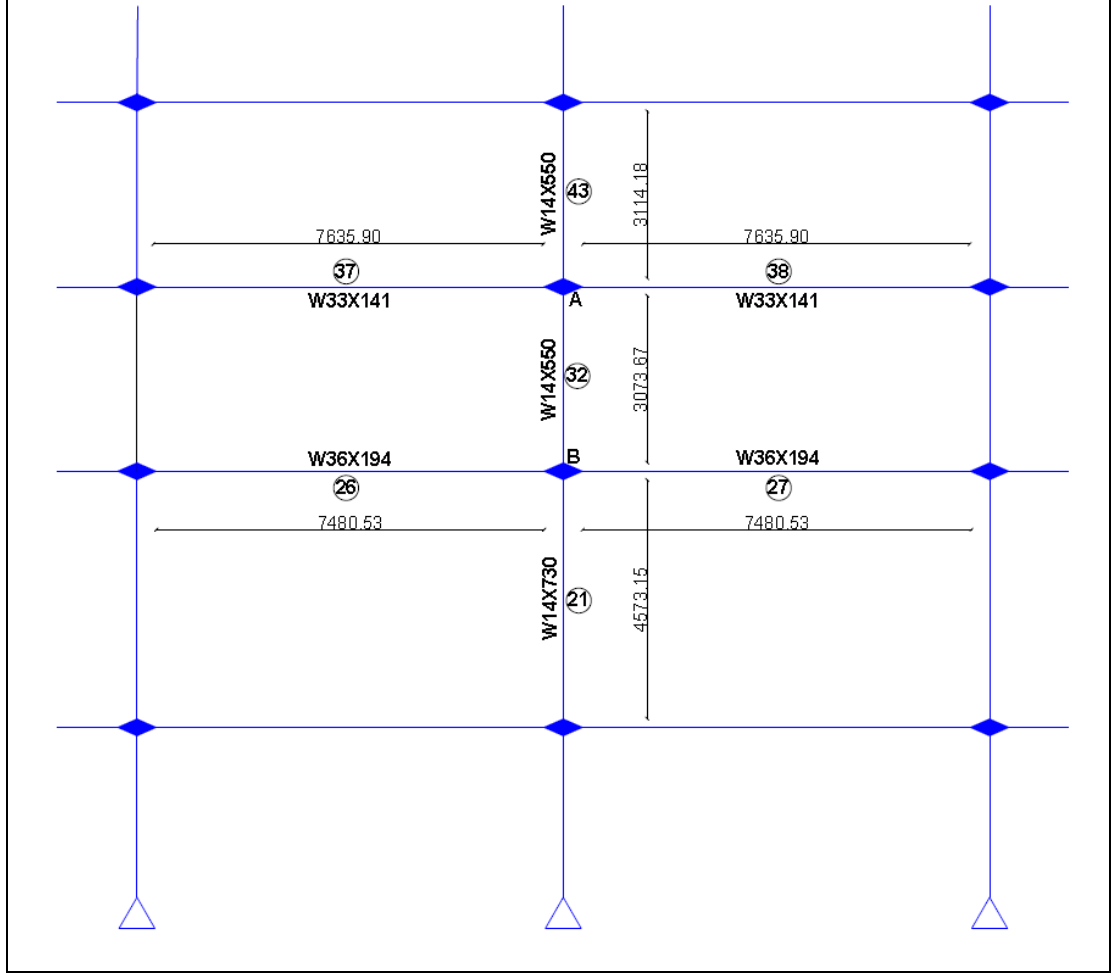
• $K_y = 1.00$

Kolonun güçlü yönü ise (X yönü) yanal yer değiştirmesi önlenmediğinden Denklem (3.4) yardımıyla hesaplanacaktır.



Şekil 5.16: Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçeve deformasyon şekli.

Burkulma Boyu Katsayısının hesabında kolon ve kirişlerin net açıklıkları alınacaktır (Rijit bölgeler hesaba katılmayacaktır) (Şekil 5.17). 32 numaralı ve diğer bütün kolonların net açıklıkları Tablo 5.5’de hesaplanmıştır. G_A ve G_B hesabı için Denklem (3.6) kullanılmıştır.



Şekil 5.17: Burkulma boyu katsayısının (K) hesabı.

- 32 Nolu Kolon → W14X550 Kesit ; $L = 3073.67 \text{ mm}$; $I_x = 3.925 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 43 Nolu Kolon → W14X550 Kesit ; $L = 3114.18 \text{ mm}$; $I_x = 3.925 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 21 Nolu Kolon → W14X730 Kesit ; $L = 4573.15 \text{ mm}$; $I_x = 5.952 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 37 Nolu Kiriş → W33X141 Kesit ; $L = 7635.90 \text{ mm}$; $I_x = 3.101 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 38 Nolu Kiriş → W33X141 Kesit ; $L = 7635.90 \text{ mm}$; $I_x = 3.101 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 26 Nolu Kiriş → W36X194 Kesit ; $L = 7480.53 \text{ mm}$; $I_x = 5.036 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 27 Nolu Kiriş → W36X194 Kesit ; $L = 7480.53 \text{ mm}$; $I_x = 5.036 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\bullet G_A = \frac{\frac{3.925 \times 10^9}{3114.18} + \frac{3.925 \times 10^9}{3073.67}}{2 \times 3.101 \times \frac{10^9}{7635.90}} \rightarrow G_A = 3.124$$

$$\bullet G_B = \frac{\frac{5.952 \times 10^9}{4573.15} + \frac{3.925 \times 10^9}{3073.67}}{2 \times 5.036 \times 10^9 / 7480.53} \rightarrow G_B = 1.915$$

$$\bullet K_x = \sqrt{\frac{1.6 \times 3.124 \times 1.915 + 4.0 \times (3.124 + 1.915) + 7.5}{3.124 + 1.915 + 7.5}} \rightarrow K_x = 1.72$$

Burkulma boyu katsayısı iteratif yöntem ile de hesaplanabilir Denklem (3.5). Bu hesaplama aynı zamanda SAP2000 programının kullandığı yöntemdir.

$$\bullet \frac{3.124 \times 1.915 \times (\pi/K_x)^2 - 36}{6 \times (3.124 + 1.915)} - \frac{\pi/K_x}{\tan(\pi/K_x)} = 0.00 \rightarrow K_x = 1.68$$

Görüldüğü üzere her iki yöntem de sonuçlar birbirine çok yakın çıktığından ($1.72 \cong 1.68$) burkulma boyu katsayısı iteratif denklem ile hesaplanmış ve diğer kolonların burkulma katsayısı SAP2000 programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Ayrıca yapılan bütün hesaplamalarda Bölüm 3.2’de bahsedilen denklemlerden yararlanılmıştır.

• 32 Numaralı Kolon için kesit özellikleri:

$$\bullet r_x = 193.79 \text{ mm} ; r_y = 113.77 \text{ mm} ; Z_x = 19336736 \text{ mm}^3 ;$$

$$\bullet A_g = 104515.9 \text{ mm}^2$$

• Güçlü Eksen (X-X yönü):

$$\bullet \lambda_x = \frac{1.68 \times 3073.67}{193.79} \rightarrow \lambda_x = 26.63$$

• Zayıf Eksen (Y-Y yönü):

$$\bullet \lambda_y = \frac{K_y \times L}{r_y} \rightarrow \lambda_y = \frac{1.00 \times 3073.67}{113.77} \rightarrow \lambda_y = 27.02$$

- Seçilen λ :

- $\lambda = \max(26.63 ; 27.02) \rightarrow \lambda = 27.02$

- $\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \lambda = 27.02 \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{379.50}} \rightarrow \lambda = 27.02 \leq 108.13$

- $\lambda = 27.02 \leq 108.13$ olduğundan Elastik Olmayan Burkulmadır.

- $F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \rightarrow F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{27.02^2} \rightarrow F_e = 2704 \text{ N/mm}^2$

- $F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_{ye}}{F_e}}\right) \times F_{ye} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{379.50}{2704}}\right) \times 379.50 \rightarrow F_{cr} = 357.85 \text{ N/mm}^2$

- $P_n = F_{cr} \times A_g \rightarrow P_n = 357.85 \times 104515.9$

- $P_n = 37401014.82 \text{ N} \rightarrow P_n = 37401 \text{ kN}$

- 32 Numaralı Kolonun Çekme Dayanımı Hesabı:

Kolonun çekme dayanımı Denklem (3.12) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $P_n = 379.50 \times 104515.9 \rightarrow P_n = 39663784.05 \text{ N} \rightarrow P_n = 39664 \text{ kN}$

- 32 Numaralı Kolonun Eğilme Dayanımı Hesabı:

Kolonun eğilme dayanımı Denklem (3.13) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $M_n = 379.50 \times 19336736 \times 10^{-6} \rightarrow M_n = 7338 \text{ kNm}$

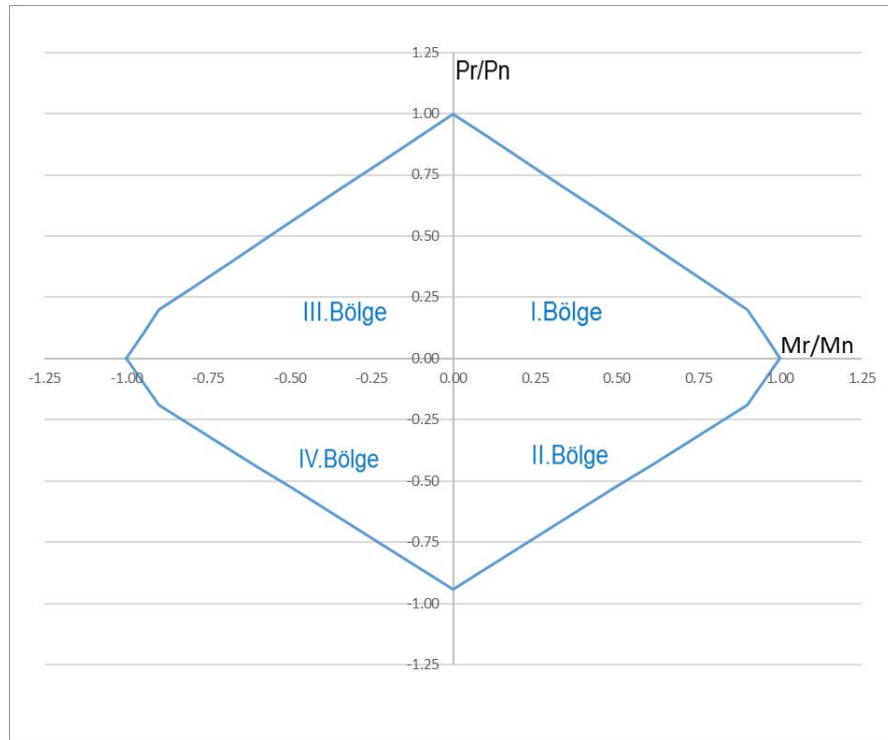
- 32 Numaralı Kolonun P-M Etkileşim Diyagramının Oluşturulması:

Bölüm 3.2.3'de belirttiği üzere aksenal kuvvet ve bir veya iki eksen etrafında eğilme (bileşik eğik eğilme) etkisindeki elemanların eğilme ve aksenal basınç kuvveti etkileşimi Denklem (3.14) ve Denklem (3.15)'de gösterilmiştir.

Daha öncesinden de bahsedildiği üzere 32 numaralı kolon zayıf yönünden ana kirişlerle (Y yönü) mafsallı bağlantı yapıldığından zayıf yönünde moment aktarmayacak ve eğilme etkisi göstermeyecektir. Bu yüzden sadece $P - M_{nx}$ etkileşim diyagramı oluşmuştur. Denklem (3.14) ve Denklem (3.15) aşağıdaki forma dönüşmüştür.

- $\frac{P_r}{P_n} \geq 0.2$ için
- $\frac{P_r}{P_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \rightarrow M_{ry} = 0 \rightarrow \frac{P_r}{P_n} + \frac{8}{9} \times \frac{M_{rx}}{M_{nx}} \leq 1.0$
- $\frac{P_r}{P_n} < 0.2$ için
- $\frac{P_r}{2 \times P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \rightarrow M_{ry} = 0 \rightarrow \frac{P_r}{2 \times P_n} + \frac{M_{rx}}{M_{nx}} \leq 1.0$

Bu denklemler yardımıyla $P - M_{nx}$ ($P - M_3$) etkileşim diyagramında 2 adet eksenel basınç ve 2 eksenel çekme bölgeleri oluşturulmuş ve sayısal değerleri tabloda sunulmuştur (Şekil 5.18 ve Tablo 5.4).



Şekil 5.18: 32 numaralı kolonun ($P - M_3$) etkileşim diyagramı.

Tablo 5.4: 32 numaralı kolonun ($P - M_3$) etkileşim değerleri.

I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV.Bölge	
P_r/P_n	M_r/M_n	P_r/P_n	M_r/M_n	P_r/P_n	M_r/M_n	P_r/P_n	M_r/M_n
1.000	0.000	-0.943	0.000	1.000	0.000	-0.943	0.000
0.900	0.113	-0.859	0.100	0.900	-0.113	-0.859	-0.100
0.800	0.225	-0.775	0.200	0.800	-0.225	-0.775	-0.200
0.700	0.338	-0.692	0.300	0.700	-0.338	-0.692	-0.300
0.600	0.450	-0.608	0.400	0.600	-0.450	-0.608	-0.400
0.500	0.563	-0.524	0.500	0.500	-0.563	-0.524	-0.500
0.400	0.675	-0.440	0.600	0.400	-0.675	-0.440	-0.600
0.300	0.788	-0.356	0.700	0.300	-0.788	-0.356	-0.700
0.200	0.900	-0.272	0.800	0.200	-0.900	-0.272	-0.800
0.100	0.950	-0.189	0.900	0.100	-0.950	-0.189	-0.900
0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	-1.000	0.000	-1.000

Tablo 5-4'e örnek temsil etmesi için Tablo 5.4'deki üç değer hesaplanmıştır.

- Kolonun Basınç Dayanımı $\rightarrow P_n = -37401 \text{ kN}$
- Kolonun Çekme Dayanımı $\rightarrow P_n = 39664 \text{ kN}$
- Oran = Kolonun Basınç Dayanımı/Kolonun Çekme Dayanımı
- Oran = $-37401/39664 \rightarrow \text{Oran} = -0.943$
- I. Bölge $P_r/P_n = 0.10$ ve 0.50 için M_r/M_n hesabı:
 - $P_r/P_n = 0.10 \rightarrow P_r/(2 \times P_n) + M_r/M_n = 1.0 \rightarrow M_r/M_n = 0.950$
 - $P_r/P_n = 0.50 \rightarrow P_r/P_n + (8/9) \times M_r/M_n = 1.0 \rightarrow M_r/M_n = 0.563$
- II. Bölge $M_r/M_n = 0.80$ için P_r/P_n hesabı:
 - $P_r/P_n \geq 0.20$ olsun
 - $M_r/M_n = 0.80 \rightarrow P_r/P_n + (8/9) \times M_r/M_n = 1.0 \rightarrow P_r/P_n = 0.288$
 - $P_r/P_n = 0.288 \geq 0.20$ doğrudur.
 - II. Bölge Basınç Bölgesi $\rightarrow P_r/P_n = \text{Oran} \times 0.288$
 - $P_r/P_n = -0.943 \times 0.288 \rightarrow P_r/P_n = -0.272$

Tablo 5.5: Kolonların plastik mafsallık özellikleri.

Elaman	Kesit	Plastik Mafsallık	K _x	K _y	Uzunluk	I Ucu Rijit.	J Ucu Rijit.	Net Uzunluk	Alan	Z _x	r _x	r _y	λ _x	λ _y	λ	F _e	F _{cr}	P _n (Basıncı)	P _n (Çekme)	M _n	Oran
-	-	-	-	-	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ³	mm	mm	-	-	-	N/mm ²	N/mm ²	KN	KN	KNm	-
1	W14X550	1H1-1H2	2.98	1.00	3650	0.00	463.42	3186.58	104515.9	19336736	193.79	113.77	49.06	28.01	49.06	820	312.68	32680	39664	7338	-0.824
2	W14X730	2H1-2H2	2.77	1.00	3650	0.00	463.42	3186.58	138709.4	27202526	207.15	119.01	42.57	26.78	42.57	1089	327.99	45496	52640	10323	-0.864
3	W14X730	3H1-3H2	2.77	1.00	3650	0.00	463.42	3186.58	138709.4	27202526	207.15	119.01	42.57	26.78	42.57	1089	327.99	45496	52640	10323	-0.864
4	W14X730	4H1-4H2	2.77	1.00	3650	0.00	463.42	3186.58	138709.4	27202526	207.15	119.01	42.57	26.78	42.57	1089	327.99	45496	52640	10323	-0.864
5	W14X730	5H1-5H2	2.77	1.00	3650	0.00	463.42	3186.58	138709.4	27202526	207.15	119.01	42.57	26.78	42.57	1089	327.99	45496	52640	10323	-0.864
6	W14X550	6H1-6H2	2.98	1.00	3650	152.40	463.42	3034.18	104515.9	19336736	193.79	113.77	46.71	26.67	46.71	905	318.39	33277	39664	7338	-0.839
18	W14X550	18H1-18H2	1.81	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	104515.9	19336736	193.79	113.77	42.81	40.20	42.81	1077	327.46	34225	39664	7338	-0.863
19	W14X730	19H1-19H2	1.63	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	138709.4	27202526	207.15	119.01	35.98	38.43	38.43	1337	336.98	46743	52640	10323	-0.888
20	W14X730	20H1-20H2	1.63	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	138709.4	27202526	207.15	119.01	35.98	38.43	38.43	1337	336.98	46743	52640	10323	-0.888
21	W14X730	21H1-21H2	1.63	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	138709.4	27202526	207.15	119.01	35.98	38.43	38.43	1337	336.98	46743	52640	10323	-0.888
22	W14X730	22H1-22H2	1.63	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	138709.4	27202526	207.15	119.01	35.98	38.43	38.43	1337	336.98	46743	52640	10323	-0.888
23	W14X550	23H1-23H2	1.81	1.00	5500	463.42	463.42	4573.15	104515.9	19336736	193.79	113.77	42.81	40.20	42.81	1077	327.46	34225	39664	7338	-0.863
29	W14X455	29H1-29H2	1.92	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	86451.4	15338292	186.06	111.02	31.80	27.69	31.80	1952	349.84	30245	32808	5821	-0.922
30	W14X550	30H1-30H2	1.68	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	104515.9	19336736	193.79	113.77	26.63	27.02	27.02	2704	357.85	37401	39664	7338	-0.943
31	W14X550	31H1-31H2	1.68	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	104515.9	19336736	193.79	113.77	26.63	27.02	27.02	2704	357.85	37401	39664	7338	-0.943
32	W14X550	32H1-32H2	1.68	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	104515.9	19336736	193.79	113.77	26.63	27.02	27.02	2704	357.85	37401	39664	7338	-0.943
33	W14X550	33H1-33H2	1.68	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	104515.9	19336736	193.79	113.77	26.63	27.02	27.02	2704	357.85	37401	39664	7338	-0.943
34	W14X455	34H1-34H2	1.92	1.00	3960	463.42	422.91	3073.67	86451.4	15338292	186.06	111.02	31.80	27.69	31.80	1952	349.84	30245	32808	5821	-0.922
40	W14X455	40H1-40H2	2.09	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	86451.4	15338292	186.06	111.02	34.98	28.05	34.98	1613	343.91	29732	32808	5821	-0.906
41	W14X550	41H1-41H2	1.79	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	104515.9	19336736	193.79	113.77	28.72	27.37	28.72	2393	355.12	37116	39664	7338	-0.936
42	W14X550	42H1-42H2	1.79	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	104515.9	19336736	193.79	113.77	28.72	27.37	28.72	2393	355.12	37116	39664	7338	-0.936
43	W14X550	43H1-43H2	1.79	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	104515.9	19336736	193.79	113.77	28.72	27.37	28.72	2393	355.12	37116	39664	7338	-0.936
44	W14X550	44H1-44H2	1.79	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	104515.9	19336736	193.79	113.77	28.72	27.37	28.72	2393	355.12	37116	39664	7338	-0.936
45	W14X455	45H1-45H2	2.09	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	86451.4	15338292	186.06	111.02	34.98	28.05	34.98	1613	343.91	29732	32808	5821	-0.906
51	W14X398	51H1-51H2	2.02	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	75483.7	13126038	181.89	109.39	34.53	28.47	34.53	1656	344.79	26026	28646	4981	-0.909
52	W14X500	52H1-52H2	1.74	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	28.61	27.70	28.61	2411	355.31	33697	35991	6530	-0.936
53	W14X500	53H1-53H2	1.74	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	28.61	27.70	28.61	2411	355.31	33697	35991	6530	-0.936
54	W14X500	54H1-54H2	1.74	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	28.61	27.70	28.61	2411	355.31	33697	35991	6530	-0.936
55	W14X500	55H1-55H2	1.74	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	28.61	27.70	28.61	2411	355.31	33697	35991	6530	-0.936
56	W14X398	56H1-56H2	2.02	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	75483.7	13126038	181.89	109.39	34.53	28.47	34.53	1656	344.79	26026	28646	4981	-0.909
62	W14X398	62H1-62H2	1.92	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	75483.7	13126038	181.89	109.39	32.94	28.47	32.94	1819	347.77	26251	28646	4981	-0.916

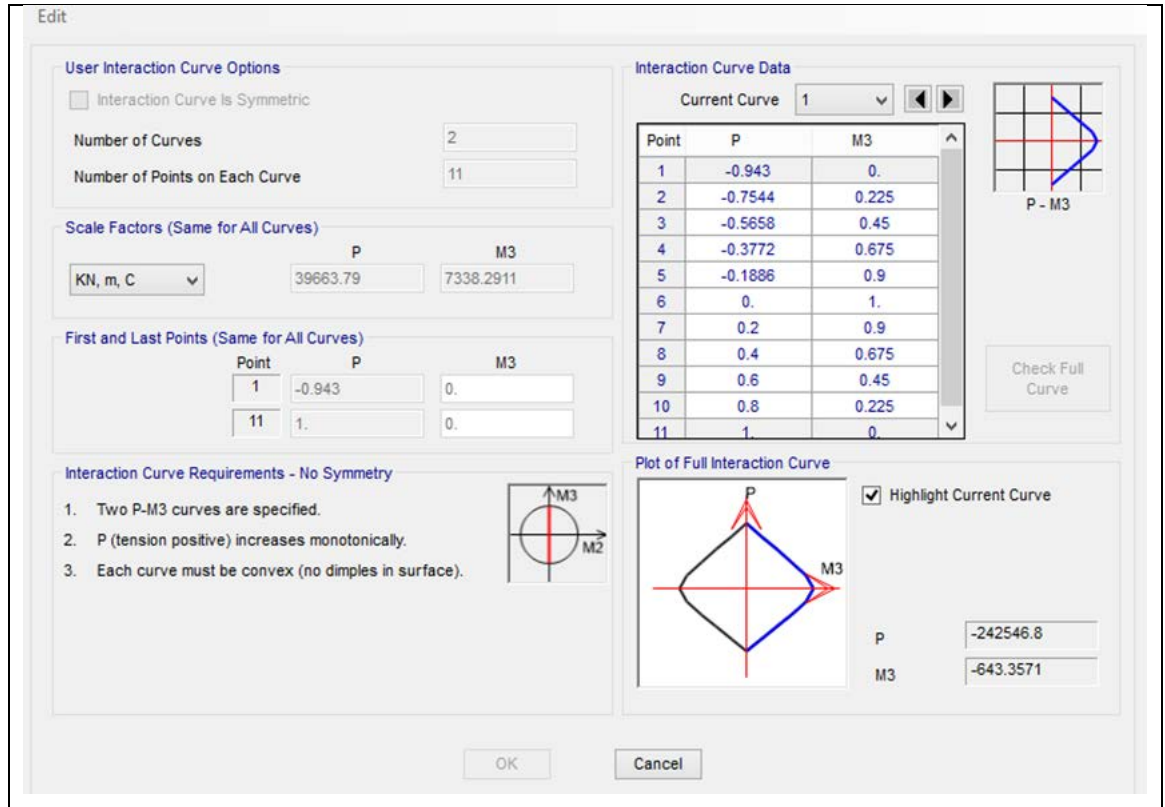
Tablo 5.5: Devam.

Elaman	Kesit	Plastik Mafsali	K _x	K _y	Uzunluk	I Ucu Rijit.	J Ucu Rijit.	Net Uzunluk	Alan	Z _x	r _x	r _y	λ _x	λ _y	λ	F _e	F _{cr}	P _n (Basıncı)	P _n (Çekme)	M _n	Oran
-	-	-	-	-	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ³	mm	mm	-	-	-	N/mm ²	N/mm ²	KN	KN	KNm	-
63	W14X500	63H1-63H2	1.69	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	27.76	27.70	27.76	2561	356.68	33827	35991	6530	-0.940
64	W14X500	64H1-64H2	1.69	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	27.76	27.70	27.76	2561	356.68	33827	35991	6530	-0.940
65	W14X500	65H1-65H2	1.69	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	27.76	27.70	27.76	2561	356.68	33827	35991	6530	-0.940
66	W14X500	66H1-66H2	1.69	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	94838.5	17206417	189.82	112.43	27.76	27.70	27.76	2561	356.68	33827	35991	6530	-0.940
67	W14X398	67H1-67H2	1.92	1.00	3960	422.91	422.91	3114.18	75483.7	13126038	181.89	109.39	32.94	28.47	32.94	1819	347.77	26251	28646	4981	-0.916
73	W14X311	73H1-73H2	1.90	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	58967.6	9881400	174.83	106.60	34.23	29.57	34.23	1685	345.35	20365	22378	3750	-0.910
74	W14X426	74H1-74H2	1.70	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.09	28.56	29.09	2333	354.52	28590	30605	5404	-0.934
75	W14X426	75H1-75H2	1.70	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.09	28.56	29.09	2333	354.52	28590	30605	5404	-0.934
76	W14X426	76H1-76H2	1.70	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.09	28.56	29.09	2333	354.52	28590	30605	5404	-0.934
77	W14X426	77H1-77H2	1.70	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.09	28.56	29.09	2333	354.52	28590	30605	5404	-0.934
78	W14X311	78H1-78H2	1.90	1.00	3960	422.91	384.94	3152.15	58967.6	9881400	174.83	106.60	34.23	29.57	34.23	1685	345.35	20365	22378	3750	-0.910
84	W14X311	84H1-84H2	1.89	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	58967.6	9881400	174.83	106.60	34.42	29.93	34.42	1666	344.99	20343	22378	3750	-0.909
85	W14X426	85H1-85H2	1.69	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.20	28.90	29.20	2315	354.33	28575	30605	5404	-0.934
86	W14X426	86H1-86H2	1.69	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.20	28.90	29.20	2315	354.33	28575	30605	5404	-0.934
87	W14X426	87H1-87H2	1.69	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.20	28.90	29.20	2315	354.33	28575	30605	5404	-0.934
88	W14X426	88H1-88H2	1.69	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	80645.0	14240359	184.57	110.37	29.20	28.90	29.20	2315	354.33	28575	30605	5404	-0.934
89	W14X311	89H1-89H2	1.89	1.00	3960	384.94	384.94	3190.13	58967.6	9881400	174.83	106.60	34.42	29.93	34.42	1666	344.99	20343	22378	3750	-0.909
95	W14X257	95H1-95H2	2.01	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	48774.1	7980500	170.34	104.92	38.10	30.82	38.10	1360	337.66	16469	18510	3029	-0.890
96	W14X311	96H1-96H2	1.73	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	58967.6	9881400	174.83	106.60	32.07	30.33	32.07	1920	349.36	20601	22378	3750	-0.921
97	W14X311	97H1-97H2	1.73	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	58967.6	9881400	174.83	106.60	32.07	30.33	32.07	1920	349.36	20601	22378	3750	-0.921
98	W14X311	98H1-98H2	1.73	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	58967.6	9881400	174.83	106.60	32.07	30.33	32.07	1920	349.36	20601	22378	3750	-0.921
99	W14X311	99H1-99H2	1.73	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	58967.6	9881400	174.83	106.60	32.07	30.33	32.07	1920	349.36	20601	22378	3750	-0.921
100	W14X257	100H1-100H2	2.01	1.00	3960	384.94	341.88	3233.18	48774.1	7980500	170.34	104.92	38.10	30.82	38.10	1360	337.66	16469	18510	3029	-0.890
106	W14X257	106H1-106H2	2.28	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	48774.1	7980500	170.34	104.92	44.41	31.63	44.41	1001	323.81	15794	18510	3029	-0.853
107	W14X311	107H1-107H2	1.91	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	58967.6	9881400	174.83	106.60	36.18	31.13	36.18	1508	341.56	20141	22378	3750	-0.900
108	W14X311	108H1-108H2	1.91	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	58967.6	9881400	174.83	106.60	36.18	31.13	36.18	1508	341.56	20141	22378	3750	-0.900
109	W14X311	109H1-109H2	1.91	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	58967.6	9881400	174.83	106.60	36.18	31.13	36.18	1508	341.56	20141	22378	3750	-0.900
110	W14X311	110H1-110H2	1.91	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	58967.6	9881400	174.83	106.60	36.18	31.13	36.18	1508	341.56	20141	22378	3750	-0.900
111	W14X257	111H1-111H2	2.28	1.00	3960	341.88	299.34	3318.78	48774.1	7980500	170.34	104.92	44.41	31.63	44.41	1001	323.81	15794	18510	3029	-0.853

- 32 Numaralı Kolonun P-M Etkileşim Diyagramının SAP2000 programında Görüntüsü:

32 Numaralı kolon için bulunan kapasiteler SAP2000 ile karşılaştırılmış ve aynı olduğu görülmüştür (Şekil 5.19).

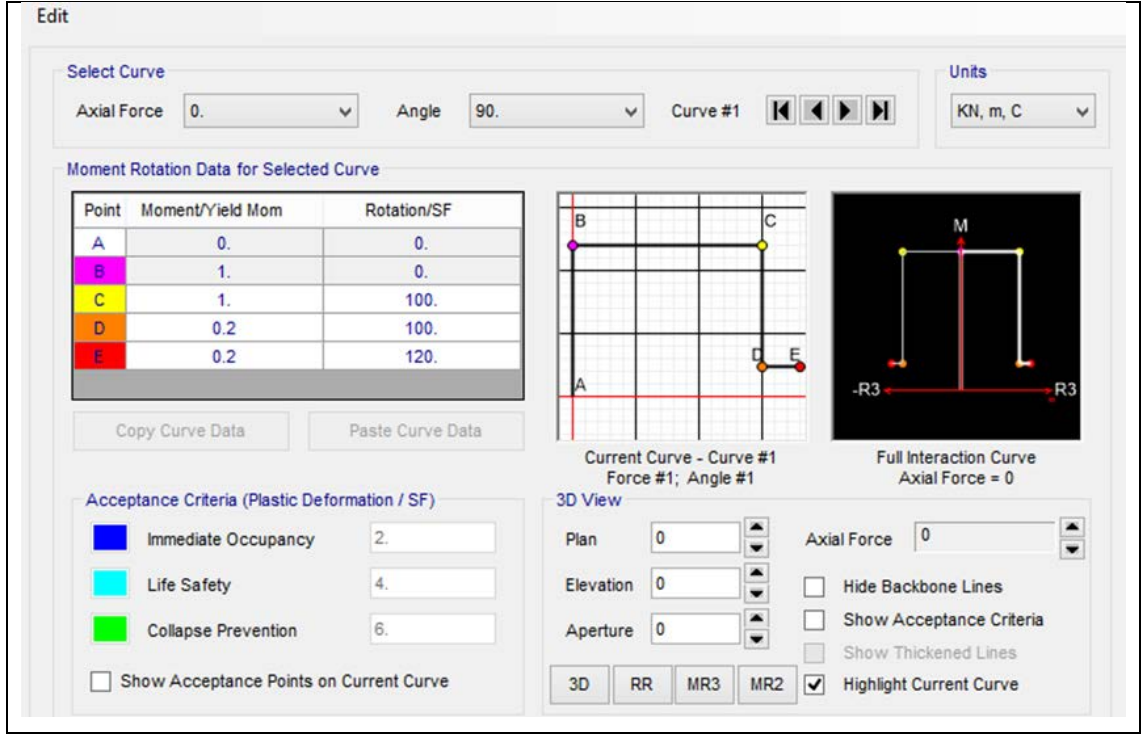
Tablo 5.4’de SAP2000 programı ile aynı değerleri yakalamak için P-M etkileşim diyagramındaki her bir bölge 11 nokta ile temsil edilmiştir.



Şekil 5.19: SAP2000 programında 32 numaralı kolonun basınç, çekme, moment dayanımı ve P-M etkileşim diyagramı görüntüsü.

Ayrıca plastik mafsalların çevrimsel doğrusal olmayan davranış parametreleri Şekil 5.20’de görüldüğü gibi atanmıştır (Moment/SF ve Rotation/SF).

Bu tez kapsamında çelik yapıların performans değerlendirilmesi yapılmadığından kesitlerin plastik dönme sınırları dikkate alınmamıştır.(Acceptance Criteria (Plastic Rotation /SF)).



Şekil 5.20: SAP2000 programında 32 numaralı çevrimsel doğrusal olmayan davranış parametreleri.

5.1.3. Bina Elastik Davranış Spektrumun Oluşturulması

Bina ofis amaçlı kullanım olup inşa yeri Yalı Mahallesi / Maltepe / İstanbul olarak karar verilmiştir. Bina elastik ivme spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Taslak Deprem Yönetmeliği kapsamında oluşturulmuştur.

Analizlerde kullanılacak deprem parametreleri 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir. İvme Spektrumuna esas alınacak zemin sınıfı D (Katı Zeminler) olarak belirlenmiştir.

Ofis binası 50 yılda aşım olasılığı %2 olan (buna karşı gelen dönüş periyodu 2475 yıldır) D3 Deprem düzeyinde değerlendirilecektir.

D3 deprem düzeyi için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen deprem spektral ivme değerleri S_s ve S_1 değerleri, referans olarak alınan B ve C zemin sınıfları ara sınırları için yönetmeliğin EK-A kısmından okunmuştur.

- $S_s = 1.5(g)$ ve $S_1 = 0.8(g)$

F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri sırası ile yönetmelikte yer alan Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 'den okunmuştur.

- $F_a = 1.0$ ve $F_v = 1.5$

Zemin sınıfı için aynı doğal titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme değerleri (S_{MS} ve S_{M1}) yönetmelikte yer alan Denklem (2.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $S_{MS} = 1.0 \times 1.5 \rightarrow S_{MS} = 1.5(g)$
- $S_{M1} = 1.5 \times 0.8 \rightarrow S_{M1} = 1.2(g)$

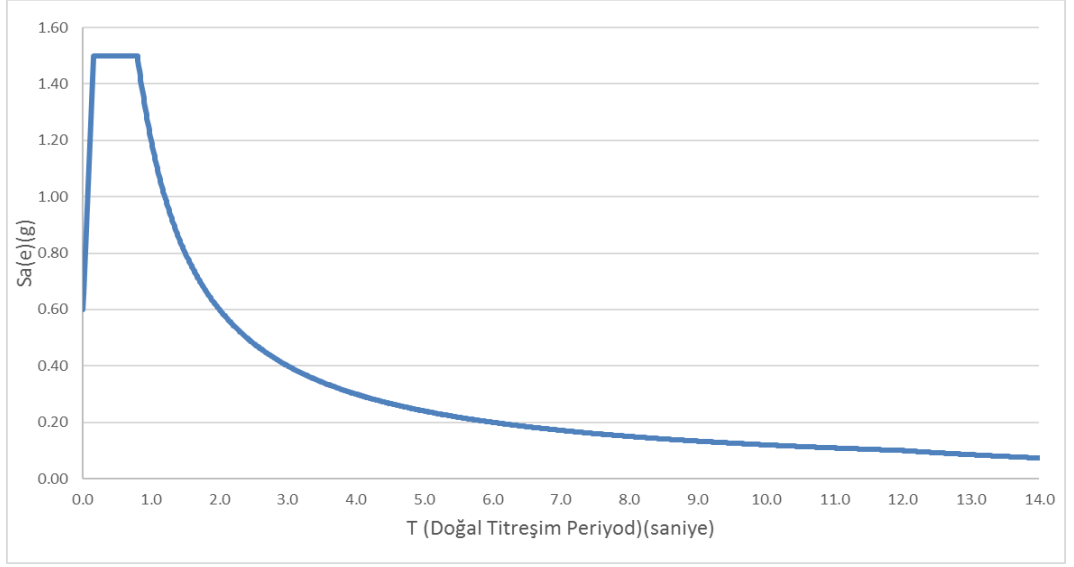
Spektrum köşe periyodları T_o ve T_s yönetmelikte yer alan Denklem (2.3) yardımıyla hesaplanmıştır. İstanbul ili için $T_L = 12$ saniye olarak alınmıştır.

- $T_s = \frac{1.2}{1.5} \rightarrow T_s = 0.8$ saniye
- $T_o = 0.2 \times 0.8 \rightarrow T_o = 0.16$ saniye

Yatay deprem için tasarım spektrumları ise yönetmelikte yer alan Denklem (2.2) ile hesaplanmıştır.

- $S_{ae}(T) = 0.4 \times 1.5 + 0.6 \times \frac{1.5}{0.16} \times T$ (0.16 ≤ T)
- $S_{ae}(T) = 1.5$ (0.16 ≤ T ≤ 0.8)
- $S_{ae}(T) = \frac{1.2}{T}$ (0.8 ≤ T ≤ 12)
- $S_{ae}(T) = \frac{1.2 \times 12}{T^2}$ (12 ≤ T)

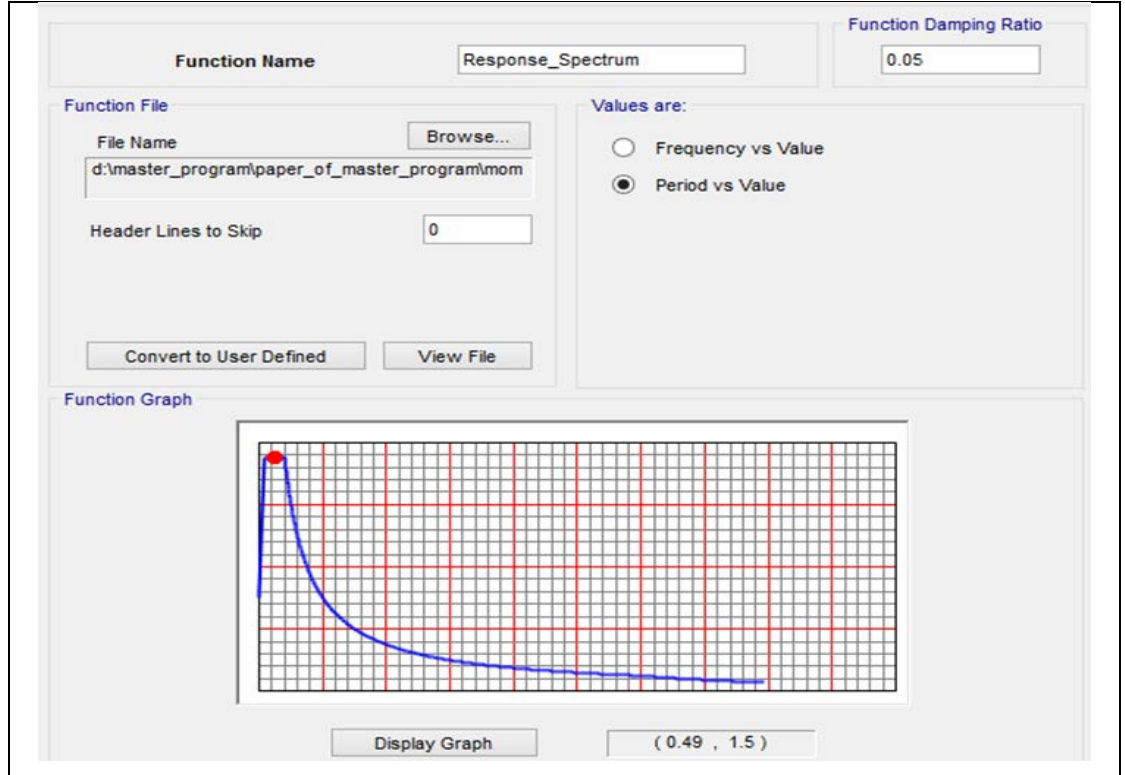
Yukardaki dört adet denklem yardımı ile elastik tasarım spektrumu çizdirilmiştir (Şekil 5.21). Ayrıca tasarım spektrum ara değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur. Tasarım spektrumu SAP2000 programına tanıtılmış ve spektrum ekran görüntüsü Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21: Bina elastik tasarım spektrumu.

Tablo 5.6: Bina elastik davranış spektrum değerleri.

T(s)	0.00	0.01	0.16	0.17	0.80	0.90	1.00	2.00
Sae(g)	0.600	0.656	1.500	1.500	1.500	1.333	1.200	0.600
T(s)	3.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	13.00	14.00
Sae(g)	0.400	0.300	0.200	0.150	0.120	0.100	0.085	0.073

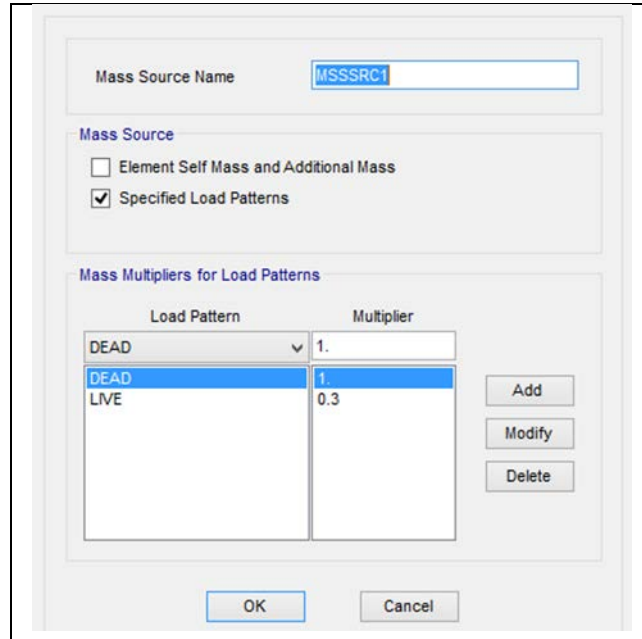


Şekil 5.22: SAP2000 programında bina elastik tasarım spektrumu.

5.1.4. Bina Modal Analizinin Yapılması ve Modal Parametrelerin Belirlenmesi

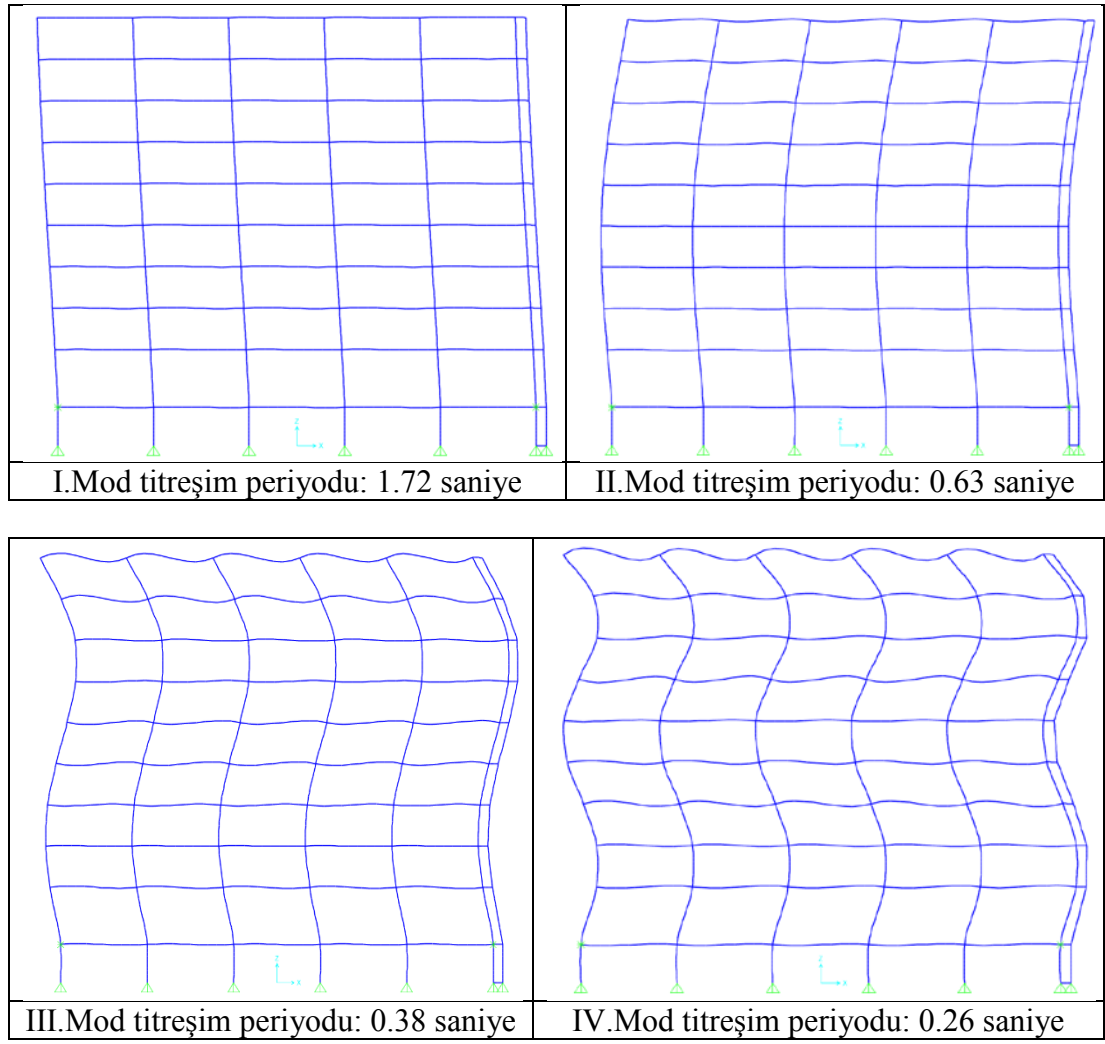
Bina modal analizinin yapılmasında ve modal parametrelerinin belirlenmesinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Sistem SAP2000 de oluşturulmuş, kesitler atanmış, mesnetler tanımlanmış, kat seviyesinde rijit diyaframlar atanmış ve rijit uçlar hem kolon için hem de kiriş için belirlenmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte yer alan Tablo 2.7’ den hareketli yük katılım katsayısı (γ) 0.30 alınmış ve binanın modal analizinde kullanılacak kat ağırlıkları D.B.Y.B.H.Y de bulunan Denklem (2.5) ile hesaplanmış ve SAP2000 programına tanıtılmıştır (Şekil 5.23).

$$\bullet W = \sum_{i=1}^{10} w_i \rightarrow w_i = g_i + 0.30 \times q_i$$



Şekil 5.23: Bina kat ağırlıklarının SAP2000 programına tanıtılması.

Yapılan Analiz sonucunda Binanın I.Mod titreşim periyodu 1.72 saniye, II.Mod titreşim periyodu 0.63 saniye, III.Mod titreşim periyodu 0.38 saniye ve IV.Mod titreşim periyodu 0.26 saniye olarak bulunmuş ve sırasıyla Şekil 5.24’de gösterilmiştir.



Şekil 5.24: Bina mod şekilleri ve titreşim periyodları.

Analiz sonucunda binanın diğer mod parametreleri ve mod katılım kütle oranları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 5.7). Tablodan da görüldüğü üzere binanın I.Mod (Hakim mod) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine oranı 0.82 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.7: Mod katılım kütle oranları.

Mod	Period	X-Kütle Katılım	Y-Kütle Katılım	Z-Kütle Katılım	X-Toplam Kütle Katılım
-	saniye	-	-	-	-
1.Mod	1.72	0.82	0.00	0.00	0.82
2.Mod	0.63	0.11	0.00	0.00	0.93
3.Mod	0.38	0.04	0.00	0.00	0.97
4.Mod	0.26	0.02	0.00	0.00	0.99

5.1.5. Bina Sönüm Fonksiyonun Oluşturulması

Bölüm 5.1.1’de binanın sönüm oranı %5 olarak tanımlanmıştı. Sönüm fonksiyonunun oluşturulmasında, çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşimlerinde gözlenen enerji kaybını hesaba katmakta kullanılan, viskoz sönüm matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal birleşimi ile oluşturulduğu sönüm modeli olan Rayleigh model kullanılmıştır.

Bölüm 3.5’de bahsedilmiş Rayleigh sönüm fonksiyonunda esas olan binanın titreşim periyotlarına karşılık gelen kütle katılım oranlarıdır. Bu kapsamda %5 sonum oranına karşılık gelen hakim periyotlar I.Mod (0.82 kütle katılım), II. Mod (0.11 kütle katılım) ve III. Mod (0.04 kütle katılım) titreşim periyotlarıdır (Tablo 5.7). I.Mod, II. Mod ve III. Mod Kütle Katılım Oranı toplamı 0.96 olup sönüm fonksiyonu için yeterli bir katılım oranıdır.

%5 sönüm fonksiyonu I. Modu, II. Modu ve III. Modu içine alacak şekilde iki sınır periyod veya frekans belirlenmiştir.

- $T_1 = 1.72 \text{ san} \rightarrow f_1 = 1/1.72 \rightarrow f_1 = 0.581 \text{ Hz}$
- $T_2 = 0.50 \text{ san} \rightarrow f_2 = 1/0.50 \rightarrow f_2 = 2.000 \text{ Hz}$

İki adet sınır frekans için ω_1 ve ω_2 değerleri:

- $\omega_1 = 2 \times \pi \times f_1 \rightarrow \omega_1 = 2 \times \pi \times 0.581 \rightarrow \omega_1 = 3.651 \text{ rad/san}$
- $\omega_2 = 2 \times \pi \times f_2 \rightarrow \omega_2 = 2 \times \pi \times 2.000 \rightarrow \omega_2 = 12.566 \text{ rad/san}$

İki adet sınır frekans için β ve α değerleri:

- $\zeta_1 = \zeta_2 = 0.05$ tek sönümlü sistem
- $\beta = \frac{2 \times 0.05 \times 3.651 - 2 \times 0.05 \times 12.566}{3.651^2 - 12.566^2} \rightarrow \beta = 6.166 \times 10^{-3}$
- $\alpha = 2 \times 0.05 \times 3.651 - 6.166 \times 10^{-3} \times 3.651^2 \rightarrow \alpha = 0.283$

Her f_i için Rayleigh Sönüm Fonksiyonu;

- $\zeta_i = \frac{0.283}{4 \times \pi \times f_i} + 6.166 \times 10^{-3} \times \pi \times f_i$

- $\zeta_i = \frac{0.0225}{f_i} + 0.0194 \times f_i$ (Frekans cinsinden)

- $\zeta_i = \frac{0.0225}{f_i} + 0.0194 \times f_i \left(f_i = \frac{1}{T_i} \right)$

- $\zeta_i = 0.0225 \times T_i + \frac{0.0194}{T_i}$ (Periyod cinsinden)

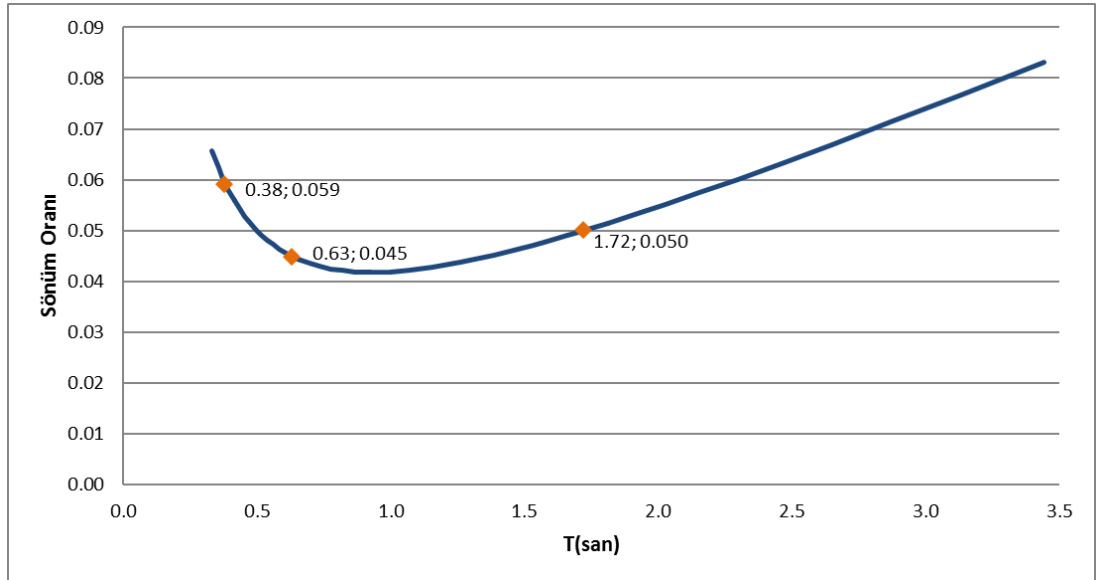
I.II ve III. Mod Titreşim periyodlarına karşılık gelen sönüm fonksiyonu değerleri ise;

- I. Mod $\rightarrow \zeta_I = 0.0225 \times 1.72 + \frac{0.0194}{1.72} \rightarrow \zeta_I = 0.050$

- II. Mod $\rightarrow \zeta_{II} = 0.0225 \times 0.63 + \frac{0.0194}{0.63} \rightarrow \zeta_{II} = 0.045$

- III. Mod $\rightarrow \zeta_{III} = 0.0225 \times 0.38 + \frac{0.0194}{0.38} \rightarrow \zeta_{III} = 0.060$

Görüldüğü üzere I.II. ve III. Mod titreşim periyodlarına karşılık gelen sönüm oranı %5 oranına yakın çıkmış ve sönüm oranı fonksiyonu sınır periyodlar $T_1 = 1.72$ san ve $T_2 = 0.50$ san olarak belirlenmiştir. Ayrıca sönüm fonksiyonu grafik olarak Şekil 5.25’de sunulmuştur.



Şekil 5.25: Sönüm fonksiyonun grafik olarak gösterimi.

Sönüm parametreleri SAP2000 programına tanıtılmış ve ekran görüntüsü Şekil 5.26’da sunulmuştur.

Damping Coefficients

☐ Direct Specification
 ☒ Specify Damping by Period
 ☐ Specify Damping by Frequency

Mass Proportional Coefficient:
 Stiffness Proportional Coefficient:

	Period	Frequency	Damping
First	1.721		0.05
Second	0.5		0.05

Şekil 5.26: Sönüm parametrelerinin SAP2000 programında tanıtılması.

5.1.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

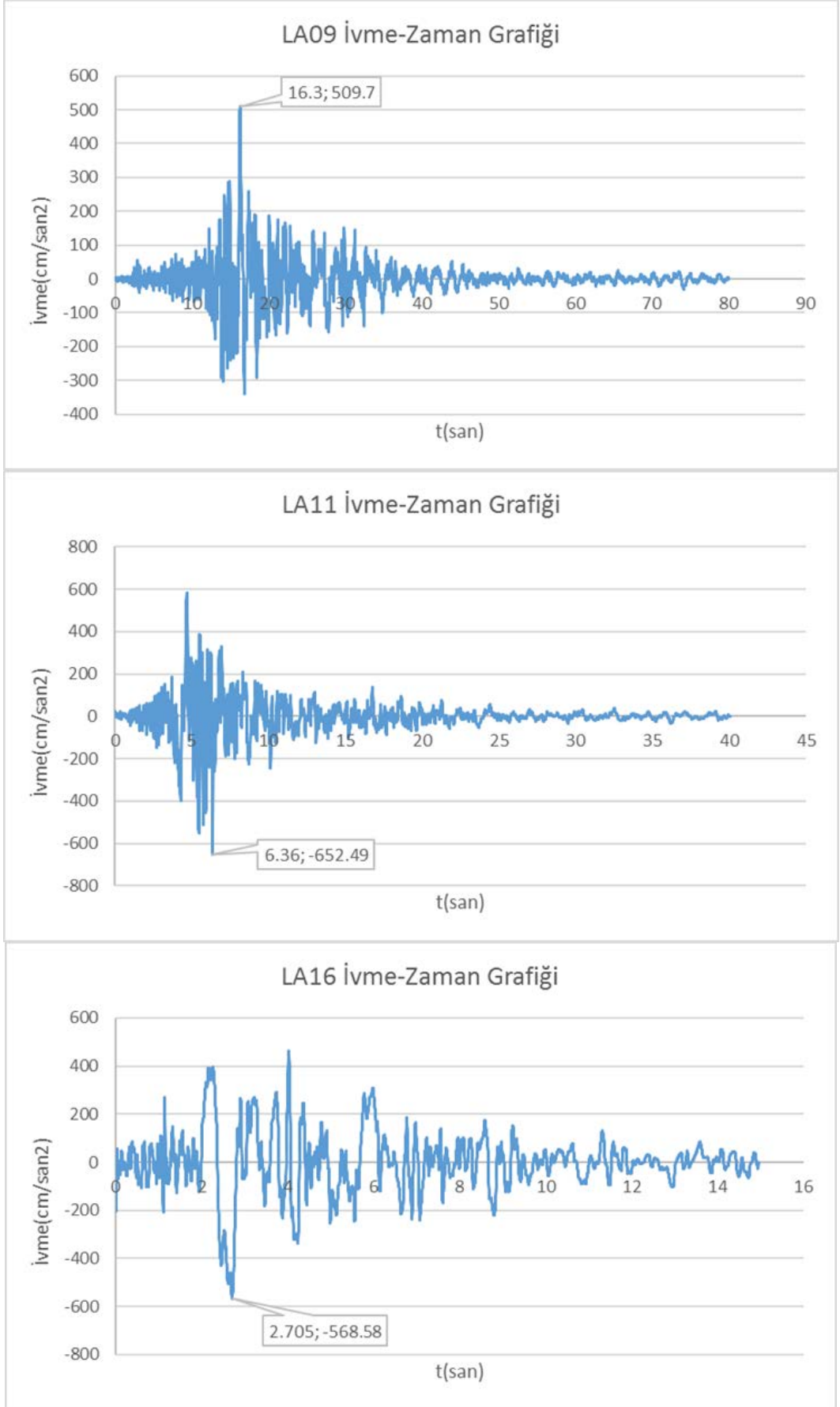
5.1.6.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Bina Tasarım Spektrumuna göre Ölçeklendirilmesi

Bu örnek kapsamında 4 farklı deprem kaydı seçilmiş ve bu deprem kayıtları üzerinde analizler yapılmıştır. Depremlerin özellikleri Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Deprem kayıtları yapının sadece I.Mod (Hakim) titreşim periyodu ($T=1.72$ saniye) dikkate alınarak ölçeklendirilmiştir.

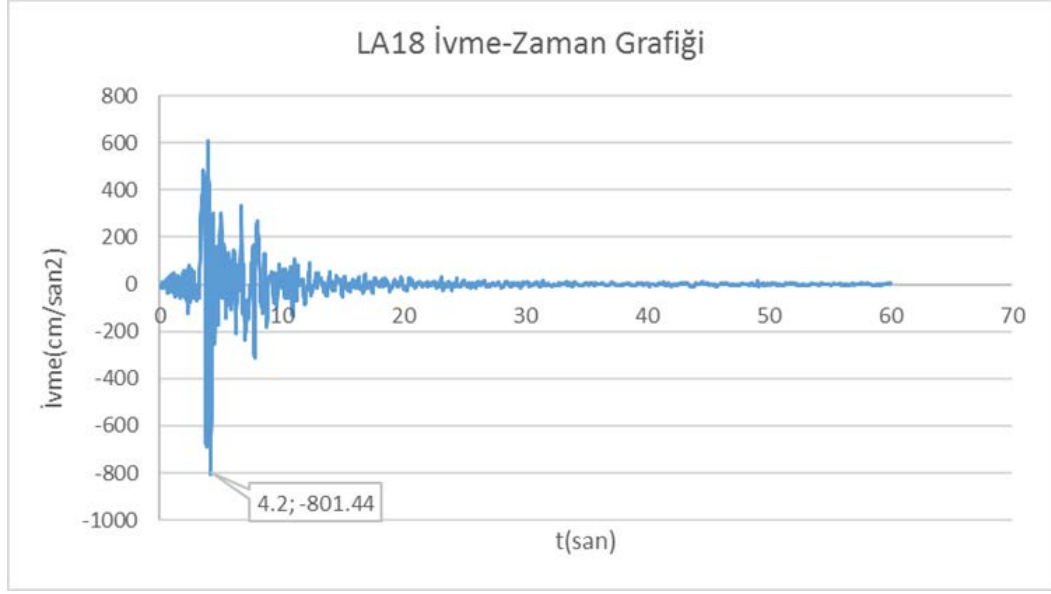
Tablo 5.8: Seçilen deprem kayıtların özellikleri.

Deprem Adı	Kayıt	Büyüklik	Kayıt Sayısı	Kayıt Aralığı	Süre	Maks.Yer İvmesi
-	-	-	-	saniye	saniye	cm/saniye ²
LA09	Landers, 1992, Yermo	7.30	4000	0.020	79.980	509.70
LA11	Loma Prieta, 1989, Gilroy	7.00	2000	0.020	39.980	652.49
LA16	Northridge, 1994, Rinaldi RS	6.70	2990	0.005	14.945	568.58
LA18	Northridge, 1994, Sylmar	6.70	3000	0.020	59.580	801.44

Seçilen 4 deprem kaydının zamana bağlı ivme değerleri sırasıyla Şekil 5.27’de sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde her deprem kaydı için maksimum yer ivmesine karşılık zaman ve ivme değerleri işaretlenmiştir.



Şekil 5.27: Seçilen deprem kayıtlarının ivme-zaman grafikleri.



Şekil 5.27: Devam.

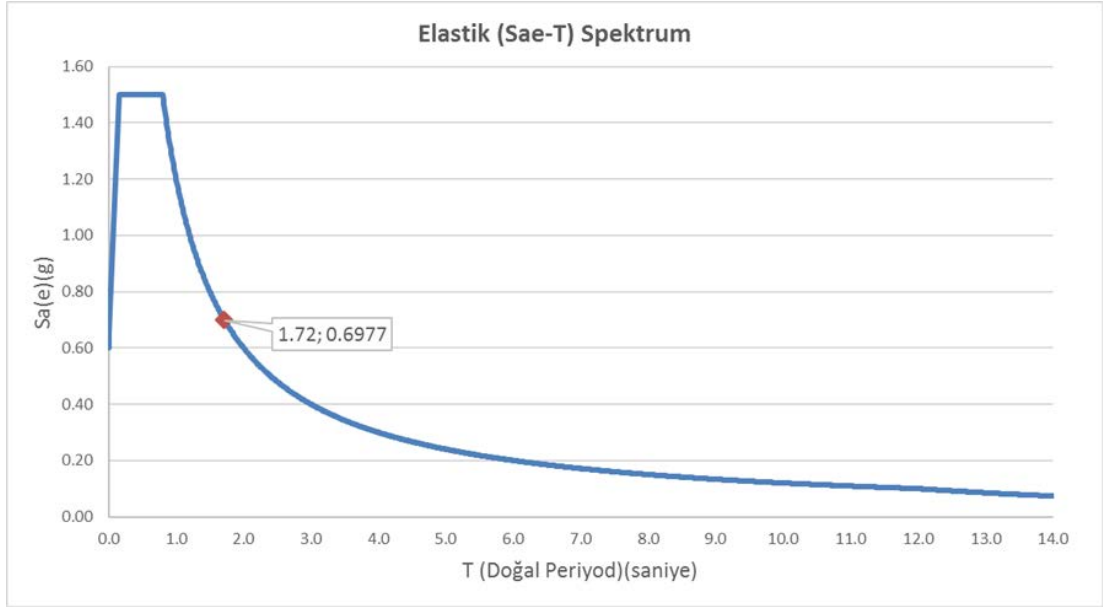
Deprem kayıtları SAP2000 programına tanıtılmış ve zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılmıştır. Yapılan her deprem kaydının analizinde davranış spektrumları elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra her bir kayıt için çıkartılan davranış spektrumları bina elastik spektrumuna ölçeklenmiştir. Bina spektruma ölçeklenen dört deprem kaydı ile tekrardan analizler yapılmış ve kontrol amaçlı tepe deplasmanlarına bakılmıştır. Kontrol sağladıktan sonra ölçeklenen deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ikinci mertebe etkilerini de dikkate alarak Bölüm 5.1.7’de yapılmıştır. Örnek temsil etmesi için LA09 deprem kaydının SAP2000 programında zaman tanım alanında doğrusal analiz adımları ve ölçeklendirilmesi gösterilmiştir.

Öncelikle 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmelikte yer alan Denklem (2.2) yardımı ile binanın I.Mod titreşim periyoduna ($T=1.72$ saniye) karşılık gelen yer ivmesi bulunmuş ve spektrum analizi yapılmıştır.

$$\bullet S_{ae}(T) = \frac{1.2}{1.72} = 0.6977(g) \quad (0.8 \text{ s} \leq 1.72 \text{ s} \leq 12 \text{ s})$$

Ayrıca I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değeri Şekil 5.28’de gösterilmiştir.

Elastik spektrumlu yük analiz parametreleri Şekil 5.29’da gösterildiği gibi SAP2000 programına tanıtılmıştır (spektrum birimi cm/s^2 dir).



Şekil 5.28: Binanın I.Mod periyoduna karşılık gelen yer ivmesi.

The screenshot shows the "Load Case Type" dialog box in SAP2000. The "Load Case Name" is "EQ_RESPONSE". The "Load Case Type" is "Response Spectrum". The "Directional Combination" is "SRSS". The "Mass Source" is "Previous (MSSSRC1)". The "Diaphragm Eccentricity" is "0.0". The "Modal Load Case" is "MODAL". The "Loads Applied" table shows one load: "Accel" with "Load Name" "U1", "Function" "Response_Spec", and "Scale Factor" "981.04". The "Other Parameters" section shows "Modal Damping" set to "Constant at 0.05".

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Response_Spec	981.04

Şekil 5.29: SAP2000 programında davranış spektrumlu yük tanımlanması.

Spektrum analizi sonucunda binanın tepe deplasmanı 71.19 cm olarak okunmuş olup spektral analiz adımları tamamlanmıştır. Bu aşamadan sonra LA09 deprem kaydının ölçeklendirilmesi işlemine başlanmıştır.

LA09 deprem kaydı zaman tanım alanında doğrusal olan parametreleri SAP2000 programına Şekil 5.30’da gösterildiği gibi tanımlanmış ve analizi yapılmıştır.

Function Name LA_09

Define Function

Time	Value
0.	2.1183
0.02	0.4569
0.04	-0.9795
0.06	1.9966
0.08	5.253
0.1	-1.2782
0.12	-5.0625
0.14	-2.8223

Function Graph

Display Graph (23.7178 , 9.3242)

Load Case Name LINEAR_TIME_LA_09

Stiffness to Use

☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State

☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Modal Load Case

Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	LA_09	1

Analysis Type

☒ Linear

☐ Nonlinear

History Type

☒ Transient

☐ Periodic

Solution Type

☐ Modal

☒ Direct Integration

Mass Source

MSSSRC1

Time Step Data

Number of Output Time Steps 4000

Output Time Step Size 0.02

Other Parameters

Damping Proportional Damping

Time Integration Hilber-Hughes-Taylor

OK Cancel

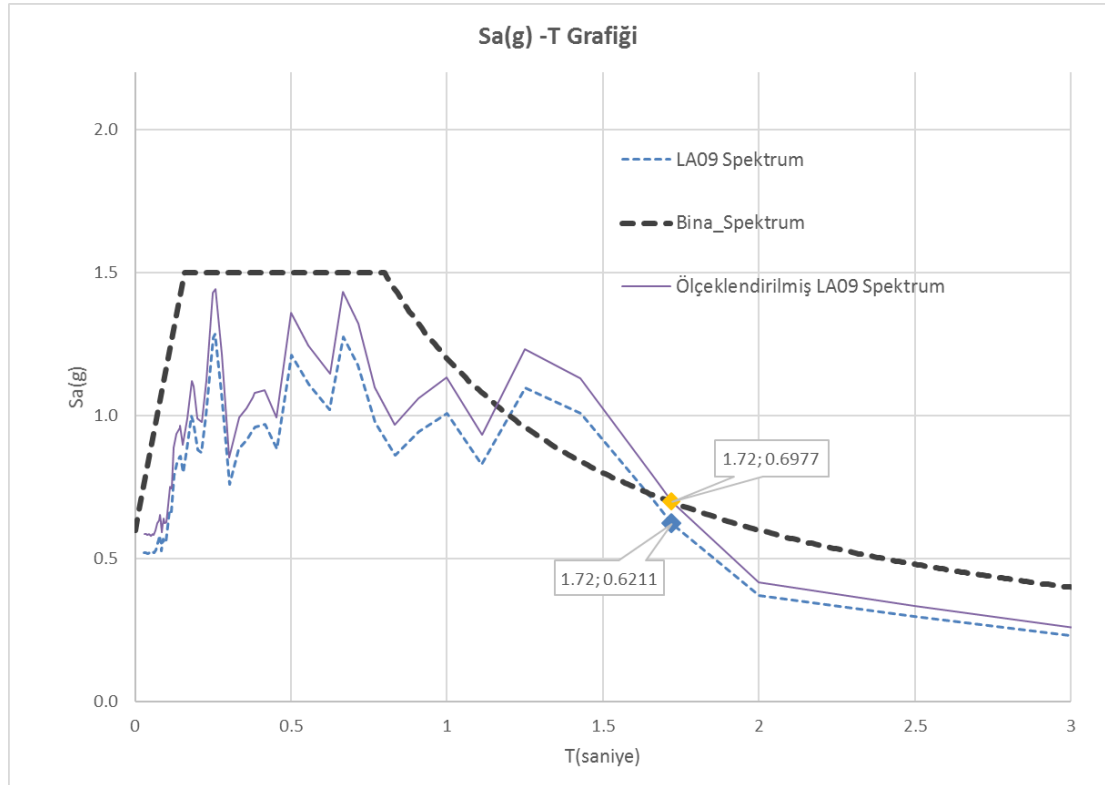
Şekil 5.30: SAP2000 programında LA09 deprem kaydı analiz parametreleri.

Analiz sonucunda oluşan yeni tepki spektrumunda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen yer ivmesi değeri SAP2000’den 0.621 g olarak okunmuştur (Şekil 5.31).

Ölçekleme katsayısı, bina elastik davranış spektrumunda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerinin (0.6977) LA09 deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal analizden oluşan yeni spektrumda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerine (0.621) oranı olarak hesaplanmıştır.

$$\bullet \text{ Ölçekleme Katsayısı} = \frac{0.6977}{0.6211} \rightarrow \text{Ölçekleme Katsayısı} = 1.123$$

LA09 analiz sonucu oluşan yeni spektrum 1.123 katsayısı ile büyütülüp bina spektrumuna ölçeklenmiştir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31: LA09 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.

LA09 Deprem kaydı 1.123 katsayısı ile yeniden ölçeklendirilmiş ve zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılmıştır. SAP2000 ortamında ölçekleme işlemi Şekil 5.32’de gösterilmiştir.

Load Case Name
 LINEAR_TIME_LA_09 Set Def Name Modify/Show...

Stiffness to Use
☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
☐ Stiffness at End of Nonlinear Case ...
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case
 Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	LA_09	1.123
Accel	U1	LA_09	1.123

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data
 Number of Output Time Steps: 4000
 Output Time Step Size: 0.02

Other Parameters
 Damping: Proportional Damping Modify/Show...
 Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Load Case Type
 Time History Design...

Analysis Type
☒ Linear
☐ Nonlinear

Solution Type
☐ Modal
☒ Direct Integration

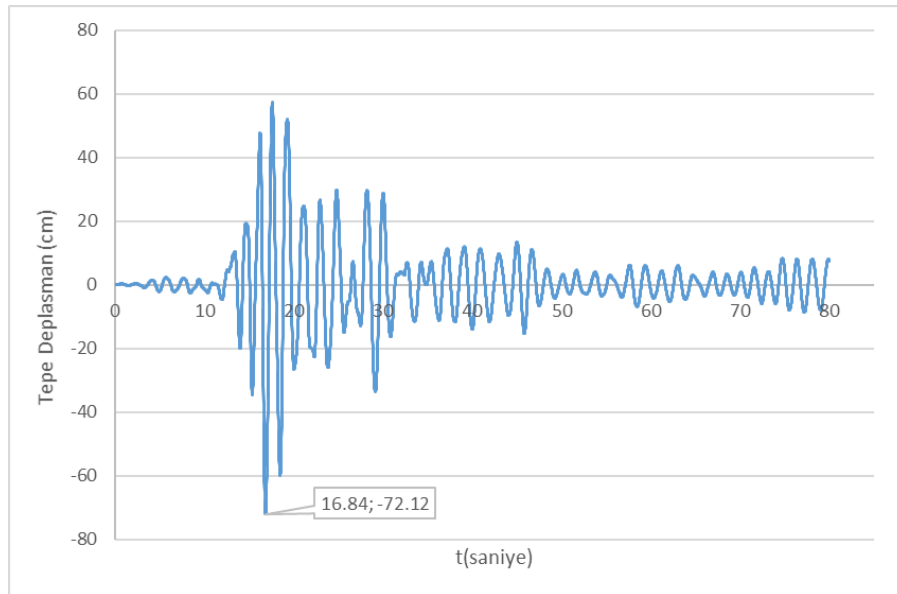
History Type
☒ Transient
☐ Periodic

Mass Source
 MSSSRC1

OK Cancel

Şekil 5.32: SAP2000 programında LA09 deprem kaydının ölçeklendirilmesi.

Analiz sonucunda tepe deplasman – zaman grafiği çizdirilmiştir (Şekil 5.33). Oluşan maksimum tepe deplasmanı ise 72.12 cm olarak okunmuştur.



Şekil 5.33: Ölçeklenmiş LA09 deprem kaydının analizi sonucunda elde edilen tepe deplasman zaman grafiği.

Spektrum analizi sonucunda elde edilen tepe deplasman ise 71.19 cm olarak ölçülmüştü. Görüldüğü üzere ölçeklenmiş yeni deprem kaydıyla yapılan analiz sonucunda elde edilen maksimum tepe deplasman ile spektrum analizinden elde edilen tepe deplasman birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu kontrol ölçekleme işleminin kontrolünü sağlamıştır.

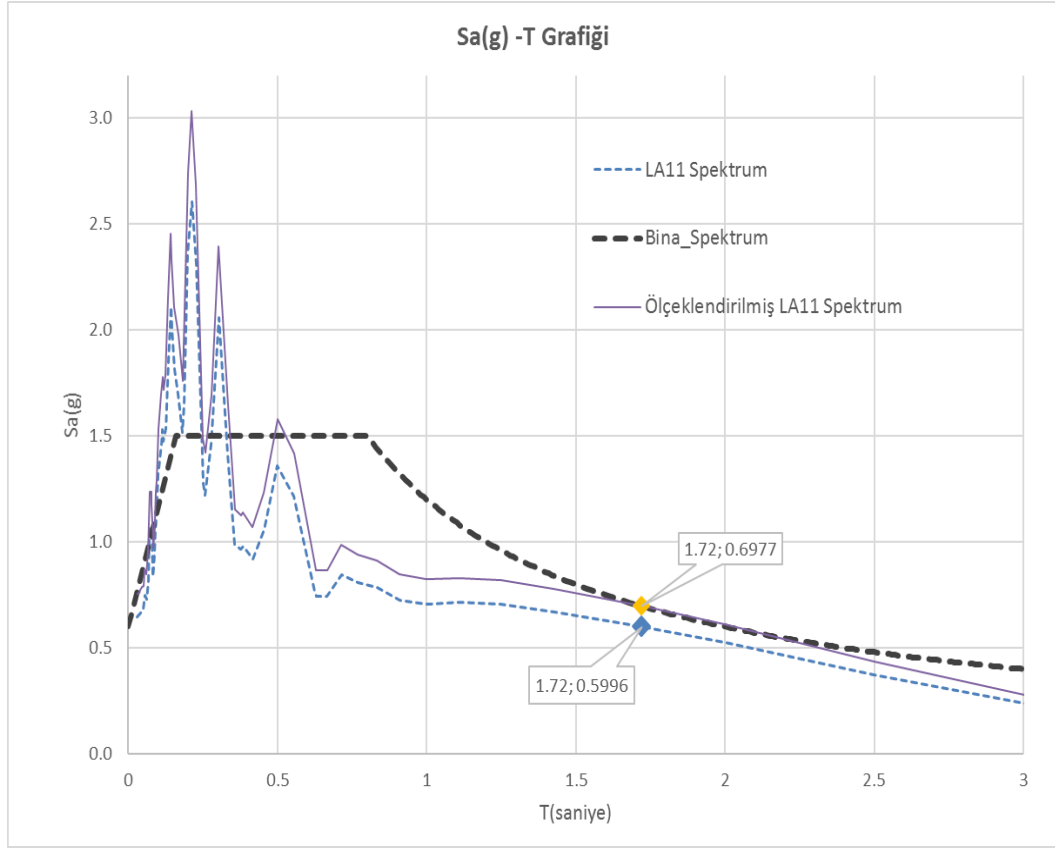
LA09 deprem kaydındaki ölçeklendirilmede yapılan hesap adımlarının aynısı LA11, LA16 ve LA18 deprem kayıtlarının içinde yapılmış ölçekleme katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5.9’da gösterilmiştir.

Bu ölçeklemiş deprem kayıtları ile analizler tekrardan yapılmış ve maksimum tepe deplasmanları okunmuştur (Tablo 5.9). Spektrum analizi sonucunda elde edilen tepe deplasmanına yakın değerler çıktığı görülmüştür.

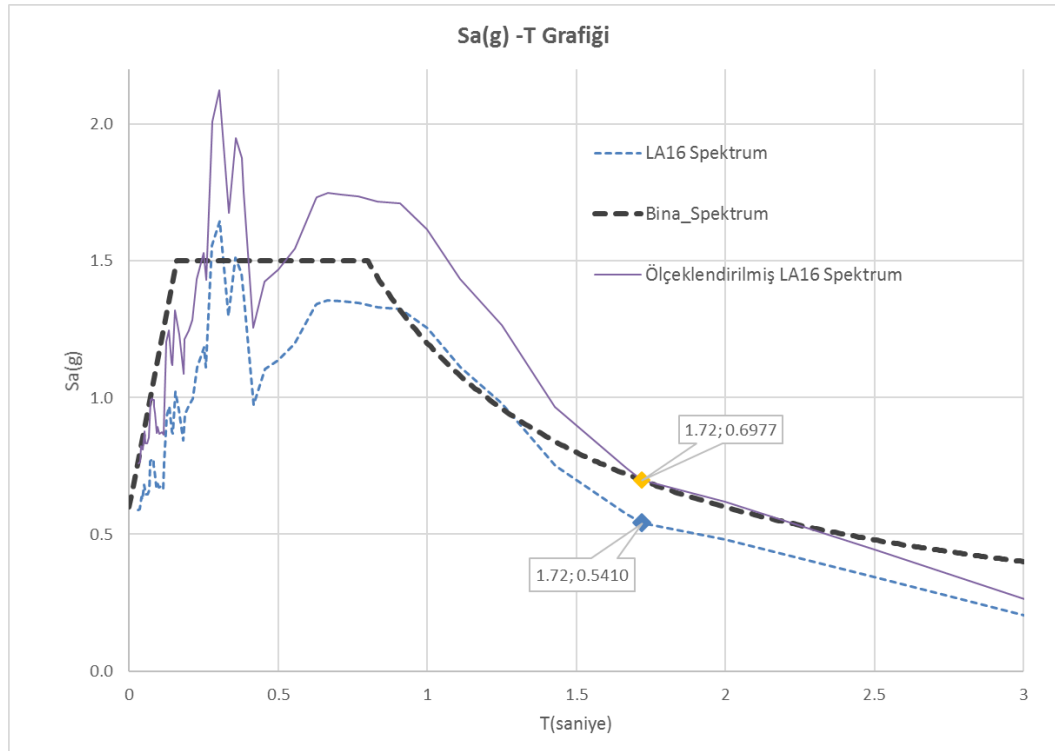
Tablo 5.9: Deprem kayıtlarının bina spektrumuna göre ölçeklenmesi.

Deprem Kaydı	T=1.72 saniye için Sa(g)	Ölçekleme Katsayısı	Mak.Tepe Deplasman (cm)
LA09 Deprem	0.6211	1.123	72.12
LA11 Deprem	0.5996	1.163	68.89
LA16 Deprem	0.5410	1.290	71.66
LA18 Deprem	0.6923	1.008	68.89

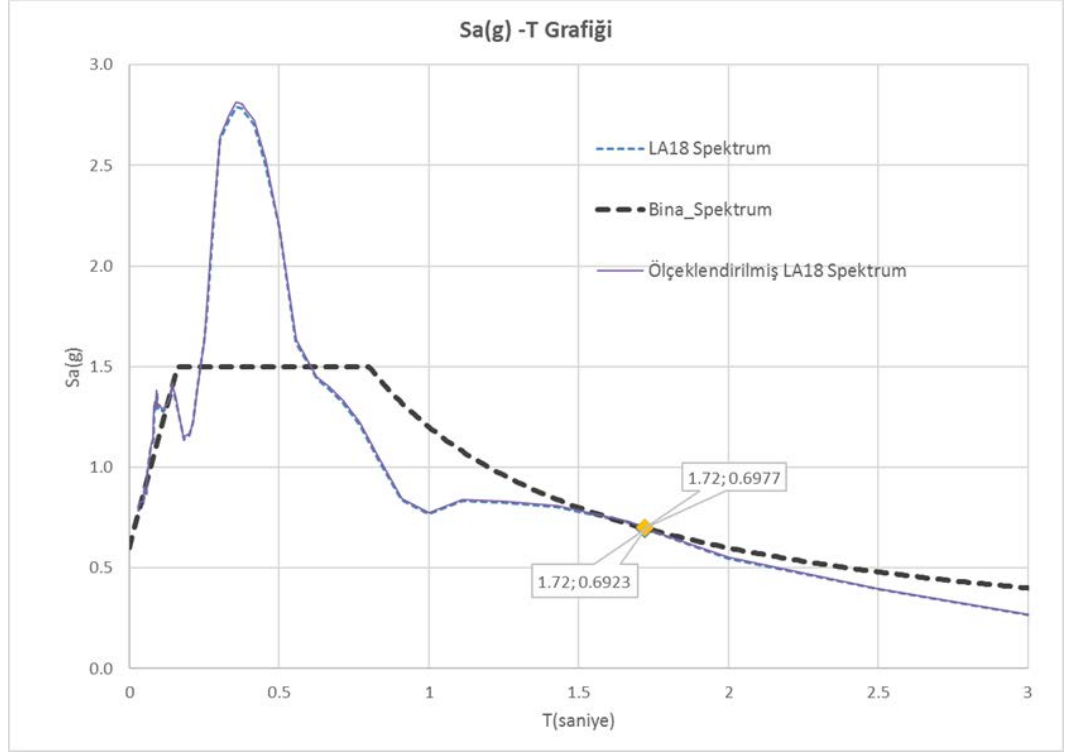
LA11, LA16 ve LA18 deprem kayıtlarının bina spektrumuna göre ölçeklemesi işlemi ayrıca sırasıyla Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’da gösterilmiştir.



Şekil 5.34: LA11 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.



Şekil 5.35: LA16 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.



Şekil 5.36: LA18 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.

5.1.6.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik analizlere başlamadan önce deprem kayıtlarının artımsal olarak doğrusal ölçeklendirilmesi yapılmıştır.

Artımsal Dinamik Analizler her deprem kaydının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin 0.1g-1.0g aralığında 0.1g'lik artımlarla artırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deprem kayıtlarının $T=1.72$ saniyeye karşılık gelen $S_a(g)$ değerleri daha önceden gösterilmişti. Bu ivme değerleri Bölüm 5.1.6.1'de yapılan hesaplara benzer ancak her bir 0.1g adımları için ayrı ayrı artımsal olarak ölçeklendirilmiştir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10'da yer alan $SF_{(i)}$ seçilen herhangi bir deprem kaydından oluşan spektrumun $T=1.72$ saniyeye (Hakim periyoda) karşılık gelen yer ivmesi değeridir.

Örneğin $SF_{0.4}$, deprem kayıtlarından oluşan spektrumda $T=1.72$ saniye karşılık gelen yer ivme değeri 0.4 g olarak ölçülür.

Tablo 5.10: Deprem kayıtlarının artımsal ölçeklenmesi.

ARTIMSAL İVME		LA09 DEPREM	LA11 DEPREM	LA16 DEPREM	LA18 DEPREM
IDA	S _a (g)	Ölç.Katsayısı	Ölç.Katsayı	Ölç.Katsayısı	Ölç.Katsayısı
SF _{0.0}	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
SF _{0.1}	0.10	0.161	0.167	0.185	0.144
SF _{0.2}	0.20	0.322	0.333	0.370	0.289
SF _{0.3}	0.30	0.483	0.500	0.555	0.433
SF _{0.4}	0.40	0.644	0.667	0.739	0.578
SF _{0.5}	0.50	0.805	0.833	0.924	0.722
SF _{0.6}	0.60	0.966	1.000	1.109	0.867
SF _{0.7}	0.70	1.127	1.167	1.294	1.011
SF _{0.8}	0.80	1.288	1.333	1.479	1.156
SF _{0.9}	0.90	1.449	1.500	1.664	1.300
SF _{1.0}	1.00	1.610	1.667	1.848	1.444
SF _{0.6977}	0.6977	1.123	1.163	1.290	1.008

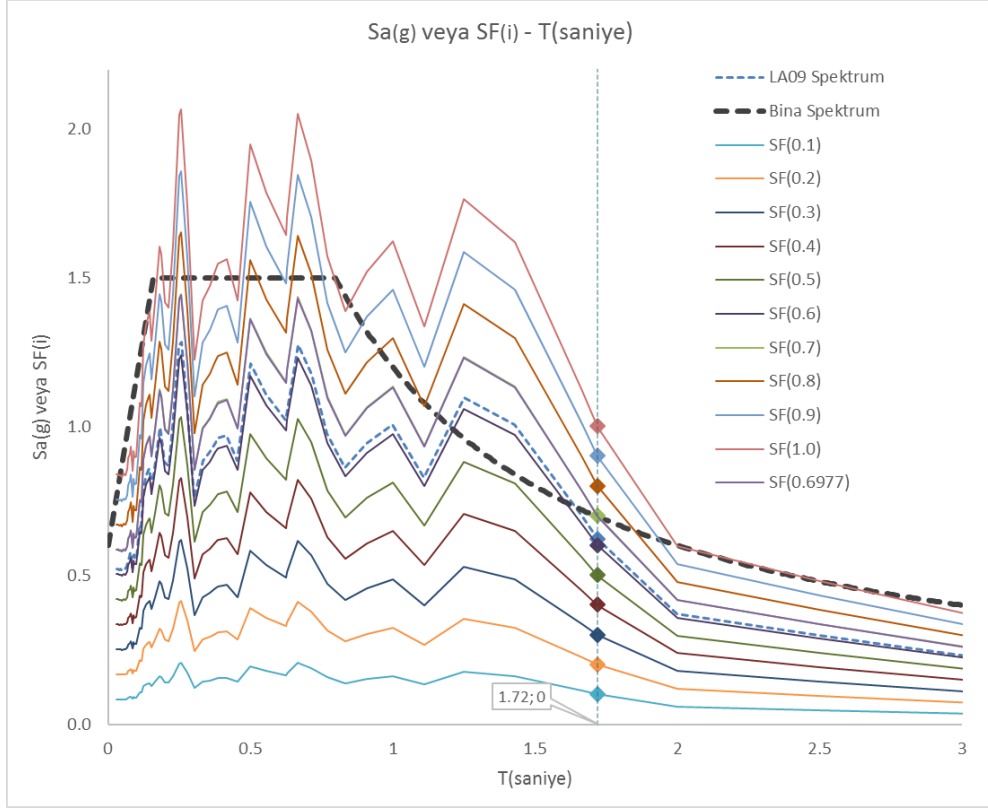
Örnek teşkil etmesi için LA09 Deprem Kaydı SF_{0.9} hesabı yapılmıştır. LA09 deprem kaydının spektrumunda T=1.72 saniyeye karşılık gelen ivme değeri 0.6211 (g) olarak hesaplamıştık (Şekil 5.31). Bu ivme değerini 0.90 (g)' ye ölçeklemek için;

$$\bullet \text{ Ölç. Katsayısı} = \frac{0.90}{0.6211} \rightarrow \text{Ölç. Katsayısı} = 1.449 \text{ olarak bulunur.}$$

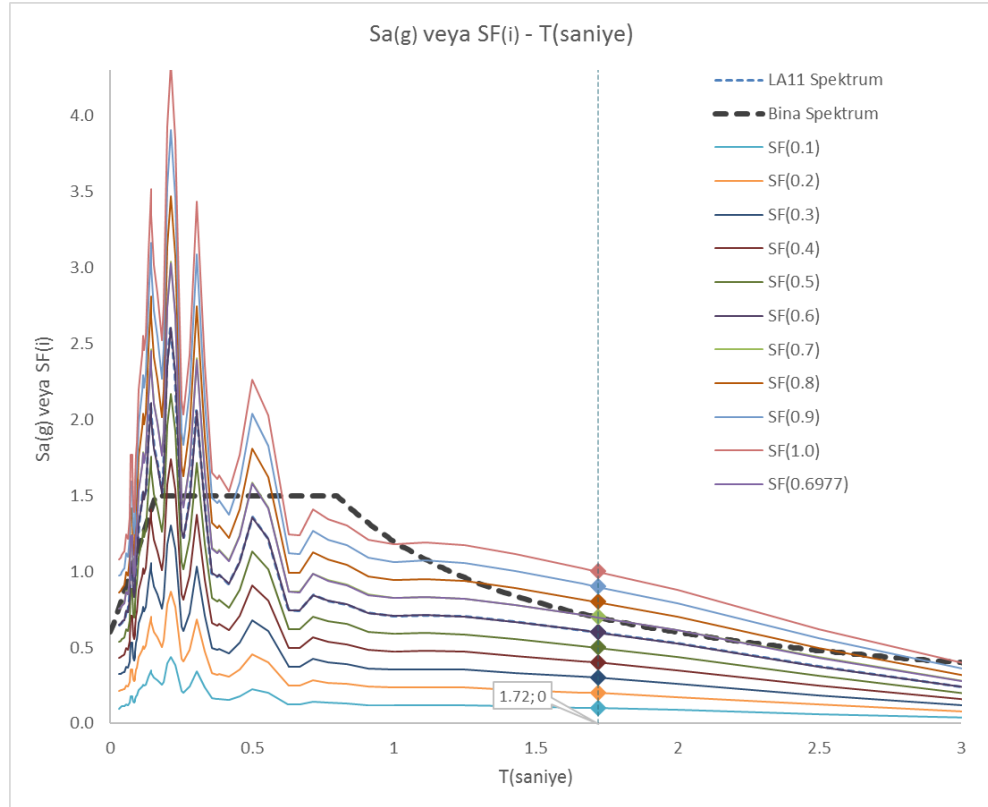
SF_{0.6977} değerleri bina elastik spektruma ölçeklenmiş katsayılar olup Tablo 5.9'dan alınmıştır.

LA09 ve diğer deprem kayıtları için Tablo 5.10'da yer alan değerlerinin grafik olarak gösterimi sırasıyla Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da sunulmuştur.

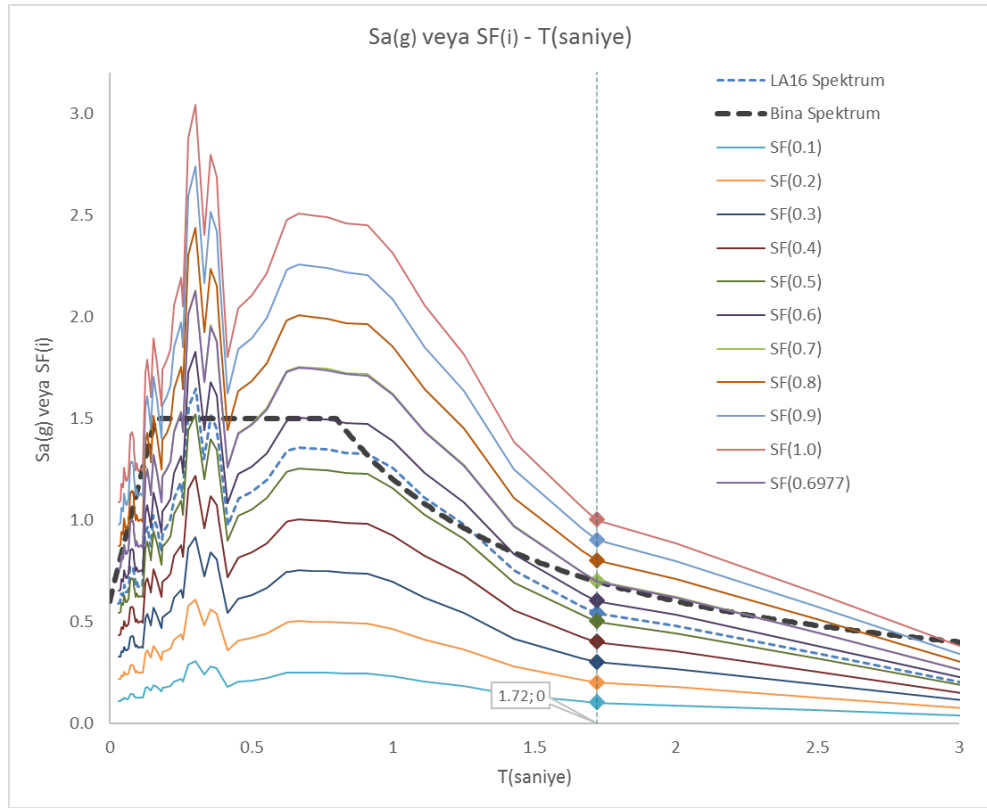
Ölçeklenmiş toplam 44 adet deprem kaydı SAP2000 programına tanıtılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmaya hazır hale getirilmiştir.



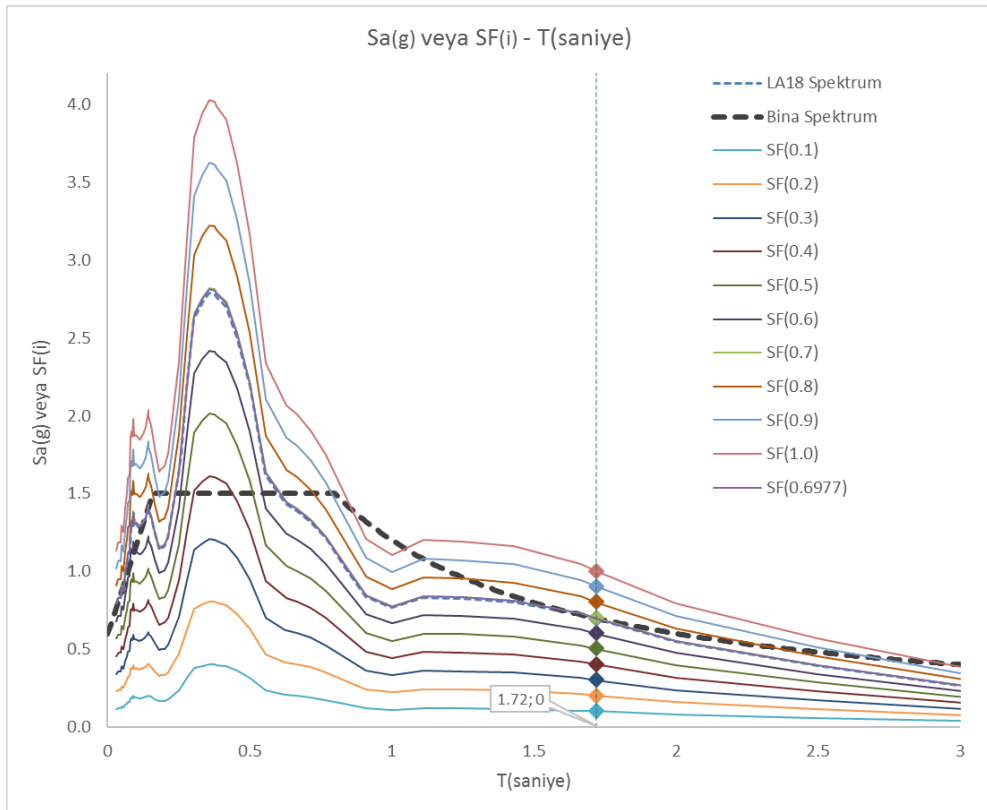
Şekil 5.37: LA09 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.



Şekil 5.38: LA11 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.



Şekil 5.39: LA16 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.



Şekil 5.40: LA18 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.

5.1.7. Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması

Bu bölüme kadarki adımlarda sistem modeli ve malzeme özellikleri oluşturulmuş, kesitler atanmış, yükler ve elastik spektrum tanımlanmış, DYT kolonlar eklenmiş, kirişlerin yanal öteleme kontrolü yapılmış, kiriş ve kolonların plastik mafsalları ve rijit bölgeler belirlenmiş, modal parametreler hesaplanmış, sönüm fonksiyonu çizilmiş, deprem kayıtları seçilmiş ve bütün deprem kayıtları bina spektrumuna ve 0.1g-1.0g aralığında 0.1g'lik artımlarla artırılmasıyla toplam 44 adet ölçeklendirilme yapılmıştır.

Doğrusal olmayan analize başlamadan önce binanın deprem yüklü kombinasyonları oluşturulmuştur. Yapılan bütün doğrusal olmayan analiz adımlarında SAP2000 programı kullanılmıştır.

5.1.7.1. Doğrusal Olmayan Analiz için Başlangıç Koşulunun Oluşturulması

Doğrusal olmayan analize başlamadan önce ölü ve hareketli yüklerin doğrusal olmayan statik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen iç kuvvetler yatay kuvvetlerden oluşan kombinasyonların başlangıç koşulu olmuştur. Düşey yüklerden oluşan kombinasyon ise D.B.Y.B.H.Y de bulunan Denklem (2.5) ile hesaplanmıştır ($G + 0.3Q$).

SAP2000 ortamında bu başlangıç yük durumu Şekil 5.41'de gösterilmiş ve NONLIN_DEAD_LIVE olarak adlandırılmıştır.

Şekil 5.41'de görüldüğü gibi analiz tipi Doğrusal olmayan (Nonlinear) analizdir. Geometrik Doğrusal Olmayan parametreleri (Geometric Nonlinearty Parameters) altında yer alan P-Delta etkileri göz önüne alınmıştır. P-Delta etkileri göz önüne alınmıştır.

Load Case Name
NONLIN_DEAD_LIVE Set Def Name Modify/Show...

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

Modal Load Case
All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	LIVE	0.3

Add Modify Delete

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

Load Case Type
Static Design...

Analysis Type
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

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

Mass Source
Previous

OK Cancel

Şekil 5.41: SAP2000 programında başlangıç yük koşulunun oluşturulması.

5.1.7.2. Doğrusal Olmayan Yük Kombinasyonlarının Oluşturulması

SAP2000 programında toplam 44 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik kombineyonlar oluşturulmuş ve Tablo 5.11’de bütün yük durumları listelenmiştir.

Tablo 5.11: SAP2000 programında yük durumlarının tanıtılması.

YÜKLER VE KOMBİNASYONLAR	TİPİ	BAŞLANGIÇ KOŞULU	DİZAYN TİPİ
DEAD	Statik Yükleme	Sıfır	ÖLÜ
MODAL	Modal Yükleme	Sıfır	DİĞER
LIVE	Statik Yükleme	Sıfır	HAREKETLİ
NONLIN_DEAD_LIVE	Doğrusal Olmayan Statik	Sıfır	ÖLÜ
SCALED_SPECTRUM_NON_LA_09	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.1	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.2	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.3	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.4	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.5	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.6	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.7	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.8	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_0.9	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_09_1.0	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
SCALED_SPECTRUM_NON_LA_11	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.1	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM

Tablo 5.11: Devam.

YÜKLER VE KOMBİNASYONLAR	TİPİ	BAŞLANGIÇ KOŞULU	DİZAYN TİPİ
NON_LA_11_0.2	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.3	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.4	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.5	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.6	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.7	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.8	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_0.9	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_11_1.0	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
SCALED SPECTRUM_NON_LA_16	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.1	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.2	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.3	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.4	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.5	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.6	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.7	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.8	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_0.9	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_16_1.0	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
SCALED SPECTRUM_NON_LA_18	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.1	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.2	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.3	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.4	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.5	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.6	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.7	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.8	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_0.9	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM
NON_LA_18_1.0	Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	NONLIN_DEAD_LIVE	DEPREM

Örnek temsil etmesi için LA09 deprem kaydının 0.2g spektral ivme değerinde (NON_LA_09_0.2 yük durumu) yük tanımlaması SAP2000 ekran görüntüsü Şekil 5.42’de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan analize başlamadan önce tekrar maksatlı ekran görüntüsünde geçen ifadeler aşağıdaki maddelerle hatırlatılmıştır.

- NON_LA_09_0.2 deprem yüklemesinin başlangıç koşulu Bölüm 5.1.7.1’de anlatılan NONLIN_DEAD_LIVE kombinasyonudur.
- Yapılan deprem yüklemesi zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analizdir.
- Ölçekleme katsayısı Bölüm 5.1.6.2’de anlatılmış olup 0.3221 olarak hesaplanmıştır.
- LA 09 depremin kayıt aralığı 0.02 saniye olup 4000 adımdan oluşmaktadır (Bölüm 5.1.6.1).
- P-Delta etkilerini görmek için DYT Kolonlar oluşturulmuştur (Bölüm 5.1.1).
- Sönüm fonksiyonu Bölüm 5.1.5’de anlatılmış ve SAP2000 programına tanıtılmıştır.

Load Case Name: NON_LA_09_02

Load Case Type: Time History

Initial Conditions: ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	LA_09	0.3221

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 4000, Output Time Step Size: 0.02

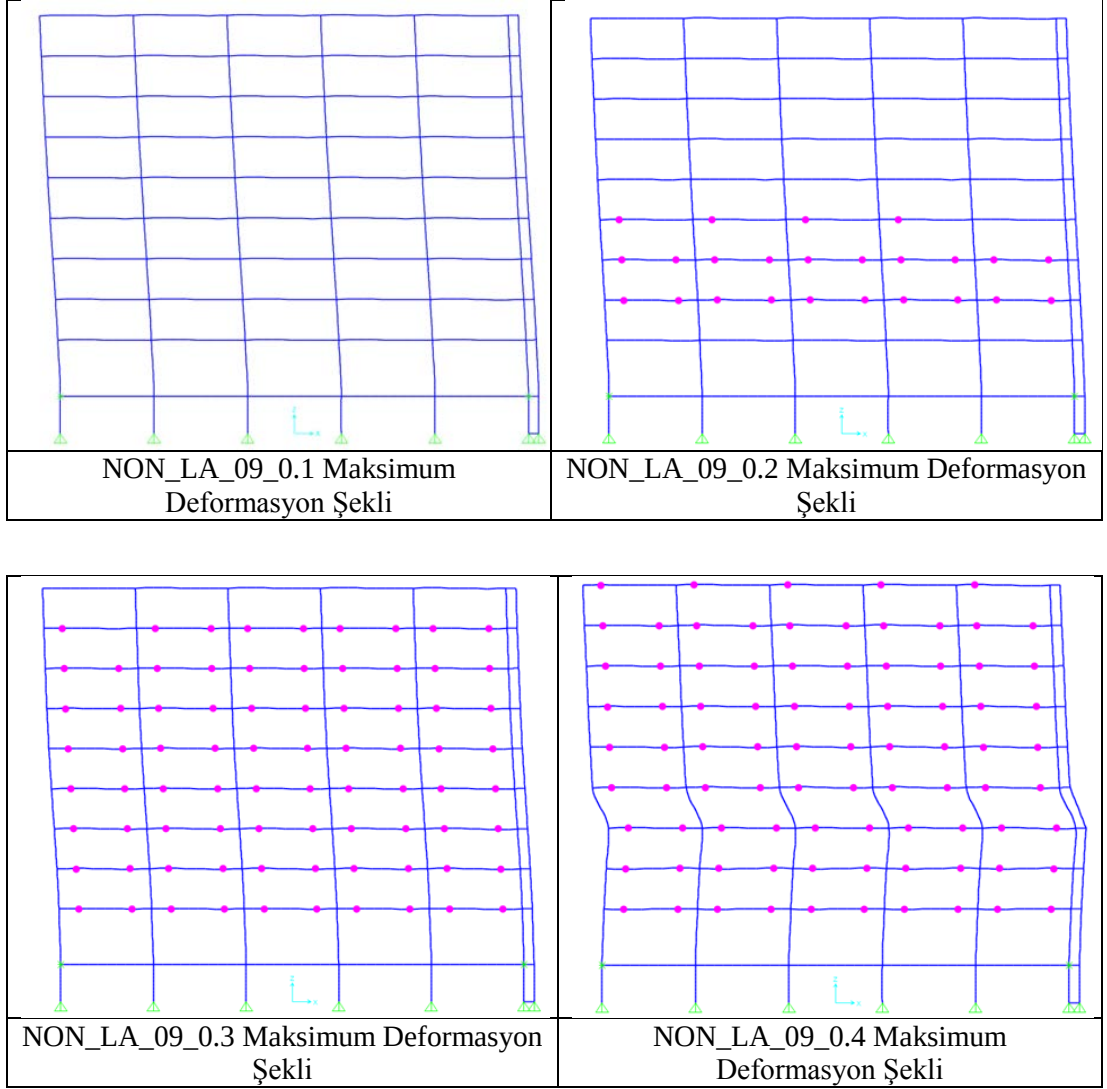
Other Parameters: Damping: Proportional Damping, Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor, Nonlinear Parameters: Default

Şekil 5.42: SAP2000 programında LA09 deprem kaydının 0.2g spektral ivme değerinde yük tanımlanması.

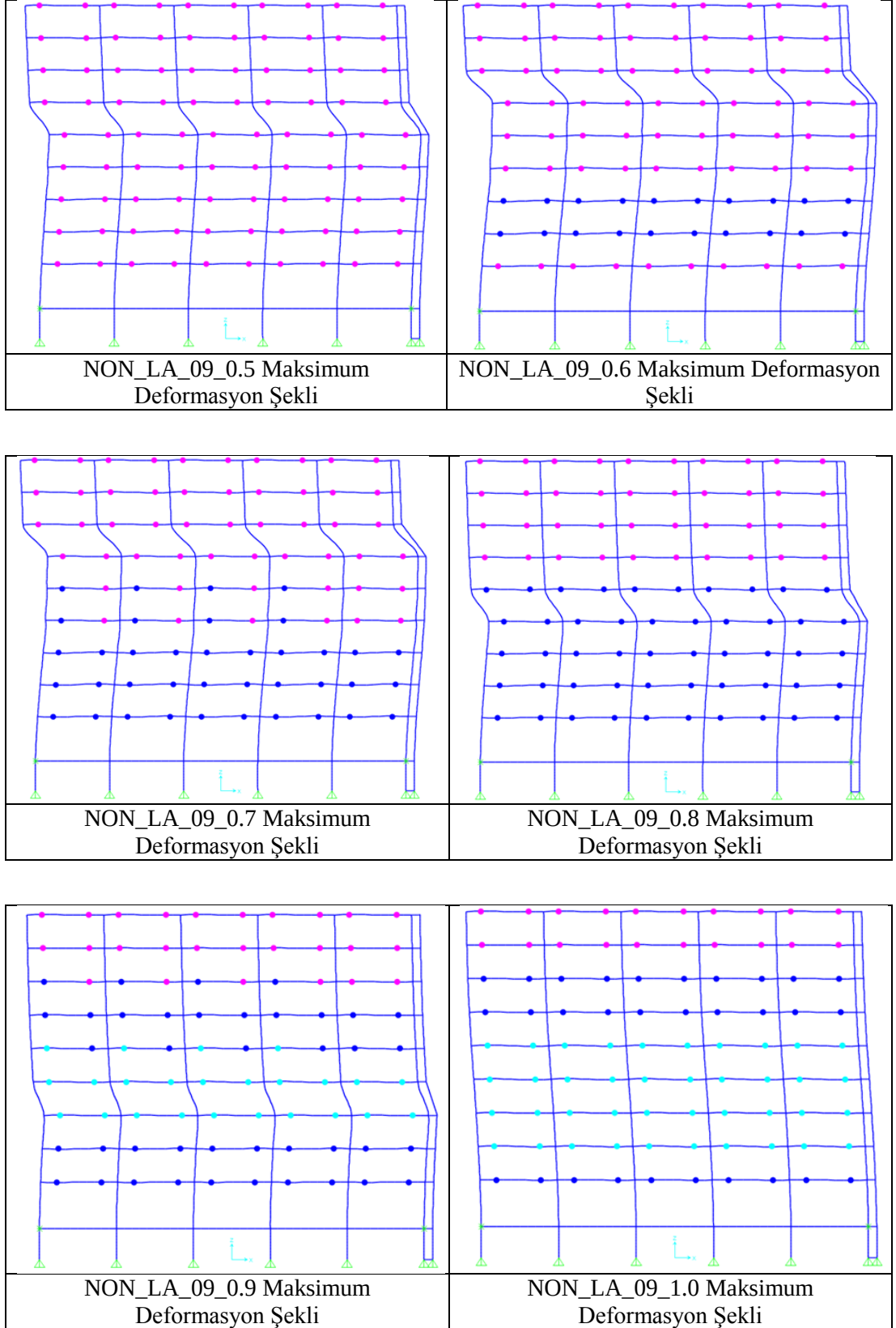
5.1.7.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi yapılması için bütün adımlar SAP2000 programı kullanarak oluşturulmuş ve analiz hazır hala getirilmiştir. Analiz sonucunda her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için sistemde oluşan nümerik değerler (Plastik mafsallı deformasyonları, göreceli kat ötelemeleri... gibi) yorumlanmıştır. Örnek temsil etmesi için binanın LA09 depremi altında 10 adet ölçeklenmiş deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizinde oluşan maksimum deformasyon şekilleri adım adım sunulmuştur (Şekil 5.43). Şekillerden de görüldüğü üzere hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin 0.1g deprem yüklemesinde kirişlerde herhangi bir plastik mafsallaşma meydana gelmemiştir. Kirişlerde ilk plastik mafsallaşma 0.2g deprem yüklemesinde oluşmuştur. Sistemdeki bütün kirişler ise 0.5g deprem yüklemesinde plastik mafsallaşmıştır.

Bu çalışma kapsamında sistem elemanlarının performans değerlendirilmesi yapılmamıştır. Ancak plastik dönme oranları renklerle gösterilmiştir. Kırmızı renk plastik dönme olduğunu, mavi renk 2 kat, turkuaz renk 4 kat ve yeşil renk ise 6 ve 6 kattan büyük dönme oranlarını ifade etmektedir.



Şekil 5.43: LA09 kaydı altında 10 adet ölçeklenmiş depremlerde oluşan maksimum deformasyon şekilleri.



Şekil 5.43: Devam.

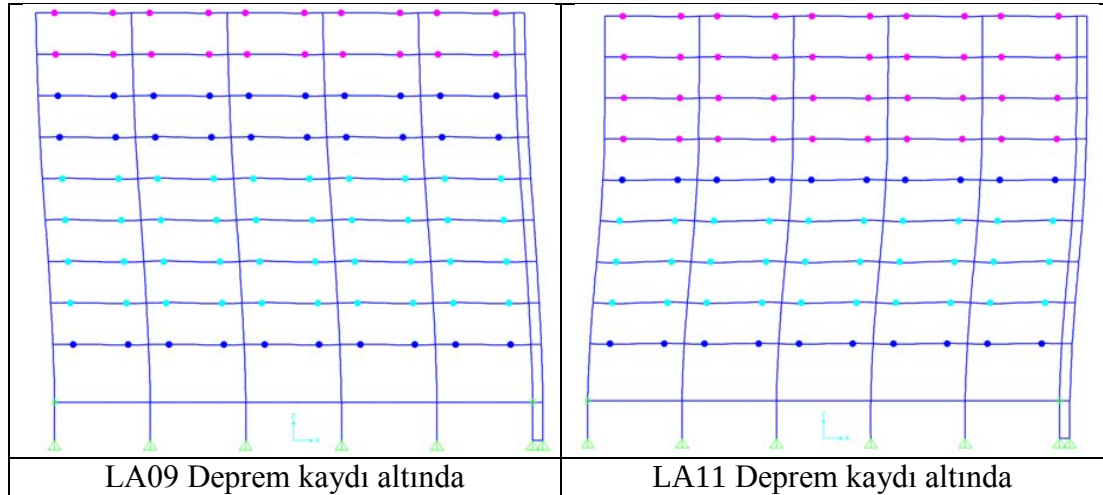
5.1.8. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz sonucunda kolonlarda oluşan doğrusal olmayan davranışlar, kirişlerde oluşan maksimum plastik mafsal dönmeler, sistemde ve katlarda oluşan maksimum göreceli kat öteleme oranları değerlendirilmiştir.

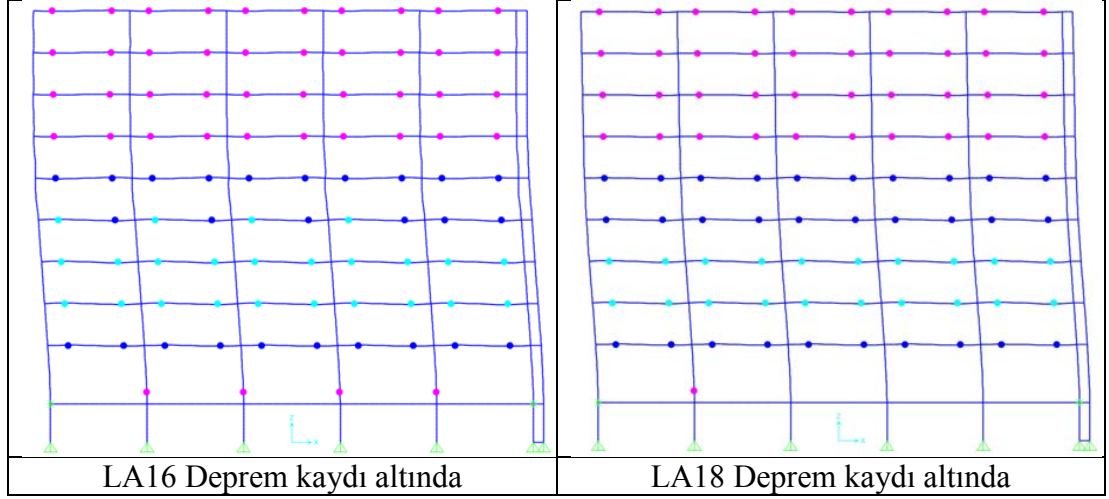
5.1.8.1. Kolonlarda Oluşan Doğrusal Olmayan Davranışın İncelenmesi

Dört farklı deprem kaydı altında ve her deprem kaydı için 0.1g adımlarla artırılmış ve ölçeklenmiş 10 adet ve yapı elastik spektruma ölçeklenmiş 1 adet, toplam 44 adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır.

Bu bölümde 1.0g spektral ivme değerinde ($SF_{1.0}$) binanın her deprem kaydı için doğrusal olmayan en olumsuz davranışı Şekil 5.44’de gösterilmiştir. LA09 ve LA11 depremleri altında 1.0g spektral ivme değerinde kolonlarda herhangi bir doğrusal olmayan davranışa rastlanılmamıştır ancak LA16 ve LA18 depremleri altında ise zemin kat kolonlarında doğrusal olmayan davranışlar gözükmüş ve kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuştur.



Şekil 5.44: Dört deprem kaydı için ($SF_{1.0}$) spektral ivme değerinde doğrusal olmayan en olumsuz deformasyon şekilleri.



Şekil 5.44: Devam.

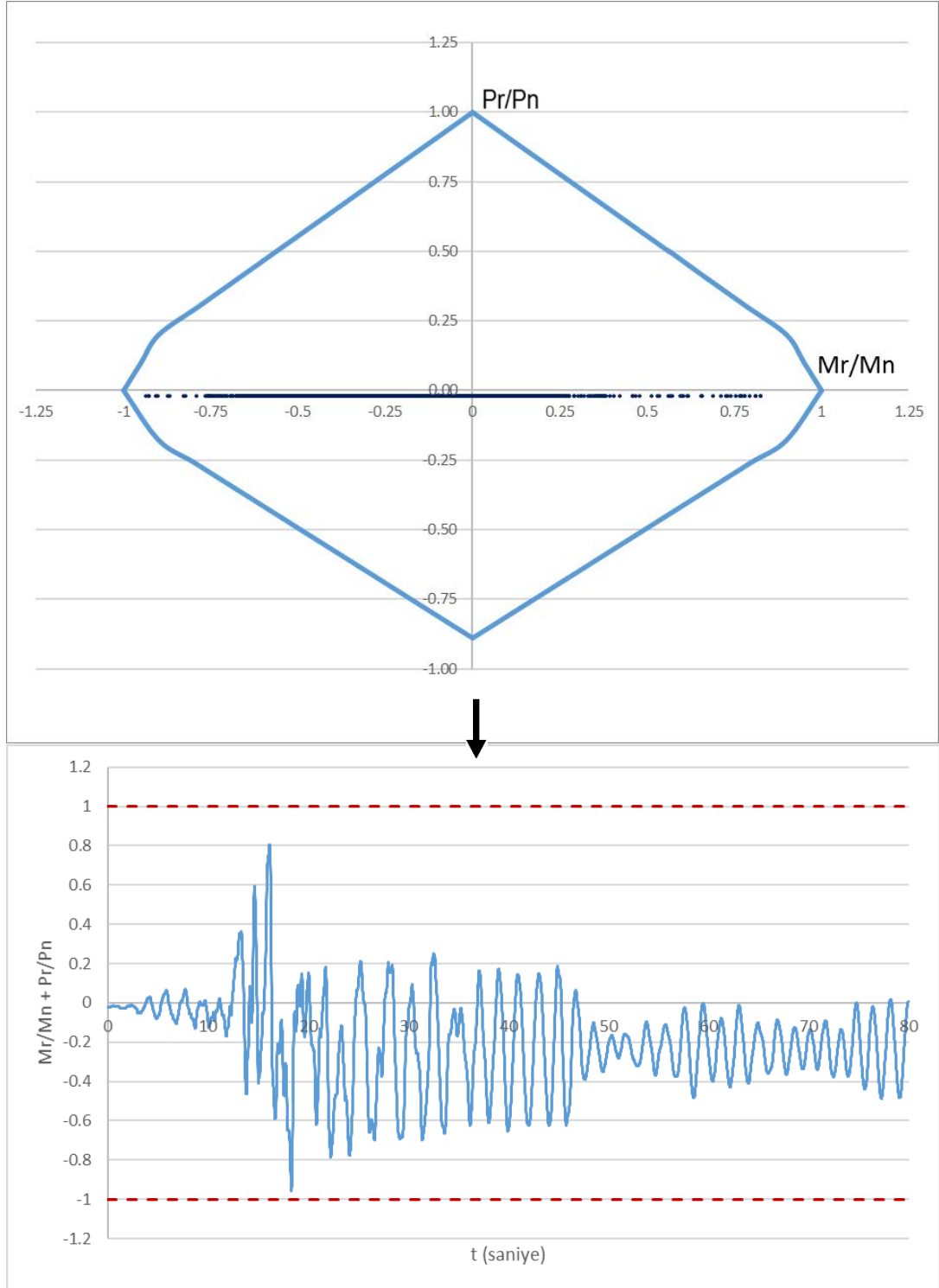
Örnek temsil etmesi için 20 numaralı kolonun (Zemin kat – C aksı) ve 23 numaralı kolonun (Zemin Kat – F aksı) 1.0g spektral ivme değerindeki davranışı LA09 ve LA16 deprem kayıtları için detaylı bir şekilde incelenmiş ve grafik ve tablolarla sunulmuştur.

- 20 Numaralı Kolonun Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi:

20 numaralı kolon zayıf yönünden ana kirişlerle (Y yönü) mafsallı bağlantı yapıldığından zayıf yönünde moment aktarmayacak ve eğilme etkisi göstermeyecektir. Bu yüzden sadece $P - M_x$ etkileşim diyagramı oluşmuştur.

Bölüm 5.1.2.5’de 32 numaralı kolonun $P - M_x$ etkileşim diyagramı oluşturulmuştu. Benzer adımlarla 20 numaralı kolonun hesap detaylarına girilmeden etkileşim diyagramı çizilmiştir (Şekil 5.45).

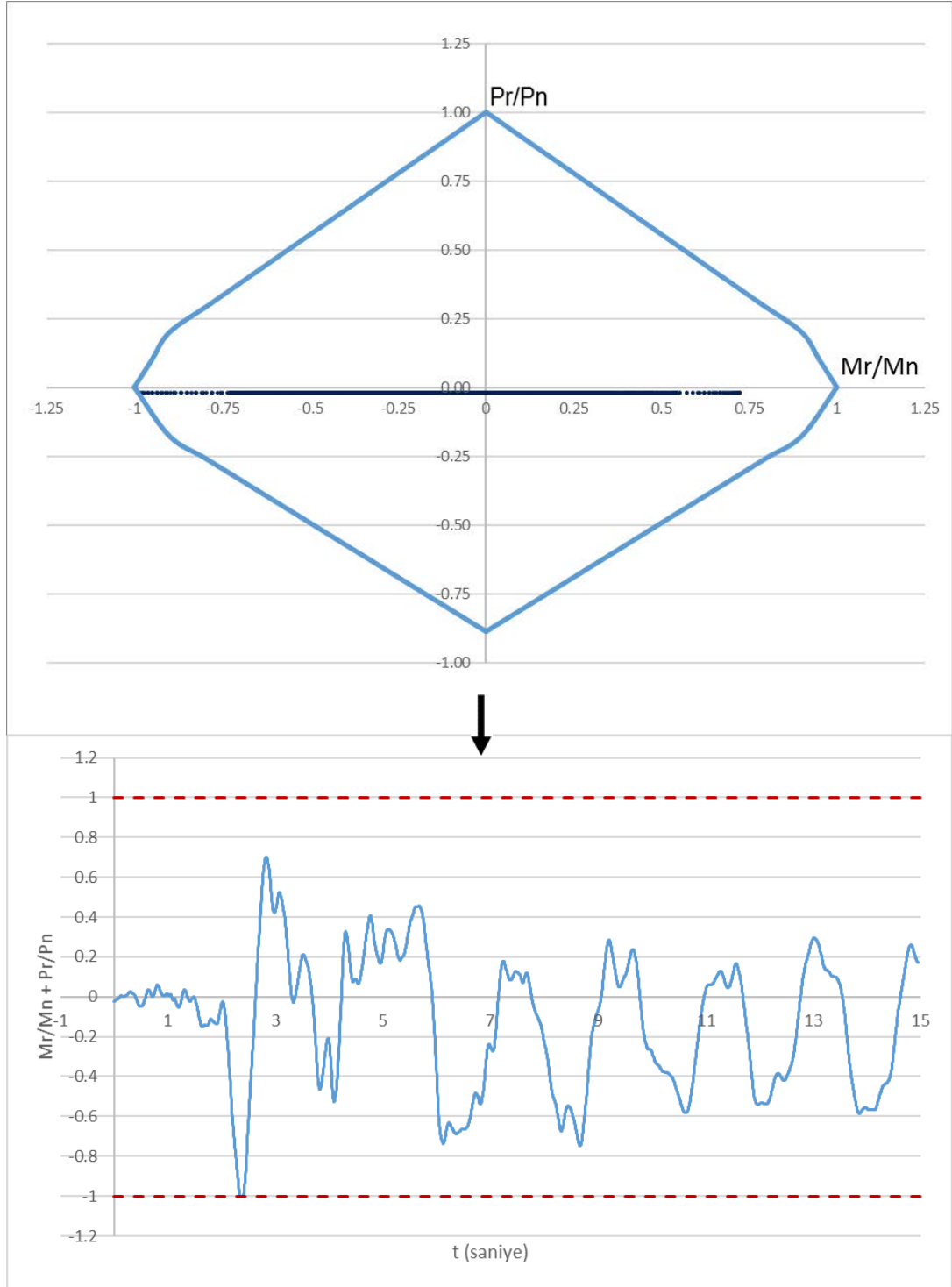
20 numaralı kolonun alt ucu (20 H1 Plastik Mafsal) 1.0g spektral ivme değerinde ve LA09 deprem kaydı altında zamana bağlı değerleri P-M grafiğine işaretlenmiş ve Şekil 5.45’de gösterilmiştir. Ayrıca 20 H1 plastik mafsalın zamana bağlı değerleri $(M_r/M_n + P_r/P_n) \& t(\text{saniye})$ Şekil 5.45’de sunulmuş ve $(M_r/M_n + P_r/P_n)$ değerinin 1.00 değerini hiç ulaşmadığı görülmüştür. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere kolonda doğrusal olmayan davranış gözlenmemiştir.



Şekil 5.45: 20 H1 numaralı plastik mafsallın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA09 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.

20 numaralı kolonun alt ucu (20 H1 Plastik Mafsal) 1.0g spektral ivme değerinde ve LA16 deprem kaydı altında zamana bağlı değerleri P-M grafiğine işaretlenmiş ve Şekil 5.46’da gösterilmiştir. Ayrıca 20 H1 plastik mafsallın zamana bağlı değerleri

$(M_r/M_n + P_r/P_n)$ & $t(\text{saniye})$ Şekil 5.46'da sunulmuş ve $(M_r/M_n + P_r/P_n)$ değerinin 1.00 değerini hiç aşmadığı ancak 1.00 değerine ulaştığı görülmüştür. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere kolonda doğrusal olmayan davranış gözlenmiştir.



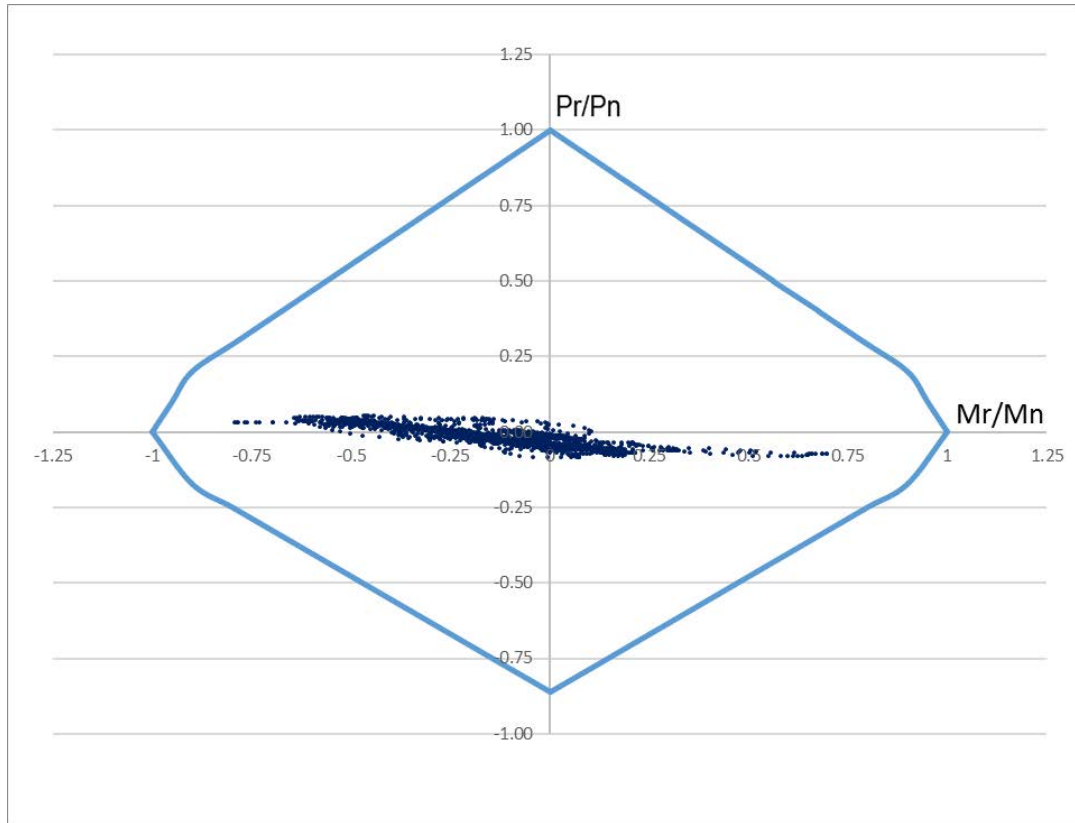
Şekil 5.46: 20 H1 numaralı plastik mafsallın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA16 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.

- 23 Numaralı Kolonun Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi:

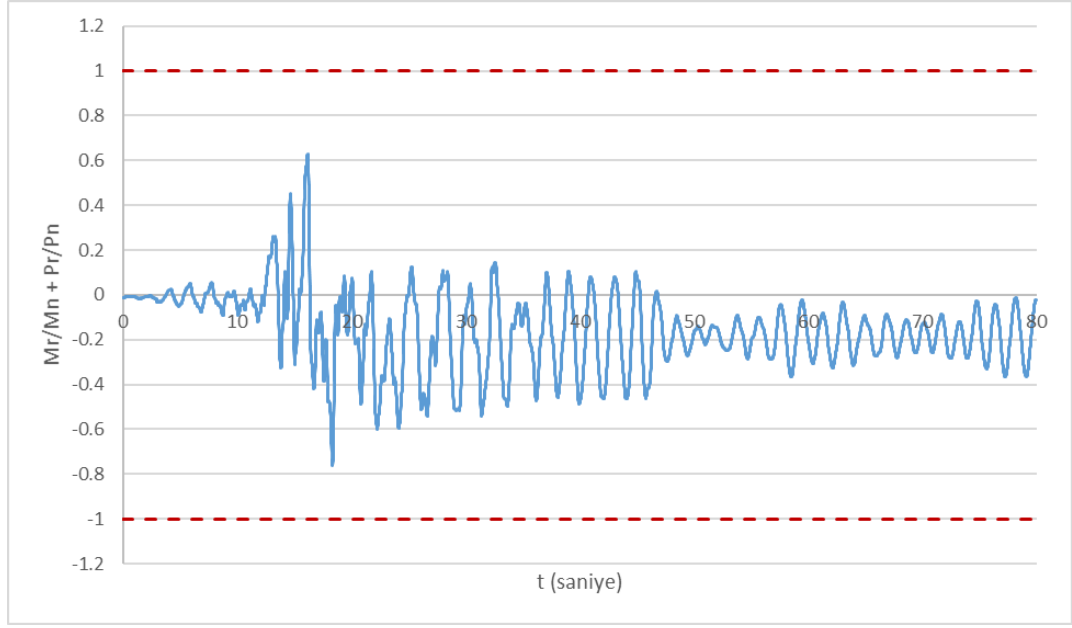
23 numaralı kolon zayıf yönünden ana kirişlerle (Y yönü) mafsallı bağlantı yapıldığından zayıf yönünde moment aktarmayacak ve eğilme etkisi göstermeyecektir. Bu yüzden sadece $P - M_x$ etkileşim diyagramı oluşmuştur.

Bölüm 5.1.2.5’de 32 numaralı kolonun $P - M_x$ etkileşim diyagramı oluşturulmuştu. Benzer adımlarla 23 numaralı kolonun hesap detaylarına girilmeden etkileşim diyagramı çizilmiştir (Şekil 5.47).

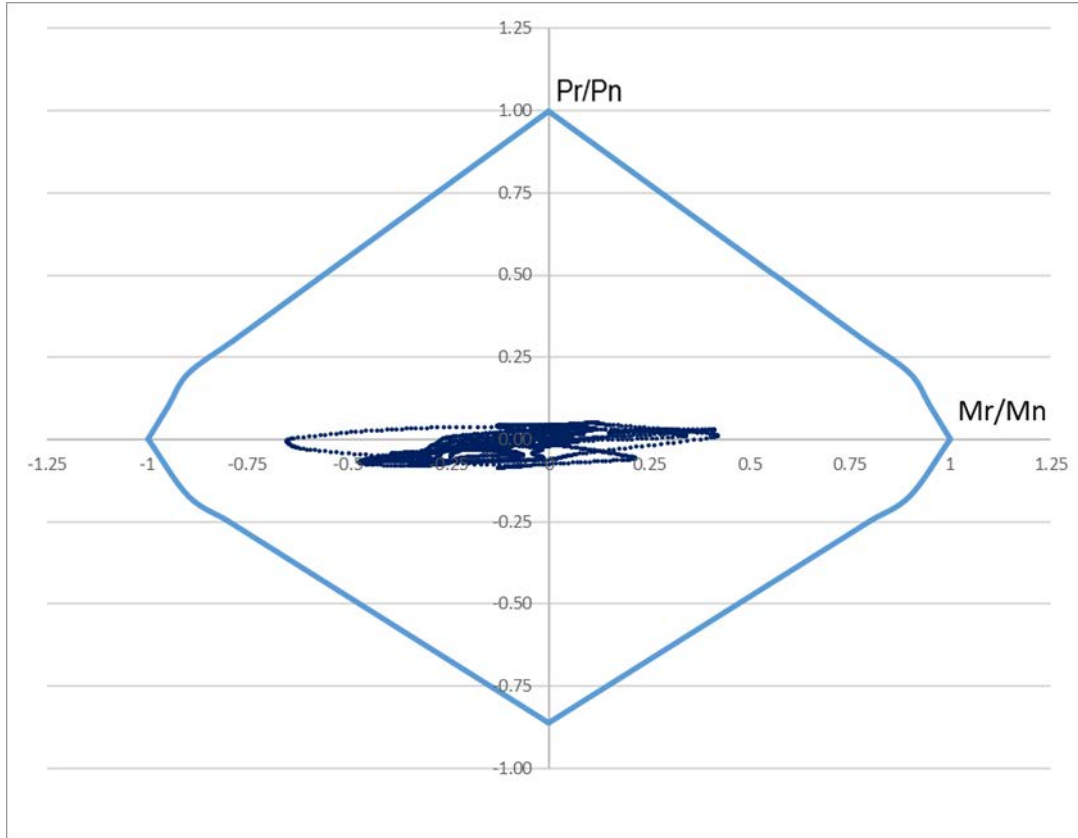
23 numaralı kolonun alt ucu (20 H1 Plastik Mafsal) 1.0g spektral ivme değerinde ve LA09 ve LA16 deprem kayıtları altında zamana bağlı değerleri P-M grafiğine işaretlenmiş ve Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de gösterilmiştir. Ayrıca 20 H1 plastik mafsallın zamana bağlı değerleri ($M_r/M_n + P_r/P_n$) & t(saniye) Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de sunulmuş ve ($M_r/M_n + P_r/P_n$) değerinin 1.00 değerini hiç ulaşmadığı görülmüştür. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere kolonda her iki deprem kaydı altında doğrusal olmayan davranış gözlenmemiştir.



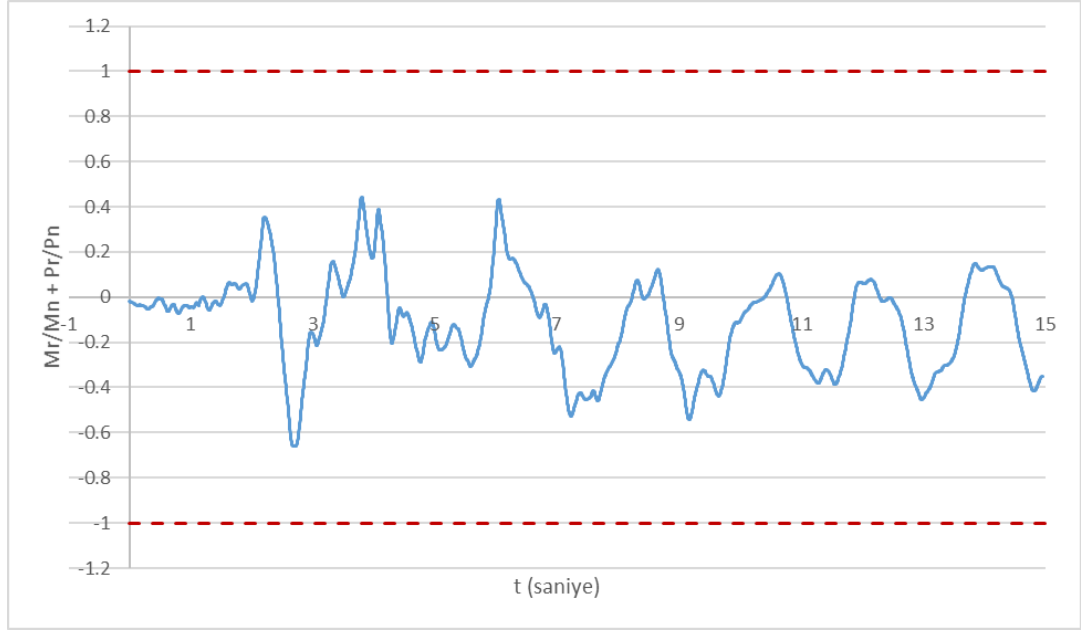
Şekil 5.47: 23 H1 numaralı plastik mafsallın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA09 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.



Şekil 5.47: Devam.



Şekil 5.48: 23 H1 numaralı plastik mafsalsın 1.0 g spektral ivme değeri ve LA16 depremi altındaki zamana bağlı davranışı.



Şekil 5.48: Devam.

5.1.8.2. Kirişlerde Oluşan Maksimum Plastik Dönmelerin Tespiti

Dört farklı deprem kaydı altında ve her deprem kaydı için 0.1g adımlarla artırılmış ve ölçeklenmiş 10 adet ve yapı elastik spektruma ölçeklenmiş 1 adet, toplam 44 adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri SAP2000 programında yapılmıştır.

Her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için bütün kirişlerde oluşan plastik mafsal dönmelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilmiş ve her spektral ivme değeri için maksimum plastik dönmelerinin ortalamaları alınmıştır. Bu tespit yapılırken tablo kalabalığından kaçınmak için SAP2000 ve EXCEL programından yararlanılmış ve özet şeklinde Tablo 5.13 ve Şekil 5.49'da sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.49'da her deprem kaydı için yapı spektruma ölçeklenmiş deprem kaydının ($SF_{0.6977}$) dönme değerleri grafikte işaretlenmiştir.

Örnek temsil etmesi için LA09 deprem kaydının 0.6g spektral ivme değerinde (NON_LA_09_0.6 yük durumu) kirişlerde oluşan plastik mafsal dönmelerinin mutlak değerce maksimum olanı gösterilmiştir Tablo (5.12).

Tablo 5.12: LA09 deprem kaydı altında 0.6g spektral ivme değerinde kirişlerde oluşan plastik mafsallı dönmeleri.

Eleman	Deprem Yüklemesi	Adım Tipi	Mafsallı	Dönme	Eleman	Deprem Yüklemesi	Adım Tipi	Mafsallı	Dönme
-	-	-	-	Radyan	-	-	-	-	Radyan
7	NON_LA_09_06	Mak.	7H1	0.000000	38	NON_LA_09_06	Min.	38H2	-0.016735
7	NON_LA_09_06	Mak.	7H2	0.000000	39	NON_LA_09_06	Mak.	39H1	0.015920
7	NON_LA_09_06	Min.	7H1	0.000000	39	NON_LA_09_06	Mak.	39H2	0.007274
7	NON_LA_09_06	Min.	7H2	0.000000	39	NON_LA_09_06	Min.	39H1	-0.007358
8	NON_LA_09_06	Mak.	8H1	0.000000	39	NON_LA_09_06	Min.	39H2	-0.016848
8	NON_LA_09_06	Mak.	8H2	0.000000	46	NON_LA_09_06	Mak.	46H1	0.015492
8	NON_LA_09_06	Min.	8H1	0.000000	46	NON_LA_09_06	Mak.	46H2	0.008828
8	NON_LA_09_06	Min.	8H2	0.000000	46	NON_LA_09_06	Min.	46H1	-0.009938
9	NON_LA_09_06	Mak.	9H1	0.000000	46	NON_LA_09_06	Min.	46H2	-0.015356
9	NON_LA_09_06	Mak.	9H2	0.000000	47	NON_LA_09_06	Mak.	47H1	0.015270
9	NON_LA_09_06	Min.	9H1	0.000000	47	NON_LA_09_06	Mak.	47H2	0.009100
9	NON_LA_09_06	Min.	9H2	0.000000	47	NON_LA_09_06	Min.	47H1	-0.009643
10	NON_LA_09_06	Mak.	10H1	0.000000	47	NON_LA_09_06	Min.	47H2	-0.015797
10	NON_LA_09_06	Mak.	10H2	0.000000	48	NON_LA_09_06	Mak.	48H1	0.015289
10	NON_LA_09_06	Min.	10H1	0.000000	48	NON_LA_09_06	Mak.	48H2	0.009106
10	NON_LA_09_06	Min.	10H2	0.000000	48	NON_LA_09_06	Min.	48H1	-0.009631
11	NON_LA_09_06	Mak.	11H1	0.000000	48	NON_LA_09_06	Min.	48H2	-0.015813
11	NON_LA_09_06	Mak.	11H2	0.000000	49	NON_LA_09_06	Mak.	49H1	0.015272
11	NON_LA_09_06	Min.	11H1	0.000000	49	NON_LA_09_06	Mak.	49H2	0.009119
11	NON_LA_09_06	Min.	11H2	0.000000	49	NON_LA_09_06	Min.	49H1	-0.009625
24	NON_LA_09_06	Mak.	24H1	0.010706	49	NON_LA_09_06	Min.	49H2	-0.015795
24	NON_LA_09_06	Mak.	24H2	0.002715	50	NON_LA_09_06	Mak.	50H1	0.014959
24	NON_LA_09_06	Min.	24H1	-0.003969	50	NON_LA_09_06	Mak.	50H2	0.009303
24	NON_LA_09_06	Min.	24H2	-0.010021	50	NON_LA_09_06	Min.	50H1	-0.009226
25	NON_LA_09_06	Mak.	25H1	0.009948	50	NON_LA_09_06	Min.	50H2	-0.016131
25	NON_LA_09_06	Mak.	25H2	0.002836	57	NON_LA_09_06	Mak.	57H1	0.009477
25	NON_LA_09_06	Min.	25H1	-0.003136	57	NON_LA_09_06	Mak.	57H2	0.010202
25	NON_LA_09_06	Min.	25H2	-0.010252	57	NON_LA_09_06	Min.	57H1	-0.011284
26	NON_LA_09_06	Mak.	26H1	0.009957	57	NON_LA_09_06	Min.	57H2	-0.009446
26	NON_LA_09_06	Mak.	26H2	0.002836	58	NON_LA_09_06	Mak.	58H1	0.009381
26	NON_LA_09_06	Min.	26H1	-0.003140	58	NON_LA_09_06	Mak.	58H2	0.010559
26	NON_LA_09_06	Min.	26H2	-0.010261	58	NON_LA_09_06	Min.	58H1	-0.011086
27	NON_LA_09_06	Mak.	27H1	0.009948	58	NON_LA_09_06	Min.	58H2	-0.009899
27	NON_LA_09_06	Mak.	27H2	0.002833	59	NON_LA_09_06	Mak.	59H1	0.009386
27	NON_LA_09_06	Min.	27H1	-0.003140	59	NON_LA_09_06	Mak.	59H2	0.010560
27	NON_LA_09_06	Min.	27H2	-0.010251	59	NON_LA_09_06	Min.	59H1	-0.011088
28	NON_LA_09_06	Mak.	28H1	0.009779	59	NON_LA_09_06	Min.	59H2	-0.009915
28	NON_LA_09_06	Mak.	28H2	0.003609	60	NON_LA_09_06	Mak.	60H1	0.009371
28	NON_LA_09_06	Min.	28H1	-0.002959	60	NON_LA_09_06	Mak.	60H2	0.010558
28	NON_LA_09_06	Min.	28H2	-0.011083	60	NON_LA_09_06	Min.	60H1	-0.011087
35	NON_LA_09_06	Mak.	35H1	0.016245	60	NON_LA_09_06	Min.	60H2	-0.009909
35	NON_LA_09_06	Mak.	35H2	0.006928	61	NON_LA_09_06	Mak.	61H1	0.009072
35	NON_LA_09_06	Min.	35H1	-0.007880	61	NON_LA_09_06	Mak.	61H2	0.010617
35	NON_LA_09_06	Min.	35H2	-0.016349	61	NON_LA_09_06	Min.	61H1	-0.010575
36	NON_LA_09_06	Mak.	36H1	0.016210	61	NON_LA_09_06	Min.	61H2	-0.010139
36	NON_LA_09_06	Mak.	36H2	0.007200	68	NON_LA_09_06	Mak.	68H1	0.002892
36	NON_LA_09_06	Min.	36H1	-0.007707	68	NON_LA_09_06	Mak.	68H2	0.009926
36	NON_LA_09_06	Min.	36H2	-0.016736	68	NON_LA_09_06	Min.	68H1	-0.011108
37	NON_LA_09_06	Mak.	37H1	0.016223	68	NON_LA_09_06	Min.	68H2	-0.002700
37	NON_LA_09_06	Mak.	37H2	0.007207	69	NON_LA_09_06	Mak.	69H1	0.002608
37	NON_LA_09_06	Min.	37H1	-0.007732	69	NON_LA_09_06	Mak.	69H2	0.010299
37	NON_LA_09_06	Min.	37H2	-0.016748	69	NON_LA_09_06	Min.	69H1	-0.010831
38	NON_LA_09_06	Mak.	38H1	0.016211	69	NON_LA_09_06	Min.	69H2	-0.003149
38	NON_LA_09_06	Mak.	38H2	0.007182	70	NON_LA_09_06	Mak.	70H1	0.002639
38	NON_LA_09_06	Min.	38H1	-0.007725	70	NON_LA_09_06	Mak.	70H2	0.010300

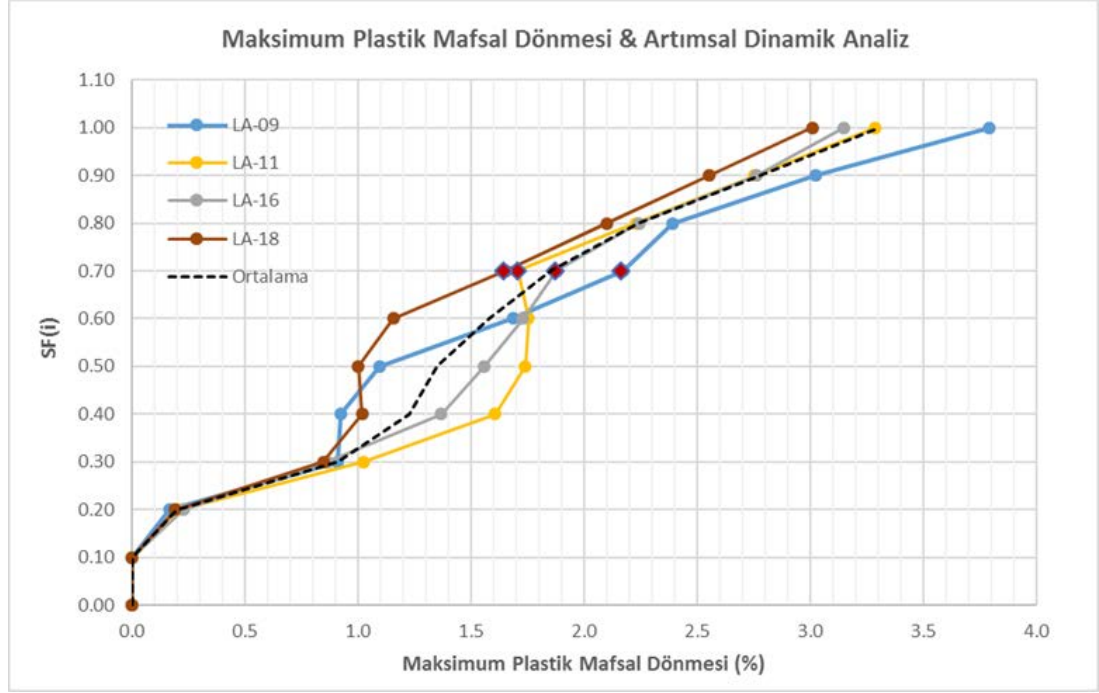
Tablo 5.12: Devam.

Eleman	Deprem Yüklemesi	Adım Tipi	Mafsalsal	Dönme	Eleman	Deprem Yüklemesi	Adım Tipi	Mafsalsal	Dönme
-	-	-	-	Radyan	-	-	-	-	Radyan
70	NON_LA_09_06	Min.	70H1	-0.010828	93	NON_LA_09_06	Min.	93H2	0.000000
70	NON_LA_09_06	Min.	70H2	-0.003167	94	NON_LA_09_06	Mak.	94H1	0.000000
71	NON_LA_09_06	Mak.	71H1	0.002620	94	NON_LA_09_06	Mak.	94H2	0.006987
71	NON_LA_09_06	Mak.	71H2	0.010303	94	NON_LA_09_06	Min.	94H1	-0.006714
71	NON_LA_09_06	Min.	71H1	-0.010828	94	NON_LA_09_06	Min.	94H2	0.000000
71	NON_LA_09_06	Min.	71H2	-0.003136	101	NON_LA_09_06	Mak.	101H1	0.000000
72	NON_LA_09_06	Mak.	72H1	0.002348	101	NON_LA_09_06	Mak.	101H2	0.008722
72	NON_LA_09_06	Mak.	72H2	0.010427	101	NON_LA_09_06	Min.	101H1	-0.010669
72	NON_LA_09_06	Min.	72H1	-0.010278	101	NON_LA_09_06	Min.	101H2	0.000000
72	NON_LA_09_06	Min.	72H2	-0.003570	102	NON_LA_09_06	Mak.	102H1	0.000000
79	NON_LA_09_06	Mak.	79H1	0.000000	102	NON_LA_09_06	Mak.	102H2	0.009368
79	NON_LA_09_06	Mak.	79H2	0.007050	102	NON_LA_09_06	Min.	102H1	-0.010679
79	NON_LA_09_06	Min.	79H1	-0.008172	102	NON_LA_09_06	Min.	102H2	0.000000
79	NON_LA_09_06	Min.	79H2	0.000000	103	NON_LA_09_06	Mak.	103H1	0.000000
80	NON_LA_09_06	Mak.	80H1	0.000000	103	NON_LA_09_06	Mak.	103H2	0.009371
80	NON_LA_09_06	Mak.	80H2	0.007590	103	NON_LA_09_06	Min.	103H1	-0.010682
80	NON_LA_09_06	Min.	80H1	-0.008253	103	NON_LA_09_06	Min.	103H2	0.000000
80	NON_LA_09_06	Min.	80H2	0.000000	104	NON_LA_09_06	Mak.	104H1	0.000000
81	NON_LA_09_06	Mak.	81H1	0.000000	104	NON_LA_09_06	Mak.	104H2	0.009368
81	NON_LA_09_06	Mak.	81H2	0.007607	104	NON_LA_09_06	Min.	104H1	-0.010679
81	NON_LA_09_06	Min.	81H1	-0.008296	104	NON_LA_09_06	Min.	104H2	0.000000
81	NON_LA_09_06	Min.	81H2	0.000000	105	NON_LA_09_06	Mak.	105H1	0.000000
82	NON_LA_09_06	Mak.	82H1	0.000000	105	NON_LA_09_06	Mak.	105H2	0.009164
82	NON_LA_09_06	Mak.	82H2	0.007564	105	NON_LA_09_06	Min.	105H1	-0.009818
82	NON_LA_09_06	Min.	82H1	-0.008278	105	NON_LA_09_06	Min.	105H2	0.000000
82	NON_LA_09_06	Min.	82H2	0.000000	112	NON_LA_09_06	Mak.	112H1	0.005473
83	NON_LA_09_06	Mak.	83H1	0.000000	112	NON_LA_09_06	Mak.	112H2	0.000000
83	NON_LA_09_06	Mak.	83H2	0.007319	112	NON_LA_09_06	Min.	112H1	0.000000
83	NON_LA_09_06	Min.	83H1	-0.007546	112	NON_LA_09_06	Min.	112H2	-0.008778
83	NON_LA_09_06	Min.	83H2	0.000000	113	NON_LA_09_06	Mak.	113H1	0.006109
90	NON_LA_09_06	Mak.	90H1	0.000000	113	NON_LA_09_06	Mak.	113H2	0.000000
90	NON_LA_09_06	Mak.	90H2	0.006231	113	NON_LA_09_06	Min.	113H1	0.000000
90	NON_LA_09_06	Min.	90H1	-0.007846	113	NON_LA_09_06	Min.	113H2	-0.008632
90	NON_LA_09_06	Min.	90H2	0.000000	114	NON_LA_09_06	Mak.	114H1	0.006112
91	NON_LA_09_06	Mak.	91H1	0.000000	114	NON_LA_09_06	Mak.	114H2	0.000000
91	NON_LA_09_06	Mak.	91H2	0.006849	114	NON_LA_09_06	Min.	114H1	0.000000
91	NON_LA_09_06	Min.	91H1	-0.007537	114	NON_LA_09_06	Min.	114H2	-0.008635
91	NON_LA_09_06	Min.	91H2	0.000000	115	NON_LA_09_06	Mak.	115H1	0.006109
92	NON_LA_09_06	Mak.	92H1	0.000000	115	NON_LA_09_06	Mak.	115H2	0.000000
92	NON_LA_09_06	Mak.	92H2	0.006852	115	NON_LA_09_06	Min.	115H1	0.000000
92	NON_LA_09_06	Min.	92H1	-0.007540	115	NON_LA_09_06	Min.	115H2	-0.008632
92	NON_LA_09_06	Min.	92H2	0.000000	116	NON_LA_09_06	Mak.	116H1	0.006097
93	NON_LA_09_06	Mak.	93H1	0.000000	116	NON_LA_09_06	Mak.	116H2	0.000000
93	NON_LA_09_06	Mak.	93H2	0.006849	116	NON_LA_09_06	Min.	116H1	0.000000
93	NON_LA_09_06	Min.	93H1	-0.007537	116	NON_LA_09_06	Min.	116H2	-0.007785

Tablolardan görüldüğü üzere LA09 deprem kaydı altında 0.6g spektral ivme değerinde kirişlerde oluşan maksimum plastik dönme 35 numaralı kirişte (0.016245 radyan), minimum plastik dönme 39 numaralı kirişte (-0.016848 radyan) oluşmuş olup mutlak değerce en büyük plastik dönme 0.016848 radyan (% 1.6848) olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.13: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama plastik dönmeler.

ARTİMSAL İVME		LA09 DEPREM		LA11 DEPREM		LA16 DEPREM		LA18 DEPREM		ORTALAMA
IDA	Sa(g)	Ölç.Katsayısı	Plastik Dönme (%)	Ölç.Katsayı	Plastik Dönme (%)	Ölç.Katsayısı	Plastik Dönme (%)	Ölç.Katsayısı	Plastik Dönme (%)	Plastik Dönme (%)
SF _{0.0}	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SF _{0.1}	0.10	0.161	0.0000	0.167	0.0000	0.185	0.0000	0.1444	0.0000	0.0000
SF _{0.2}	0.20	0.322	0.1657	0.333	0.2060	0.370	0.2255	0.2889	0.1906	0.1970
SF _{0.3}	0.30	0.483	0.9095	0.500	1.0237	0.555	0.8641	0.4333	0.8467	0.9110
SF _{0.4}	0.40	0.644	0.9229	0.667	1.6065	0.739	1.3669	0.5778	1.0167	1.2283
SF _{0.5}	0.50	0.805	1.0929	0.833	1.7390	0.924	1.5590	0.7222	1.0003	1.3478
SF _{0.6}	0.60	0.966	1.6848	1.000	1.7531	1.109	1.7287	0.8667	1.1557	1.5806
SF _{0.7}	0.70	1.127	2.1734	1.167	1.7057	1.294	1.8792	1.0111	1.6539	1.8531
SF _{0.8}	0.80	1.288	2.3892	1.333	2.2282	1.479	2.2418	1.1556	2.0990	2.2396
SF _{0.9}	0.90	1.449	3.0229	1.500	2.7528	1.664	2.7605	1.3000	2.5511	2.7718
SF _{1.0}	1.00	1.610	3.7907	1.667	3.2872	1.848	3.1483	1.4445	3.0093	3.3089
SF _{0.6977}	0.6977	1.123	2.1656	1.163	1.7070	1.290	1.8761	1.0080	1.6429	1.8479



Şekil 5.49: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama plastik dönmeler.

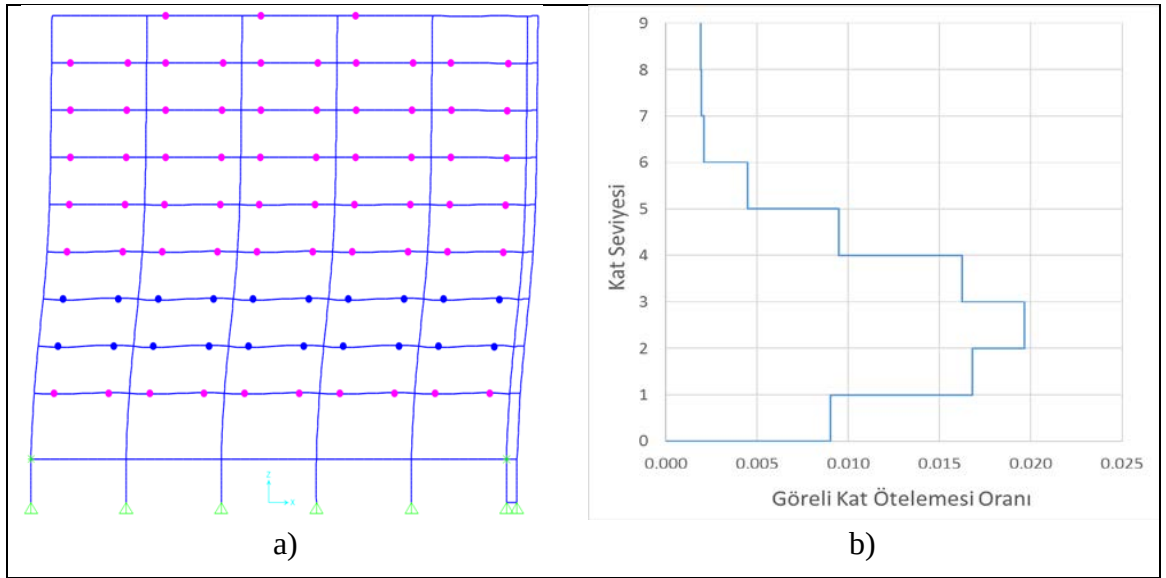
5.1.8.3. Sistemdeki Maksimum Göreli Kat Öteleme Oranının Tespiti

Her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için bütün katlarda oluşan göreli kat ötelemelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilmiş ve her spektral ivme değeri için maksimum göreli kat ötelemeleri ortalamaları alınmıştır. Bu tespit yapılırken tablo kalabalığından kaçınmak için SAP2000 ve EXCEL programından yararlanılmış ve özet şeklinde Tablo 5.16 ve Şekil 5.52’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.52’de her deprem kaydı için yapı spektruma ölçeklenmiş deprem kaydının ($SF_{0.6977}$) maksimum göreli kat öteleme değerleri grafikte işaretlenmiştir.

Örnek temsil etmesi için LA09 deprem kaydının 0.6g spektral ivme değerinde (NON_LA_09_0.6 yük durumu) 16,24. ve 16,80. saniyede sistemde oluşan göreli kat ötelemeleri şekillerle ve tablolarla örneklenmiştir. Sistemde 16,24. ve 16,80 saniyede maksimum ve minimum göreli kat ötelemeleri olduğundan özellikle bu zamanlar seçilmiştir.

Tablo 5.14: t=16,24 saniyede katlarda oluşmuş görelî kat ötelemesi oranları.

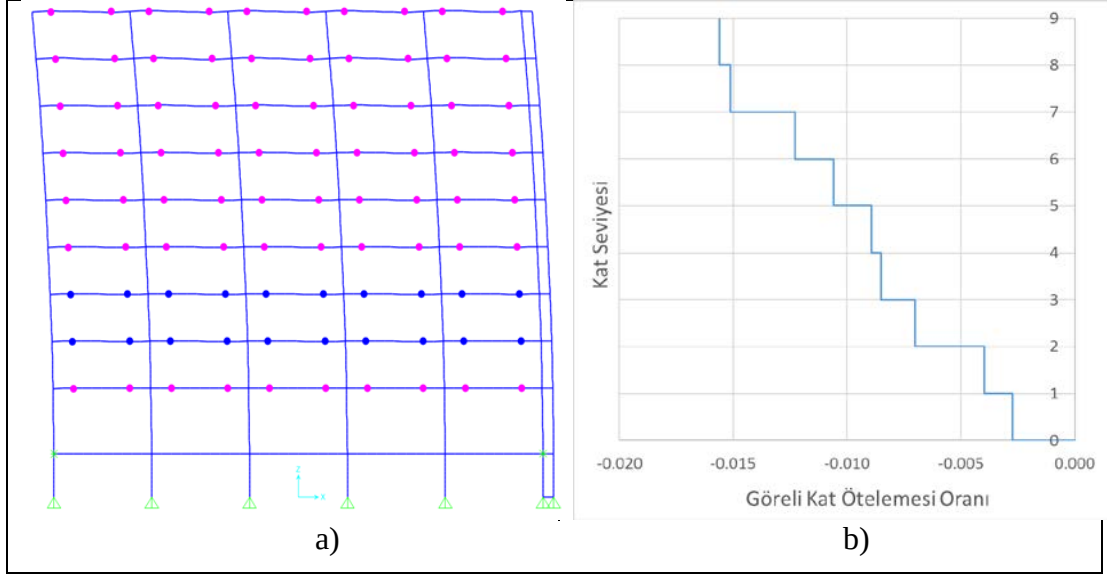
Kat Seviyeleri	Zaman	Deplasman	Görelî Deplasman	Kat Yüksekliği	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
-	saniye	mm	mm	mm	-
9.Kat	16.24	337.21	7.66	3960	0.00193
8.Kat	16.24	329.56	7.76	3960	0.00196
7.Kat	16.24	321.80	8.22	3960	0.00208
6.Kat	16.24	313.58	17.75	3960	0.00448
5.Kat	16.24	295.82	37.51	3960	0.00947
4.Kat	16.24	258.32	64.27	3960	0.01623
3.Kat	16.24	194.05	77.88	3960	0.01967
2.Kat	16.24	116.17	66.48	3960	0.01679
1.Kat	16.24	49.69	49.69	5500	0.00903
Zemin Kat	16.24	0.00	0.00	3650	0.00000



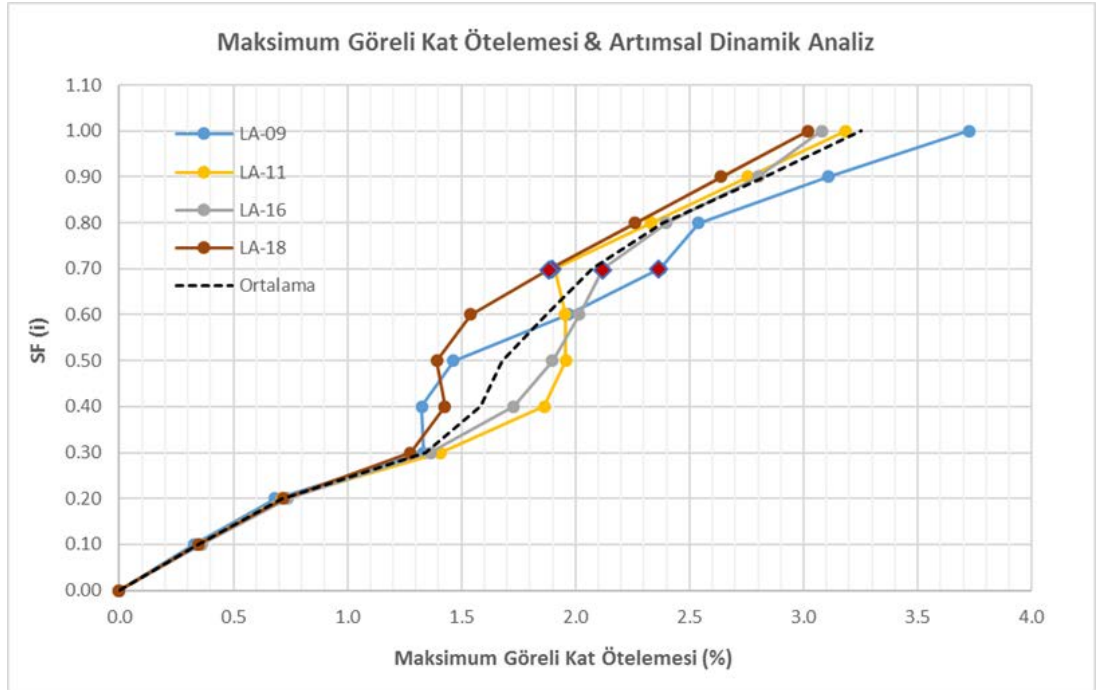
Şekil 5.50: t=16,24 saniyede a) Kat seviyelerinde oluşmuş görelî kat ötelemeleri b) Deformasyon şekli.

Tablo 5.15: t=16,80 saniyede katlarda oluşmuş görelî kat ötelemesi oranları.

Kat Seviyeleri	Zaman	Deplasman	Görelî Deplasman	Kat Yüksekliği	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
-	saniye	mm	mm	mm	-
9.Kat	16.8	-339.84	-61.73	3960	-0.01559
8.Kat	16.8	-278.11	-59.90	3960	-0.01513
7.Kat	16.8	-218.21	-48.64	3960	-0.01228
6.Kat	16.8	-169.58	-42.00	3960	-0.01061
5.Kat	16.8	-127.58	-35.34	3960	-0.00892
4.Kat	16.8	-92.24	-33.72	3960	-0.00851
3.Kat	16.8	-58.52	-27.80	3960	-0.00702
2.Kat	16.8	-30.72	-15.70	3960	-0.00396
1.Kat	16.8	-15.02	-15.02	5500	-0.00273
Zemin Kat	16.8	0.00	0.00	3650	0.00000



Şekil 5.51: $t=16,80$ saniyede kat seviyelerinde oluşmuş görel kat ötelemeleri ve deformasyon şekli.



Şekil 5.52: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama görel kat ötelemeleri.

Tablo 5.16: 4 farklı deprem ve ölçeklenmiş 11 adet kayıt için maksimum ve ortalama görelî kat ötelemeleri.

ARTİMSAL İVME		LA09 DEPREM		LA11 DEPREM		LA16 DEPREM		LA18 DEPREM		ORTALAMA
IDA	Sa(g)	Ölç.Katsayısı	Görelî Öteleme (%)	Ölç.Katsayı	Görelî Öteleme (%)	Ölç.Katsayısı	Görelî Öteleme (%)	Ölç.Katsayısı	Görelî Öteleme (%)	Görelî Öteleme (%)
SF _{0.0}	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SF _{0.1}	0.10	0.161	0.3281	0.167	0.3504	0.185	0.3626	0.1444	0.3481	0.3473
SF _{0.2}	0.20	0.322	0.6823	0.333	0.7136	0.370	0.7361	0.2889	0.7200	0.7130
SF _{0.3}	0.30	0.483	1.3333	0.500	1.4073	0.555	1.3645	0.4333	1.2763	1.3454
SF _{0.4}	0.40	0.644	1.3261	0.667	1.8623	0.739	1.7278	0.5778	1.4270	1.5858
SF _{0.5}	0.50	0.805	1.4652	0.833	1.9575	0.924	1.8992	0.7222	1.3910	1.6782
SF _{0.6}	0.60	0.966	1.9667	1.000	1.9537	1.109	2.0172	0.8667	1.5393	1.8692
SF _{0.7}	0.70	1.127	2.3709	1.167	1.9070	1.294	2.1221	1.0111	1.8911	2.0728
SF _{0.8}	0.80	1.288	2.5384	1.333	2.3304	1.479	2.3972	1.1556	2.2610	2.3817
SF _{0.9}	0.90	1.449	3.1073	1.500	2.7550	1.664	2.8012	1.3000	2.6383	2.8255
SF _{1.0}	1.00	1.610	3.7244	1.667	3.1838	1.848	3.0788	1.4445	3.0209	3.2520
SF _{0.6977}	0.6977	1.123	2.3647	1.163	1.8976	1.290	2.1199	1.0080	1.8821	2.0661

5.1.8.4. Kat Seviyelerinde Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti

Her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için her kat seviyesinde oluşan görelî kat ötelemelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilmiş ve bulunan bu değerlerin ortalaması (maksimum-ortalama) hesaplanmıştır. Bu tespit yapılırken tablo kalabalığından kaçınmak için SAP2000 ve EXCEL Programından yararlanılmış ve özet şeklinde Tablo 5.19 ve Şekil 5.54’de sunulmuştur.

Örnek temsil etmesi için 0.6g spektral ivme değerde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı hesaplanmış ve grafiklerle sunulmuştur. Her kat seviyesindeki mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi farklı zamanlarda gerçekleşebileceğinden grafiklerde maksimum görelî kat ötelemesine karşılık gelen zaman da gösterilmiştir. Ayrıca dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerde maksimum-ortalama görelî kat ötelemesi Şekil (5.53) gösterilmiştir.

Tablo 5.17: Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı.

LA09 DEPREM KAYDI				
Kat Seviyesi	Zaman	Maks.Görelî Kat Öteleme (%)	Min. Görelî Kat Ötelemesi (%)	Mutlak Mak. Görelî Kat Öteleme (%)
-	saniye	-	-	-
9	16.80	0.5616	-1.5588	1.5588
8	16.80	0.5981	-1.5126	1.5126
7	16.88	0.5588	-1.2749	1.2749
6	16.98	0.6226	-1.4224	1.4224
5	17.00	1.1423	-1.5472	1.5472
4	16.30	1.6773	-1.3797	1.6773
3	16.24	1.9667	-1.3195	1.9667
2	16.20	1.7270	-1.0049	1.7270
1	16.16	1.0223	-0.6889	1.0223
Zemin	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
LA11 DEPREM KAYDI				
Kat Seviyesi	Zaman	Maks.Görelî Kat Öteleme (%)	Min. Görelî Kat Ötelemesi (%)	Mutlak Mak. Görelî Kat Öteleme (%)
-	saniye	-	-	-
9	5.16	0.4582	-1.1671	1.1671
8	7.32	0.5034	-1.2862	1.2862
7	7.40	0.5579	-1.4609	1.4609
6	7.40	0.7923	-1.6797	1.6797
5	13.26	1.1268	-1.5039	1.5039
4	5.46	1.4774	-1.8538	1.8538
3	5.48	1.4944	-1.9537	1.9537
2	5.46	1.1364	-1.4075	1.4075
1	4.38	0.7522	-0.7476	0.7522
Zemin	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

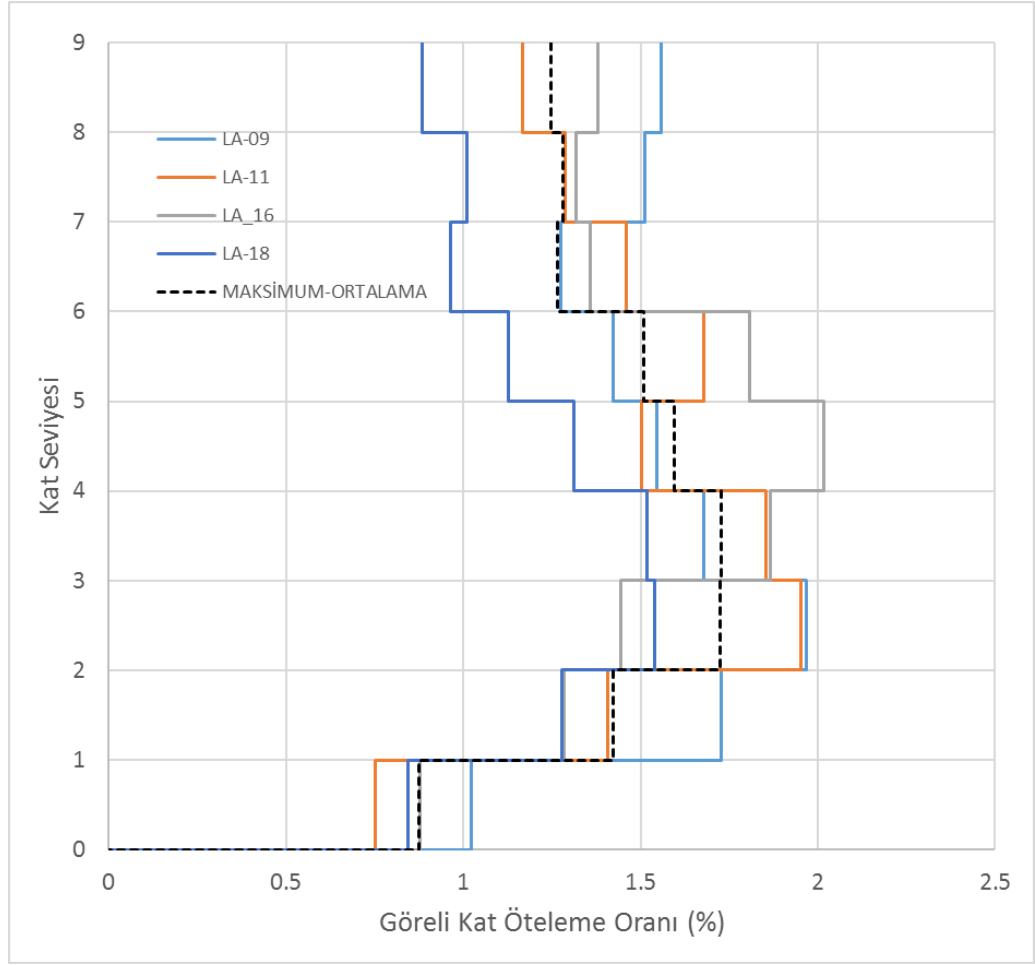
Tablo 5.17: Devam.

LA16 DEPREM KAYDI				
Kat Seviyesi	Zaman	Maks.Goreli Kat Öteleme (%)	Min. Göreli Kat Ötelemesi (%)	Mutlak Mak. Göreli Kat Öteleme (%)
-	saniye	-	-	-
9	4.66	1.3800	-0.7137	1.3800
8	4.65	1.3190	-0.7301	1.3190
7	3.18	1.3589	-0.8582	1.3589
6	3.23	1.8081	-1.0214	1.8081
5	3.27	2.0172	-1.0929	2.0172
4	3.27	1.8678	-1.3456	1.8678
3	2.50	1.3536	-1.4445	1.4445
2	2.44	0.8080	-1.2832	1.2832
1	2.39	0.5746	-0.8777	0.8777
Zemin	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
LA18 DEPREM KAYDI				
Kat Seviyesi	Zaman	Maks.Goreli Kat Öteleme (%)	Min. Göreli Kat Ötelemesi (%)	Mutlak Mak. Göreli Kat Öteleme (%)
-	saniye	-	-	-
9	4.32	0.8843	-0.8343	0.8843
8	8.54	0.7071	-1.0106	1.0106
7	8.56	0.5474	-0.9639	0.9639
6	4.02	0.6150	-1.1264	1.1264
5	3.96	0.8778	-1.3134	1.3134
4	3.92	1.2871	-1.5180	1.5180
3	3.86	1.3651	-1.5393	1.5393
2	3.80	1.1404	-1.2778	1.2778
1	3.76	0.7667	-0.8446	0.8446
Zemin	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Dört deprem kaydı için her kat seviyesindeki mutlak maksimum göreli kat ötelemeleri Tablo 5.18’de birleştirilmiştir ve ortalaması alınmıştır. Şekil 5.53’de bu ortalama değerler grafik ile sunulmuştur.

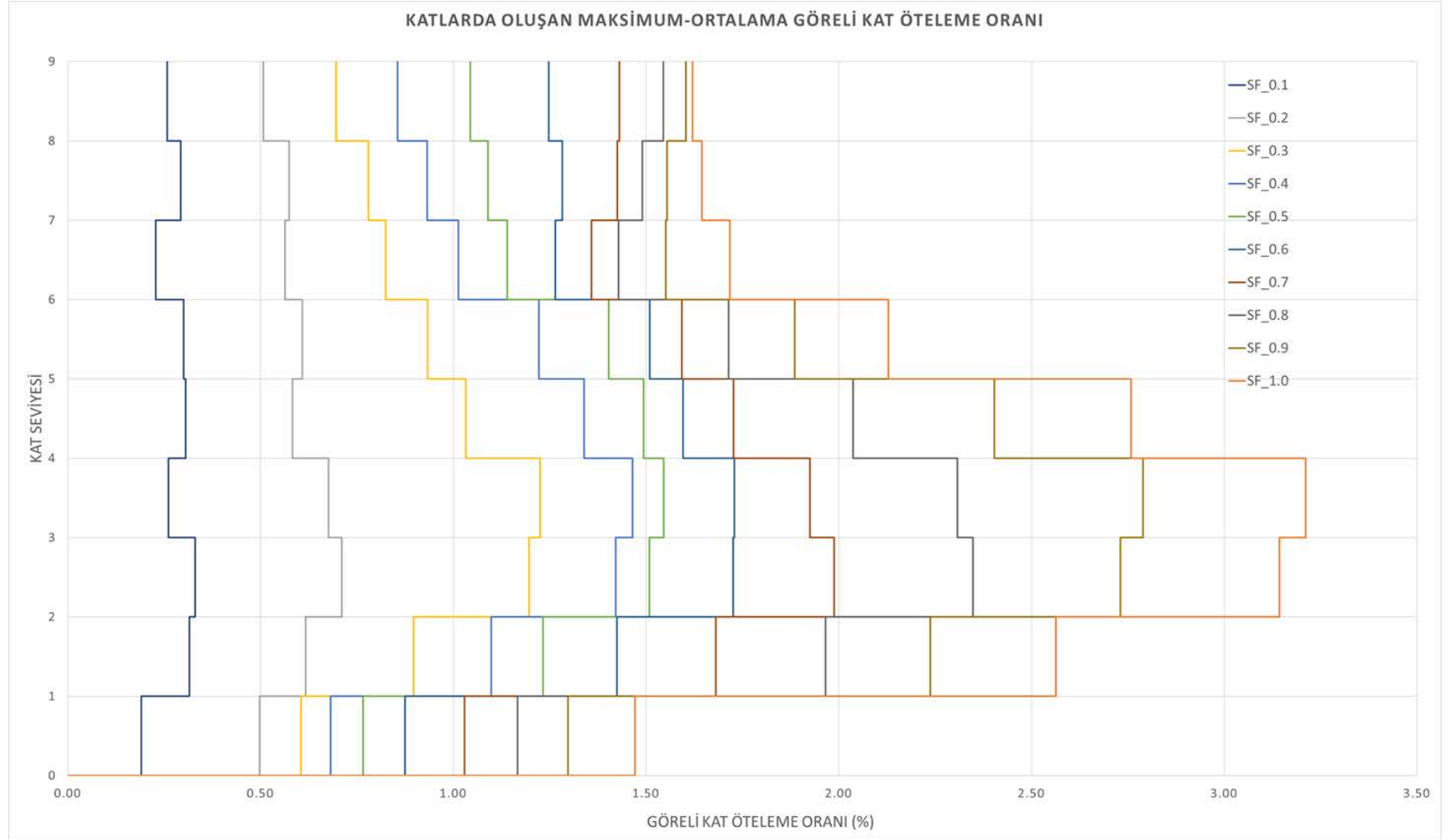
Tablo 5.18: Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerinde ($SF_{0.6}$) katlarda oluşan maksimum-ortalama göreli kat ötelemesi oranı.

MAKSİMUM-ORTALAMA GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ ORANI (%)					
Kat Seviyesi	LA09 DEPREM	LA11 DEPREM	LA16 DEPREM	LA18 DEPREM	ORTALAMA
-	Mut.Mak. (%)	Mut.Mak. (%)	Mut.Mak. (%)	Mut.Mak. (%)	Mak.Ortalama Göreli (%)
9	1.5588	1.1671	1.3800	0.8843	1.2475
8	1.5126	1.2862	1.3190	1.0106	1.2821
7	1.2749	1.4609	1.3589	0.9639	1.2647
6	1.4224	1.6797	1.8081	1.1264	1.5091
5	1.5472	1.5039	2.0172	1.3134	1.5954
4	1.6773	1.8538	1.8678	1.5180	1.7292
3	1.9667	1.9537	1.4445	1.5393	1.7260
2	1.7270	1.4075	1.2832	1.2778	1.4239
1	1.0223	0.7522	0.8777	0.8446	0.8742
Zemin	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



Şekil 5.53: Dört deprem kaydı için 0.6g spektral ivme değerinde (SF_{0.6}) katlarda oluşan maksimum-ortalama görece kat ötelemesi oranı.

Yapılan örnekte yalnızca 0.6g spektral ivme değerinde katlarda oluşan maksimum-ortalama görece kat ötelemesi oranı hesaplanmıştır. Aynı adımlar ölçeklenmiş bütün spektral ivme değerlerinde hesaplanmış Tablo 5.19 ve Şekil 5.54' de sunulmuştur.



Şekil 5.54: Bütün spektral ivme değerlerinde katlarda oluşan maksimum-ortalama görelî kat öteleme oranları.

Tablo 5.19: Bütün spektral ivme değerlerinde katlarda oluşan maksimum-ortalama göreli kat öteleme oranları.

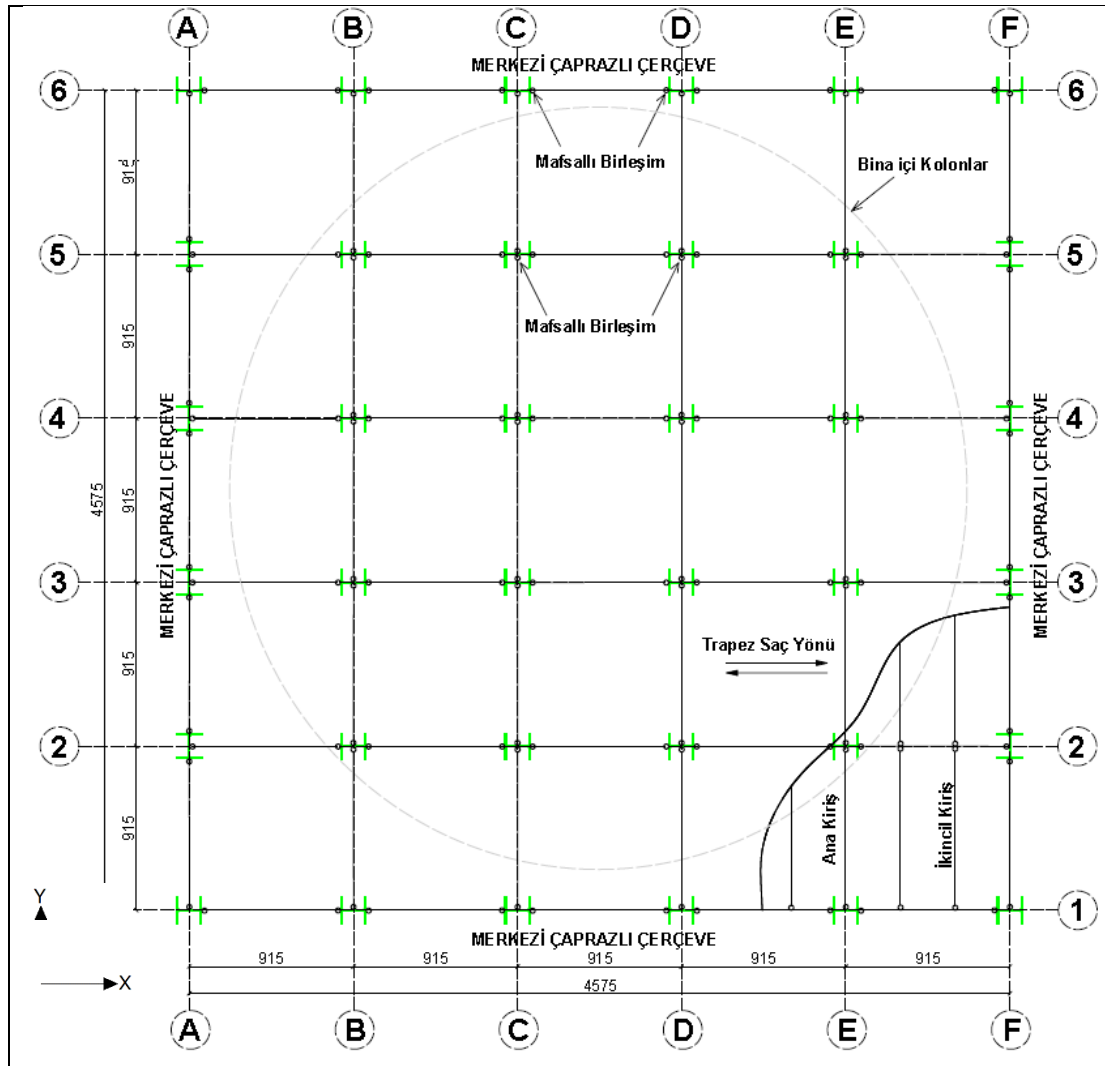
Katlar	SF _{0,1}	SF _{0,2}	SF _{0,3}	SF _{0,4}	SF _{0,5}	SF _{0,6}	SF _{0,7}	SF _{0,8}	SF _{0,9}	SF _{1,0}
-	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)	Mak.Ort. Gör. (%)
9	0.2575	0.5074	0.6950	0.8556	1.0440	1.2475	1.4306	1.5446	1.6036	1.6202
8	0.2924	0.5736	0.7794	0.9324	1.0899	1.2821	1.4255	1.4898	1.5540	1.6449
7	0.2278	0.5629	0.8242	1.0126	1.1400	1.2647	1.3585	1.4288	1.5508	1.7172
6	0.2999	0.6079	0.9335	1.2217	1.4032	1.5091	1.5923	1.7135	1.8851	2.1287
5	0.3054	0.5829	1.0325	1.3395	1.4936	1.5954	1.7264	2.0368	2.4034	2.7578
4	0.2605	0.6762	1.2245	1.4652	1.5453	1.7292	1.9251	2.3080	2.7890	3.2113
3	0.3299	0.7106	1.1964	1.4211	1.5080	1.7260	1.9884	2.3479	2.7302	3.1428
2	0.3147	0.6170	0.8968	1.0981	1.2320	1.4239	1.6814	1.9659	2.2370	2.5635
1	0.1910	0.4977	0.6049	0.6818	0.7658	0.8742	1.0285	1.1665	1.2974	1.4712
Zemin	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

6. SAYISAL UYGULAMA-2

6.1. Çelik Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemi

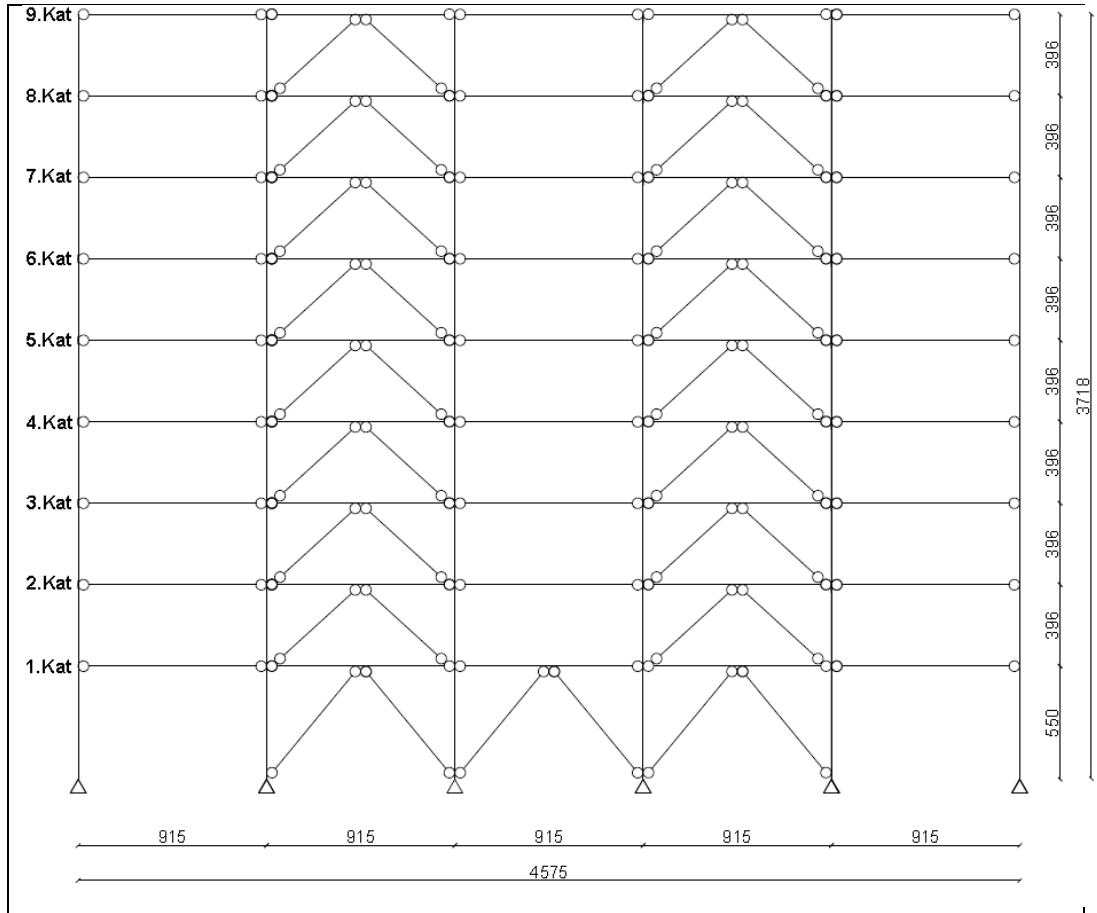
6.1.1. Yapısal Model ve Modelin Tanıtılması

Yapısal model; 2013 yılında ve Akbas B., Sutchiewcharn N., Cai W., Wen R., Shen J. tarafından yayınlanan makaleden alınmıştır. Bina taşıyıcı sistemi X ve Y yönünde merkezi çaprazlı çerçeve elemanlardan oluşmaktadır. Bu örnek başlığında binanın sadece X yönünde merkezi çaprazlı çerçeveler değerlendirilmiştir.



Şekil 6.1: Bina plan görünüşü.

Bina 9 katlı olup toplam yüksekliği 37.18 m dir. Zemin kat yüksekliği 5.50 m ve diğer kat yükseklikleri 3.96 m dir. Bina simetrik bir geometriye sahiptir. Her iki yönde 5 açıklığı olup her açıklık 9.15 m dir. Plan ölçüleri ise 45.75 m x 45.75 m dir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Bina kesit görünüşü.

X yönündeki deprem kuvvetlerinin tamamını iki adet merkezi çaprazlı çerçeve tarafından karşılanmıştır. Bina içi kolonların ve Y koordinat sistemi yönündeki merkezi çaprazlı çerçeve elemanların X koordinat sistemi yönünde deprem kuvvetlerine karşı katkısı olmayacak şekilde tasarım öngörüsü yapılmıştır.

Bina da çaprazların kolonlara ve kirişlere bağlantısı ve çaprazlı ve çaprazlı olmayan çerçeve açıklıktaki kirişlerin kolonlara bağlantısı mafsallı birleşim kabulü yapılmıştır. Ayrıca bütün ikincil kirişler ana kirişlere ve bina içi bütün ana kirişler kolonlara mafsallı birleşim olarak tasarlanmıştır. Binada döşemeler kompozit olarak detaylandırılmış ve bu yüzden kat seviyesinde rijit diyafram hareketi olacağı düşünülmüştür.

Çaprazlı çerçeve açıklıktaki kirişlerin üst ve alt başlıkları diğer yönden saplanan ikincil kirişler ile mafsalı olarak mesnetlenmiş olup dengelenmemiş yükler altında ana kirişlerin yanal olarak burkulması önlenmiştir.

Bina ofis amaçlı kullanım olup inşa yeri Yalı Mahallesi / Maltepe / İstanbul olarak karar verilmiştir. Bina elastik ivme spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği kapsamında oluşturulmuştur. Ayrıca deprem parametreleri bu yönetmelik kapsamında değerlendirilmiştir. İvme Spektrumuna esas alınacak zemin sınıfı B olarak belirlenmiştir.

Bu örnekte merkezi çaprazlı çerçeve analizlerinin tamamı iki boyutlu olarak PERFORM-3D programı ile analiz edilmiştir.

Bina kat ağırlıklarının merkezi çaprazlı çerçevelerdeki P-Delta etkilerini görmek için düşey yük taşıyan kolonlar oluşturulmuştur. Bu çalışma için yapının sönüm oranı %5 düşünülmüştür.

Tablo 6.1: Merkezi çaprazlı çerçeve kiriş ve kolon enkesitleri.

Kat Sev.	Çaprazlar	Çaprazsız Açıklık Kirişleri	Çaprazlı Açıklık Kirişleri	İç Kolonlar	Dış Kolonlar
9	HSS 7x7x1/2	W21x44	W33x221	W14x48	W14x48
8	HSS 7x7x1/2	W21x44	W33x221	W14x68	W14x48
7	HSS 8x8x5/8	W21x44	W33x291	W14x68	W14x48
6	HSS 8x8x5/8	W21x44	W33x291	W14x159	W14x48
5	HSS 9x9x5/8	W21x44	W30x357	W14x159	W14x48
4	HSS 9x9x5/8	W21x44	W30x357	W14x233	W14x48
3	HSS 10x10x5/8	W21x44	W33x354	W14x233	W14x48
2	HSS 10x10x5/8	W21x44	W33x354	W14x455	W14x61
1	HSS 10x10x5/8	W21x44	W36x393	W14x455	W14x61

Bu yapı ofis kullanım amaçlı olduğundan Hareketli Yük katılım katsayısı (n) 0.30 olarak alınmıştır.

Ofis Binası 50 yılda aşım olasılığı %2 olan (buna karşı gelen dönüş periyodu 2475 yıldır) D3 Deprem düzeyinde değerlendirilmiştir.

Sistemdeki 1.kat kolonlar zemine basit mesnet olarak tasarlanmıştır.

6.1.1.1. Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması

Bütün kiriş ve kolonların akma dayanımı $F_y = 345$ MPa; çapraz elemanlar ise $F_y = 317$ MPa tayin edilmiş ve beklenen akma dayanımları (F_{ye}) 1.1 katsayısı ile büyütülerek hesaplanmıştır [FEMA 356 Table 5-3].

- $F_{ye} = 1.1 \times F_y \rightarrow F_{ye} = 1.1 \times 345 \rightarrow F_{ye} = 379.50 \text{ MPa}$ (Kiriş ve Kolon)

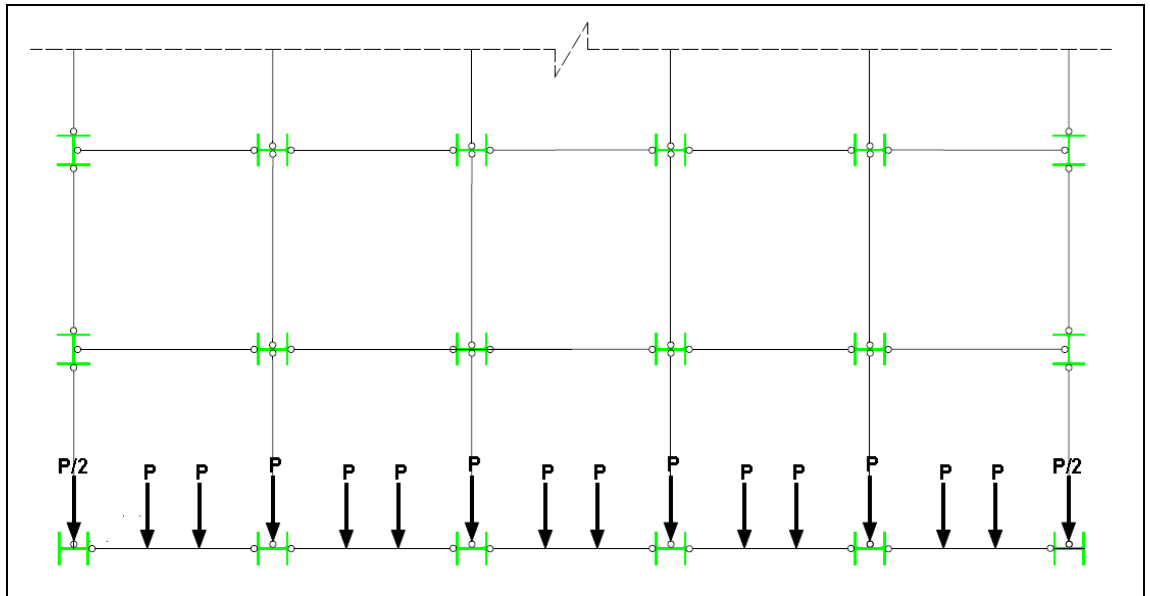
- $F_{ye} = 1.1 \times F_y \rightarrow F_{ye} = 1.1 \times 317 \rightarrow F_{ye} = 348.7 \text{ MPa}$ (Çapraz eleman)

Çelik elemanların Elastisite Modülü $E = 200,000 \text{ MPa}$ ve Poisson Oranı $\gamma = 0.30$ alınmıştır. Çelik birim hacim ağırlığı 76.97 kN/m^3 olup hesaplarda çelik yapı elemanların kendi ağırlıkları sistemde ölü yüke dâhil edildiğinden çelik birim hacim ağırlığını ihmal edilerek analizlere devam edilmiştir.

6.1.1.2. Ölü ve Hareketli Yüklerin Tanıtılması

Bütün katlarda bina ölü yük 4.0 kN/m^2 ; hareketli yük 2.5 kN/m^2 alınmış ve malzemenin kendi ağırlığı ölü yüke dâhil edilmiştir. Hareketli yüklerde herhangi bir azaltmaya gidilmemiştir.

Merkezi çaprazlı çerçevelerde komşu açıklıktan kolonlara ve kirişlere gelecek tekil yükler Şekil 6.3’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 6.3: Kolonlara ve kirişlere gelen tekil yükler.

- Normal Kat Tekil Yük Hesabı:

- İç Kolonlar ve Kiriş $\rightarrow P_D = 3.05 \times \frac{9.15}{2} \times 4.00 \rightarrow P_D = 55.82 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_L = 3.05 \times \frac{9.15}{2} \times 2.50 \rightarrow P_L = 34.88 \text{ kN}$$

- Dış Kolonlar $\rightarrow P_D = \frac{3.05}{2} \times 9.15/2 \times 4.00 \rightarrow P_D = 27.91 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_L = \frac{3.05}{2} \times 9.15/2 \times 2.50 \rightarrow P_L = 17.44 \text{ kN}$$

Sistemde ayrıca düşey yük taşıyan (DYT) kolonlar tanımlanmıştır. DYT kolonlar her kat seviyesinde toplam kat ağırlıklarını bulunduğu katta temsil etmekte olup, merkezi çaprazlı çerçevesinin P-Delta (İkinci mertebe) etkilerini hesaba katmak ve yapının gerçek davranışını göstermek için sisteme eklenmiştir (Şekil 6.2). DYT kolonlar merkezi çaprazlı çerçevesi kolonlarına bağ elemanları ile bağlanmıştır. Bağ elemanları ve DYT kolonların çerçevenin rijitlik matrisine bir katkısı olmaması için bağlanan her düğüm noktası mafsallı teşkil edilmiş bu yüzden DYT kolonların ve bağ elemanların kesitleri yüksek rijitlikte seçilmiştir. Ayrıca hesap karışıklığı olmaması için DYT kolonların ve bağ elemanların kendi ağırlıkları hesaba katılmamış bu elemanlar yalnızca kat ağırlıklarını temsil etmiştir.

- Düşey Yük Taşıyan Kolona Etkiyen Kat Ağırlıkları:

- Normal Kat $\rightarrow P_D = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 4.00 \rightarrow P_D = 3348.90 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_L = (45.75/2 - 9.15/2) \times 45.75 \times 2.50 \rightarrow P_L = 2093.06 \text{ kN}$$

Bina geometrisi, elastik kesitler, DYT kolonlar, normal katlara ve DYT kolonlara gelen düşey yükler, mesnet koşulları PERFORM-3D programına adım adım tanıtılmıştır.

6.1.2. Doğrusal Olmayan Parametrelerin Sisteme Tanıtılması

Moment aktaran çerçeve örneğinde kolon ve kiriş elemanların doğrusal olmayan parametreleri nasıl tanımlandığı detaylı bir şekilde örnekler ile göstermiştik. Merkezi çaprazlı çerçeve örneğinde de benzer hesap adımları kullanılmış olup PERFORM-3D programına tanıtılmıştır. Çaprazlı açıklıkta kiriş elemanlarının doğrusal olmayan parametreleri tanımlanırken Bölüm 3.1.2’de anlatılan dengelenmemiş kuvvetler dikkate alınmıştır.

Bu konu kapsamında çapraz elemanlarının doğrusal olmayan parametreleri detaylı bir şekilde anlatılmış ve konunun daha iyi anlaşılabilir olması için örneklere yer verilmiştir. Ayrıca uygulama sonunda artımsal dinamik tabanlı performans değerlendirilmesi yapıldığından kolon, kiriş ve çapraz elemanların performans seviyeleri belirlenmiştir.

6.1.2.1. Çaprazların Doğrusal Olmayan Parametrelerinin Hesaplanması ve PERFORM-3D Programına Tanımlanması

Çapraz elemanlar sisteme mafsallı teşkil edildiğinden tersinir yükler altında yalnızca eksenel (çekme ve basınç) yüklere maruz kalacak ve plastik deformasyonlar kısılma, uzama veya burkulma şeklinde gerçekleşecektir. Çapraz elemanların plastik deformasyonları tanımlamak için PERFORM-3D programında yer alan “Inelastic Steel Material,Buckling” tipindeki model kullanılmıştır [Çakır F., Kaya Şerif E., Akşar B., Shen J., Şeker O., Akbaş B., 2016]. Elastik olmayan malzeme özelliğine sahip olan bu menü de burkulma ve çekme bölgeleri ve çevrimsel davranış parametreleri tanımlana bilmektedir. PERFORM-3D programa giriş yapmadan önce çapraz eleman kesitlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan özellikleri Tablo 6.2’de hesaplanmış ve örnek temsil etmesi için 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının hesapları gösterilmiştir.

- 1-B Aksı 1.Kat Çapraz Elemanının Basınç Dayanımı Hesabı:

Çapraz elemanların tamamı her iki ucundan mafsallı teşkil edildiğinden, parçalı elemanlar olduğundan ve çapraz boyunca her iki yönden herhangi bir yanal destek sağlanmadığından yanal yer değiştirmeleri her iki yönde de eşit olmuş ve burkulma katsayısı 1.00 olarak alınmıştır.

- $K_x = K_y = 1.00$

- 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının kesit özellikleri:

- $r_x = r_y = 96.15 \text{ mm} ; Z_x = Z_y = 1271636 \text{ mm}^3 ;$

- $A_g = 14451.6 \text{ mm}^2$

- $\lambda_x = \lambda_y = \frac{1.00 \times 7154.06}{96.15} = 74.40$

- $\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \lambda = 74.40 \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{348.70}} \rightarrow \lambda = 74.40 \leq 112.80$

- $\lambda = 74.40 \leq 112.80$ olduğundan Elastik Olmayan Burkulmadır.

- $F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \rightarrow F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{74.40^2} \rightarrow F_e = 357 \text{ N/mm}^2$

- $F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_{ye}}{F_e}}\right) \times F_{ye} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{348.70}{357}}\right) \times 348.70 \rightarrow F_{cr} = 231.58 \text{ N/mm}^2$

- $P_n = F_{cr} \times A_g \rightarrow P_n = 231.58 \times 14451.6$

- $P_n = 3346701.53 \text{ N} \rightarrow P_n = 3347 \text{ kN}$

- 1-B Aksı 1.Kat Çapraz Elemanın Çekme Dayanımı Hesabı:

Çapraz elemanın çekme dayanımı Denklem (3.12) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $P_n = 348.70 \times 14451.6 \rightarrow P_n = 5039272.92 \text{ N} \rightarrow P_n = 5039 \text{ kN}$

- 1-B Aksı 1.Kat Çapraz Elemanın Doğrusal Olmayan Özelliklerinin Hesabı:

Çapraz elemanın çekme ve basınç gerilmelerini hesaplamıştık. Basınç ve çekme gerilmelerine karşılık birim şekil değiştirmeler ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

- $F_{cr} = F_{u(\text{Basınç})} = 231.58 \text{ N/mm}^2 ; F_{ye} = F_{u(\text{Çekme})} = 348.70 \text{ N/mm}^2$

- $\epsilon_{y(\text{Çekme})} = F_{u(\text{Çekme})}/E = 348.70/200000 \rightarrow \epsilon_{y(\text{Çekme})} = 0.001744$

- $\epsilon_{y(\text{Basınç})} = F_{u(\text{Basınç})}/E = 231.58/200000 \rightarrow \epsilon_{y(\text{Basınç})} = 0.001158$

Basınç ve çekme bölgesi için dayanım kaybı oranının (FR/FU) ve dayanım kaybetmeden ulaşabileceği maksimum birim şekil değiştirmelerin (DL) belirlenmesinde ASCE 41-13 Tablo 9.7' den yararlanılmıştır. Bu örnek kapsamında çelik malzemesinin pekleşme etkisi ihmal edilmiştir. Analiz sırasında PERFORM-3D

programının yüksek yer ivmesi değerlerinde sonlanmaması için basınç ve çekme bölgesinde maksimum birim şekil değiştirmeler (DX) olabildiğince yüksek alınmıştır. Ayrıca dayanım kaybı esnasında çekme ve basınç bölgesinde ulaşacağı birim şekil değiştirme miktarı (DR) daha önceki yapılan çalışmalara dayanarak ve kabuller yapılarak hesaplanmıştır. Kullanılan 4 farklı kesitli kutu profillerinin Histerezis eğri parametreleri ise aynı kabul edilmiş ve aşağıda detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

- Çekme Bölgesi için:

- $FR/FU = 0.60$
- $10 \times 0.001744 \rightarrow DL = 0.01744$
- $DX = 0.3$ (Program sonlanmaması için)
- $DR = 11 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})} = 11 \times 0.001744 \rightarrow DL = 0.01918$ (Kabul)

- Basınç Bölgesi için:

Kesitlerin narin veya tok olmasına göre basınç bölgesindeki doğrusal olmayan parametreler belirlenir.

- $\frac{K \times L}{r} \geq 4.2 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ise Narin Kesitler Bölümünden hesaplanır.

- $\frac{K \times L}{r} \leq 2.1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ise Tok Kesitler bölümünden hesaplanır.

- $4.2 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \geq \frac{K \times L}{r} \geq 2.1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ise Doğrusal Enterpolasyon yapılarak hesaplanır.

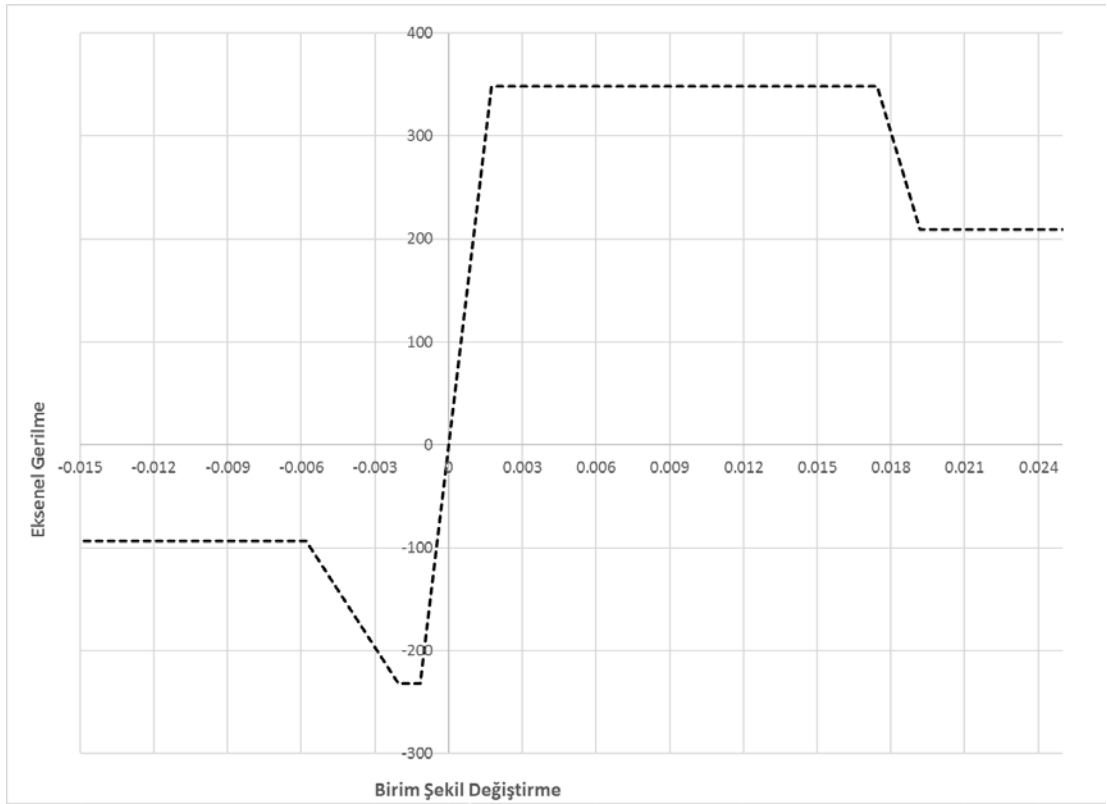
- $4.2 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 100.59 \geq \frac{K \times L}{r} = \lambda = 74.70 \geq 2.1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 50.29$

eşitliği geçerli olduğundan doğrusal olmayan parametreler doğrusal enterpolasyon yapılarak hesaplanmıştır.

Narin Kesit		Tok Kesit		Enterpolasyon	
FR/FU	DL	FR/FU	DL	FR/FU	DL
0.30	0.00058	0.50	0.00116	0.40412	0.00204

- $DX = 0.3$ (Program sonlanmaması için)
- $DR = 5 \times \varepsilon_{y(Basinc)} = 5 \times 0.001158 \rightarrow DL = 0.00579$ (Kabul)

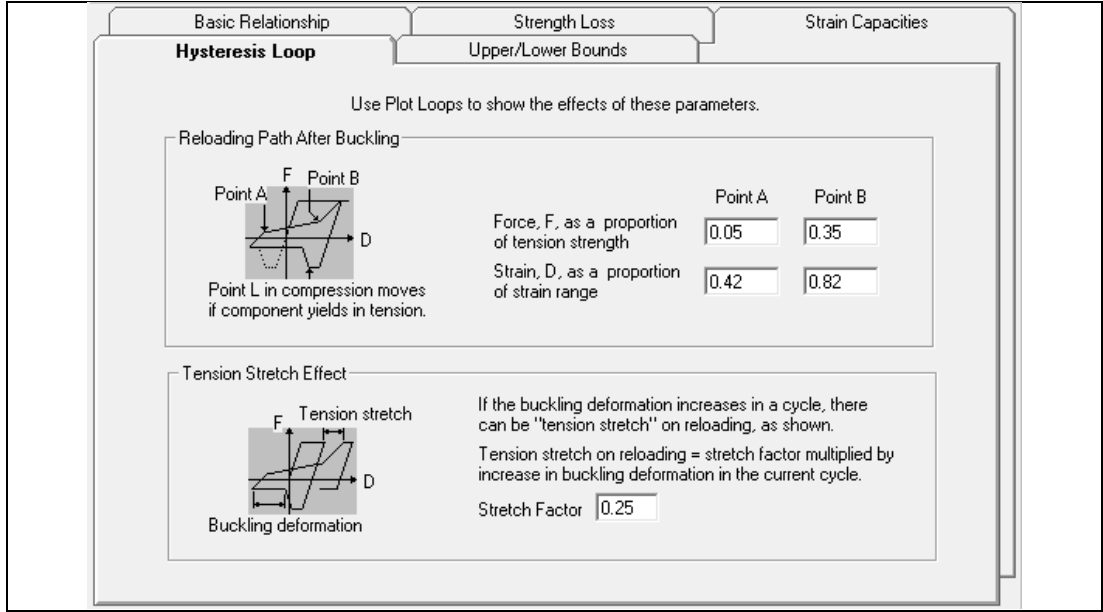
Buraya kadar ki tanımlanan değerler Şekil 6.4’de grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 6.4: 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanın aksel gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.

- Çevrimsel eğri parametreleri:

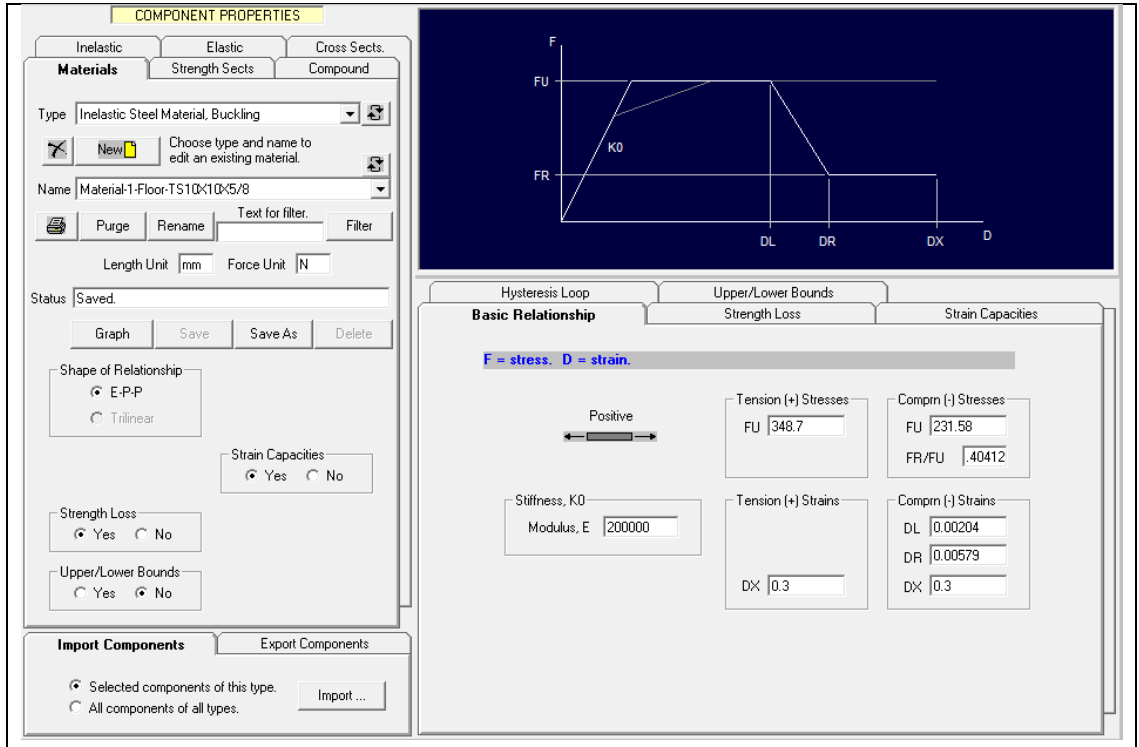
Histerezis çevrim parametreleri daha öncesinden çalışması yapılmış deney sonuçlarından alınmış olup PERFORM-3D programına Şekil 6.5’de görüldüğü gibi tanıtılmıştır.



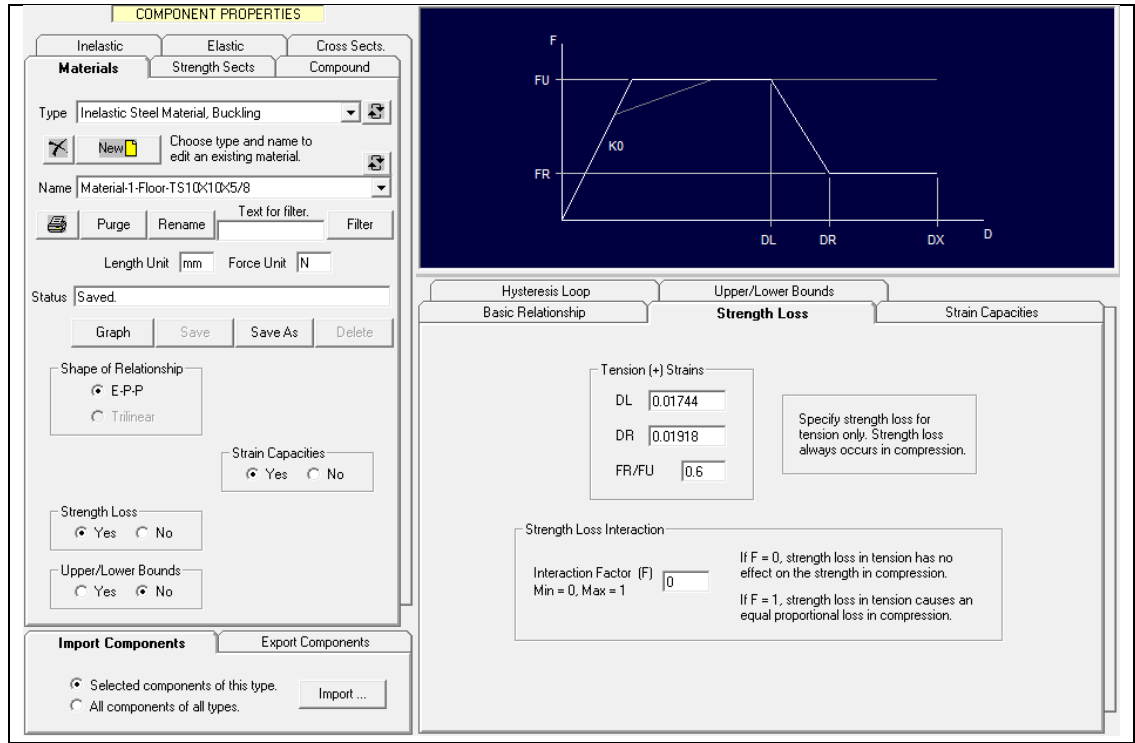
Şekil 6.5: 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanın histerezis eğri parametreleri.

• 1-B Aksı 1.Kat Çapraz Elemanın PERFORM-3D Programına Tanıtılması:

Hesaplanan doğrusal olmayan parametreler Şekil 6.6'da görüldüğü gibi PERFORM-3D programına tanıtılmıştır.



Şekil 6.6: 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanın PERFORM-3D programına tanıtılması.



Şekil 6.6: Devam.

Bütün katlardaki çapraz eleman kesitlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan parametreleri Tablo 6.2’de sunulmuştur.

Tablo 6.2: Çapraz eleman kesitlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerin hesabı.

Kat	Kesit	Net Uzunluk	Alan	Z_x	r_3	r_2	λ	F_e	F_{cr}	$P_n(\text{Basınc})$	$P_n(\text{Çekme})$	$F_u(\text{Basınc})$	$F_u(\text{Çekme})$	$\epsilon(\text{Basınc})$	$\epsilon(\text{Çekme})$
-	-	mm	mm ²	mm ³	mm	mm	-	N/mm ²	N/mm ²	KN	KN	N/mm ²	N/mm ²	-	-
1.Kat	TS10X10X5/8	7154.06	14451.58	1271636	96.15	96.15	74.40	357	231.58	3347	5039	231.58	348.70	0.001158	0.001744
2.Kat	TS10X10X5/8	6050.80	14451.58	1271636	96.15	96.15	62.93	498	260.19	3760	5039	260.19	348.70	0.001301	0.001744
3.Kat	TS10X10X5/8	6050.80	14451.58	1271636	96.15	96.15	62.93	498	260.19	3760	5039	260.19	348.70	0.001301	0.001744
4.Kat	TS9X9X5/8	6050.80	12838.68	1007804	85.79	85.79	70.53	397	241.38	3099	4477	241.38	348.70	0.001207	0.001744
5.Kat	TS9X9X5/8	6050.80	12838.68	1007804	85.79	85.79	70.53	397	241.38	3099	4477	241.38	348.70	0.001207	0.001744
6.Kat	TS8X8X5/8	6050.80	11225.78	773469	75.32	75.32	80.34	306	216.38	2429	3914	216.38	348.70	0.001082	0.001744
7.Kat	TS8X8X5/8	6050.80	11225.78	773469	75.32	75.32	80.34	306	216.38	2429	3914	216.38	348.70	0.001082	0.001744
8.Kat	TS7X7X1/2	6050.80	7999.98	485057	66.35	66.35	91.20	237	188.52	1508	2790	188.52	348.70	0.000943	0.001744
9.Kat	TS7X7X1/2	6050.80	7999.98	485057	66.35	66.35	91.20	237	188.52	1508	2790	188.52	348.70	0.000943	0.001744

Tablo 6.2: Devam.

Kat	Kesit	Çekme Bölgesi				Narin Kesit	Tok Kesit	Narin Kesit		Tok Kesit		Basınc Bölgesi-Enterpolasyon			
-	-	FR/FU	DL	DR	DX	Oranlar	Oranlar	FR/FU	DL	FR/FU	DL	FR/FU	DL	DR	DX
1.Kat	TS10X10X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00058	0.50	0.00116	0.40412	0.00204	0.00579	0.30
2.Kat	TS10X10X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00065	0.50	0.00130	0.44975	0.00244	0.00650	0.30
3.Kat	TS10X10X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00065	0.50	0.00130	0.44975	0.00244	0.00650	0.30
4.Kat	TS9X9X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00060	0.50	0.00121	0.41951	0.00217	0.00483	0.30
5.Kat	TS9X9X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00060	0.50	0.00121	0.41951	0.00217	0.00483	0.30
6.Kat	TS8X8X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00054	0.50	0.00108	0.38053	0.00184	0.00325	0.30
7.Kat	TS8X8X5/8	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00054	0.50	0.00108	0.38053	0.00184	0.00325	0.30
8.Kat	TS7X7X1/2	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00047	0.50	0.00094	0.33732	0.00150	0.00236	0.30
9.Kat	TS7X7X1/2	0.60	0.01744	0.01918	0.30	100.59	50.29	0.30	0.00047	0.50	0.00094	0.33732	0.00150	0.00236	0.30

6.1.2.2. Kolon, Kiriş ve Çapraz Elemanlarının Performans Seviyelerin Tespiti

Taşıyıcı sistem elemanlarının performans seviyelerin belirlenmesinde ASCE-41-13 yönetmeliğinden faydalanılmıştır. Kolon, kiriş ve çapraz elemanlar için performans seviyeleri ayrı ayrı hesaplanmış ve PERFORM-3D programına tanımlanmıştır.

- Kolon elemanlarının performans seviyelerinin tespiti:

Kolon elemanlarının öncelikle doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerinin hesabı yapılmış ve sonrasında performans seviyeleri Tablo 6.3’de hesaplanmıştır. Ayrıca 1-B Aksı 1.Kat kolon elemanının hesap adımları aşağıda örneklendirilmiştir.

- 1-B Aksı 1.Kat Kolon Elemanının Basınç Dayanımı Hesabı:

Kolon elemanların yanal yönde ötelenmesi çapraz elemanlar tarafından engellendiğinden yanal yer değiştirmeleri her iki yönde de eşit olmuş ve burkulma katsayısı 1.00 olarak alınmıştır.

- $K_x = K_y = 1.00$

- $r_x = 186.06 \text{ mm} ; r_y = 111.02 \text{ mm} ; Z_x = 15338292 \text{ mm}^3 ;$

- $A_g = 86451.44 \text{ mm}^2 ; I_x = 2992703950 \text{ mm}^4$

- $\lambda_x = \frac{1.00 \times 5500}{186.06} \rightarrow \lambda_x = 29.56$

- $\lambda_y = \frac{1.00 \times 5500}{111.02} \rightarrow \lambda_y = 49.54$

- $\lambda = \max(29.56 ; 49.54) \rightarrow \lambda = 49.54$

- $\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \lambda = 49.54 \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{379.50}} \rightarrow \lambda = 49.54 \leq 108.13$

- $\lambda = 49.54 \leq 108.13$ olduğundan Elastik Olmayan Burkulmadır.

$$\bullet F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \rightarrow F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{49.54^2} \rightarrow F_e = 804.30 \text{ N/mm}^2$$

$$\bullet F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_{ye}}{F_e}}\right) \times F_{ye} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{379.50}{804.30}}\right) \times 379.50 \rightarrow F_{cr} = 311.49 \text{ N/mm}^2$$

$$\bullet P_n = F_{cr} \times A_g \rightarrow P_n = 311.49 \times 86451.44$$

$$\bullet P_n = 26928733.21 \text{ N} \rightarrow P_n = 26929 \text{ kN}$$

- 1-B Aksı 1.Kat Kolon Elemanının Çekme Dayanımı Hesabı:

Kolonun çekme dayanımı Denklem (3.12) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\bullet P_n = 379.50 \times 86451.44 \rightarrow P_n = 32808321.48 \text{ N} \rightarrow P_n = 32808 \text{ kN}$$

- 1-B Aksı 1.Kat Kolon Elemanının Eğilme Dayanımı Hesabı:

Kolonun eğilme dayanımı Denklem (3.13) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\bullet M_n = 379.50 \times 15338292 \times 10^{-6} \rightarrow M_n = 5821 \text{ kNm}$$

- 1-B Aksı 1.Kat Kolon Elemanının Akma Dönmesinin Hesabı:

Kolon elemanının akma dönmesi hesabı ASCE 41-13 Denklem (9-1) yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklem içinde bulunan P değeri başlangıç yüklemesi olan (G + 0.3 * Q) kombinasyonu altındaki kolana gelen eksenel yük değeridir. Bu değer PERFORM-3D programından alınarak akma dönme hesabı yapılmıştır.

$$\bullet \theta_y = \frac{15338292 \times 379.50 \times 5500}{6 \times 200000 \times 2992703950} \times \left[1 - \frac{1712394}{32808321.48}\right] \rightarrow \theta_y = 0.00845 \text{ rad}$$

ASCE 41-13 Tablo 9-6' dan kolon elemanlarının performans seviyeleri ise aşağıda hesaplanmıştır.

$$\bullet \frac{P}{P_{CL}} = \frac{1712394}{26928733.21} = 0.0635 \leq 0.2 \text{ ve süneklik düzeyi yüksek olduğundan;}$$

$$\bullet HK = 1 \times \theta_y ; CG = 9 \times \theta_y \text{ ve } G\ddot{O} = 11 \times \theta_y \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

$$\bullet HK (\text{Hemen Kullanım}) = 1 \times \theta_y \rightarrow HK = 1 \times 0.00845 \rightarrow HK = 0.00845 \text{ rad}$$

- CG (Can Güvenliği) = $9 \times \theta_y \rightarrow CG = 9 \times 0.00845 \rightarrow CG = 0.07604 \text{ rad}$
- GÖ (Göçme Öncesi) = $11 \times \theta_y \rightarrow GÖ = 11 \times 0.00845 \rightarrow GÖ = 0.009294 \text{ rad}$

Diğer kolon elemanlarının plastik dönme sınırları aynı adımlarla yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6.3: Kolon elemanlarının performans seviyeleri (rad).

Kat	Kesit	HK	CG	GÖ
1.Kat	W14X455	0.00845	0.07604	0.09294
2.Kat	W14X455	0.00612	0.05508	0.06732
3.Kat	W14X233	0.00658	0.05922	0.07238
4.Kat	W14X233	0.00666	0.05995	0.07328
5.Kat	W14X159	0.00684	0.06160	0.07529
6.Kat	W14X159	0.00697	0.06272	0.07666
7.Kat	W14X68	0.00700	0.06300	0.07700
8.Kat	W14X68	0.00730	0.06566	0.08025
9.Kat	W14X48	0.00763	0.06867	0.08393

- Kiriş elemanlarının performans seviyelerinin tespiti:

Kiriş elemanlarının öncelikle akma dönmesi ASCE 41-13 Denklem (9-1) yardımıyla hesaplanmış ve sonrasında performans seviyeleri Tablo 6.4’de oluşturulmuştur. Ayrıca 1-B-C Aksı 1.Kat kiriş elemanının hesap adımları aşağıda örneklendirilmiştir.

$$\bullet \theta_y = \frac{27202526 \times 379.50 \times 9150}{6 \times 200000 \times 11450000000} \rightarrow \theta_y = 0.006875 \text{ rad}$$

ASCE 41-13 Tablo 9-6’ dan kolon elemanlarının performans seviyeleri ise aşağıda hesaplanmıştır.

- HK = $1 \times \theta_y$; CG = $9 \times \theta_y$ ve GÖ = $11 \times \theta_y$ olarak hesaplanmıştır.
- HK (Hemen Kullanım) = $1 \times \theta_y \rightarrow HK = 1 \times 0.006875 \rightarrow HK = 0.00687 \text{ rad}$
- CG (Can Güvenliği) = $9 \times \theta_y \rightarrow CG = 9 \times 0.006875 \rightarrow CG = 0.06183 \text{ rad}$
- GÖ (Göçme Öncesi) = $11 \times \theta_y \rightarrow GÖ = 11 \times 0.006875 \rightarrow GÖ = 0.07562 \text{ rad}$

Diğer kiriş elemanlarının plastik dönme sınırları aynı adımlarla yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6.4: Kiriş elemanlarının performans seviyeleri (rad).

Kat	Kesit	HK	CG	GÖ
1.Kat	W36X393	0.00687	0.06187	0.07562
2.Kat	W33X354	0.00739	0.06648	0.08126
3.Kat	W33X354	0.00739	0.06648	0.08126
4.Kat	W30X357	0.00796	0.07166	0.08759
5.Kat	W30X357	0.00796	0.07166	0.08759
6.Kat	W33X291	0.00740	0.06662	0.08142
7.Kat	W33X291	0.00740	0.06662	0.08142
8.Kat	W33X221	0.00761	0.06849	0.08371
9.Kat	W33X221	0.00761	0.06849	0.08371

- Çapraz elemanlarının performans seviyelerinin tespiti:

Çapraz elemanlarının doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerinin hesaplanmıştır. Bu bölümde ise çapraz elemanların performans seviyeleri Tablo 6.5’ de hesaplanmıştır. Ayrıca 1-B Aksı 1.Kat Çapraz Elemanının performans seviyelerin hesap adımları aşağıda örneklendirilmiştir. Performans seviyeleri için ASCE 41-13 Tablo 9.7’den yararlanılmıştır.

- Çekme Bölgesi için:

$$\bullet \text{ HK} = 0.5 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})} ; \text{ CG} = 8 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})} \text{ ve } \text{ GÖ} = 11 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})}$$

$$\bullet \text{ HK} = 0.5 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})} \rightarrow \text{ HK} = 0.5 \times 0.001744 \rightarrow \text{ HK} = 0.00087$$

$$\bullet \text{ CG} = 8 \times \varepsilon_{y(\text{Çekme})} \rightarrow \text{ CG} = 8 \times 0.001744 \rightarrow \text{ CG} = 0.01395$$

$$\bullet \text{ GÖ} = 11 \times \theta_y \rightarrow \text{ GÖ} = 11 \times 0.001744 \rightarrow \text{ GÖ} = 0.01918$$

- Basınç Bölgesi için:

Kesitlerin narin veya tok olmasına göre basınç performans seviyeleri belirlenir. 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının Bölüm 6.1.2.1’de narinlik-tokluk hesabı yapılmıştır. Bu hesapta aşağıdaki eşitlik bulunmuştur ve performans seviyeleri doğrusal enterpolasyon yapılarak hesaplanmıştır.

$$• 4.2 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 100.59 \geq \frac{K \times L}{r} = \lambda = 74.70 \geq 2.1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 50.29$$

- Narin Kesit $\rightarrow HK = 0.5 \times \varepsilon_{y(Basinc)} ; CG = 7 \times \varepsilon_{y(Basinc)}$ ve $GÖ = 9 \times \varepsilon_{y(Basinc)}$
- Tok Kesit $\rightarrow HK = 0.5 \times \varepsilon_{y(Basinc)} ; CG = 6 \times \varepsilon_{y(Basinc)}$ ve $GÖ = 7 \times \varepsilon_{y(Basinc)}$

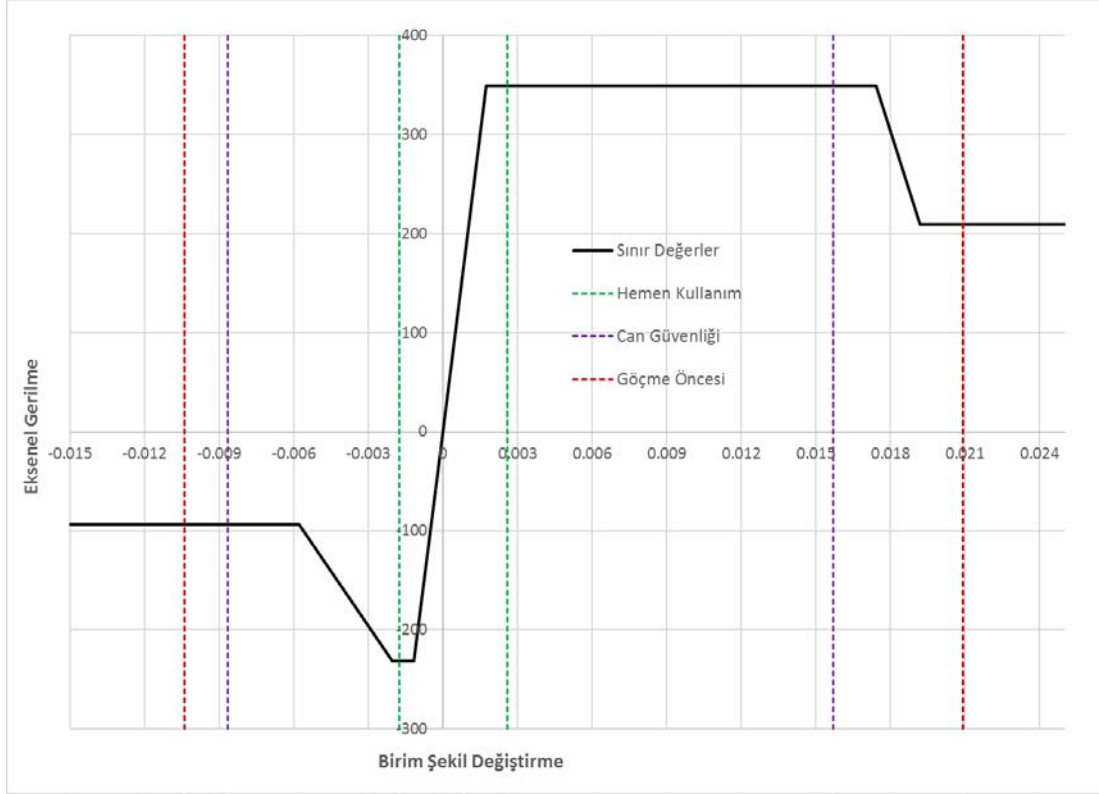
Narin Kesit			Tok Kesit			Enterpolasyon		
HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
0.00058	0.00811	0.01042	0.00058	0.00695	0.00811	0.00058	0.00750	0.00922

Diğer elemanlarının çekme ve basınç altına plastik dönme sınırları aynı adımlarla yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6.5: Çapraz elemanlarının performans seviyeleri.

Kat	Kesit	Çekme Bölgesi			Basınç Bölgesi		
		HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
1.Kat	TS10X10X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00058	0.00750	0.00922
2.Kat	TS10X10X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00065	0.00813	0.00976
3.Kat	TS10X10X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00065	0.00813	0.00976
4.Kat	TS9X9X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00060	0.00773	0.00942
5.Kat	TS9X9X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00060	0.00773	0.00942
6.Kat	TS8X8X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00054	0.00714	0.00887
7.Kat	TS8X8X5/8	0.00087	0.01395	0.01918	0.00054	0.00714	0.00887
8.Kat	TS7X7X1/2	0.00087	0.01395	0.01918	0.00047	0.00642	0.00813
9.Kat	TS7X7X1/2	0.00087	0.01395	0.01918	0.00047	0.00642	0.00813

Ayrıca -B Aksı 1.Kat çapraz elemanının Eksenel Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Grafiği üzerinde performans seviyeleri Şekil 6.7’de sunulmuştur.



Şekil 6.7: 1-B Aksı 1.Kat çapraz elemanının performans seviyeleri.

6.1.3. Bina Elastik Davranış Spektrumun Oluşturulması

Bina ofis amaçlı kullanım olup inşa yeri Yalı Mahallesi / Maltepe / İstanbul olarak karar verilmiştir. Bina elastik ivme spektrumu 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Taslak Deprem Yönetmeliği kapsamında oluşturulmuştur.

Analizlerde kullanılacak deprem parametreleri 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği kapsamında değırlendirilmiştir. İvme Spektrumuna esas alınacak zemin sınıfı B olarak belirlenmiştir.

Ofis binası 50 yılda aşırma olasılığı %2 olan (buna karşı gelen dönüş periyodu 2475 yıldır) D3 Deprem düzeyinde değırlendirilecektir.

D3 deprem düzeyi için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen deprem spektral ivme değırleri S_s ve S_1 değırleri, referans olarak alınan B ve C zemin sınıfları ara sınırları için yönetmeliğin EK-A kısmından okunmuştur.

- $S_s = 1.5(g)$ ve $S_1 = 0.8(g)$

F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri sırası ile yönetmelikte yer alan Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 ‘den okunmuştur.

- $F_a = 1.0$ ve $F_v = 1.0$

Zemin sınıfı için aynı doğal titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme değerleri (S_{MS} ve S_{M1}) yönetmelikte yer alan Denklem (2.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

- $S_{MS} = 1.0 \times 1.5 \rightarrow S_{MS} = 1.5(g)$

- $S_{M1} = 1.0 \times 0.8 \rightarrow S_{M1} = 0.8(g)$

Spektrum köşe periyodları T_o ve T_s yönetmelikte yer alan Denklem (2.3) yardımıyla hesaplanmıştır. İstanbul ili için $T_L = 12$ saniye olarak alınmıştır.

- $T_s = \frac{0.8}{1.5} \rightarrow T_s = 0.53$ saniye

- $T_o = 0.2 \times 0.53 \rightarrow T_o = 0.11$ saniye

Yatay deprem için tasarım spektrumları ise yönetmelikte yer alan Denklem (2.2) ile hesaplanmıştır.

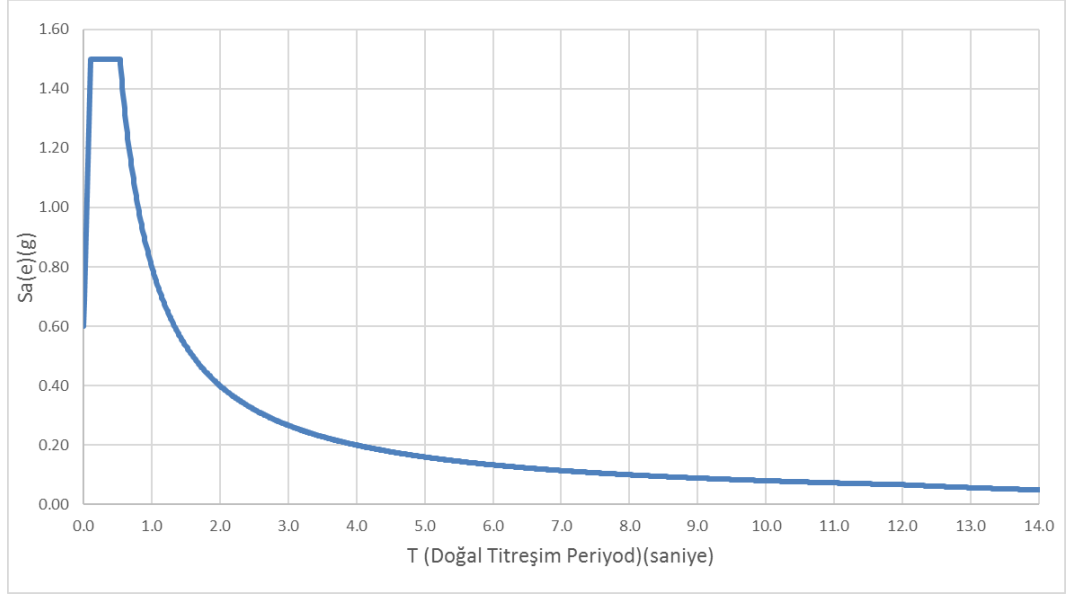
- $S_{ae}(T) = 0.4 \times 1.5 + 0.6 \times \frac{1.5}{0.11} \times T$ (0.11 ≤ T)

- $S_{ae}(T) = 1.5$ (0.11 ≤ T ≤ 0.53)

- $S_{ae}(T) = \frac{0.8}{T}$ (0.53 ≤ T ≤ 12)

- $S_{ae}(T) = \frac{0.8 \times 12}{T^2}$ (12 ≤ T)

Yukardaki dört adet denklem yardımı ile elastik tasarım spektrumu çizdirilmiştir (Şekil 6.8). Ayrıca tasarım spektrum ara değerleri Tablo 6.6’da sunulmuştur.



Şekil 6.8: Bina elastik tasarım spektrumu.

Tablo 6.6: Bina elastik davranış spektrum değerleri.

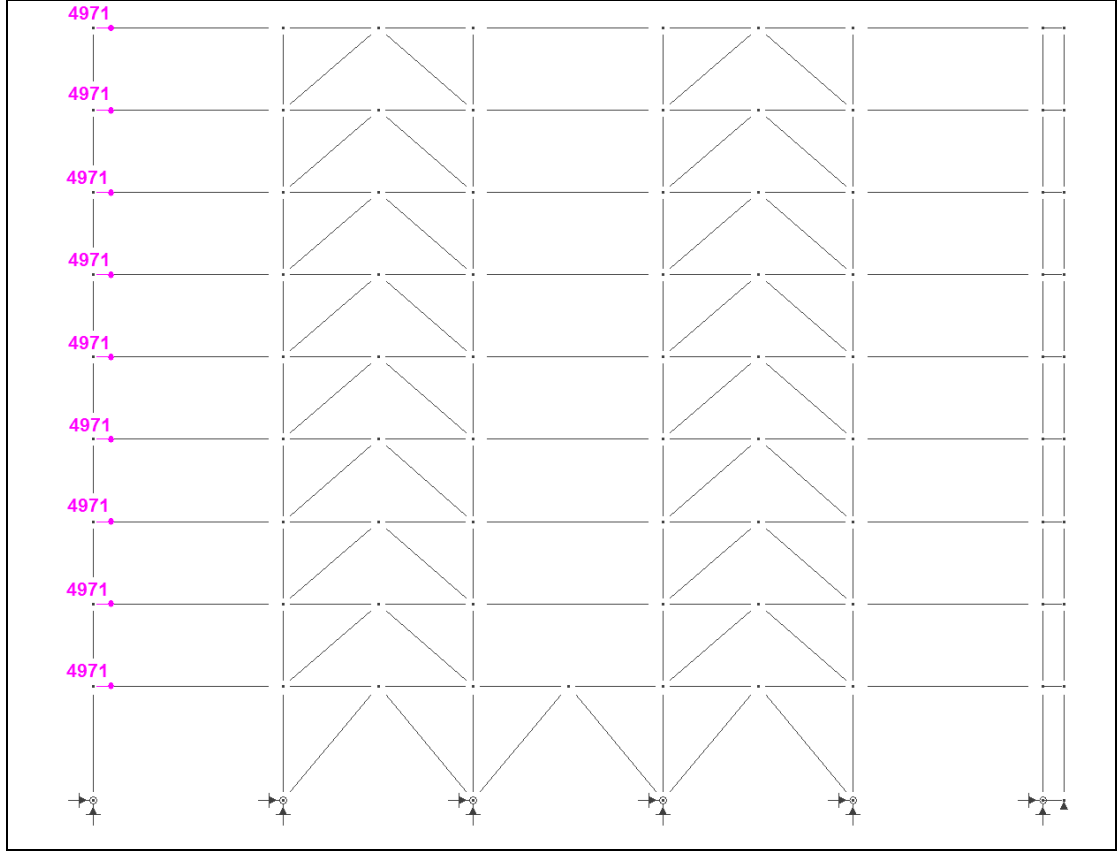
T(s)	0.00	0.01	0.11	0.53	0.80	0.90	1.00	2.00
Sae(g)	0.600	0.684	1.500	1.500	1.000	0.889	0.800	0.400
T(s)	3.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	13.00	14.00
Sae(g)	0.267	0.200	0.133	0.100	0.080	0.067	0.057	0.049

6.1.4. Bina Modal Analizinin Yapılması ve Modal Parametrelerin Belirlenmesi

Bina modal analizinin yapılmasında ve modal parametrelerinin belirlenmesinde PERFORM-3D programı kullanılmıştır. Sistem PERFORM-3D’ de oluşturulmuş, kesitler atanmış, mesnetler tanımlanmış, kat seviyesinde rijit diyaframlar atanmış ve mafsallı uçlar hem kiriş için hem de çapraz elemanlar için belirlenmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte yer alan Tablo 2.7’ den hareketli yük katılım katsayısı (n) 0.30 alınmış ve binanın modal analizinde kullanılacak kat ağırlıkları D.B.Y.B.H.Y de bulunan Denklem (2.5) ile hesaplanmış ve PERFORM-3D programına her kat seviyesine ağırlık olarak tanıtılmıştır (Şekil 6.9).

$$\bullet W = \sum_{i=1}^9 w_i \rightarrow w_i = g_i + 0.30 \times q_i$$

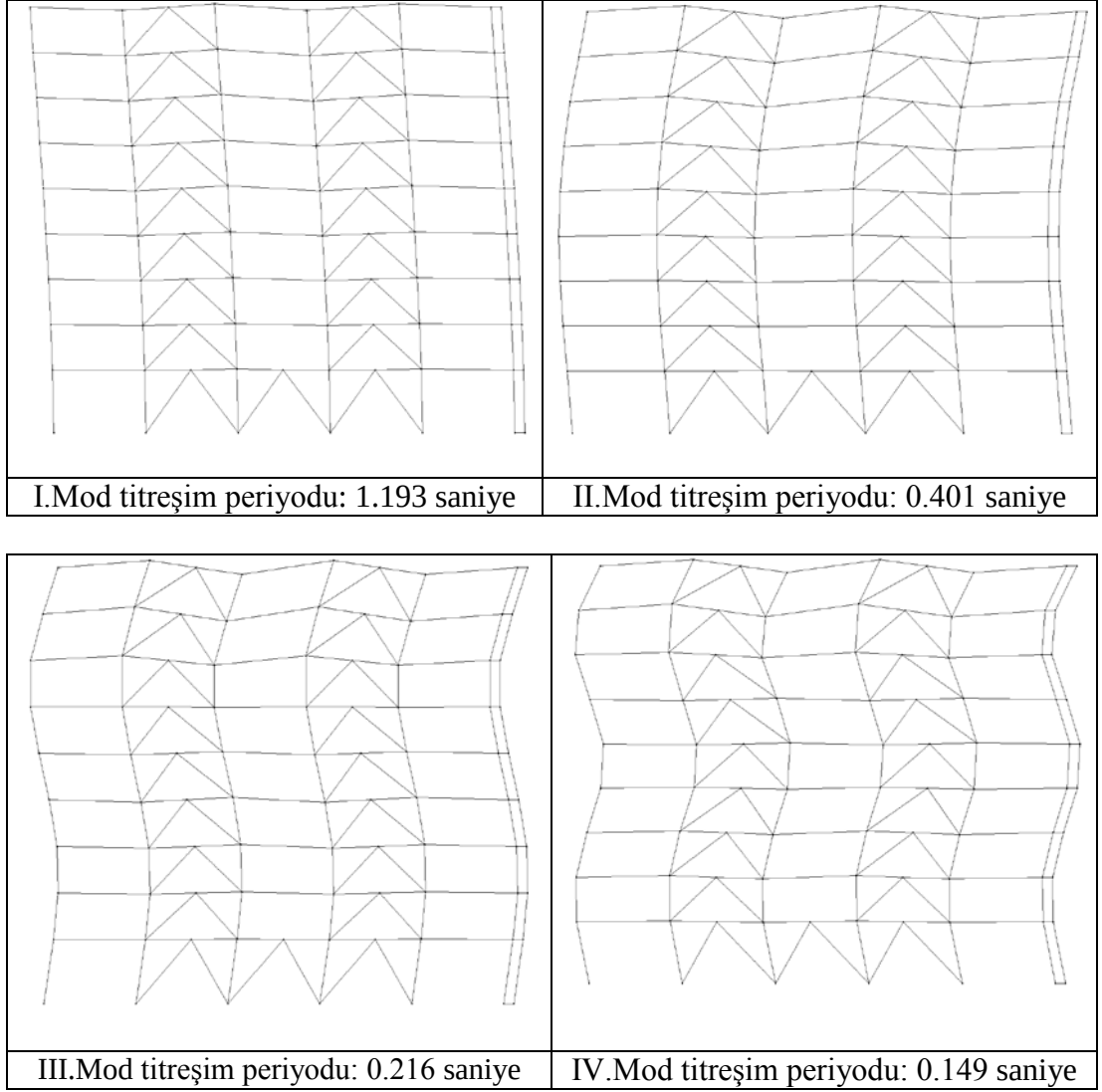
$$\bullet g_i = \frac{45.75 \times 45.75}{2} \times 4.00 + 0.30 \times \frac{45.75 \times 45.75}{2} \times 2.50 \rightarrow g_i = 4971 \text{ kN}$$



Şekil 6.9: Bina kat ağırlıklarının PERFORM-3D programına tanıtılması.

Yapılan Analiz sonucunda Binanın I.Mod titreşim periyodu 1.193 saniye, II.Mod titreşim periyodu 0.401 saniye, III.Mod titreşim periyodu 0.216 saniye ve IV.Mod titreşim periyodu 0.149 saniye olarak bulunmuş ve sırasıyla Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

Analiz sonucunda binanın diğer mod parametreleri ve mod katılım kütle oranları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 6.7). Tablodan da görüldüğü üzere binanın I.Mod (Hakim mod) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlelerine oranı 0.713 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10: Bina mod şekilleri ve titreşim periyodları.

Tablo 6.7: Mod katılım kütle oranları.

Mod	Period	X-Kütle Katılım	Y-Kütle Katılım	Z-Kütle Katılım	X-Toplam Kütle Katılım
-	saniye	-	-	-	-
1.Mod	1.193	0.713	0.000	0.000	0.713
2.Mod	0.401	0.199	0.000	0.000	0.912
3.Mod	0.216	0.051	0.000	0.000	0.963
4.Mod	0.149	0.019	0.000	0.000	0.982

6.1.5. Bina Sönüm Fonksiyonun Oluşturulması

Bölüm 6.1.1’ de binanın sönüm oranı %5 olarak tanımlanmıştı. Sönüm fonksiyonunun oluşturulmasında, çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşimlerinde

gözlenen enerji kaybını hesaba katmakta kullanılan, viskoz sönüm matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal birleşimi ile oluşturulduğu sönüm modeli olan Rayleigh model kullanılmıştır.

Bölüm 3.5’de bahsedilmiş Rayleigh sönüm fonksiyonunda esas olan binanın titreşim periyodlarına karşılık gelen kütle katılım oranlarıdır. Bu kapsamda %5 sonum oranına karşılık gelen hakim periyotlar I.Mod (0.713 kütle katılım), II. Mod (0.199 kütle katılım) ve III. Mod (0.051 kütle katılım) titreşim periyotlarıdır (Tablo 6.7). I.Mod, II. Mod ve III. Mod Kütle Katılım Oranı toplamı 0.963 olup sönüm fonksiyonu için yeterli bir katılım oranıdır.

%5 sönüm fonksiyonu I. Modu, II. Modu ve III. Modu içine alacak şekilde iki sınır periyod veya frekans belirlenmiştir.

- $T_1 = 1.19 \text{ san} \rightarrow f_1 = 1/1.193 \rightarrow f_1 = 0.838 \text{ Hz}$
- $T_2 = 0.400 \text{ san} \rightarrow f_2 = 1/0.400 \rightarrow f_2 = 2.500 \text{ Hz}$

İki adet sınır frekans için ω_1 ve ω_2 değerleri:

- $\omega_1 = 2 \times \pi \times f_1 \rightarrow \omega_1 = 2 \times \pi \times 0.838 \rightarrow \omega_1 = 5.265 \text{ rad/san}$
- $\omega_2 = 2 \times \pi \times f_2 \rightarrow \omega_2 = 2 \times \pi \times 2.500 \rightarrow \omega_2 = 15.708 \text{ rad/san}$

İki adet sınır frekans için β ve α değerleri:

- $\zeta_1 = \zeta_2 = 0.05$ tek sönümlü sistem
- $\beta = \frac{2 \times 0.05 \times 5.265 - 2 \times 0.05 \times 15.708}{5.265^2 - 15.708^2} \rightarrow \beta = 4.768 \times 10^{-3}$
- $\alpha = 2 \times 0.05 \times 5.265 - 4.768 \times 10^{-3} \times 5.265^2 \rightarrow \alpha = 0.394$

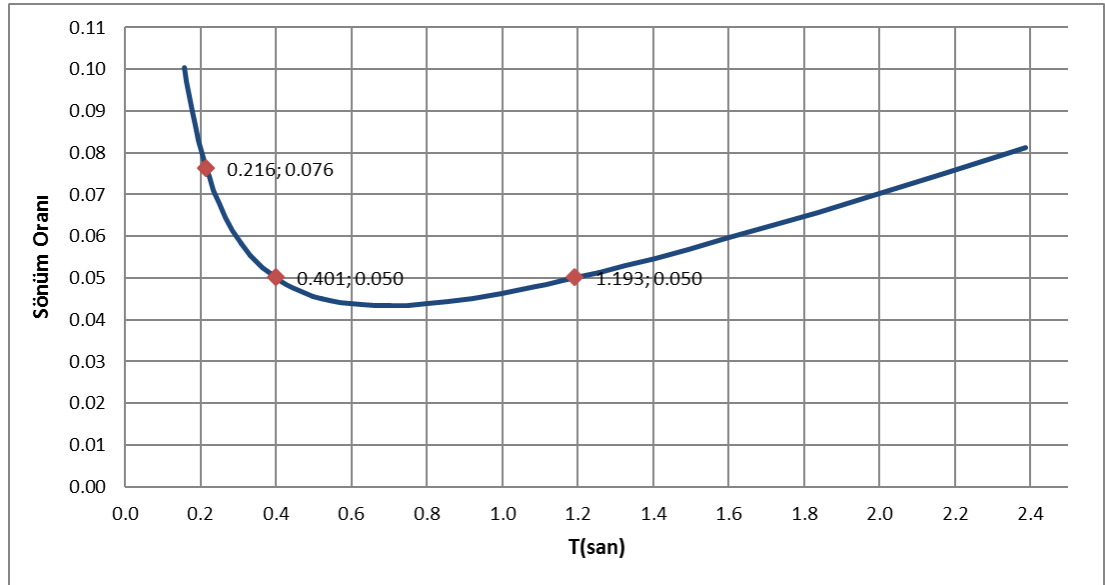
Her f_i için Rayleigh Sönüm Fonksiyonu;

- $\zeta_i = \frac{0.394}{4 \times \pi \times f_i} + 4.768 \times 10^{-3} \times \pi \times f_i$
- $\zeta_i = \frac{0.0314}{f_i} + 0.0150 \times f_i$ (Frekans cinsinden)
- $\zeta_i = \frac{0.0314}{f_i} + 0.0150 \times f_i \left(f_i = \frac{1}{T_i} \right)$
- $\zeta_i = 0.0314 \times T_i + \frac{0.0150}{T_i}$ (Periyod cinsinden)

I.II ve III. Mod Titreşim periyodlarına karşılık gelen sönüm fonksiyonu değerleri ise;

- I. Mod $\rightarrow \zeta_I = 0.0314 \times 1.193 + \frac{0.0150}{1.193} \rightarrow \zeta_I = 0.050$
- II. Mod $\rightarrow \zeta_{II} = 0.0314 \times 0.401 + \frac{0.0150}{0.401} \rightarrow \zeta_{II} = 0.050$
- III. Mod $\rightarrow \zeta_{III} = 0.0314 \times 0.216 + \frac{0.0150}{0.216} \rightarrow \zeta_{III} = 0.076$

Görüldüğü üzere I.II. ve III. Mod titreşim periyodlarına karşılık gelen sönüm oranı %5 oranına yakın çıkmış ve sönüm oranı fonksiyonu sınır periyodlar $T_1 = 1.193$ san ve $T_2 = 0.400$ san olarak belirlenmiştir. Ayrıca sönüm fonksiyonu grafik olarak Şekil 6.11’de sunulmuştur.



Şekil 6.11: Sönüm fonksiyonunun grafik olarak gösterimi.

6.1.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

6.1.6.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Bina Tasarım Spektrumuna göre Ölçeklendirilmesi

Tez kapsamında 20 farklı deprem kaydı seçilmiş ve bu deprem kayıtları üzerinde analizler yapılmıştır. Depremlerin özellikleri Tablo 6.8’de gösterilmiştir. Deprem

kayıtları yapının sadece I.Mod (Hakim) titreşim periyodu (T=1.193 saniye) dikkate alınarak ölçeklendirilmiştir.

Tablo 6.8: Seçilen deprem kayıtların özellikleri.

Deprem Adı	Kayıt	Büyüklik	Kayıt Sayısı	Kayıt Aralığı	Süre	Maks.Yer İvmesi
-	-	-	-	saniye	saniye	cm/saniye ²
LA01	Imperial Valley, 1940, El Centro	6.9	2674	0.020	39.380	452.03
LA02	Imperial Valley, 1940, El Centro	6.9	2674	0.020	39.380	662.88
LA03	Imperial Valley, 1979, Array #05	6.5	3939	0.010	39.380	386.04
LA04	Imperial Valley, 1979, Array #05	6.5	3939	0.010	39.380	478.65
LA05	Imperial Valley, 1979, Array #06	6.5	3909	0.010	39.080	295.69
LA06	Imperial Valley, 1979, Array #06	6.5	3909	0.010	39.080	230.08
LA07	Landers, 1992, Barstow	7.3	4000	0.020	79.980	412.98
LA08	Landers, 1992, Barstow	7.3	4000	0.020	79.980	417.49
LA09	Landers, 1992, Yermo	7.3	4000	0.020	79.980	509.70
LA10	Landers, 1992, Yermo	7.3	4000	0.020	79.980	353.35
LA11	Loma Prieta, 1989, Gilroy	7.0	2000	0.020	39.980	652.49
LA12	Loma Prieta, 1989, Gilroy	7.0	2000	0.020	39.980	950.93
LA13	Northridge, 1994, Newhall	6.7	3000	0.020	59.980	664.93
LA14	Northridge, 1994, Newhall	6.7	3000	0.020	59.980	644.49
LA15	Northridge, 1994, Rinaldi RS	6.7	2990	0.005	14.945	523.30
LA16	Northridge, 1994, Rinaldi RS	6.7	2990	0.005	14.945	568.58
LA17	Northridge, 1994, Sylmar	6.7	3000	0.020	59.980	558.43
LA18	Northridge, 1994, Sylmar	6.7	3000	0.020	59.980	801.44
LA19	North Palm Springs, 1986	6.0	3000	0.020	59.980	999.43
LA20	North Palm Springs, 1986	6.0	3000	0.020	59.980	967.61

Örnek temsil etmesi amacıyla LA09, LA11, LA16 ve LA18 deprem kaydının zamana bağlı ivme değerleri Bölüm 5.1.6 - Şekil 5.27’de sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde her deprem kaydı için maksimum yer ivmesine karşılık zaman ve ivme değerleri işaretlenmiştir.

Deprem kayıtlarının davranış spektrumuna ölçeklendirilmesinde SAP2000 programından yararlanılmış ve zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılmıştır. Yapılan her deprem kaydının analizinde davranış spektrumları elde edilmiştir. Bu analizden sonra her bir kayıt için çıkartılan davranış spektrumları bina elastik spektrumuna ölçeklenmiştir. Örnek temsil etmesi için LA05 deprem kaydının bina spektrumuna ölçeklendirilmesi gösterilmiştir.

Öncelikle 2008-İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmelikte yer alan Denklem (2.2) yardımı ile binanın I.Mod titreşim periyoduna (T=1.72 saniye) karşılık gelen yer ivmesi bulunmuştur.

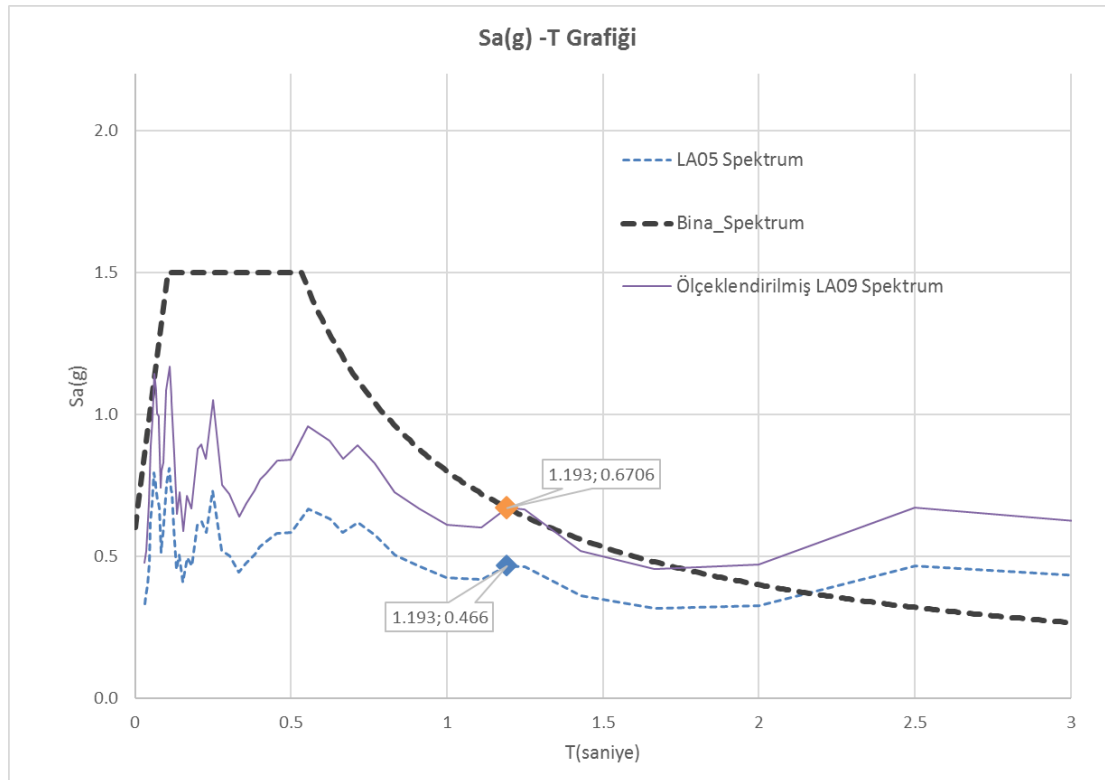
$$\bullet S_{ae}(T) = \frac{0.8}{1.193} = 0.6706(g) \quad (0.53 \leq 1.72 \leq 12)$$

LA05 deprem kayıtlı zaman tanım alanında doğrusal analizi yapılmış ve davranış spektrumu elde edilmiştir Şekil(6.12). Analiz sonucunda oluşan yeni tepki spektrumunda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen yer ivmesi değeri 0.466 g olarak okunmuştur (Şekil 6.12).

Ölçekleme katsayısı; bina elastik davranış spektrumunda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerinin (0.6706) LA05 deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal analizden oluşan yeni spektrumda I.Mod titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerine (0.466) oranı olarak hesaplanmıştır.

- Ölçekleme Katsayısı = $\frac{0.6706}{0.466} \rightarrow \text{Ölçekleme Katsayısı} = 1.439$

Analiz sonucu oluşan yeni spektrum 1.439 katsayısı ile büyütülerek bina spektrumuna ölçeklenmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12: LA05 deprem spektrumunun yapı spektrumuna ölçeklendirilmesi.

LA05 deprem kaydındaki ölçeklendirilmede yapılan hesap adımlarının aynısı 20 deprem kayıtlarının içinde yapılmış ölçekleme katsayıları hesaplanmış ve Tablo 6.9’da gösterilmiştir.

Tablo 6.9: Deprem kayıtlarının bina spektrumuna göre ölçeklenmesi.

Deprem Kaydı	Sa(g)	Ölçek.Katsayısı	Deprem Kaydı	Sa(g)	Ölçek. Katsayısı
LA01 Deprem	0.6545	1.025	LA11 Deprem	0.7118	0.942
LA02 Deprem	0.6375	1.052	LA12 Deprem	0.2327	2.882
LA03 Deprem	0.5324	1.260	LA13 Deprem	0.9444	0.710
LA04 Deprem	0.3218	2.084	LA14 Deprem	1.0479	0.640
LA05 Deprem	0.4660	1.439	LA15 Deprem	0.7970	0.841
LA06 Deprem	0.2180	3.076	LA16 Deprem	0.9937	0.675
LA07 Deprem	0.4782	1.402	LA17 Deprem	0.5374	1.248
LA08 Deprem	0.4382	1.530	LA18 Deprem	0.8361	0.802
LA09 Deprem	1.0008	0.670	LA19 Deprem	0.4034	1.662
LA10 Deprem	0.7099	0.945	LA20 Deprem	0.9006	0.745

6.1.6.2. Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik analizlere başlamadan önce deprem kayıtlarının artımsal olarak doğrusal ölçeklendirilmesi yapılmıştır.

Artımsal Dinamik Analizler her deprem kaydının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin 0.1g-2.3g aralığında 0.1g’lik artımlarla artırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deprem kayıtlarının $T=1.193$ saniyeye karşılık gelen $S_a(g)$ değerleri daha önceden Tablo 6.9’da gösterilmişti. Bu ivme değerleri Bölüm 6.1.6.1’de yapılan hesaplara benzer ancak her bir 0.1g adımları için ayrı ayrı artımsal olarak ölçeklendirilmiştir (Tablo 6.10).

Tablo 6.10’da yer alan $SF_{(i)}$ seçilen herhangi bir deprem kaydından oluşan spektrumun $T=1.193$ saniyeye (Hakim periyoda) karşılık gelen yer ivmesi değeridir.

Örneğin $SF_{0.4}$, deprem kayıtlarından oluşan spektrumda $T=1.193$ saniye karşılık gelen yer ivme değeri 0.4 g olarak ölçülür.

Tablo 6.10: Deprem kayıtlarının artımsal ölçeklenmesi.

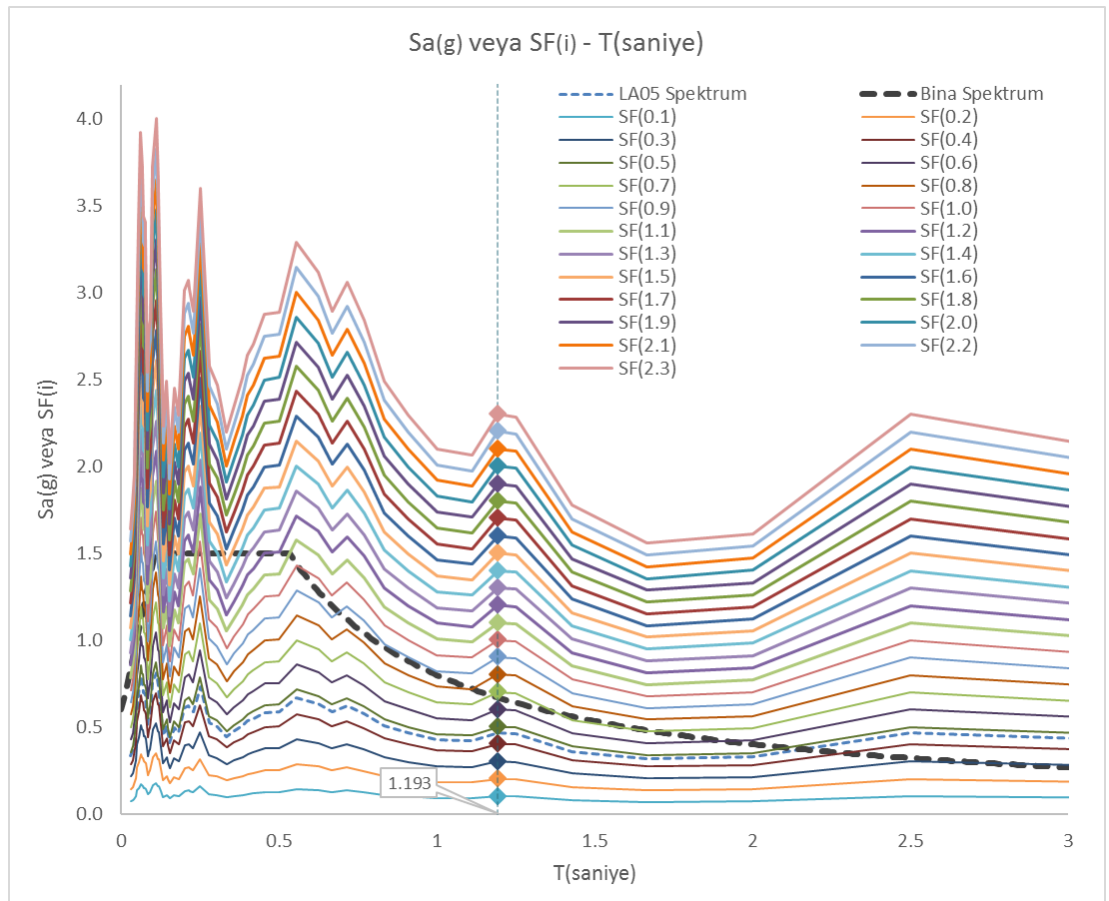
ARTİMSAL İVME		LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA06	LA07	LA08	LA09	LA10	LA11	LA12	LA13	LA14	LA15	LA16	LA17	LA18	LA19	LA20
IDA	Sa(g)	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.	Ölç.Kat.
SF _{0,0}	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SF _{0,1}	0.10	0.153	0.157	0.188	0.311	0.215	0.459	0.209	0.228	0.100	0.141	0.140	0.430	0.106	0.095	0.125	0.101	0.186	0.120	0.248	0.111
SF _{0,2}	0.20	0.306	0.314	0.376	0.622	0.430	0.918	0.418	0.456	0.200	0.282	0.281	0.860	0.212	0.191	0.251	0.201	0.372	0.239	0.496	0.222
SF _{0,3}	0.30	0.458	0.471	0.564	0.932	0.644	1.376	0.627	0.685	0.300	0.423	0.421	1.289	0.318	0.286	0.376	0.302	0.558	0.359	0.744	0.333
SF _{0,4}	0.40	0.611	0.627	0.751	1.243	0.859	1.835	0.836	0.913	0.400	0.563	0.562	1.719	0.424	0.382	0.502	0.403	0.744	0.478	0.992	0.444
SF _{0,5}	0.50	0.764	0.784	0.939	1.554	1.074	2.294	1.046	1.141	0.500	0.704	0.702	2.149	0.529	0.477	0.627	0.503	0.930	0.598	1.239	0.555
SF _{0,6}	0.60	0.917	0.941	1.127	1.865	1.289	2.753	1.255	1.369	0.600	0.845	0.843	2.579	0.635	0.573	0.753	0.604	1.117	0.718	1.487	0.666
SF _{0,7}	0.70	1.069	1.098	1.315	2.175	1.503	3.211	1.464	1.598	0.699	0.986	0.983	3.009	0.741	0.668	0.878	0.704	1.303	0.837	1.735	0.777
SF _{0,8}	0.80	1.222	1.255	1.503	2.486	1.718	3.670	1.673	1.826	0.799	1.127	1.124	3.438	0.847	0.763	1.004	0.805	1.489	0.957	1.983	0.888
SF _{0,9}	0.90	1.375	1.412	1.691	2.797	1.931	4.129	1.882	2.054	0.899	1.268	1.264	3.868	0.953	0.859	1.129	0.906	1.675	1.076	2.231	0.999
SF _{1,0}	1.00	1.528	1.569	1.878	3.108	2.148	4.588	2.091	2.282	0.999	1.409	1.405	4.298	1.059	0.954	1.255	1.006	1.861	1.196	2.479	1.110
SF _{1,1}	1.10	1.681	1.725	2.066	3.418	2.363	5.046	2.300	2.510	1.099	1.549	1.545	4.728	1.165	1.050	1.380	1.107	2.047	1.316	2.727	1.221
SF _{1,2}	1.20	1.833	1.882	2.254	3.729	2.577	5.505	2.509	2.739	1.199	1.690	1.686	5.158	1.271	1.145	1.506	1.208	2.233	1.435	2.975	1.332
SF _{1,3}	1.30	1.986	2.039	2.442	4.040	2.792	5.964	2.719	2.967	1.299	1.831	1.826	5.587	1.377	1.241	1.631	1.308	2.419	1.555	3.223	1.444
SF _{1,4}	1.40	2.139	2.196	2.630	4.351	3.007	6.423	2.928	3.195	1.399	1.972	1.967	6.017	1.482	1.336	1.757	1.409	2.605	1.674	3.470	1.555
SF _{1,5}	1.50	2.292	2.353	2.818	4.662	3.222	6.881	3.137	3.423	1.499	2.113	2.107	6.447	1.588	1.431	1.882	1.509	2.791	1.794	3.718	1.666
SF _{1,6}	1.60	2.445	2.510	3.005	4.972	3.436	7.340	3.346	3.652	1.599	2.254	2.248	6.877	1.694	1.527	2.007	1.610	2.977	1.914	3.966	1.777
SF _{1,7}	1.70	2.597	2.667	3.193	5.283	3.651	7.799	3.555	3.880	1.699	2.395	2.388	7.306	1.800	1.622	2.133	1.711	3.163	2.033	4.214	1.888
SF _{1,8}	1.80	2.750	2.824	3.381	5.594	3.866	8.258	3.764	4.108	1.799	2.536	2.529	7.736	1.906	1.718	2.258	1.811	3.350	2.153	4.462	1.999
SF _{1,9}	1.90	2.903	2.980	3.569	5.905	4.081	8.716	3.973	4.336	1.898	2.676	2.669	8.166	2.012	1.813	2.384	1.912	3.536	2.272	4.710	2.110
SF _{2,0}	2.00	3.056	3.137	3.757	6.215	4.295	9.175	4.182	4.564	1.998	2.817	2.810	8.596	2.118	1.909	2.509	2.013	3.722	2.392	4.958	2.221
SF _{2,1}	2.10	3.208	3.294	3.945	6.526	4.510	9.634	4.392	4.793	2.098	2.958	2.950	9.026	2.224	2.004	2.635	2.113	3.908	2.512	5.206	2.332
SF _{2,2}	2.20	3.361	3.451	4.133	6.837	4.725	10.093	4.601	5.021	2.198	3.099	3.091	9.455	2.330	2.099	2.760	2.214	4.094	2.631	5.454	2.443
SF _{2,3}	2.30	3.514	3.608	4.320	7.148	4.940	10.551	4.810	5.249	2.298	3.240	3.231	9.885	2.435	2.195	2.886	2.314	4.280	2.751	5.701	2.554

Örnek teşkil etmesi için LA05 deprem kaydı $SF_{0.9}$ hesabı yapılmıştır. LA05 deprem kaydının spektrumunda $T=1.193$ saniyeye karşılık gelen ivme değeri 0.466 (g) olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.12). Bu ivme değerini 0.90 (g)' ye ölçeklemek için;

• Ölç. Katsayısı = $\frac{0.90}{0.466} \rightarrow$ Ölç. Katsayısı = 1.931 olarak bulunur.

LA05 deprem kaydı için Tablo 6.10'da yer alan değerlerinin grafik olarak gösterimi Şekil 6.13'de sunulmuştur.

Ölçeklenmiş toplam 460 adet deprem kaydı PERFORM-3D programına tanıtılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6.13: LA05 deprem kaydının artımsal olarak ölçeklendirilmesi.

6.1.7. Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması

Bu bölüme kadarki adımlarda sistem modeli ve malzeme özellikleri oluşturulmuş, kesitler atanmış, yükler tanımlanmış, DYT kolonlar eklenmiş, kolon, kiriş ve çapraz elemanların mafsallık özellikleri belirlenmiş, modal parametreler hesaplanmış, sönüm fonksiyonu çizilmiş, deprem kayıtları seçilmiş ve bütün deprem kayıtları bina spektrumuna ve 0.1g-2.3g aralığında 0.1g'lik artırımlarla artırılmasıyla toplam 460 adet ölçeklendirilme yapılmıştır.

Doğrusal olmayan analize başlamadan önce binanın deprem yüklü kombinasyonları oluşturulmuştur. Yapılan bütün doğrusal olmayan analiz adımlarında PERFORM-3D programı kullanılmıştır.

6.1.7.1. Doğrusal Olmayan Analiz için Başlangıç Koşulunun Oluşturulması

Doğrusal olmayan analize başlangıç koşulu; ölü ve hareketli yüklerin doğrusal olmayan statik analizi yapılmasıdır. Analiz sonucunda elde edilen iç kuvvetler yatay kuvvetlerden oluşan kombinasyonların başlangıç koşulu olmuştur. Düşey yüklerden oluşan kombinasyon ise D.B.Y.B.H.Y de bulunan Denklem (2.5) ile hesaplanmıştır ($G + 0.3Q$).

PERFORM-3D ortamında bu başlangıç yük durumu Şekil 6.14'de gösterilmiş ve NON_LIN_DEAD_LIVE olarak adlandırılmıştır.

Şekil 6.14'de görüldüğü gibi analiz tipi Doğrusal olmayan (Nonlinear) analizdir. Geometrik Doğrusal Olmayan parametreleri (Geometric Nonlinearty Parameters) altında yer alan P-Delta etkileri göz önüne alınmıştır.

LOAD CASES

Load Case Type: Gravity Status: Saved

Copy Delete New Select name to edit an existing load case.

Load Case Name: NON_LIN_DEAD_LIVE Save Save As Delete UnChange

Analysis Method

☐ Linear (usual option)
Load applied in one step. Stops if there is a nonlinear event.

☒ Nonlinear.
See control information in box to right.

Control Information for Nonlinear Analysis

No. of Load Steps: 20
Max. Events in any Step: 20
Initial Step to First Event? ☐ Yes ☒ No

Limit State to Stop Analysis. Type: Default
Name: Deformation beyond X point for any component

Load is applied in equal steps, not counting optional initial step to first nonlinear event. Analysis stops when all load is applied or limit state is reached, whichever occurs first. Analysis aborts if the maximum number of nonlinear events is exceeded in any step.

Gravity Load Patterns for this Load Case

LOAD PATTERN TO BE ADDED OR CHANGED

Load Type: ☒ Nodal ☐ Element ☐ Self Weight

Pattern Name: LoadNode-DEAD

Scale Factor:

Add Insert Replace Delete

A Gravity load case be any combination of nodal, element and self weight load patterns, up to a maximum of 20 patterns.

LOAD PATTERN LIST

Click to highlight for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Factor
1	Node	LoadNode-DEAD	1
2	Elem	LoadFrame-DEAD	1
3	Node	LoadNode-LIVE	0.3
4	Elem	LoadFrame-LIVE	0.3

Şekil 6.14: PERFORM-3D programında başlangıç yük koşulunun oluşturulması.

6.1.7.2. Doğrusal Olmayan Yük Kombinasyonlarının Oluşturulması

PERFORM-3D programında toplam 460 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik kombinasyonlar oluşturulmuş ve örnek temsil etmesi için LA05 deprem kaydının 0.9g spektral ivme değerinde (LA_05_SF_0.9 yük durumu) yük tanımlaması PERFORM-3D ekran görüntüsü Şekil 6.15’de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan analize başlamadan önce tekrar maksatlı ekran görüntüsünde geçen ifadeler aşağıdaki maddelerle hatırlatılmıştır.

- LA_05_SF_0.9 deprem yüklemesinin başlangıç koşulu Bölüm 6.1.7.1’de anlatılan NON_LIN_DEAD_LIVE kombinasyonudur.
- Yapılan deprem yüklemesi zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analizdir.
- Ölçekleme katsayısı Bölüm 6.1.6.2’de anlatılmış olup 1.931 olarak hesaplanmıştır.
- LA 05 depremin kayıt aralığı 0.01 saniye olup 3909 adımdan oluşmaktadır (Bölüm 6.1.6.1).
- P-Delta etkilerini görmek için DYT Kolonlar oluşturulmuştur (Bölüm 6.1.1)

- Sönüm fonksiyonu Bölüm 6.1.5’de anlatılmış ve PERFORM-3D programına tanıtılmıştır.

Şekil 6.15: PERFORM-3D programında LA05 deprem kaydının 0.9g spektral ivme değerinde yük tanımlanması.

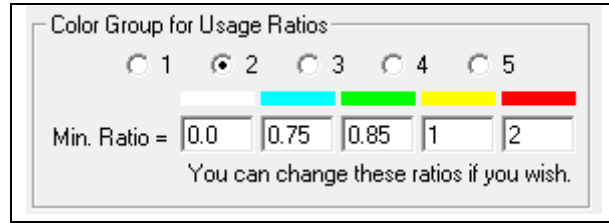
6.1.7.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analizlerinin Yapılması

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi yapılması için bütün adımlar PERFORM-3D programı kullanarak oluşturulmuş ve analiz hazır hale getirilmiştir. Analiz sonucunda her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için sistemde oluşan nümerik değerler (Plastik deformasyonları, görelî kat ötelemeleri... gibi) Bölüm 6.1.8’de değerlendirilmiştir. Örnek temsil etmesi için bina tasarım spektrumuna en yakın olan $SF_{0.7}$ için binanın ölçeklenmiş 20 adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonunda oluşan kiriş, kolon ve çapraz elemanlarının can güvenliği performans seviyeleri gösterilmiştir (Şekil 6.17). Ayrıca

seçilen bir adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi sonucu oluşan enerji diyagramları sunulmuştur.

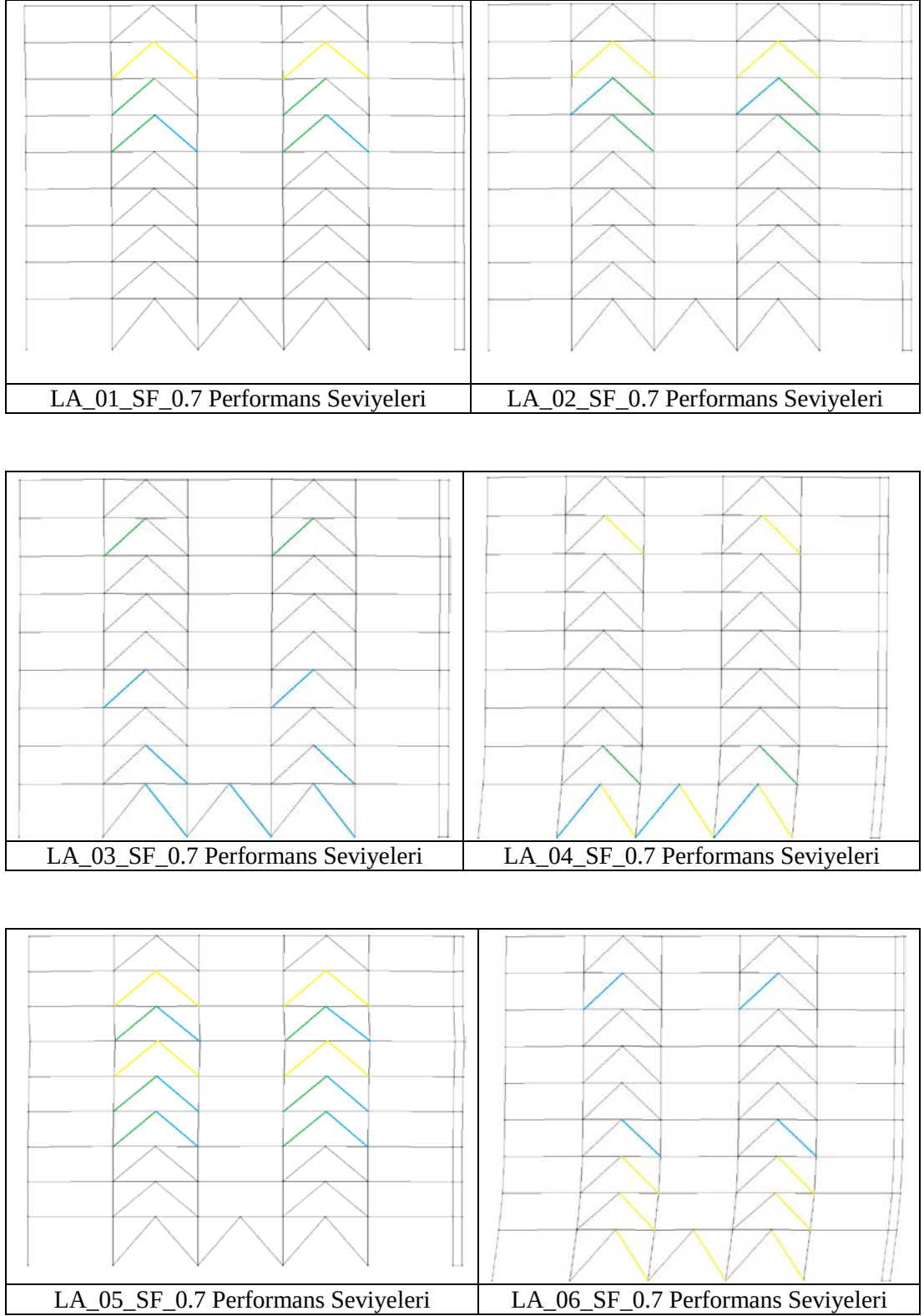
- Taşıyıcı sistem elemanlarının analiz sonucu performans seviyeleri:

PERFORM-3D programında taşıyıcı sistem elemanların performans seviyelerinin talep/kapasite oranı hem görsel hem de skaler olarak değerlendirilmektedir. Grsel değerlendirmede renk skalaları oluşturulmuştur. Kullanılan dört renk farklı talep/kapasite oranını temsil etmektedir. Cyan rengine 0.75, yeşil rengine 0.85, sarı rengine 1.0 ve kırmızı rengine 2.0 ve üzeri talep/kapasite oranları tanımlanmıştır şekil (6.16).

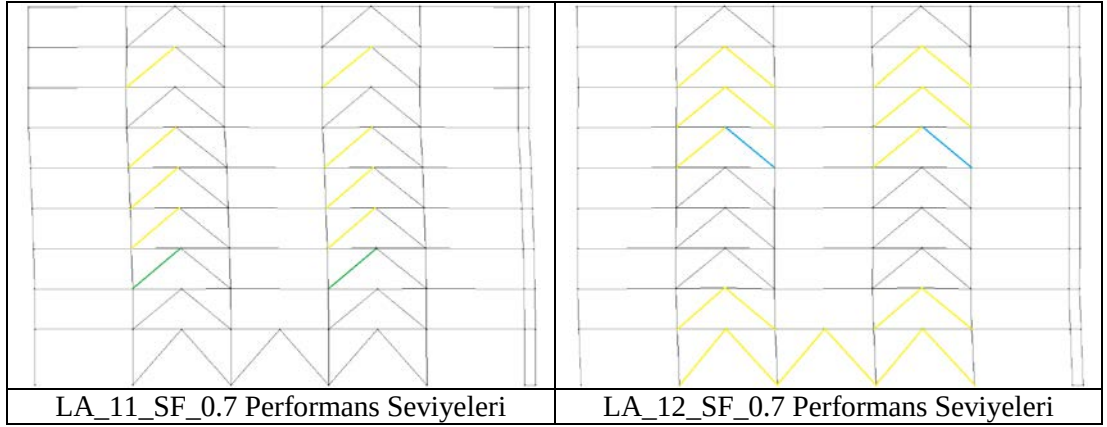
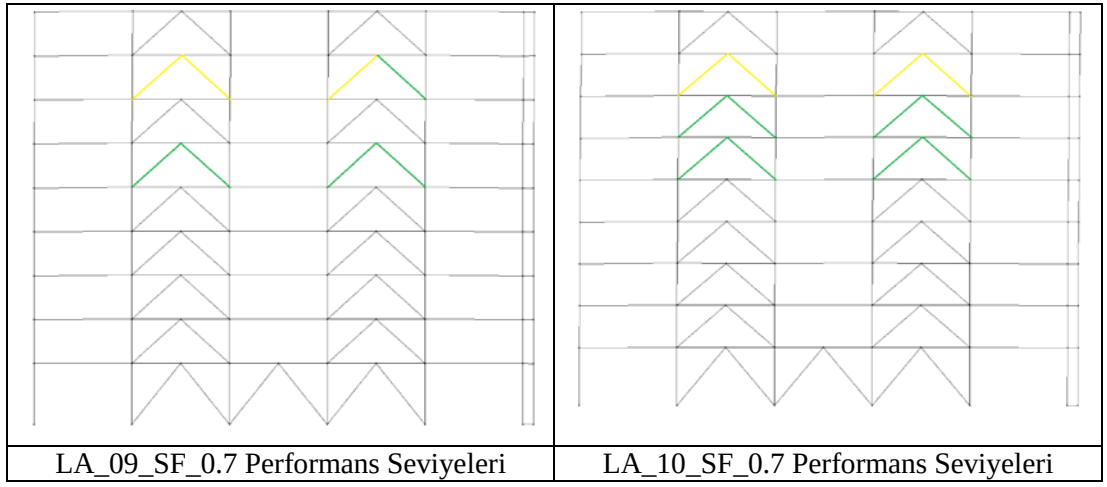
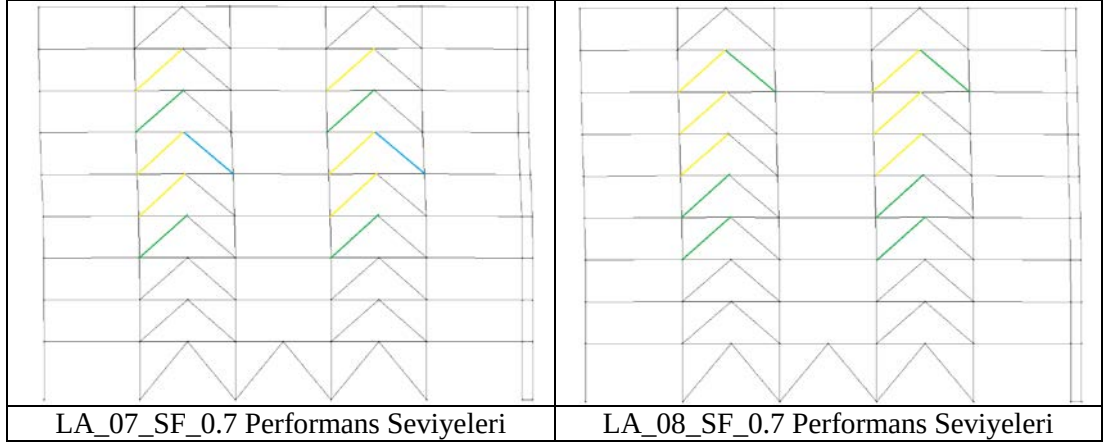


şekil 6.16: PERFORM-3D programında talep/kapasite oranları.

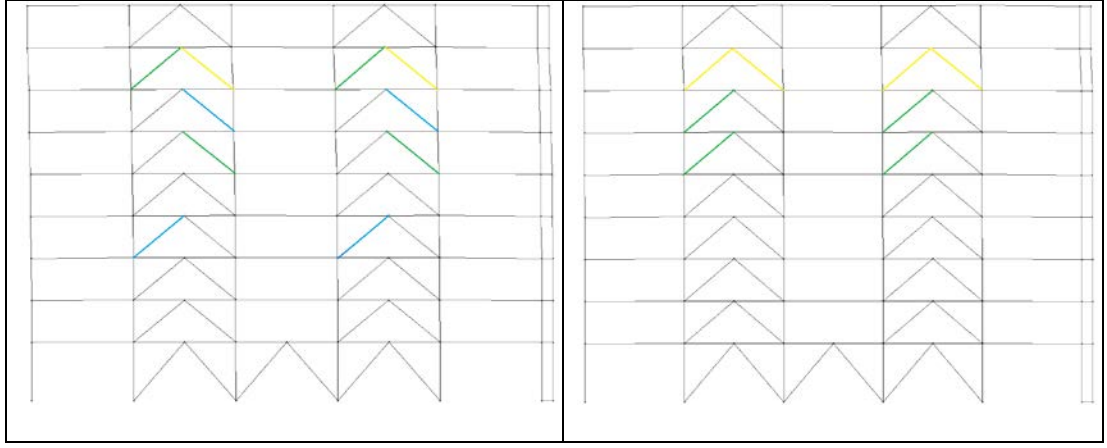
Yapılan 20 adet analiz sonucunda, kiriş elemanlarının doğrusal olmayan davranış göstermediği, kolonların ise can güvenliği performans seviyesinin talep/kapasite oranının 0.25 katına dahi ulaşamadığı gözlemlenmiş ancak bazı katlardaki çapraz elemanlarının Can güvenliği performans seviyesinin talep/kapasite oranının 1.0 katına aştığını ve 2.0 katını geçmediği görülmüştür (şekil 6.17). Bunun sebebi sistemde sigorta elaman olarak tasarlanan çapraz elemanların kolon ve kiriş elemanlara kıyasla dayanımın daha zayıf olması ve bu sebepten enerji sönümlemesinin sadece çaprazlarda oluşması beklenmesidir. Kolon ve kiriş elemanların tasarımında ise dengelenmemiş kuvvetler dikkate alındığından bu elemanlar deprem yükleri altında oldukça dayanımı yüksek olduğundan kolonlar can güvenliği seviyesine ulaşmamış kirişler doğrusal olmayan davranış göstermemiştir. Yapının tasarım aşamasında da istenilen davranışın bu şekilde olması beklenmiştir.



Şekil 6.17: $SF_{0.7}$ için 20 adet ölçeklenmiş depremlerde oluşan performans seviyeleri.

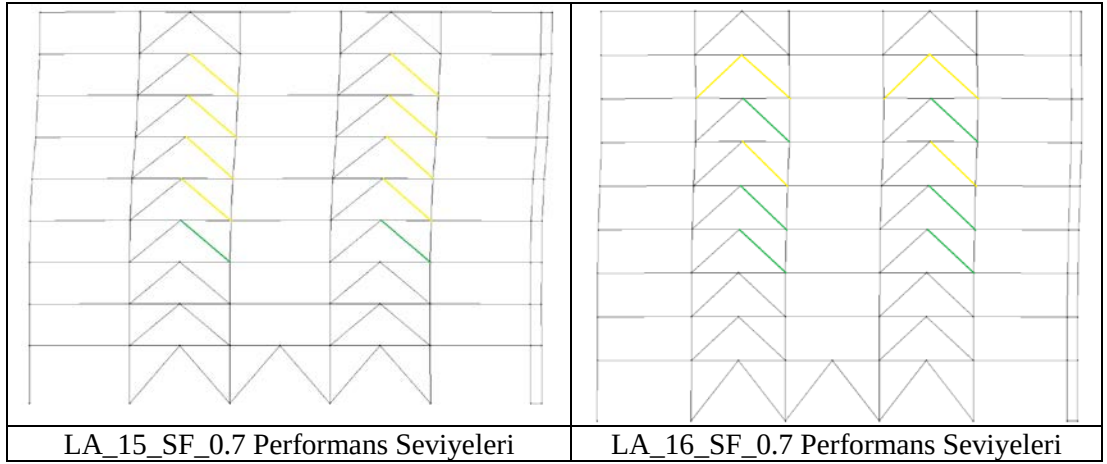


Şekil 6.17: Devam.



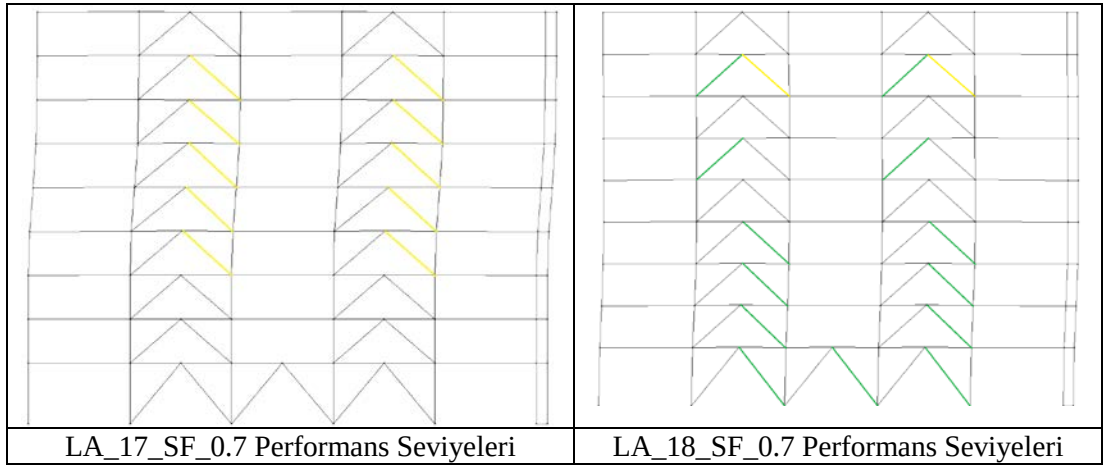
LA_13_SF_0.7 Performans Seviyeleri

LA_14_SF_0.7 Performans Seviyeleri



LA_15_SF_0.7 Performans Seviyeleri

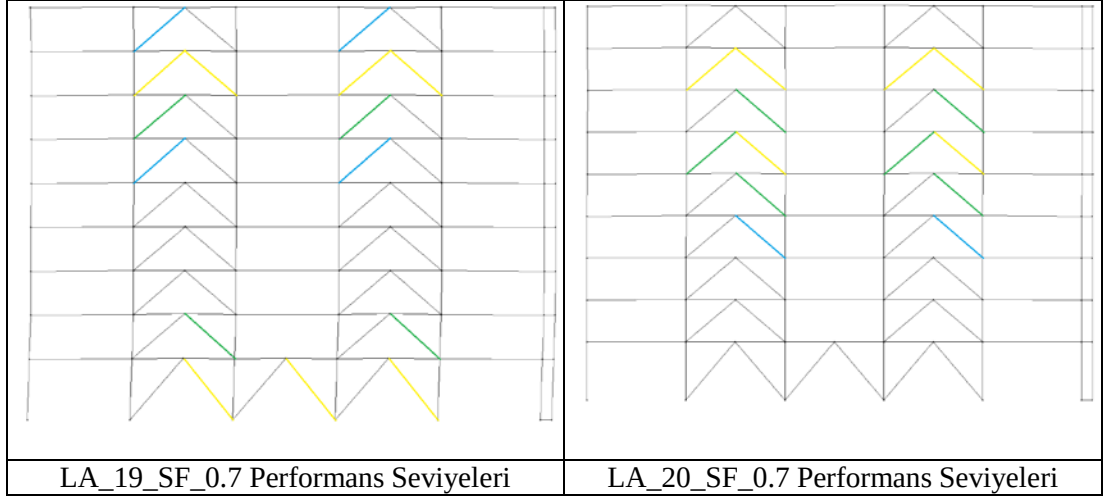
LA_16_SF_0.7 Performans Seviyeleri



LA_17_SF_0.7 Performans Seviyeleri

LA_18_SF_0.7 Performans Seviyeleri

Şekil 6.17: Devam.



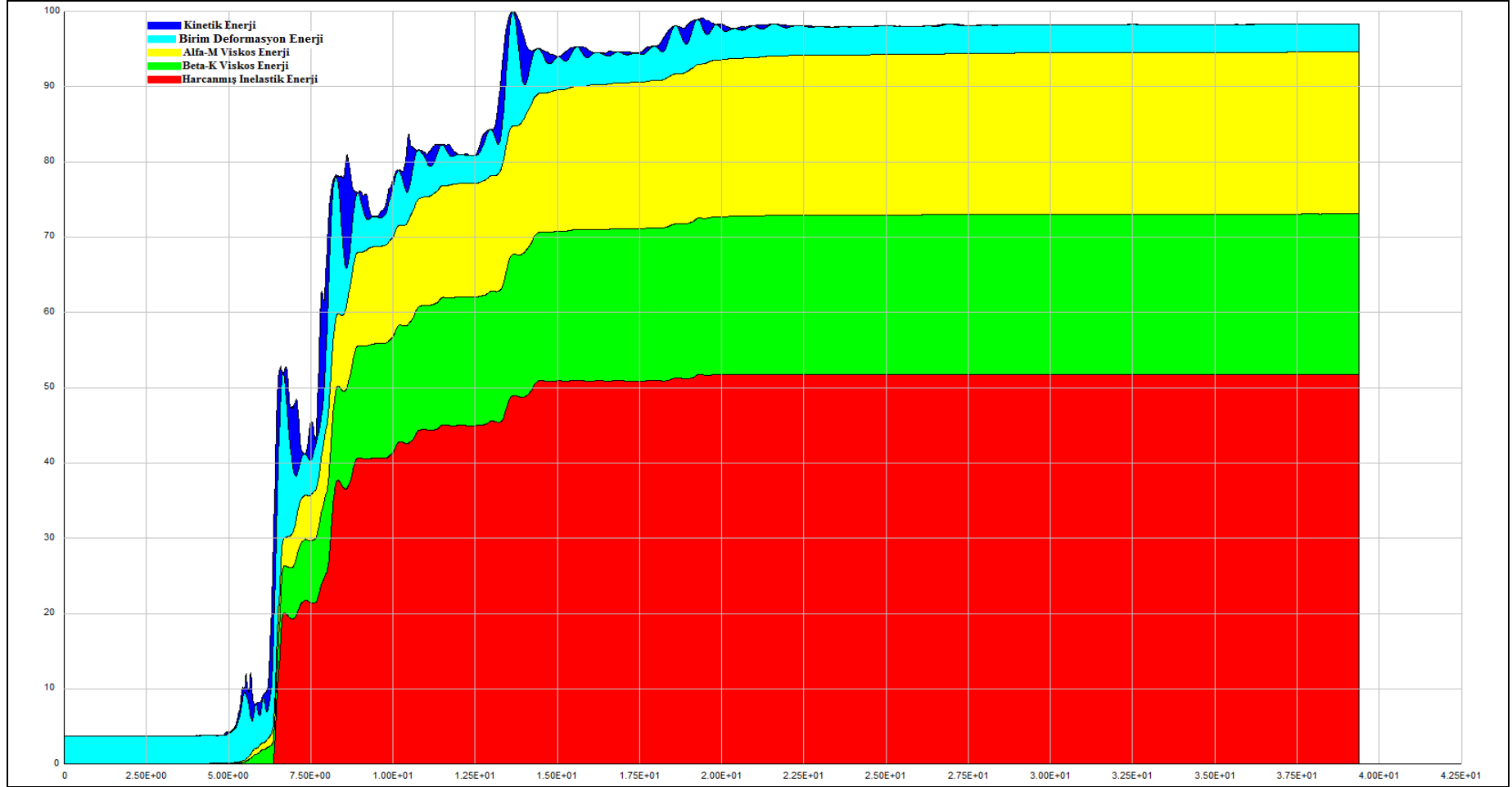
Şekil 6.17: Devam.

- Taşıyıcı sistem elemanlarının analiz sonucu enerji dağılımları:

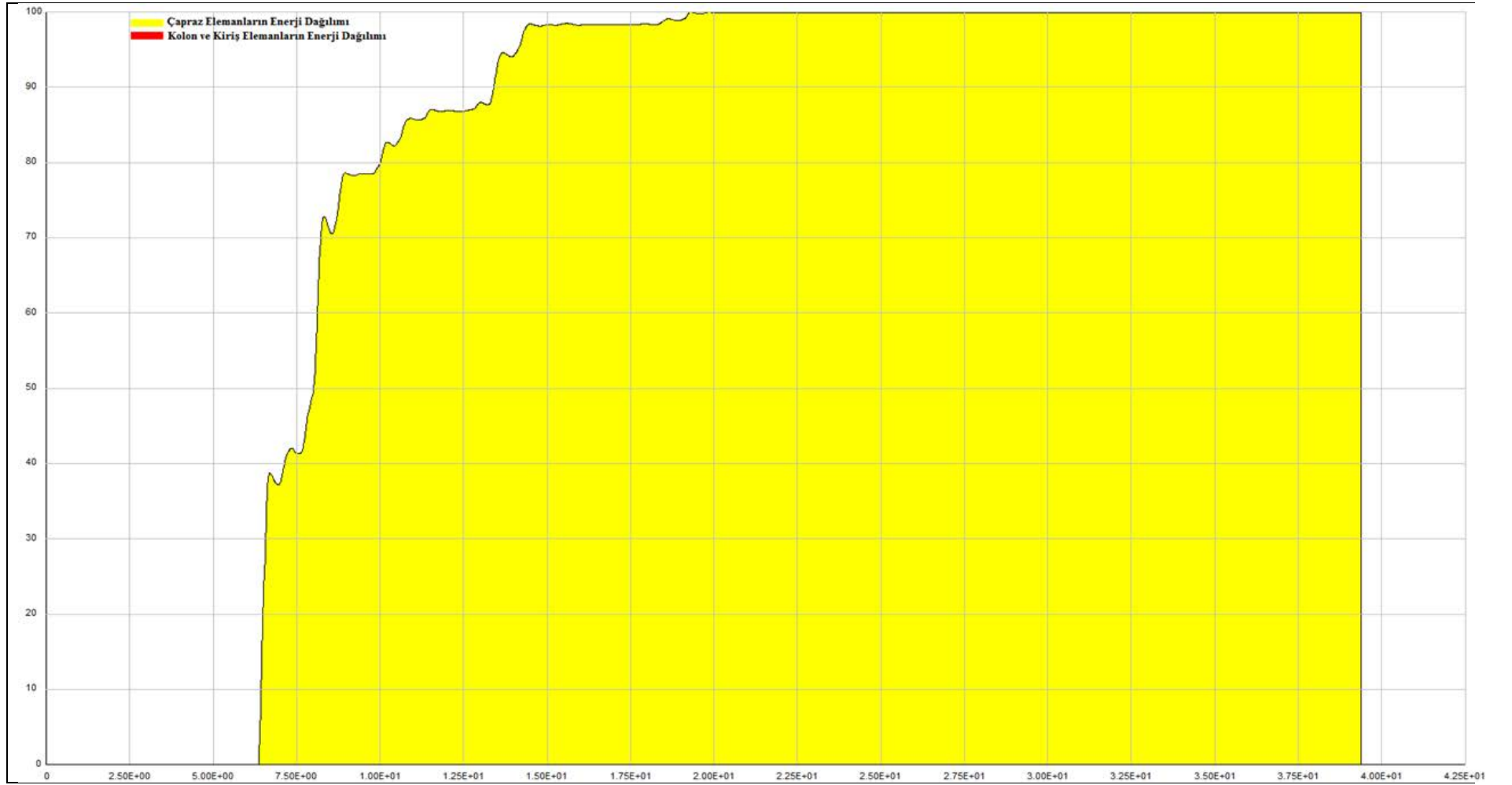
Çelik binalar kendi yapısal özelliklerine göre belirli bir sönüm oranlarına sahiptirler. Sistemin bulonlu veya kaynaklı birleşim olması, kompozit elemanların varlığı, yapısal olmayan elemanların bulunması gibi unsurlar sistemin sönümünü belirlemektedir. Sönüm ise daha öncesinden belirttiğimiz gibi; çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşimlerinde gözlenen enerji kaybını hesaba katmakta kullanılan, viskoz sönüm matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal birleşimi ile oluşturulduğu sönüm modeli olan Rayleigh modelidir.

Deprem titreşimi yapı elemanlarının etkileşimi ile enerjiye dönüşür. Bu enerjinin büyük bir kısmı üç farklı kısımlarda dağılması ve yutulması beklenir. İlk ikisi Rayleigh sönüm oranını oluşturan yapının kütle sönümü ($\alpha[M]$) ve yapının rijitlik sönümüdür ($\beta[K]$). Diğer parametre ise yapıda doğrusal olmayan davranış gösteren taşıyıcı elemanların sönümüdür.

SF_{0.7} için 20 adet ölçeklenmiş kayıtlardan oluşan analizler sonucunda deprem enerjisinin çok büyük bir kısmı çapraz elemanların doğrusal olmayan davranışı ve Rayleigh sönümü ile karşılanmıştır. Bazı yük kombinasyonlarında ise kolon elemanlarının doğrusal olmayan davranışından dolayı çok küçük enerji sönümlerler kolonlar tarafından karşılanmıştır. Örnek temsil etmesi için LA_03_SF_0.7 analiz sonucunda sistemde ve yapısal elemanlarda oluşan enerji dağılımları görsel ve nümerik olarak sunulmuştur



Şekil 6.18: LA_03_SF_0.7 analiz sonucu sistemde oluşan enerji dağılımı.



Şekil 6.19: LA_03_SF_0.7 analiz sonucu taşıyıcı elemanlarda oluşan enerji dağılımı.

Tablo 6.11: LA_03_SF_0.7 analiz sonucu enerji dağılımlarının nümerik gösterimi.

Enerji Dağılımları	Kinetik	Deformasyon	Alfa-M Viskos	Beta-K Viskos	Harcanmış İn elastik Enerji	
	-	-	-	-	Çaprazlar	Kolonlar ve Kirişler
Enerji Miktarı (KNcm)	34.76	17574.00	101450.00	100760.00	243640.00	0.00
Enerji Yüzdesi	0.01%	3.79%	21.89%	21.74%	52.57%	0.00%
Toplam Enerji (KNcm)	463458.76					

6.1.8. Artımsal Dinamik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz sonucunda çaprazlarda oluşan doğrusal olmayan davranışlar, maksimum birim şekil değiştirmeler ve performans seviyeleri ve sistemde ve katlarda oluşan maksimum görelî kat öteleme oranları değerlendirilmiştir. Bölüm sonunda ise sistemde oluşan güvenlik sınırı (GV) seviyesinde maksimum görelî kat ötelemelerin istatistiksel değerlendirmeleri yapılmıştır.

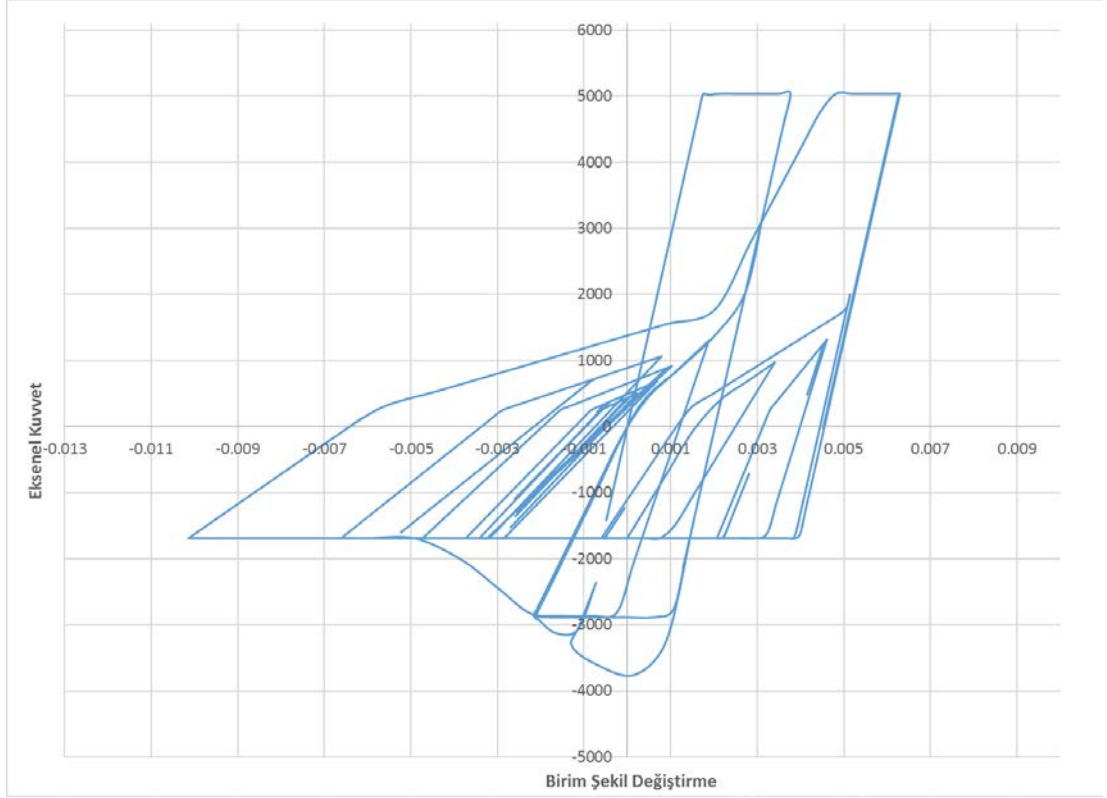
6.1.8.1. Çaprazlarda Oluşan Doğrusal Olmayan Davranışın İncelenmesi

Yirmi farklı deprem kaydı altında ve her deprem kaydı için 0.1g adımlarla artırılmış ve ölçeklenmiş 460 adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır.

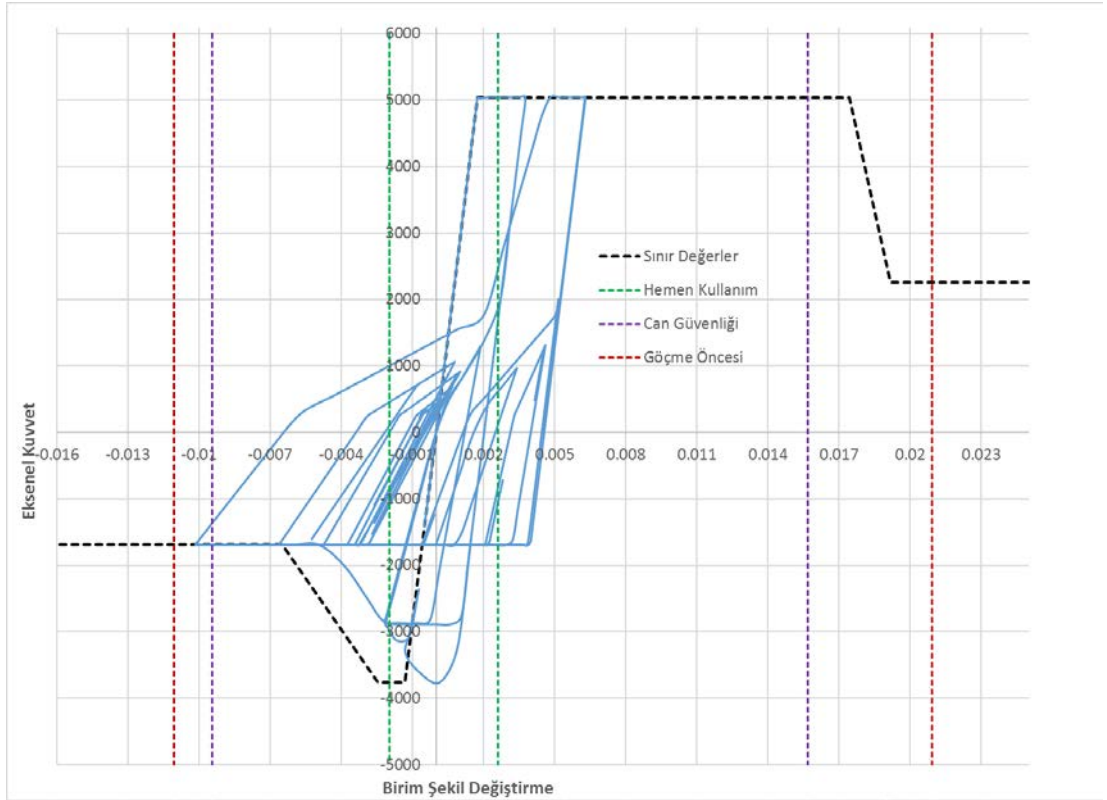
Bu bölümde örnek temsil etmesi için LA_12_SF_0.7 analizinde 1-B Aksı üzerinde 1.ve 2. katlar arasında kalan çapraz elemanın ile LA_19_SF_0.7 analizinde 1-C Aksı üzerinde 7.ve 8. katlar arasında kalan çapraz elemanın çevrimsel ve zamana bağlı doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir.

- LA_12_SF_0.7 Analiz ve 1-B Aksı 1.ve 2. Katlar arası çaprazın çevrimsel davranışı:

Seçilen çapraz elemanın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Bölüm 6.1.2.1’de yapılan hesap adımları ile oluşturulmuş ve bu grafik eksenel kuvvet-birim şekil değiştirme grafiğine çevrilmiştir. Grafik üzerinde çapraza ait üç farklı performans seviyeleri de çizilmiş ve analiz sonucunda çapraz elemanın çevrimsel davranışı Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de gösterilmiştir.



Şekil 6.20: 1-B Aksı 1.ve 2.Kat arası çaprazın zamana bağlı çevrimsel davranışı.

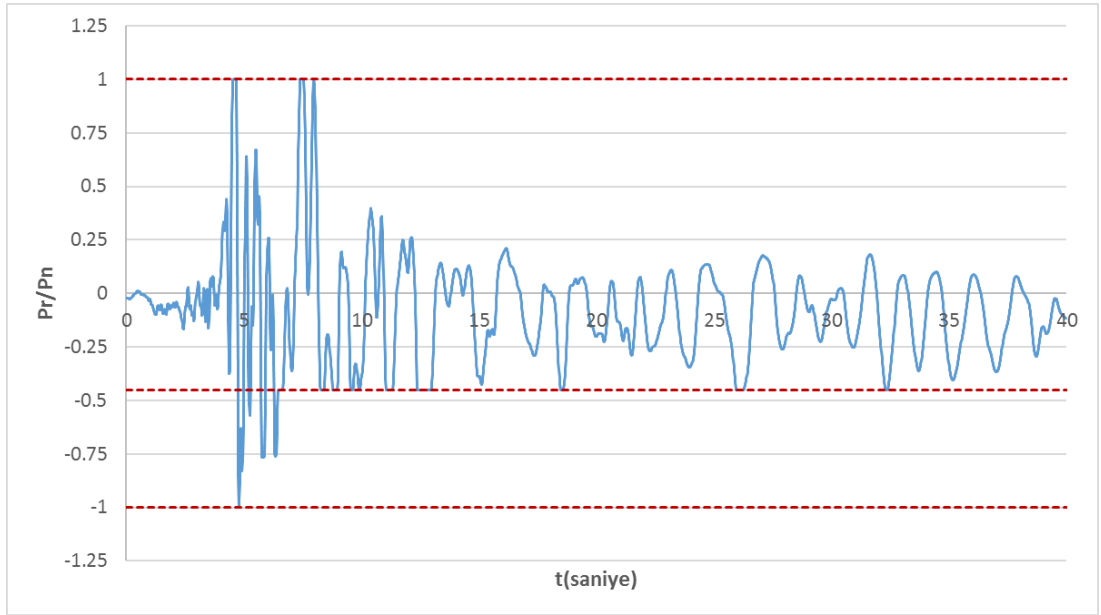


Şekil 6.21: 1-B Aksı 1.ve 2. Kat arası çaprazın performans seviyeleri.

- Çapraz elamanın zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı:

Çapraz elemanın doğrusal olmayan parametrelerin hesabı Tablo 6.2’de yapılmıştı. ($P_{n(\text{Basınç})}$ ve $P_{n(\text{Çekme})}$). Zamana bağlı doğrusal olmayan davranışının basınç ve çekme bölgesi sınır değerleri ise aşağıda sunulmuş ve grafik haline getirilmiştir (Şekil 6.22).

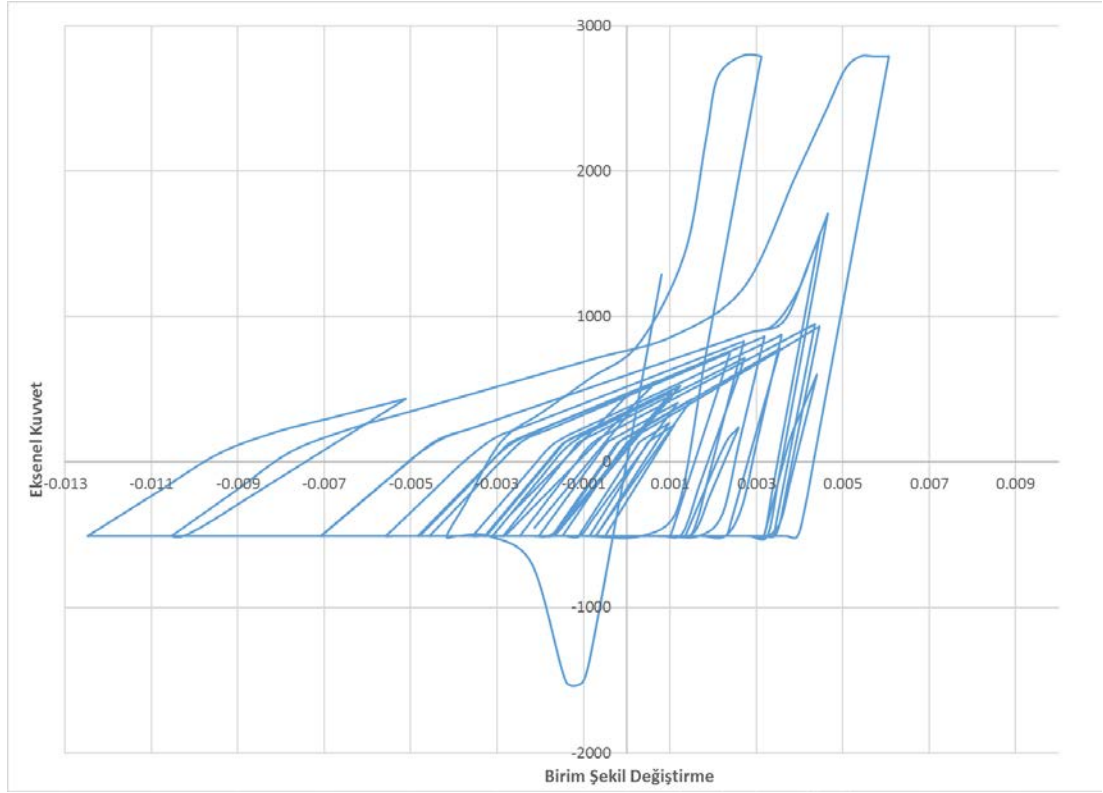
- $\frac{P_r}{P_{n(\text{Basınç})}} = \frac{P_r}{3760} = 1.00$ (Basınç bölgesi sınır değeri)
- $\frac{P_r}{P_{n(\text{Çekme})}} = \frac{P_r}{5039} = 1.00$ (Çekme bölgesi sınır değeri)
- $\frac{P_r}{P_{n(\text{Basınç})}} = \frac{P_r}{3760} = 0.45$ (Basınç bölgesi dayanım kaybı sınır bölgesi)



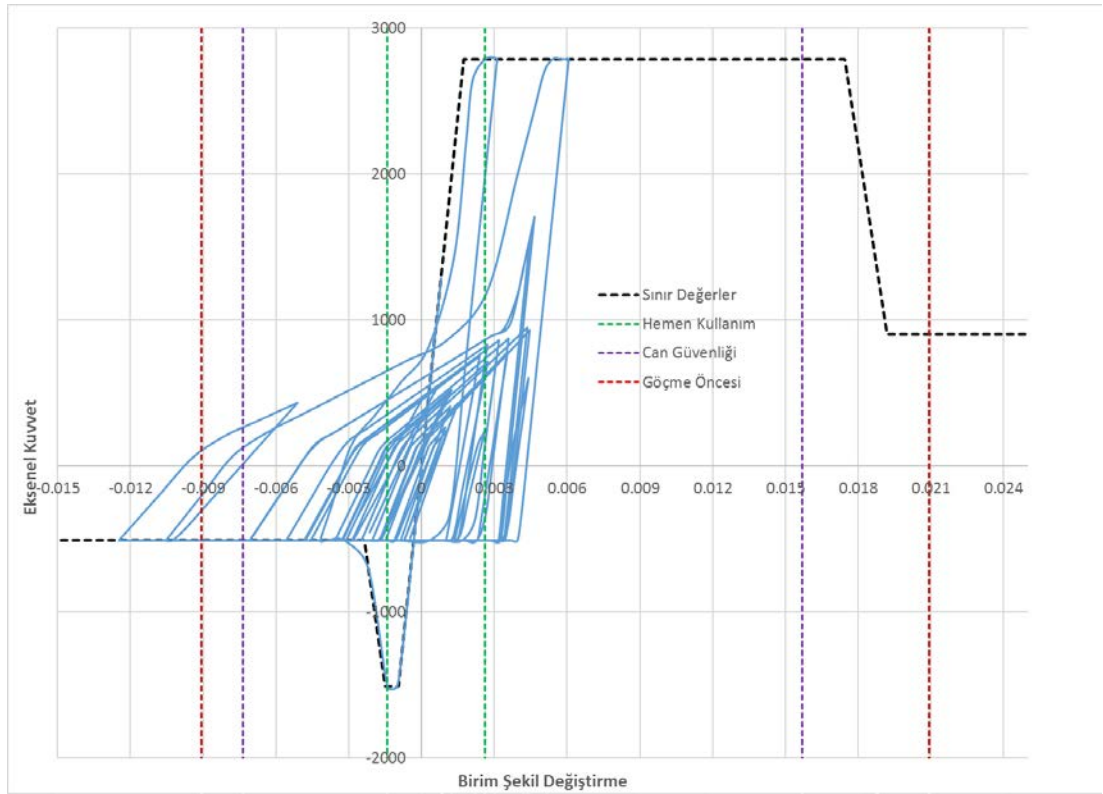
Şekil 6.22: 1-B Aksı 1.- 2. Kat arası çaprazın zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı.

- LA_19_SF_0.7 Analiz ve 1-C Aksı 7.ve 8. Katlar arası çaprazın çevrimsel ve zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı:

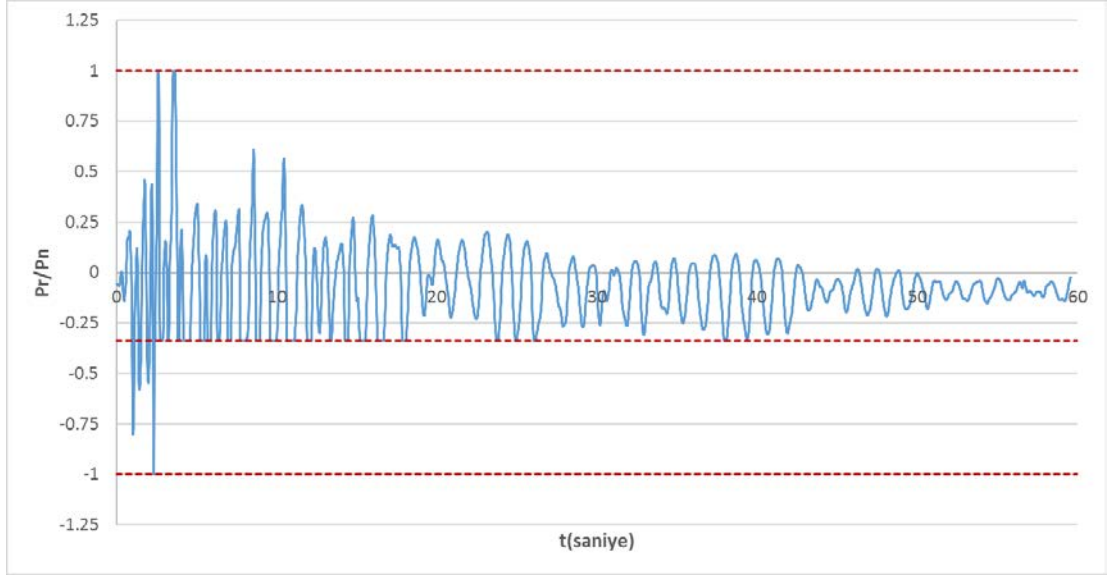
1-B Aksı 1.ve 2. Katlar arası çapraz elamanının hesap adımları kullanılarak seçilen çaprazın çevrimsel ve zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’de sunulmuştur.



Şekil 6.23: 1-C Aksı 7.ve 8. Katlar arası çaprazın zamana bağlı çevrimsel davranışı.



Şekil 6.24: 1-C Aksı 7.ve 8. Kat arası çaprazın performans seviyeleri.



Şekil 6.25: 1-C Aksı 7.- 8. Kat arası çaprazın zamana bağlı doğrusal olmayan davranışı.

6.1.8.2. Çaprazlarda Oluşan Maksimum Birim Şekil Değiştirme Tespiti

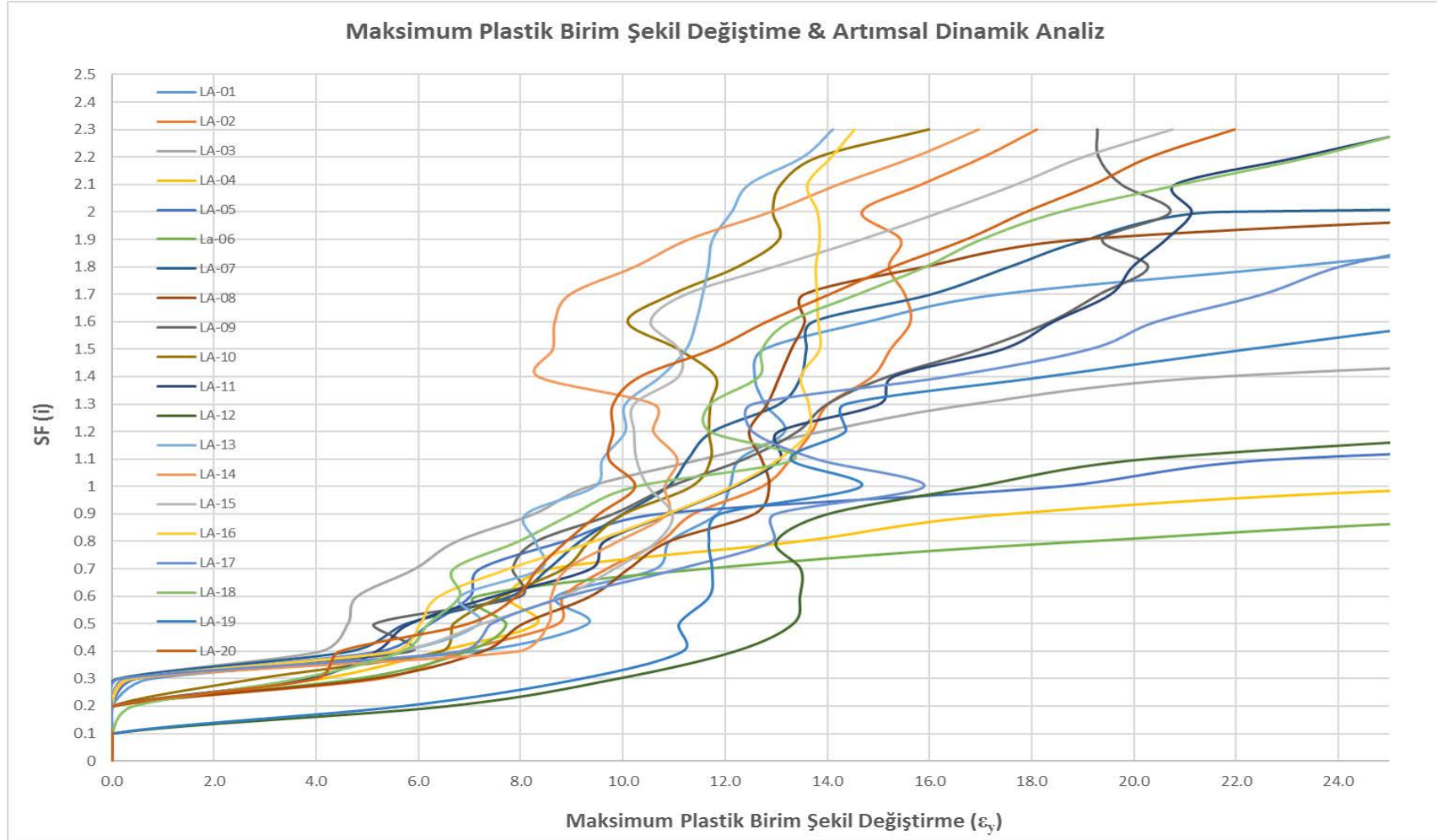
Her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için bütün çaprazlarda oluşan çekme ve basınç bölgesinde birim şekil değiştirmelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilmiştir. Bu tespit yapılırken PERFORM-3D programının rapor kısmından yararlanılmış ve özet şeklinde Tablo 6.12 ve Şekil 6.26'da sunulmuştur.

Analiz sonucunda bütün maksimum birim şekil değiştirmelerin basınç bölgesinde gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca;

- Programdan raporlar can güvenliği performans seviyesinden alınmış ve tek bir grafikte sonuçları görmek için değerler ortalama 6.5 kat büyütülmüştür.
- $SF_{0.1}$ analizinde çapraz elemanlarda doğrusal olmayan davranış gözlenmemiştir.
- $SF_{0.2}$ analizinde sadece üç deprem kaydında doğrusal olmayan davranış gözlenmiştir.
- $SF_{0.3}$ analizlerinde bütün çapraz elemanlarında doğrusal olmayan davranış gözlenmiştir.
- $SF_{0.8-2.3}$ analizlerinde bazı çapraz elemanlarında yüksek derecede doğrusal olmayan davranış gözlemlenmiş ve çaprazlara tanımlanan sınır değerler aşıldığından bu analizler tamamlanmadan sonlanmıştır. Sonlanan analizler tabloda karartılarak sunulmuştur.

Tablo 6.12: Çapraz elemanlarda oluşan maksimum birim şekil değiştirmenin ε_y cinsinden oranları.

SF _(i)	LA_01	LA_02	LA_03	LA_04	LA_05	LA_06	LA_07	LA_08	LA_09	LA_10	LA_11	LA_12	LA_13	LA_14	LA_15	LA_16	LA_17	LA_18	LA_19	LA_20
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.406	5.672	0.000
0.3	0.760	5.227	0.125	4.075	0.469	4.781	0.112	5.080	0.284	2.823	3.846	9.883	0.367	0.414	0.327	0.358	0.143	3.637	9.170	3.981
0.4	7.108	6.808	4.087	6.371	5.248	6.958	4.662	7.258	5.827	6.442	5.169	12.193	5.583	7.940	5.531	5.520	6.815	5.673	11.173	4.455
0.5	9.313	8.728	4.616	8.300	6.219	7.723	5.757	8.045	5.130	6.688	5.824	13.333	7.183	8.540	7.235	6.034	7.408	6.185	11.105	6.958
0.6	8.698	8.833	4.801	7.730	7.010	7.145	7.798	9.365	7.985	7.610	7.468	13.468	6.808	8.600	8.818	6.400	8.900	6.800	11.698	7.910
0.7	10.640	9.680	5.926	8.555	7.198	11.563	8.540	10.115	7.835	8.840	9.365	13.483	8.383	8.908	9.830	7.760	11.083	6.680	11.750	8.330
0.8	10.918	10.738	6.740	13.423	8.833	19.018	9.163	10.903	8.293	9.350	9.635	13.003	8.285	9.898	10.663	9.425	12.913	7.948	11.690	8.885
0.9	11.848	11.375	8.255	17.525	10.693	30.718	10.003	12.575	9.800	10.025	10.910	14.015	8.105	10.865	10.970	10.873	12.973	9.013	11.900	9.530
1.0	12.095	12.725	9.335	27.290	18.530	66.095	10.888	12.868	10.910	11.345	12.185	16.918	9.448	10.820	10.490	12.140	15.883	10.250	14.660	10.235
1.1	12.290	13.288	11.563	51.808	22.903	259.400	11.278	12.718	12.373	11.728	13.078	20.240	9.605	11.060	10.265	13.063	13.775	13.355	13.288	9.725
1.2	13.168	13.700	13.888	247.025	38.188	259.175	11.758	12.478	13.408	11.690	13.048	28.708	10.048	10.595	10.220	13.640	12.530	11.705	14.360	9.808
1.3	12.785	14.015	16.835	247.850	48.283	259.250	13.063	12.830	13.993	11.720	15.020	37.940	10.048	10.595	10.220	13.640	12.530	11.705	14.360	9.808
1.4	12.583	14.878	21.680	250.175	92.825	259.400	13.490	13.070	15.178	11.818	15.298	63.163	10.738	8.345	11.083	13.490	16.340	12.658	18.275	10.333
1.5	12.770	15.238	34.880	259.100	249.425	259.925	13.595	13.303	16.970	11.090	17.435	255.200	11.240	8.630	11.090	13.858	19.130	12.718	22.250	11.758
1.6	14.788	15.628	48.875	259.475	254.525	259.175	13.730	13.565	18.358	10.100	18.425	114.800	11.435	8.668	10.543	13.828	20.428	13.258	26.585	12.815
1.7	17.383	15.515	259.100	259.475	259.325	258.875	16.040	13.558	19.318	10.970	19.550	260.600	11.563	8.968	11.233	13.805	22.513	14.593	32.300	14.045
1.8	23.045	15.208	259.775	259.400	258.875	259.850	17.570	15.920	20.270	12.253	19.978	72.935	11.675	10.228	12.958	13.783	24.013	15.920	38.315	15.290
1.9	28.220	15.433	259.100	259.475	259.700	259.475	19.123	19.003	19.378	13.063	20.638	38.000	11.758	11.293	14.675	13.858	26.285	17.023	46.400	16.723
2.0	32.383	14.675	259.250	259.625	259.400	259.100	21.733	30.493	20.705	12.943	21.133	44.750	12.133	12.890	16.235	13.813	27.043	18.560	55.610	17.893
2.1	42.838	15.845	259.025	259.700	259.175	259.550	103.250	50.075	19.745	13.100	20.818	72.560	12.470	14.218	17.698	13.618	27.523	20.915	72.523	19.213
2.2	52.453	17.060	259.025	259.250	258.950	259.850	254.750	254.750	19.303	13.835	23.255	115.325	13.528	15.703	19.018	14.090	27.935	23.473	253.850	20.330
2.3	63.568	18.103	258.800	259.625	258.950	258.800	256.400	252.650	19.280	15.995	25.655	92.000	14.113	16.955	20.750	14.540	30.905	25.558	259.325	21.973



Şekil 6.26: Çapraz elemanlarda oluşan maksimum birim şekil değiştirmeler.

6.1.8.3. Sistemdeki Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti

Her bir ölçeklenmiş deprem kaydı için bütün katlarda oluşan görelî kat ötelemelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilmiştir. Bu tespit yapılırken PERFORM-3D programının rapor kısmından yararlanılmış ve özet şeklinde Tablo 6.13 ve Şekil 6.27’de sunulmuştur.

Maksimum görelî kat ötelemelerin performans seviyesi ise İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliğinden alınmış olup aşağıda sunulmuştur.

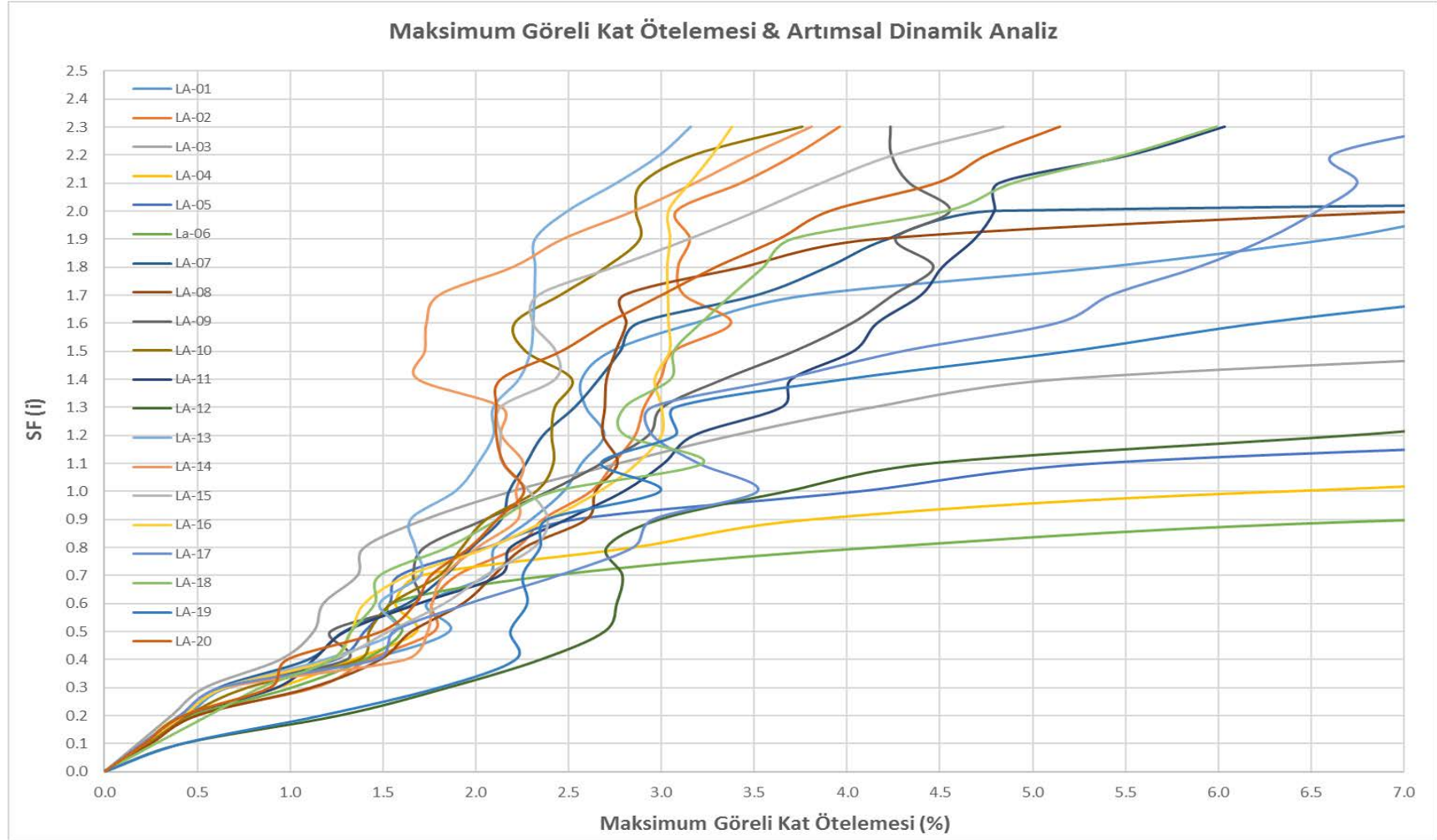
- Minimum Hasar Sınırı (MN) $\rightarrow \delta_{ji}/h_{ji} = 0.01$
- Güvenlik Sınırı (GV) $\rightarrow \delta_{ji}/h_{ji} = 0.025$
- Göçme Sınırı (GÇ) $\rightarrow \delta_{ji}/h_{ji} = 0.035$

Programdan raporlar Minimum hasar sınırı (MN) kullanım performans seviyesinden alınmış ve yüzde olarak tablo ve grafiklere işlenmiştir. Ayrıca;

- $SF_{0.1}$ analizinde minimum hasar sınırını geçen hiçbir bir deprem kombinasyonu yoktur.
- $SF_{0.2}$ analizinde minimum hasar sınırını geçen yalnızca iki adet deprem kombinasyonu vardır.
- $SF_{0.3-0.4}$ analizlerinde güvenlik sınırını geçen hiçbir deprem kombinasyonu yoktur.
- $SF_{0.5-0.7}$ analizlerinde göçme sınırını geçen hiçbir deprem kombinasyonu yoktur.
- $SF_{0.8-2.3}$ analizlerinde bazı deprem kombinasyonlu yüklemelerde yüksek derecede görelî kat öteleme oranları gözlemlenmiş ve çaprazlara tanımlanan sınır değerler aşıldığından bu analizler tamamlanmadan sonlanmıştır. Sonlanan analizler tabloda karartılarak sunulmuştur.

Tablo 6.13: Sistemdeki maksimum görelî kat öteleme oranı (%).

SF _(i)	LA_01	LA_02	LA_03	LA_04	LA_05	LA_06	LA_07	LA_08	LA_09	LA_10	LA_11	LA_12	LA_13	LA_14	LA_15	LA_16	LA_17	LA_18	LA_19	LA_20
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.225	0.233	0.181	0.210	0.203	0.236	0.205	0.250	0.213	0.223	0.215	0.423	0.210	0.212	0.204	0.212	0.205	0.275	0.423	0.214
0.2	0.450	0.467	0.362	0.420	0.406	0.474	0.410	0.499	0.426	0.446	0.431	1.265	0.420	0.427	0.409	0.422	0.410	0.560	1.170	0.428
0.3	0.668	1.135	0.543	0.935	0.627	1.010	0.618	1.113	0.650	0.771	0.930	1.853	0.649	0.659	0.634	0.650	0.626	0.842	1.804	0.892
0.4	1.414	1.426	0.948	1.343	1.247	1.400	1.099	1.486	1.307	1.373	1.128	2.351	1.189	1.623	1.228	1.221	1.466	1.225	2.215	0.987
0.5	1.857	1.776	1.127	1.681	1.401	1.602	1.291	1.654	1.218	1.425	1.299	2.694	1.567	1.740	1.531	1.328	1.558	1.328	2.186	1.492
0.6	1.735	1.765	1.179	1.567	1.536	1.546	1.633	1.931	1.672	1.546	1.696	2.759	1.482	1.764	1.831	1.401	1.965	1.456	2.277	1.675
0.7	2.065	1.900	1.363	1.708	1.590	2.417	1.835	2.096	1.663	1.804	2.131	2.789	1.702	1.829	2.052	1.636	2.448	1.483	2.253	1.759
0.8	2.102	2.222	1.400	2.856	2.061	4.176	1.979	2.264	1.725	1.925	2.189	2.705	1.673	2.010	2.313	2.071	2.849	1.849	2.347	1.968
0.9	2.300	2.364	1.729	3.824	2.544	7.206	2.137	2.596	2.054	2.057	2.492	2.995	1.649	2.226	2.387	2.391	2.957	2.125	2.387	2.116
1.0	2.473	2.622	2.196	6.400	4.074	15.540	2.179	2.645	2.394	2.325	2.799	3.680	1.889	2.216	2.287	2.667	3.518	2.427	2.993	2.259
1.1	2.570	2.744	2.774	12.170	5.366	61.080	2.271	2.763	2.681	2.417	3.015	4.464	2.011	2.256	2.143	2.869	3.198	3.222	2.674	2.149
1.2	2.691	2.860	3.392	58.160	8.967	61.020	2.363	2.684	2.932	2.408	3.179	6.734	2.094	2.137	2.133	2.999	2.951	2.802	3.076	2.110
1.3	2.591	2.908	4.145	58.350	11.340	61.040	2.533	2.695	3.008	2.425	3.650	8.909	2.094	2.137	2.133	2.999	2.951	2.802	3.076	2.110
1.4	2.570	2.996	5.164	58.890	21.840	61.070	2.663	2.704	3.338	2.516	3.702	14.850	2.232	1.685	2.428	2.963	3.658	3.049	3.999	2.136
1.5	2.732	3.068	8.186	61.000	58.720	61.200	2.779	2.753	3.719	2.266	4.037	60.090	2.295	1.725	2.429	3.043	4.304	3.066	5.211	2.462
1.6	3.181	3.376	11.480	61.100	59.930	61.030	2.877	2.810	4.029	2.209	4.164	27.010	2.308	1.734	2.306	3.037	5.134	3.212	6.233	2.711
1.7	3.799	3.122	61.010	61.090	61.050	60.940	3.517	2.801	4.249	2.455	4.401	61.360	2.316	1.803	2.338	3.034	5.424	3.377	7.579	3.002
1.8	5.398	3.091	61.170	61.070	60.940	61.190	3.898	3.444	4.466	2.702	4.516	17.150	2.319	2.201	2.746	3.030	5.896	3.550	8.998	3.295
1.9	6.618	3.154	61.010	61.090	61.140	61.080	4.223	4.172	4.262	2.883	4.690	8.923	2.319	2.470	3.150	3.045	6.262	3.705	10.900	3.633
2.0	7.599	3.083	61.050	61.130	61.070	61.010	4.815	7.153	4.555	2.861	4.796	10.510	2.495	2.854	3.518	3.037	6.537	4.538	13.070	3.909
2.1	10.060	3.433	60.990	61.140	61.020	61.100	24.290	11.770	4.335	2.896	4.824	17.060	2.759	3.182	3.864	3.153	6.749	4.897	17.060	4.485
2.2	12.330	3.722	60.990	61.030	60.970	61.180	59.990	59.970	4.240	3.177	5.533	27.130	2.992	3.479	4.257	3.274	6.617	5.502	59.760	4.755
2.3	14.940	3.962	60.940	61.120	60.970	60.940	60.370	59.480	4.235	3.757	6.036	21.630	3.157	3.808	4.842	3.379	7.251	5.992	61.050	5.145



Şekil 6.27: Sistemdeki maksimum göreli kat öteleme oranı (%).

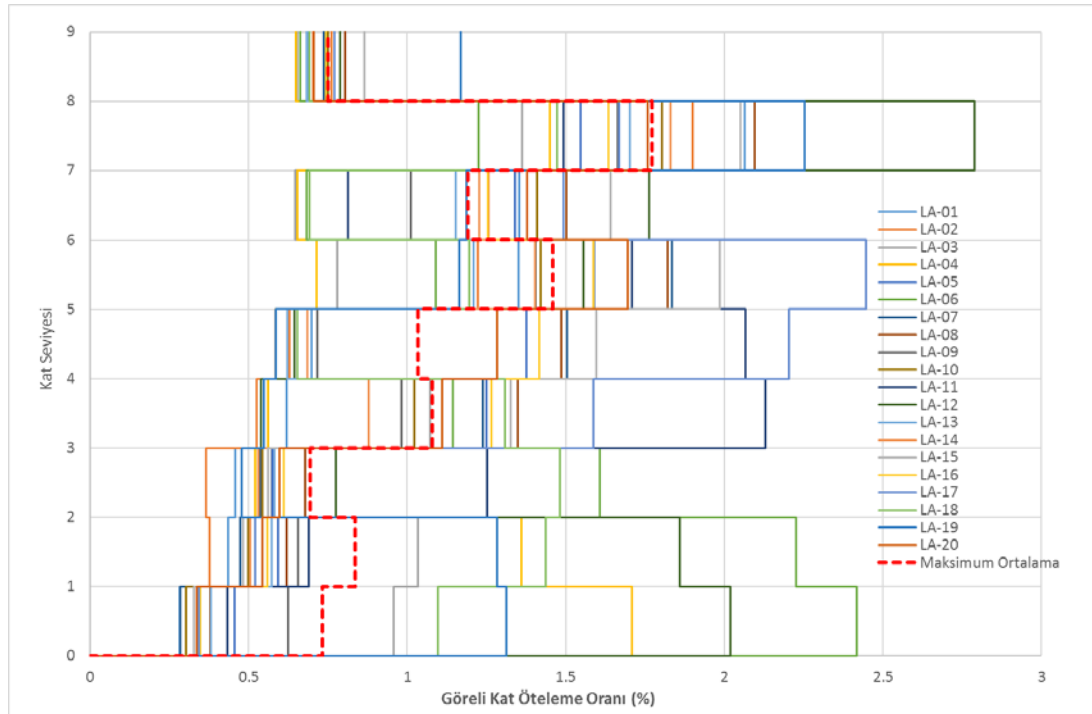
6.1.8.4. Kat Seviyelerinde Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranının Tespiti

Her bir ölçülenmiş deprem kaydı için her kat seviyesinde oluşan görelî kat ötelemelerinin mutlak değerce maksimum olanı tespit edilerek ve bulunan bu değerlerin ortalaması (maksimum-ortalama) alınarak katlardaki maksimum görelî kat öteleme oranları hesaplanır.

Örnek temsil etmesi bina spektruma en yakın olan 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı hesaplanmış ve Tablo 6.14’de sunulmuştur. Ayrıca yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde maksimum-ortalama görelî kat ötelemesi Şekil 6.28 de gösterilmiştir.

Tablo 6.14: Yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı.

Deprem Kaydı	1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat	6.Kat	7.Kat	8.Kat	9.Kat
LA_01	0.283	0.436	0.458	0.621	0.698	1.351	1.354	2.065	0.685
LA_02	0.284	0.377	0.365	0.527	0.629	1.223	1.258	1.901	0.763
LA_03	0.957	1.035	0.573	1.072	0.584	0.780	0.647	1.363	0.654
LA_04	1.709	1.359	0.522	0.561	0.587	0.714	0.654	1.450	0.649
LA_05	0.457	0.593	0.575	1.250	1.375	1.590	1.340	1.546	0.770
LA_06	2.417	2.227	1.608	1.144	0.645	1.090	0.683	1.225	0.663
LA_07	0.285	0.474	0.538	1.239	1.503	1.835	1.379	1.666	0.737
LA_08	0.379	0.620	0.679	1.349	1.488	1.823	1.502	2.096	0.806
LA_09	0.626	0.657	0.536	0.983	0.717	1.406	1.012	1.663	0.683
LA_10	0.304	0.498	0.543	1.023	0.686	1.421	1.411	1.804	0.751
LA_11	0.433	0.691	1.253	2.131	2.066	1.710	0.813	1.494	0.743
LA_12	2.019	1.860	0.775	0.539	0.646	1.555	1.763	2.790	0.789
LA_13	0.381	0.573	0.582	1.110	0.622	1.209	1.154	1.702	0.684
LA_14	0.347	0.506	0.531	0.880	0.685	1.402	1.228	1.830	0.703
LA_15	0.329	0.483	0.561	1.327	1.597	1.987	1.642	2.052	0.865
LA_16	0.347	0.560	0.611	1.266	1.417	1.587	1.254	1.636	0.745
LA_17	0.343	0.522	0.598	1.588	2.203	2.448	1.493	1.668	0.770
LA_18	1.098	1.436	1.483	1.308	0.654	1.195	0.692	1.473	0.692
LA_19	1.314	1.283	0.478	0.548	0.588	1.165	1.188	2.253	1.169
LA_20	0.336	0.545	0.599	1.110	1.284	1.696	1.379	1.759	0.706
Ortalama	0.732	0.837	0.693	1.079	1.034	1.459	1.192	1.772	0.751



Şekil 6.28: Yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan maksimum-ortalama göreceli kat ötelemesi oranı.

6.1.8.5. Maksimum Göreli Kat Ötelemesinin İstatiksel olarak Değerlendirilmesi

Artımsal dinamik analizleri sonucunda sistemde oluşan maksimum göreceli kat ötelemesi oranı Tablo 6.13 ve Şekil 6.27’de sunulmuştur. Bu konu başlığında ise yapılan analizlerin sadece güvenlik sınırı (GV) performans seviyesinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme adımları aşağıda adım adım anlatılmıştır.

- GV performans seviyesinin sınır doğrusu Şekil 6.32’de görüldüğü gibi çizilmiştir.
- Sınır doğrusunu kesen ölçeklenmiş ivme değerleri Şekil 6.32’den belirlenmiştir.
- Belirlenen ivme değerlerinin maksimum, minimum, ortalama, varyans, standart sapma, çarpıklık katsayısı, basıklık katsayısı ve medyan istatistiksel parametreler hesaplanmıştır.
- İvme verilerinin Normal Dağılım-Histogram ve Kümülatif Dağılım Eğrileri Bölüm 4.2’den faydalanarak çizilmiştir.
- İvme verilerin Normal Dağılıma uygunluğu kontrol edilmiş ve grafikleriler gösterilmiştir (Şekil 6.30-31).

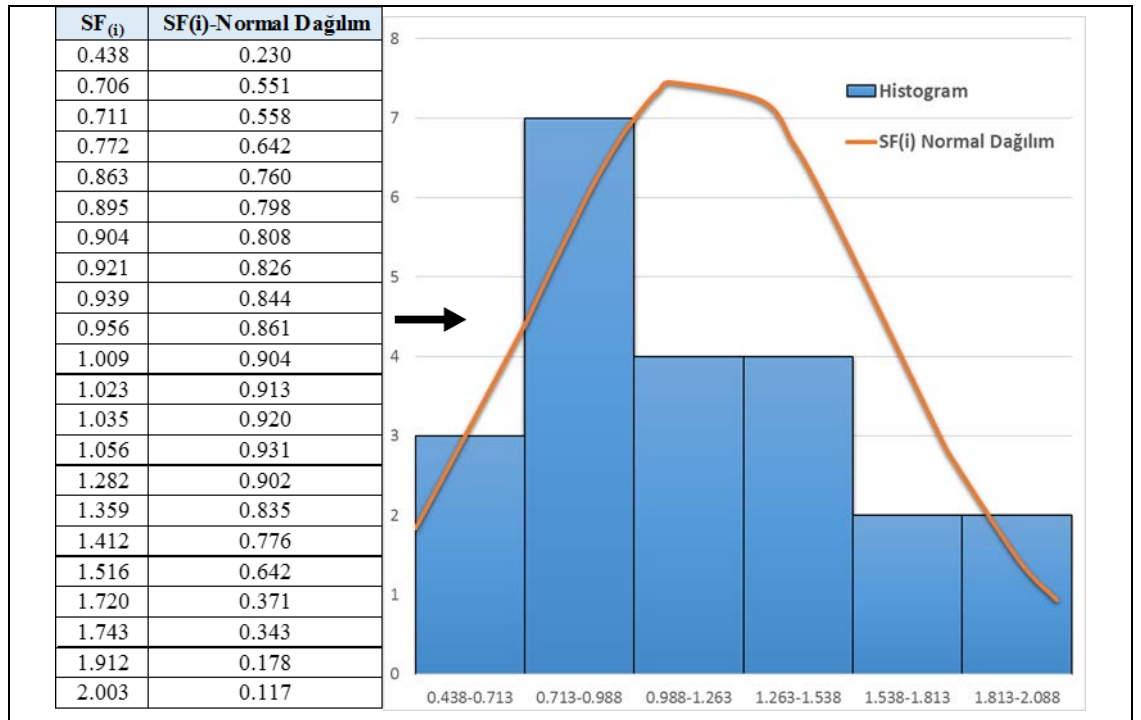
- Bina spektrumuna karşılık gelen ivme değerinin GV performans seviyesini sağlama olasılığı hesaplanmıştır.

- Güvenlik Sınırı Performans Seviyesinde İstatiksel Değerlendirmelerin Yapılması:

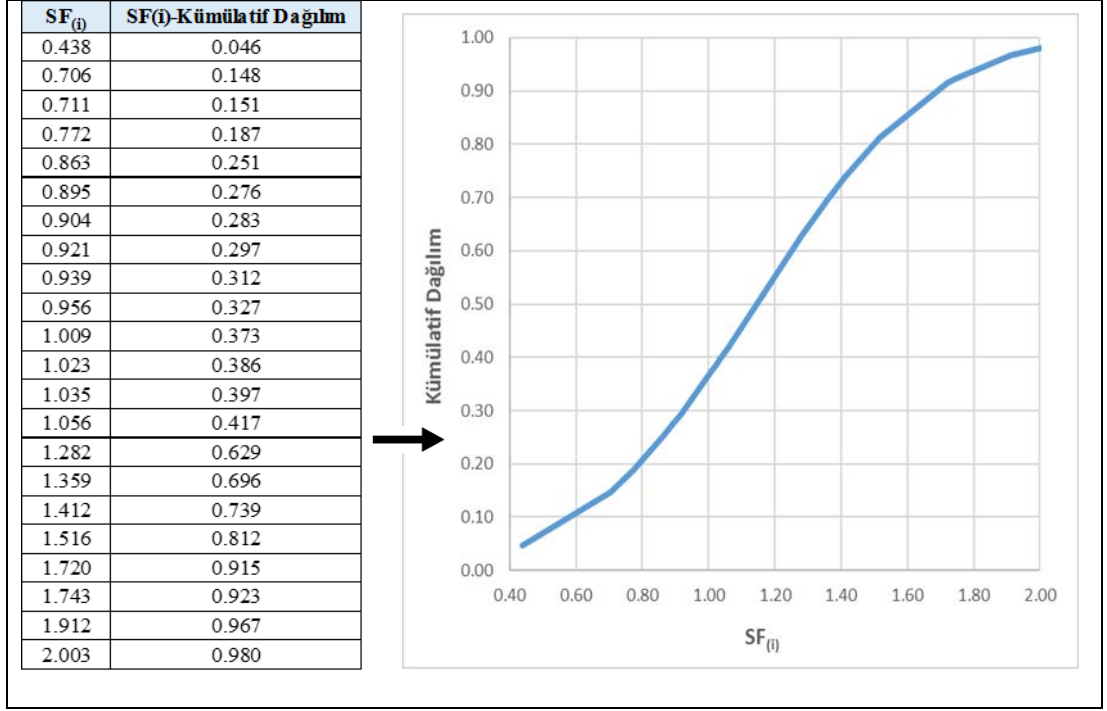
Güvenlik sınırı performans değerinin (GV=%2.5) sınır doğrusu çizilmiş ve doğruyu kesen ivme değerleri ile istatiksel parametreler hesaplanmıştır (Tablo 6.15). Normal- Kümülatif dağılım ve histogram eğrileri ise Şekil 6.29’da sunulmuştur.

Tablo 6.15: GV performans seviyesi ivme değerleri ve istatiksel parametreler.

SF(i)	0.438	0.706	0.711	0.772	0.863	0.895	0.904	0.921	0.939	0.956	1.009
	1.023	1.035	1.056	1.282	1.359	1.412	1.516	1.720	1.743	1.912	2.003
Max.	Min.	Ort.(μ)	Varyans	Standart Sap.(σ)	Çarpıklık Kats.	Basıklık Kats.	Medyan	Toplam			
	2.003	0.438	1.144	0.176	0.419	0.655	-0.365	1.016	25.175		

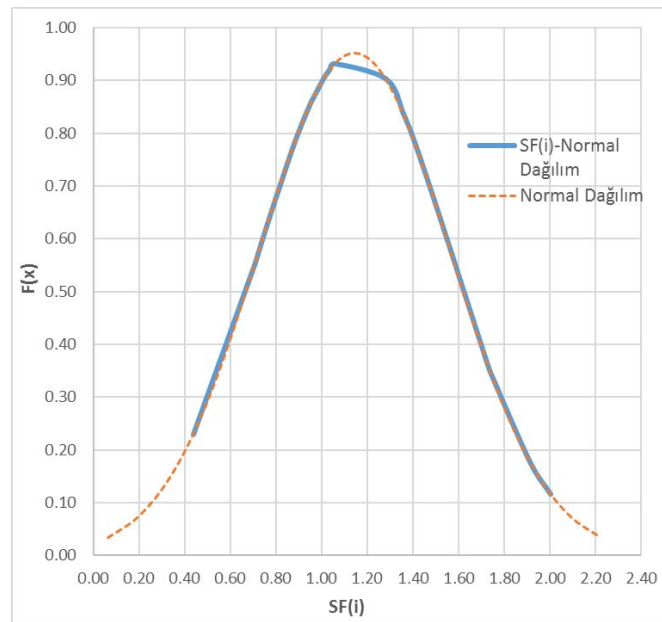


Şekil 6.29: Normal-Kümülatif dağılım ve histogram eğrileri.

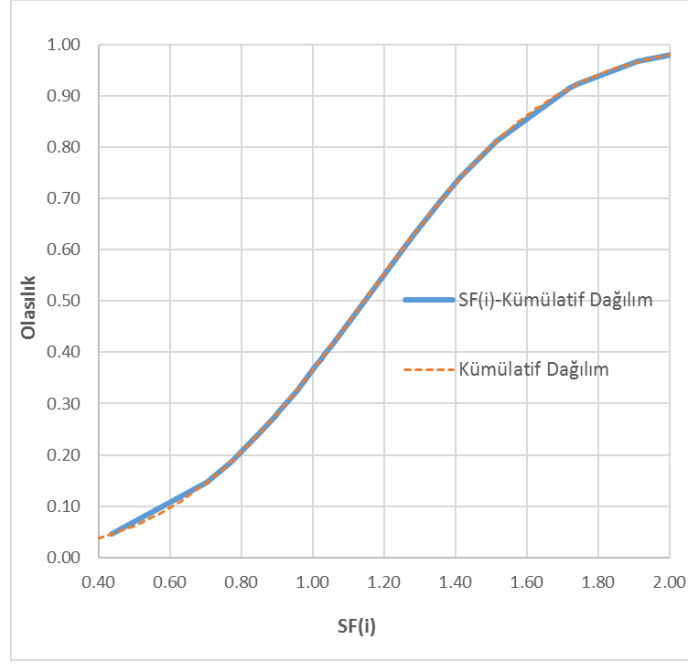


Şekil 6.29: Devam.

Verilerin medyan ve ortalama değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Çarpıklık katsayısı sapması ise (-1,+1) aralığında kaldığından Normal Dağılıma uygunluğu kabul edilebilir (Tablo 6.15). Ayrıca SF(i)-Normal ve Kümülatif dağılımı ile $\mu=1.144$ ve $\sigma=0.419$ olan Normal ve Kümülatif Dağılımlar aynı grafiklerde gösterilmiştir ve karşılaştırılmıştır.(Şekil 6.30-31).



Şekil 6.30: Normal dağılım ve SF_(i)-Normal Dağılım karşılaştırılması.

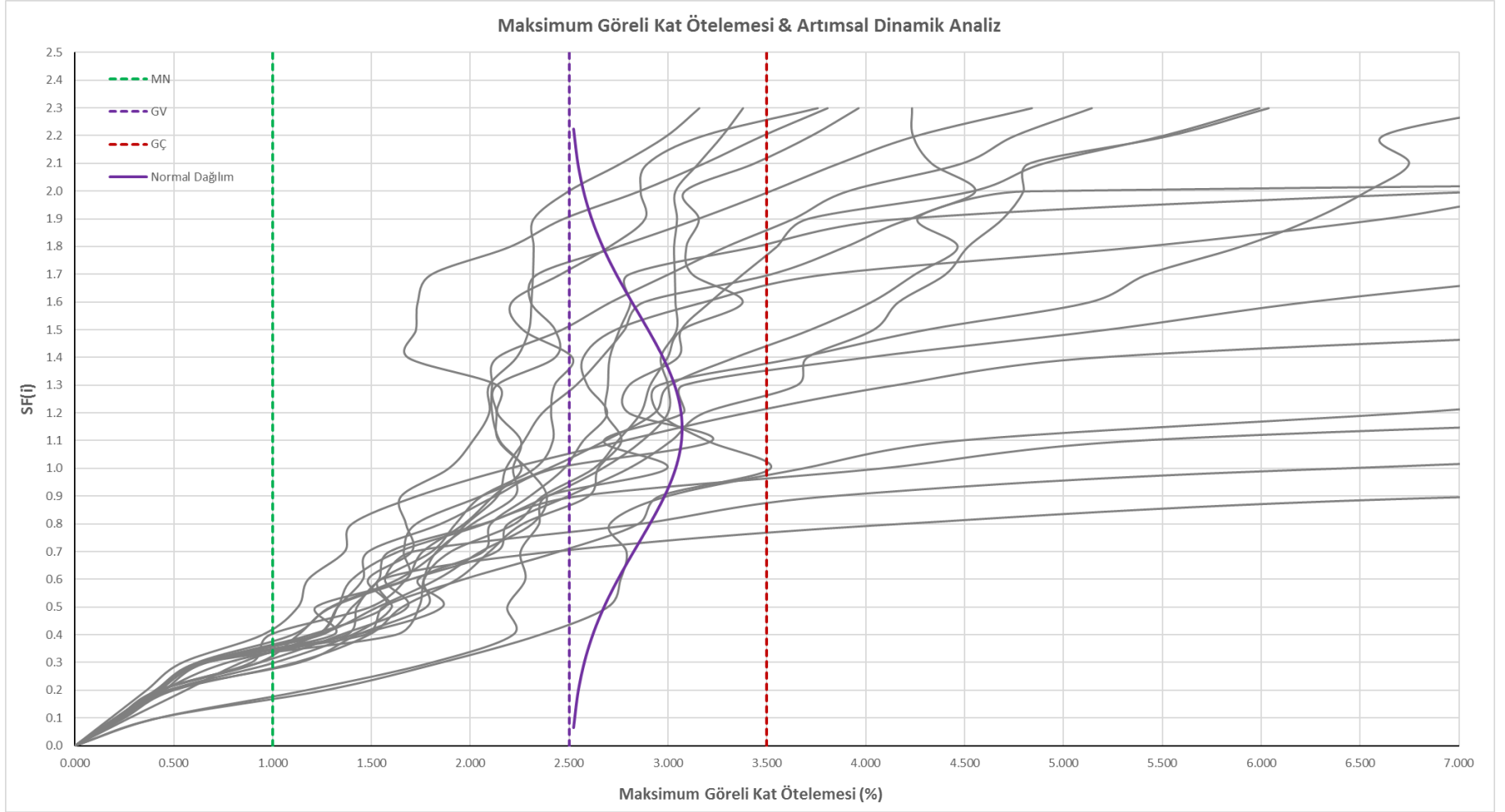


Şekil 6.31: Kümülatif dağılım ve $SF(i)$ -Kümülatif Dağılım karşılaştırılması.

Yapı Spektrumuna karşılık gelen ivme değerinin (0.6706g) Güvenlik Sınırı performans seviyesinde kalma olasılığı ise Z tablosundan yararlanarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Bütün yapılan hesap adımları Bölüm 4.2’de anlatılmıştır.

- $Z = \frac{0.6706 - 1.144}{0.419} \rightarrow Z = -1.130 \rightarrow$ Tablodan 0.12924 okunur.
- $P(X > x) = 1.00 - 0.12924 \rightarrow P(X > x) = 0.8708 \rightarrow \%87.08$

Normal dağılımın Maksimum Görelî Kat Öteleme & Artımsal Dinamik Analiz grafiği üzerinde gösterimi aşağıda sunulmuştur (Şekil 6.32).



Şekil 6.32: Normal dağılımın maksimum görelî kat öteleme & artımsal dinamik analiz grafiğinde gösterimi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çelik moment çerçeve ve merkezi çaprazlı sistemlerde Artımsal Dinamik Analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları plastik mafsallı dönmeleri ve göreceli kat ötelemeleri olarak verilmiştir.

Çelik moment çerçeve sistemlerinde 4 farklı deprem kaydı seçilmiş ve bu kayıtların yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerinin 0.1g-1.0g aralığında 0.1g adımlarla artırılmasıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Örnek temsil etmesi için LA09 deprem kaydı altında 10 adet ölçeklenmiş depremlerde oluşan maksimum deformasyon şekilleri sunulmuş ve kirişlerde oluşan plastik dönme oranları renk skalası ile gösterilmiştir. Ayrıca bu deprem kaydı altında kolonlarda herhangi bir doğrusal olmayan davranış görülmemiş deprem enerjisinin büyük bir kısmı sadece kiriş elemanların doğrusal olmayan davranışı ile karşılanmıştır. $SF_{1.0}$ (hakim periyoduna karşılık gelen değeri 1.0g olan deprem yüklemesi) spektral ivme değerinde 4 farklı depremlerin yapı üzerindeki en olumsuz deformasyon şekilleri sunulmuş, LA16 ve LA18 deprem kayıtlarında zemin kolonlarında doğrusal olmayan davranışlar gözlemlenmiştir. $SF_{1.0}$ spektral ivme değerinde ve LA09 deprem kaydı altında seçilen iki farklı kolon için zamana bağlı davranışları P-M etkileşim diyagramında ve $M_r/M_n + P_r/P_n$ grafiklerinde gösterilmiştir. Ölçeklenmiş 44 adet deprem analizi sonucunda kirişlerde oluşan maksimum plastik dönmeler ile sistemdeki maksimum göreceli kat öteleme oranları artımsal dinamik analizi grafiklerinde işaretlenmiştir. Ayrıca yine 44 adet deprem analizi sonucu kat seviyelerinde oluşan maksimum göreceli kat öteleme oranlarının grafikleri çizilmiştir.

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde ise 20 farklı deprem kaydı seçilmiş ve bu kayıtların yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerinin 0.1g-2.3g aralığında 0.1g adımlarla artırılmasıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Örnek temsil etmesi için bina tasarım spektrumuna en yakın olan $SF_{0.7}$ için binanın ölçeklenmiş 20 adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda oluşan kiriş, kolon ve çapraz elemanlarının can güvenliği performans seviyeleri gösterilmiştir. Ayrıca seçilen bir adet deprem kaydının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi sonucu oluşan enerji diyagramları sunulmuştur. $SF_{0.7}$ için yapılan 20 adet analiz sonucunda,

kiriş elemanlarının doğrusal olmayan davranış göstermediği, kolonların ise can güvenliği performans seviyesinin talep/kapasite oranının 0.25 katına dahi ulaşmadığı gözlemlenmiş ancak bazı katlardaki çapraz elemanlarının Can güvenliği performans seviyesinin talep/kapasite oranının 1.0 katına aştığını ve 2.0 katını geçmediği görülmüştür.

Merkezi çaprazlı çerçeve sisteminde seçilen iki farklı çapraz elemanın çevrimsel ve zamana bağlı doğrusal olmayan davranışları grafiklerle örneklenmiştir. Ölçeklenmiş 460 adet deprem analizi sonucunda çaprazlarda oluşan maksimum plastik birim şekil değiştirme ile sistemdeki maksimum görelî kat öteleme oranları artımsal dinamik analizi grafiklerinde işaretlenmiştir. Ayrıca, yirmi deprem kaydı için 0.7g spektral ivme değerinde ($SF_{0.7}$) katlarda oluşan mutlak değerce maksimum görelî kat ötelemesi oranı grafikte sunulmuştur.

Merkezi çaprazlı çerçeve sisteminde görelî kat öteleme oranının güvenlik sınırı (GV) performans seviyesinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Yapı spektrumuna karşılık gelen ivme değerinin (0.6706g) güvenlik sınırı performans seviyesinde kalma olasılığı Z tablosundan yararlanarak %87.08 olarak hesaplanmıştır.

Tez kapsamında, farklı taşıyıcı sistemlere sahip çelik bir binanın deprem esnasında doğrusal olmayan davranışları önceden tahmin edilebildiği görülmüştür. Ayrıca deprem kayıtlarının sayısı artırılarak çıkan analiz sonuçları çoğaltılabilir. Bu sonuçlar ile istatistiksel değerlendirilmeler yapılabilir.

Bu çalışmanın devamı olarak hem merkezi çaprazlı çerçeve sistemi için hem de deprem kayıtlarının sayısı artırılmak şartı ile moment çerçeve sistemlerinin görelî kat öteleme oranının farklı performans seviyelerindeki istatistiksel değerlendirmeleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

Akbaş B., (2015), “Advanced Steel Structures-I Ders Notları”, Gebze Teknik Üniversitesi.

Akbaş B., (2015), “Advanced Steel Structures-II Ders Notları”, Gebze Teknik Üniversitesi.

Akbas B., Sutchiewcharn N., Cai W., Wen R., Shen J., (2013), “Comparative study of special and ordinary braced frame”, Wiley Online Library.

Shen J., Sabol Thomas A., Akbas B. Sutchhiewcharn N., (2010), “Seismic Demand on Column Splices in Steel Moment Frames”, Engineering Journal, Fourth Quarter.

Çakır F., Kaya Şerif E., Akşar B., Shen J., Şeker O., Akbaş B., (2016), “Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Çapraz Elemanlarda Sayısal Modelleme Teknikleri”, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Eskişehir.

Öncü E. M., Yön Ş. M., (2016), “Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının Artımsal Dinamik Analiz Yöntemiyle Değerlendirilmesi”, Mühendislik Dergisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Sap2000, (2015), Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures, Inc: Berkeley, Colifornia.

Perform-3D, (2015), Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computers and Structures, Inc: Berkeley, Colifornia.

ASCE 7, (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10, American Society of Civil Engineers.

AISC 341, (2010), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC 341-10, American Institute of Steel Construction Inc. Chicago, IL.

AISC 360, (2010), Specification for Structural Steel Buildings, AISC 360-10, American Institute of Steel Construction Inc. Chicago, IL.

İYDBY, (2008), İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği, Versiyon-IV, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy/İstanbul.

DBYBHY, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındır ve İskan Bakanlığı.

TBDY (2016), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

FEMA 356, (2000), Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, American Society of Civil Engineers.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Türk 1985 yılında Çorum’da doğdu. 2002 yılında başladığı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2007 yılında başarıyla tamamladı. Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimi görmeye başlamıştır. Halen özel bir kurumda mühendislik ve yöneticilik yapmaktadır.