

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPIDA DEĞİŞİK ÇAPRAZ
DÜZENLEMELERİNİN YAPININ DEPREMDEKİ
DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hakan ÇATALKAYA

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI

MAYIS 2004

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPIDA DEĞİŞİK ÇAPRAZ
DÜZENLEMELERİNİN YAPININ DEPREMDEKİ DAVRANIŞINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnş. Müh. Hakan ÇATALKAYA
(501991176)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004

Tez Danışmanı : *Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI*

Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Hasan KARATAŞ (İ.K.Ü.)**

Yrd.Doç.Dr. Almila BÜYÜKTAŞKIN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği bölüm kapsamında hazırlanan bu yüksek lisans tezinde; çok katlı bir çelik yapıda depreme karşı oluşturulan değişik düzenlemelerin deprem etkisindeki davranışları incelenmiş ve süneklikleri karşılaştırılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli fikirlerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI' ya, Araş.Gör. Cüneyt VATANSEVER' e ve bana desteğini hiç esirgemeyen aileme teşekkür ve saygılarımı sunar; bu yıl hayatını kaybeden değerli hocam Prof.Dr. Tevfik Seno ARDA' ya Allah' tan rahmet dilerim.

Mayıs, 2004

Hakan ÇATALKAYA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konun Genel Tanımı	1
1.2. Tez Konusunun Tanımı	1
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	3
2.1. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranılan Özellikler	4
2.2. Yapı Sistemlerinin Süneklik Düzeyine Göre Sınıflandırılması	7
3. ABYYHY'ne GÖRE DEPREME DAYANIKLI BİNA TASARIMI	9
3.1. Elastik deprem yüklerinin belirlenmesi	11
3.2. Elastik deprem yüklerinin azaltılması	14
3.3. Mod birleştirme yöntemi	15
3.3.1. Yapı ağırlığının hesabı	15
3.3.2. Toplam eşdeğer deprem yükü' nün belirlenmesi	16
3.3.3. Yapının birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	16
3.3.4. İvme spektrumu	17
3.3.5. Göz önüne alınacak dinamik serbestlik dereceleri	17
3.3.6. Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı	18
3.3.7. Mod katkılarının birleştirilmesi	18
3.3.8. Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değerleri	18
3.4. Yatay Ötelenmelerin Sınırlandırılması	19
3.5. Emniyet Gerilmeleri, Yük ve Malzeme Güvenlik Katsayıları	19
3.6. Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım	20
3.6.1. Süneklik düzeyi yüksek sistemler	20
3.6.2. Süneklik düzeyi normal sistemler	22
4. ÇELİK YAPI TASARIMI	24
4.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeveler	25
4.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Süneklik Düzeyi	27
4.2.1. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeveler	28
4.2.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeveler	29
4.3. Dışmerkez Güçlendirilmiş Çerçeveler	30
4.4. Dışmerkez Güçlendirilmiş Çerçevelerin Davranışını Belirleyen Özellikler	32
4.4.1. Geometrik Parametreler	32
4.4.2. Mekanik Parametreler	32
4.5. Dışmerkez Güçlendirilmiş Çerçevelerin Rölatif Rijitliği	32
4.6. Bağlantı Kirişin Davranışı	33

4.7 Dışmerkez Güçlendirilmiş Çerçevelerin Tasarım Kuralları	35
5.PERFORMANSA DAYALI TASARIM	38
5.1. Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	38
5.2. Yapı Sistemlerinde Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi	41
5.3. Yapılarda Performans Seviyeleri	43
5.4. Lineer Olmayan Statik İtme Analizi	47
6.ÖRNEKLER	53
6.1. Taşıyıcı Sistem Düzenlemeleri	53
6.2. Düşey Yük Analizi	56
6.2.1. Otopark ve sahanlık düşey yük analizi	56
6.2.2. Ofis katı düşey yük analizi	56
6.3 Deprem Yüklerinin Hesabı	57
6.3.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem	58
6.3.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem	63
6.3.3. Dışmerkez Ters V Çaprazlı Sistem	68
6.3.4. Dışmerkez X Çaprazlı Sistem	73
6.4 Kesit Hesapları	78
6.4.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem	78
6.4.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem	79
6.4.3. Dışmerkez Ters V Çaprazlı Sistem	80
6.4.4. Dışmerkez X Çaprazlı Sistem	81
6.5 Yapı Sistemlerinin Sünekliklerinin Hesabı	82
6.5.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem	84
6.5.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem	86
6.5.3. Dışmerkez Ters V Çaprazlı Sistem	87
6.5.4. Dışmerkez X Çaprazlı Sistem	90
7.SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	96
EKLER (Tüm ekler CD içerisinde tez arka kapağında verilmiştir)	99
ÖZGEÇMİŞ	100

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
SİA	: Statik İtme Analizi
MBY	: Mod Birleştirme Yöntemi
EDDY	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_0	12
Tablo 3.2	Bina Önem Katsayısı	12
Tablo 3.3	Yerel Zemin Sınıfı	13
Tablo 3.4	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	14
Tablo 3.5	Hareketli Yük Katılım Katsayısı n	15
Tablo 3.6	C_t Katsayısı	17
Tablo 6.1	Merkezi Ters V çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları	58
Tablo 6.2	Merkezi Ters V çaprazlı x-x yönü kat ötelenmeleri	61
Tablo 6.3	Merkezi Ters V çaprazlı y-y yönü kat ötelenmeleri	62
Tablo 6.4	Merkezi X çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları	63
Tablo 6.5	Merkezi X çaprazlı x-x yönü kat ötelenmeleri	66
Tablo 6.6	Merkezi X çaprazlı y-y yönü kat ötelenmeleri	67
Tablo 6.7	Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları	68
Tablo 6.8	Dışmerkez Ters V çaprazlı x-x yönü kat ötelenmeleri	71
Tablo 6.9	Dışmerkez Ters V çaprazlı y-y yönü kat ötelenmeleri	72
Tablo 6.10	Dışmerkez Ters X çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları	73
Tablo 6.11	Dışmerkez Ters X çaprazlı x-x yönü kat ötelenmeleri	76
Tablo 6.12	Dışmerkez Ters X çaprazlı y-y yönü kat ötelenmeleri	77
Tablo 7.1	Dört tip çelik yapının x-x, y-y yönleri için süneklik değerleri	94

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Süneklik	6
Şekil 2.2	Yapılarda Dayanım – Süneklik İlişkisi	8
Şekil 3.1	Hesap Yönteminin Seçilmesi	9
Şekil 3.2	Kat Ötelemeleri	10
Şekil 3.3	Spektrum Katsayısı	13
Şekil 3.4	Kuvvetli kolon zayıf giriş	21
Şekil 4.1	Merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri	26
Şekil 4.2	Merkezi çaprazlı ters V çerçeve sisteminin göçme mekanizması	29
Şekil 4.3	Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemleri	31
Şekil 4.4	Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemleri mimari fonksiyonelliği	32
Şekil 4.5	h/L ’ nin relatif rijitliğe etkisi	33
Şekil 4.6	Geniş başlıklı girişler için tipik kesme–moment etkileşim diyagramı	34
Şekil 4.7	Dışmerkez çaprazlı çerçeve bağlantı girişi göçme mekanizması	35
Şekil 4.8	Dışmerkez çaprazlı çerçeve tip birleşim detayları	37
Şekil 5.1	Yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntıları	39
Şekil 5.2	Kapasite eğrisi – performans seviye aralıkları	45
Şekil 5.3	Plastik mafsallı kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi	49
Şekil 5.4	St37 yapı çeliği gerilme – birim şekildeğiştirme grafiği	50
Şekil 5.5	P mafsallı normal kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi	51
Şekil 5.6	M – X grafiği	51
Şekil 5.7	M3 mafsallı M – O ilişkisi	52
Şekil 5.8	PMM mafsallı N/Np – M/Mp ilişkisi	52
Şekil 6.1	Bodrum kat planı	54
Şekil 6.2	Ofis kat planı	55
Şekil 6.3	Merkezi ters V çaprazlı yapı tasarım spektrum eğrisi	58
Şekil 6.4	Merkezi X çaprazlı yapı tasarım spektrum eğrisi	63
Şekil 6.5	Dışmerkez ters V çaprazlı yapı tasarım spektrum eğrisi	68
Şekil 6.6	Dışmerkez X çaprazlı yapı tasarım spektrum eğrisi	73
Şekil 6.7	Merkezi ters V çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı	79
Şekil 6.8	Merkezi X çaprazlı yapı tasarım spektrum eğrisi	80
Şekil 6.9	Dışmerkez ters V çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı	81
Şekil 6.10	Dışmerkez X çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı	82
Şekil 6.11	Merkezi ters V çaprazlı sistem x-x yönü pushover deformasyonu	83
Şekil 6.12	Merkezi ters V çaprazlı sistem y-y yönü pushover deformasyonu	84
Şekil 6.13	Merkezi ters V çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi	84
Şekil 6.14	Merkezi ters V çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi	85
Şekil 6.15	Merkezi X çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi	86
Şekil 6.16	Merkezi X çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi	86
Şekil 6.17	Dışmerkez ters V çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi	87
Şekil 6.18	Dışmerkez ters V çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi	88
Şekil 6.19	Dışmerkez X çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi	89

Şekil 6.20	Dışmerkez X çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi	89
Şekil 7.1	Dört tip çelik yapının periyot ve şekildeğiştirmeleri	91
Şekil 7.2	Dört tip çelik yapıya etkiyen deprem yükleri	92
Şekil 7.3	Dört tip çelik yapının taşıyıcı sistem ağırlıkları	93

SEMBOL LİSTESİ

A(T)	:Spektral ivme katsayısı
A_g	:Brüt alan [cm ²]
A_{is}	:Bağlantı kirişi ara rijitleştiricilerinin alanı [cm ²]
A₀	:Etkin yer ivmesi katsayısı
A_s	:Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin alanı [cm ²]
A_w	:Bağlantı kirişi gövdesinin alanı [cm ²]
bf	:Başlık genişliği [cm]
bis	:Bağlantı kirişi ara rijitleştiricilerinin genişliği [cm]
bs	:Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin genişliği [cm]
C_b	:Moment değişiminin burkulma üzerindeki etkisini belirleyen katsayı
C_m	:Eksenel basınç ve eğilmenin etkidiği sistemlerde, kolonun şeklini göz önüne alan bir katsayı
C_i	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
d, d_b	:Kiriş derinliği [cm]
d	:Bulon çapı [cm]
d_i	:Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme [cm]
E	:Depreme neden olan yatay ve düşey yük etkileri
E	:Çeliğin elastisite modülü [E = 2,1 . 10 ⁶ N/cm ²]
e	:Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde bağlantı kirişi boyu [cm]
F_b	:Basınç başlığının enkesit alanı [cm ²]
F_i	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]
F_y, σ_y	:Kullanılacak çelik tipinin belirtilen en düşük akma gerilmesi [kN/cm ²]
F_{ye}, σ_{ye}	:Kullanılacak çelik tipinin beklenen akma dayanımı [kN/cm ²]
g	:Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s ²)
g_i	:Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük [kN]
H_i	:Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği) [m]
H_N	:Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik) [m]
h_i	:Binanın i'inci katının kat yüksekliği [m]
I	:Bina Önem Katsayısı
I	:Enkesitin atalet momenti [cm ⁴]
i	:Atalet yarıçapı [cm]
i_y	:Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin 1/3'ünün gövde eksenine göre atalet yarıçapı [cm]
K, k	:Burkulma boyunu belirleyen bir katsayı
L, l	:Açıklık uzunluğu [m]

M₁	:Kirişin yanal desteklerinin olduğu noktalardaki uç momentlerin küçüğü [kN.m]
M₂	:Kirişin yanal desteklerinin olduğu noktalardaki uç momentlerin büyüğü [kN.m]
M_p	:Nominal plastik eğilme dayanımı [kN.m]
M_{pa}	:Eksenel yükten dolayı değiştirilmiş nominal plastik eğilme dayanımı [kN.m]
m_i	:Binanın i'inci katının kütlesi (m, : w; / g) [kN]
N	:Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında riİlt çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
n	:Hareketli Yük Katılım Katsayısı
P_n	:Kolonun nominal eksenel dayanımı [kN]
P_u	:Kolon veya bağlantı kirişinde gereken eksenel dayanımı [kN]
P_y	:Elemanın nominal eksenel akma dayanımı [kN]
Q_b	:Çapraz elemanlardan kirişe etkiyen en büyük düşey kuvvet [kN]
Q_e	:Tabandaki kesme kuvvetiyle oluşan yatay deprem kuvvetlerinin etkisi
q_i	:Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük [kN]
R	:Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_a(T)	:Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R_y	:(F _{yc}) Beklenen akma dayanımının, (F _y) belirtilen en düşük akma dayanımına oranı
r	:Atalet yarıçapı [cm]
S(T)	:Spektrum Katsayısı
s	:Basınç çubuğunun boyu [cm]
T	:Bina doğal titreşim periyodu [s]
T₁	:Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_{1A}	:Binanın amprik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	:Spektrum Karakteristik Periyottan [s]
T_{bf}	:Kiriş başlık kalınlığı [cm]
t_f	:Başlık kalınlığı [cm]
t_w	:Gövde kalınlığı [cm]
V_i	:GözÖnüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katma etki eden kat kesme kuvveti [kN]
V_n	:Elemanın nominal kesme dayanımı [kN]
V_p	:Bağlantı kirişinin nominal kesme dayanımı [kN]
V_{pa}	:Bağlantı kirişinin eksenel yükten dolayı değiştirilmiş nominal kesme dayanımı [kN]
V_u	:Elemanda gereken kesme dayanımı [kN]
V_t	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti) [kN]
W	:Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w_i	:Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Δ_i	:Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi [cm]
Δ_p	:Plastik kat ötelemesi [cm]
ΔF_n	:Binanın N'inci katma (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yüğü [kN]
Ω_o	:Deprem yüğü yatay dayanım ötesi çarpanı

ϕ	:Taşıma gücü çarpanı
ϕ_c	:Basınç dayanımına ait taşıma gücü çarpanı
λ	:Narinlik modülü
λ_p	:Kompakt elemanlar İçin narinlik sınırı
λ_r	:Kompakt olmayan elemanlar İçin narinlik sınırı
θ	:Plastik kat öteleme açısı [radyan]
ρ	:(Pu) Bağlantı kirişinde gereken eksenel dayanımla, (Vu) gereken kesme dayanımı oranı o
σ_B	:Yalnız eğilme momenti altında müsaade edilecek basınç emniyet gerilmesi [N/cm ²]
σ_b	:Yalnız eğilme momenti altında hesaplanan basınç gerilmesi [kg/cm ²]
σ_{bem}	:Yalnız basınç kuvveti altında müsaade edilecek basınç emniyet gerilmesi [N/cm ²]
σ_{eb}	:Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme [N/cm ²]
τ	:Hesaplanan kayma gerilmesi [N/cm ²]
τ_{em}	:Kayma emniyet gerilmesi [N/cm ²]
ω	:Basınç emniyet gerilmesinin hesabında kullanılan çubuğun narinliğiyle bağlantılı burkulma katsayısı

ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPIDA DEĞİŞİK ÇAPRAZ DÜZENLEMELERİNİN YAPININ DEPREMDEKİ DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezimin amacı; 4 tip çelik çaprazlı sisteme sahip çok katlı çelik yapıların deprem etkisindeki davranışını incelemek ve sünekliklerini karşılaştırmaktır.

Birinci bölümünde, yapılan çalışmanın genel tanımına değinilmiştir

İkinci bölümde deprem yüklerine karşı güvenli yapı tasarımına ilişkin bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde 1998 Deprem Yönetmeliğin’ deki tasarım ve hesap kuralları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde çelik yapı tasarımı hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde performansa dayalı tasarım, performans seviyeleri, malzeme ve geometri bakımından lineer olmayan davranış ve çelik yapıda süneklik konuları incelenmiştir.

Altıncı bölümde 4 tip çelik çaprazlı sistemin statik, dinamik, pushover analizleri yapılmış ve her bir sistemin süneklikleri elde edilmiştir.

Sonuç bölümünde ise altıncı bölümde elde edilen analiz sonuçlarına göre 4 tip çelik yapı; taşıyıcı sistem ağırlığı, deprem etkisindeki davranışları, performans, süneklik özelliklerine göre karşılaştırmaları yapılmıştır.

*EXAMINATION OF THE BEHAVIOR FOR STEEL STRUCTURES WITH
DIFFERENT BRACE SYSTEMS UNDER EARTHQUAKE LOAD*

SUMMARY

The purpose of this master's degree thesis is to compare the ductility property by examining the behavior of the different 4 types multi-floor buildings, having steel bracing systems under the earthquake effect.

In the first part, a general definition of the study is given.

The second part gives information related to the structural safety design under the earthquake forces.

In the part three, an examination for design and calculation rules according to the 1998 Earthquake Design Code, is performed.

Part four gives general information about steel structural design.

Design based performance, performance levels, non-linear behavior by means of material, geometry and ductility in steel structures are examined in part five.

In the part six, static, dynamic and pushover analysis of 4 different types of steel bracing systems are observed and the ductility for each system is obtained.

Conclusion includes the comparison for these 4 different types using the analysis results of part six, according to the structural system weight, the behavior under earthquake effect, the performance and the ductility features.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Genel Tanımı

Deprem afeti; ülkemiz için önemle üzerinde durulması gereken bir sorundur. Türkiye topraklarının yarıya yakını ile ülke nüfusunun üçte ikisi “1. ve 2. Deprem Kuşağında” olması ve son 11 yılda ülkemizde yaşadığımız 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Ceyhan, 1999 Marmara ve Düzce depremleri ve sonuçları bu sorunun ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Meydana gelen depremin bir afet olabilmesi için deprem olayının gerçekleşmesi ve bu olayın toplum yapısında bir bozulma oluşturmaları gerekir. Diğer bir deyişle can, mal kaybı gerçekleşmeyen bir deprem afet sayılmamaktadır [11]. Japonya’ da gerçekleşen şiddetli bir depremden sonra insanlar hayatlarına devam etmekte; oysa ülkemizde orta şiddette oluşan bir deprem afete dönüşmektedir. Bunun en büyük nedeni rant peşinde bilinçsizce, mühendislik hizmeti almadan inşaa edilen yapılardır.

Doğal afete dönüşmüş depremler meydana geldikleri bölgeyi ve ülke ekonomisini büyük çapta etkilemektedir. Ülkemiz endüstri potansiyelinin odaklandığı Marmara Bölgesinde meydana gelen 1999 Marmara ve Düzce depremleri sonrası ülke ekonomisinde oluşan hasarın olumsuz yansımalarını hala yaşamaktayız.

Bu bağlamda; inşaa edilecek yapıların bulunduğu bölge koşullarına, kullanma amacına göre depreme karşı iyi modellenmiş taşıyıcı sisteme sahip olması yani mühendislik hizmeti alması gerekmektedir. Can ve mal kaybına depremin değil; mühendislik hizmeti almamış yapıların neden olduğu açıktır.

1.2. Tez Konusunun Tanımı

Çelik yapılar deprem davranışı açısından betonarme yapılara göre daha sünek olduklarından elastik zemin üzerindeki davranışları depremlerde daha az hasar görmelerine neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında çok katlı bir çelik yapı da deprem etkisine karşı farklı düşey taşıyıcılı sistemler oluşturarak bu sistemlerin depremdeki davranışı incelenmiştir. Bu amaçla aynı mimari plan fakat farklı çapraz sisteme sahip 4 çok katlı çelik yapı tasarlanmıştır. Bunlar;

- Merkezi Ters V çaprazlı,
- Merkezi X çaprazlı sistemler ve
- Dışmerkez Ters V çaprazlı,
- Dışmerkez X çaprazlı sistemlerdir.

Çalışmada farklı çapraz taşıyıcı sisteme sahip bu çok katlı çelik yapıların düşey ve yatay yükler altındaki taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırılarak yapıların taşıyıcı sistem ağırlıkları hesaplanmış; ayrıca her yapının nonlinear (pushover) analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. DEPREME DAYANAKLI YAPI TASARIMI

Depreme dayanıklı tasarım ve boyutlamada düşey yüklere göre daha büyük belirsizliklerle karşılaşılır. Bu belirsizlikler, etkimesi beklenen yüklerin büyüklüğünün belirlenmesi yanında, yapı elemanlarının ve birleşim yerlerinin taşıma güçlerinin, sünekliğinin ve yapının bütünlüğüne veya kararlılığına olumsuz yönde etki edecek göçme biçimlerinin önceden belirlenmesidir. Bir yapının tasarımı ve boyutlanması, genel olarak güç tükenmesi durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve kullanma durumunda kararlılık ve yer değiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Güvenlik ise yapının taşıyabileceği yükün taşınması beklenenden büyük olmasıdır şeklinde tanımlanabilir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içerisinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek olan şiddetli depremleri, büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın taşıyabilmesidir. Depremden hemen sonra yapının işlevine devam edebilmesi, meydana gelen deprem hasarının sınırlı ve onarılabılır olması, yapı içindekilerin can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere, aşağıda belirtilen sınır durumlara karşı belirli düzeylerde güvenlik sağlanması amaçlanmaktadır [4].

Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Yapının ömrü boyunca çok sayıda tekrarlanan hafif şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmamalı, böylece yapının işlevini aksatmadan sürdürmesi sağlanmalıdır. Bu koşul, deprem etkileri altında elastik sınırın pek aşılmaması ve yer değiştirmelerin öngörülen sınır değerlerden daha küçük olmasıyla sağlanır.

Hasar Kontrolü Sınır Durumu

Tekrarlama olasılığı daha düşük olan şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve/veya yapısal olmayan elemanlarda onarılabilecek düzeyde olan hasara izin verilebilir. Ancak bu hasarın ekonomik olarak onarılabilir düzeyde kalması gerekmektedir. Bu ikinci sınır durum, ekonomik olarak onarılıp güçlendirilebilecek durum (kullanılabilirlik sınır durumu) ile onarılıp güçlendirilmesi ekonomik olarak mümkün olmayan sınır durumu (göçme kontrolü sınır durumu) birbirinden ayırır. Bu sınır durumu, genellikle deprem yönetmeliğinde boyutlamaya etkili olacak deprem ivmesinin dolayısıyla kuvvetlerinin öngörülmesi şeklinde ortaya çıkar.

Göçme Kontrollü Sınır Durumu

Yapının ömrü boyunca ender olarak meydana gelebilecek çok şiddetli depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda onarılamayacak hasar meydana gelebilir. Böyle bir durumda göçme mekanizmasının kontrol edilerek, yapıda kısmen veya tamamen göçmenin meydana gelmesinin engellenmesi ve yapı içindeki hayatların korunması sağlanmalıdır. Bu koşulun sağlanabilmesi için yapı sisteminin yeterli bir dayanıma sahip olması ve göçme yükünden önce yeterli düzeyde elastik olmayan şekil değiştirme yapabilmesi istenir. Böylece, deprem enerjisinin bir bölümün elastik olmayan şekil değiştirmeler ile tüketilmesi amaçlanmaktadır [4].

2.1. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranacak Özellikler

Yukarıda belirtilen üç sınır durumuna karşı öngörülen güvenliğin sağlanabilmesi; yapının genel davranışının kontrol edilmesiyle ve yapının yeterli seviyede yatay rijitlik, dayanım ve süneklik özelliklerine sahip olmasıyla mümkün olmaktadır [4].

a.) Yapının Genel Davranışı

Yapının deprem yükleri etkisinde genel davranışının istenildiği gibi olabilmesi için, taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıdaki özelliklere dikkat edilmesi gerekir.

- *Taşıyıcı sistemin basitliği* : Deprem etkilerinin, meydana geldiği yerden zemine, açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda, taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlanması ve

inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içerir ve bu tür bir yapının deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilirdir.

- Düzgünlük ve simetri : Taşıyıcı sistem elemanları planda düzgün dağıtılmalıdır, gerekirse bina parçalara bölünerek bu özellik sağlanmalıdır.
- Döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram etkisi : Binanın döşemeleri; taşıyıcı sistemin deprem davranışında, deprem kuvvetlerinin toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Bu nedenle döşemelerin yeterli rijitliğe sahip olması önemlidir. Döşemenin rijit diyafram etkisini önleyeceği için planda çok dağınık veya çok uzun dikdörtgen şekilde bina düzeninden ve büyük boşluklardan kaçınılmalıdır.
- Uygun temel sistemi : Taşıyıcı sisteme ve zemin koşullarına uygun temel sistemi tasarlanarak deprem etkisinde zemin deformasyonlarından dolayı ek gerilmeler oluşması önemlidir.

b.) Rijitlik ve Dayanım

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli rijitliğe sahip olması, yatay ve düşey yükler altında, yapının yer değiştirmelerinin doğrusal elastik bölgede sınırlı kalmasıyla sağlanabilir. Taşıyıcı sistem elemanlarının elde edilen kuvvet zorlarına göre boyutlandırılmasıyla kullanılabilirlik sınır durumuna karşı belirli bir güvenlik sağlanabilmektedir.

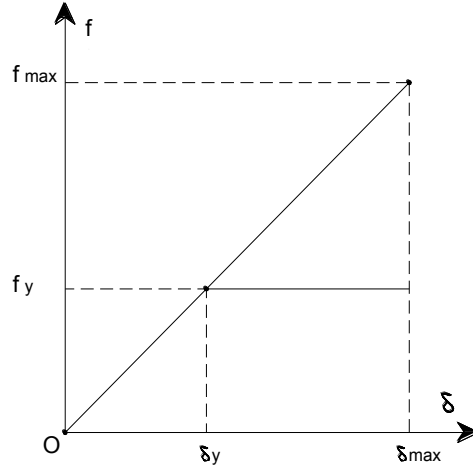
c.) Göçme Modu

Yapının göçme yükü yeteri kadar büyük olmalı, tasarıma esas olan yatay ve düşey hesap yükleri altında binada bölgesel ve ani göçmeler meydana gelmemeli, ayrıca sistem burkulmamalıdır. Özellikle çok katlı yapılarda, ikinci mertebe etkilerin yol açtığı stabilite yetersizliği nedeniyle göçme yükü önemli oranda azalabilmektedir. Tasarım sırasında bu etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir.

d.) Süneklik

Süneklik, bir kesitin, bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişim olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer

değiştirme yapma özelliğinin ölçüsüdür. Sayısal tanım olarak sistem süneklik oranı, göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranıdır.



Şekil 2.1 Süneklik [28]

Genel olarak bir yapıya ait dorusal ve doğrusal olmayan şekil değiştirme Şekil 2.1’ de verilmiştir. Yapıların doğrusal elastik olarak kabul edilip hesaplanması daha kolaydır. Buna göre doğrusal olmayan bir deprem hesabı; doğrusal elastik hesap yapılarak bulunan etkilerin süneklik oranında azaltılmasıyla elde edilen değerlere göre elemanların boyutlamasıyla gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, modern deprem yönetmeliklerinde süneklik düzeyine bağlı olarak bir yapı davranış katsayısı (R) tanımlanmakta ve hesaplamalarda yapıya etkiyecek olan deprem kuvvetleri bu davranış katsayısına bölünerek azaltılmaktadır.[4]

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar kısaca :

- Plan ve düşey kesitte yapı, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
- Temel sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.
- Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, planda burulma olmayacak şekilde düzenlenmelidir.
- Yapı elemanları gerekli dayanımları yanında sünek olmalıdırlar.
- Meydana gelen şekil ve yer değiştirmeler güvenliği zedelememeli ve kullanımı engellememelidir.

2.2. Yapı Sistemlerinin Süneklik Düzeyine Göre Sınıflandırılması

Tasarımda öngörülen ve elastoplastik hesap sonucunda elde edilen sistem süneklik oranı ve buna bağlı olarak belirlenen yapı davranış katsayısı açısından, yapı sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmış ve Şekil 2.2’ de gösterilmiştir [17].

a.)Elastik davranan yapılar

Önemleri nedeniyle, bazı yapılar deprem etkileri altında lineer elastik davranacak şekilde boyutlandırılırlar. Bu tür yapıların yük parametresi – yer değiştirme ($P - \delta$)bağıntıları OAA’ gibidir ve süneklik düzeyleri çok düşüktür.

b.)Sünek davranan yapılar

Elastik davranan yapıların dışında kalan diğer yapılarda lineer elastik sınırın ötesindeki şekil değiştirme ve yer değiştirmelere izin verilebilir. Lineer olmayan şekil değiştirmelerin sağladığı süneklik nedeniyle, söz konusu yapılar lineer elastik davranışa karşı koyacak şekilde boyutlandırılırlar.

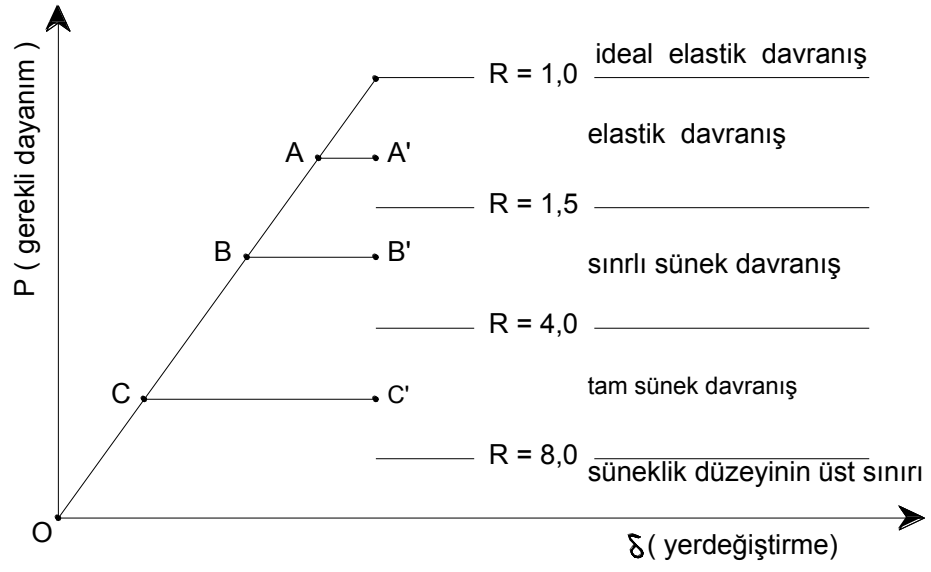
Deprem etkileri altında sünek davranış sergileyen bir yapı sisteminin süneklik düzeyi, genel olarak malzeme karakteristiklerine, en kesit geometrisine, sistem özelliklerine, hiperstatiklik derecesine ve süneklik düzeyini arttıracak konstrüktif önlemlere bağlı olarak değişmektedir. Bu bakımdan sünek yapılar ikiye ayrılabilir.

b1.) Sınırlı sünek yapılar

Bu tür yapıların yük parametresi – yer değiştirme bağıntısı OBB’ şeklindedir ve 1998 Deprem Yönetmeliğinde öngörülen yapı davranış katsayısı $R= 1,5 - 4$ arasında değişmektedir.

b2.) Tam sünek yapılar

Bu gruba giren yapı sistemleri yüksek bir süneklik düzeyine sahip olacak şekilde boyutlandırılırlar. Artan deprem etkileri altında ($P - \delta$)bağıntısı şematik olarak OCC’ şeklinde olan bu yapılar için, $R=4-8$ arasında değişen bir davranış katsayısı uygulanmaktadır.

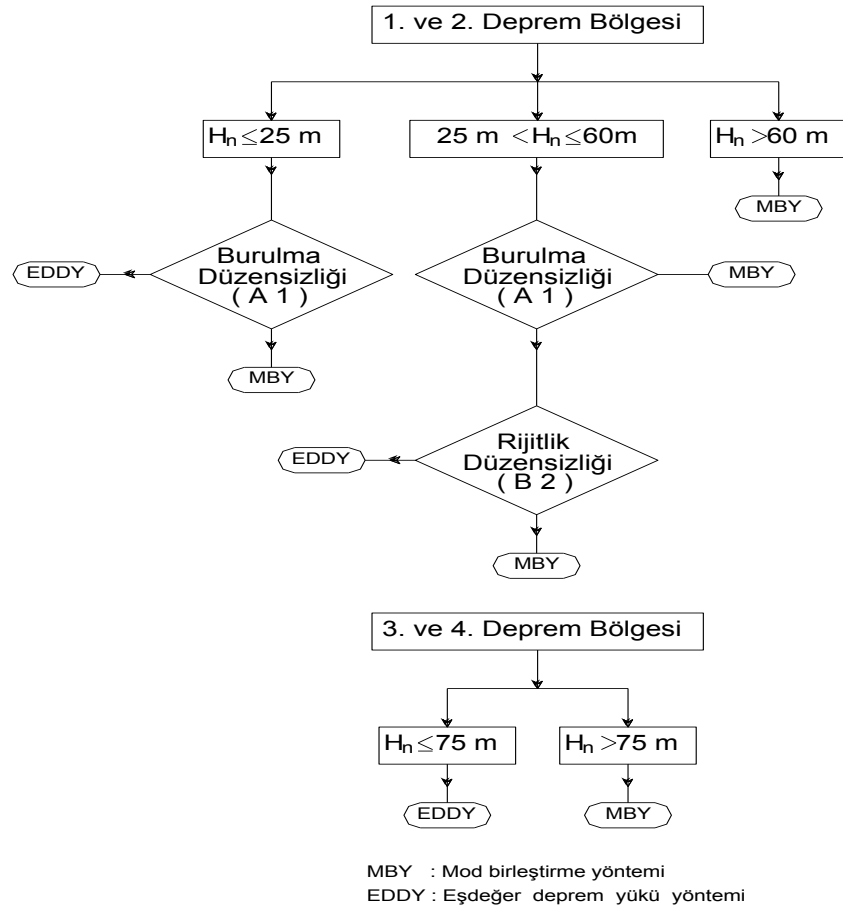


Şekil 2.2 Yapılarda Dayanım – Süneklik İlişkisi [17]

3. ABYYHY GÖRE DEPREME DAYANIKLI BİNA TASARIM KURALLARI

Bu bölümde ABYYHY' ye göre depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları özetlenmiştir [1].

Yapıların taşıyıcı sisteminin düşey yükler yanında deprem yüklerini de yeterli güvende taşıması gerekir. Deprem yükleri genel olarak dinamik karakterde ve değişik yönlerde etmektedir. ABYYHY uygulamada karşılaşılan yapıların büyük bir kısmında Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kullanılmasına izin vermektedir. Ancak deprem etkisinin büyük olduğu “Yüksek Yapılar”da yapı davranışı dinamik ilkeler kullanılarak daha iyi belirlenmelidir. Hesap yönteminin seçimine ilişkin koşullar Şekil 3.1’teki akış diyagramında gösterilmiştir.



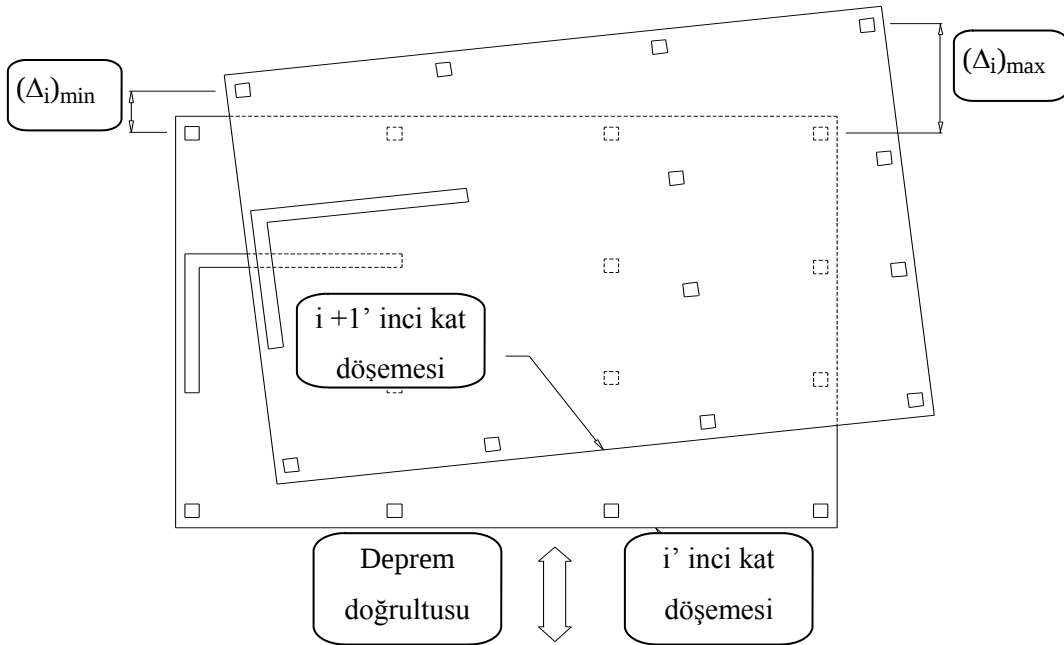
Şekil 3.1 Hesap Yönteminin Seçilmesi [18]

1998 deprem yönetmeliği, deprem yüklerinin taşıyıcı sistem tarafından daha rahat taşınması için düzgün taşıyıcı sistem seçimine zorlayacak hükümlere sahiptir. Yapı içerisinde bu düzensizliklerden biri dahi bulunduğu yapı düzensiz yapı olarak değerlendirilir. Yapı hesap yöntemi seçiminde de bu düzensizliklerin önemi fazladır [18].

- A1 türü burulma düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} nin

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2 \quad (3.1)$$

olması durumudur. Görel kat ötelemelerinin hesabı, %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır



Şekil 3.2 Kat Ötelemeleri

- A2 türü döşeme süreksizliği, herhangi bir kattaki döşemede Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması,

döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.

- B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki}

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1.5 \quad (3.2)$$

olması durumudur. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır.

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi 1. ve 2. Derece deprem bölgeleri için hesap yöntemi seçiminde bina yüksekliği H_N ile yapının plan ve düşey doğrultu düzensizlikleri etkili olmakta depreme dayanıklı bina tasarımında düzensiz binalardan kaçınılarak yatay deprem yükleri altında sistemin bir bütün olarak çalışması sağlanmalıdır.

3.1. Elastik Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yerçekimi ivmesi g 'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, Denklem 3.3 ile verilmiştir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (3.3)$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0

Deprem bölgeleri; depremin meydana gelme sıklığı ve şiddetine göre 4' e ayrılmıştır.

1. Deprem bölgesi depremin en şiddetli olacağı bölgeleri, 4. deprem bölgesi ise en az şiddetli deprem bölgesini ifade eder. Etkin yer ivme katsayısı A_0 'ın deprem bölgelerine göre aldığı değerler, Tablo 3.1'de tanımlanmıştır.

Tablo 3.1 Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_0

Deprem Bölgesi	1	2	3	4
A_0	0,40	0,30	0,20	0,10

Bina Önem Katsayısı, I

Yapılar kullanma amaçlarına göre 4 grupta toplanmıştır bunagöre 1 ile 1.5 arasında değişen değerler Tablo 3.2’den alınır. Depremden hemen sonra kullanılması gereken binalar ile insanların çok yığıldığı yapılarda deprem zararı fazla olacağından bu katsayı ile elastik deprem yükü arttırılarak bina tasarımı yapılır.

Tablo 3.2 Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler,dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Spektrum Karakteristik Katsayısı, $S(T)$

$S(T)$ binanın titreşim periyoduna bağlı olarak Denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1.5 T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.4a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (3.4b)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (3.4c)$$

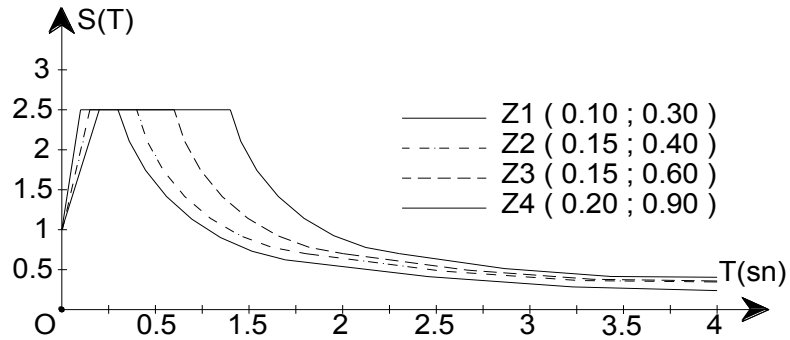
Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B

T_A ve T_B değerleri zemin koşullarına bağlı olarak Tablo 3.3'ten alınır.

Tablo 3.3 Yerel Zemin Sınıfı

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Zemin karakteristik periyotları T_A , T_B değerlerine göre spektrum eğrisi Şekil 3.3' de gösterilmektedir. Zemin sınıfı ne kadar iyi ise bina titreşim periyoduna göre spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin alacağı değer ters orantılı olarak azalmaktadır.



Şekil 3.3 Spektrum Katsayısı [12]

3.2. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne alarak binaya etkiyen elastik deprem yükü Tablo 3.4' ve Denklem 3.5'de elde edilen Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ 'ye bölünerek azaltılacaktır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.5a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (3.5b)$$

Tablo 3.4 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

ÇELİK BİNALAR		
BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	3	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
(c) Betonarme perde durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
(c) Betonarme perde durumu	4	7

Tablo 3.4' de çelik yapı taşıyıcı sistemin; deprem yüklerini taşıma ve süneklik durumuna göre R katsayıları için ön görülen taşıyıcı sistem davranış katsayıları verilmiştir.

3.3. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu elastik dinamik çözümleme yöntemi, taşıyıcı sistem davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilmesinden sonra birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır. Binalarda döşeme rijitliği sağlandığı ve kütlelerin katlarda toplandığı kabuledilir. Her kat için iki öteleme ve bir dönme hareketi esas alınır. Bu yöntem tamamen elastik davranışa dayanır. Deprem yönetmeliğinde; deprem hesapları Mod Birleştirme yöntemine göre yapılsa bile elde edilen sonuçların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilecek sonuçlarla karşılaştırmayı öngörmektedir.

3.3.1. Yapı Ağırlığının Hesabı

Depremde yüklerinin hesabında kullanılacak yapı ağırlığı Denklem 3.6 ve 3.7 kullanılarak hesaplanır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (3.6)$$

$$w_i = g_i + nq_i \quad (3.7)$$

Tablo 3.5 Hareketli Yük Katılım Katsayısı n

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

Deprem esnasında bina zati ağırlığı dışında binaya etki eden hareketli yükün binanın tamamında bulunma olasılığına göre hareketli yük katılım katsayısı olan n, Tablo 3.5’de belirtilmiştir. Yapının kullanım amacına göre n katsayısı 0.3 ile 0.8 arasında değişmektedir.

3.3.2 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi V_t

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , Denklem 3.8 ile belirlenecektir.

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R} \quad (3.8)$$

Bina yüksekliği $H_N > 25m$ Denklem 3.8 ile hesaplanan toplam eşdeğer yüküne ayrıca ΔF_N yüğü eklenir bu yük 3.9 Denklemi ile hesap edilir.

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V \quad (3.9)$$

Buna göre bina yüksekliği 25m' den $H_N > 25m$ yüksek taşıyıcı sistemler için toplam eşdeğer yüğü V_t Denklem 3.10' den bulunur.

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t \quad (3.10)$$

3.3.3. Yapının birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu, Denklem 3.11'e göre hesaplanabilir. Ancak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N < 25m$ koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodunun Denklem 3.11'e göre yaklaşık yöntemle hesaplanmasına izin verilmiştir. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N > 25m$ olması durumunda birinci doğal titreşim periyodu denklem 3.12 'e göre uygulanması zorunludur.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t * H_N^{2/4} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11, 3.9' daki C_t değeri, bina taşıyıcı sistemine göre alacağı değerler Tablo 3.6' da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Ct Katsayısı

Taşıyıcı Sistem Yapısı	Ct
Sadece Betonarme çerçeve	0.07
Dışmerkez çaprazlı çelikperde	0.07
Sadece çelik çerçeve	0.08
Diğer tüm binalar	0.05

$$T_1 = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2) / \sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi}) \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12' ye göre hesaplanan Binanın birinci doğal titreşim periyodu Denklem 3.11' e göre de hesaplanacak ve bu değer $T_{1A} > 1.0$ s olması durumunda, Denklem 3.12' den elde edilen T_1 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, T_{1A} 'nın 1.30 katından daha fazla olmayacaktır.

3.3.4. İvme Spektrumu

Herhangi bir r' inci titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu ordinatı Denklem 3.13 ile belirlenecektir.

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r) g / R_a(T_r) \quad (3.13)$$

3.3.5. Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta aşağıda tanımlanan kaydırılmış kütle merkezlerinin her birinde, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Kat kütleleri, her katın kütle merkezinde ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanacaktır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun

+%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. Ancak herhangi bir i 'inci katın kütle eylemsizlik momenti m_{0i} kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafında hesaplanacaktır. Kat kütlelerine karşı gelen kat ağırlıkları Denklem 3.8'e göre belirlenecektir.

3.3.6. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütle toplamlarının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütle, bina toplam kütlelerinin %5'inden büyük olan bütün titreşim modları göz önüne alınacaktır.

3.3.7. Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

3.3.8. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, 3.3.7'ye göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{tB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde Denklem (3.10)'da hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta V_t$), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denklem (3.14)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = (\beta V_t / V_{tB}) \quad (3.14)$$

A1, B2 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denklem 3.14' te $\beta=1.00$, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta=0.90$ alınacaktır.

3.4. Yatay Ötelemelerin Sınırlandırılması

ABYYHY' ye göre görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması gereklidir. Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemesi Δ_i Denklem 3.15' e göre bulunacaktır. Burada d_i ve d_{i+1} binanın i' inci ve (i+1)' inci katındaki herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaplanan yatay yer değıştirmeyi göstermektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i+1} \quad (3.15)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.16a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (3.16b)$$

Her bir deprem doğrultusu için görelî kat ötelemelerinden en büyüğü, Denklem 3.16'da verilen koşulların elverişsiz olanını sağlamalıdır. Eğer bu koşul sağlanamazsa taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak hesap tekrarlanmalıdır.

3.5. Emniyet Gerilmeleri, Yük ve Malzeme Güvenlik Katsayıları

- Emniyet Gerilmeleri Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri için TS-648'deki EİY yükleme durumunda izin verilen %15 artım, deprem durumunda en fazla %33'e çıkarabilir.
- Taşıma Gücü Yöntemi ile TS-4561'e göre yapılacak hesaplarda çelik akma sınırına uygulanacak malzeme güvenlik katsayısı 1.15, betonarme-çelik kompozit döşemelerde beton karakteristik basınç dayanımına uygulanacak malzeme güvenlik katsayısı ise 1.5 olarak alınacaktır. Ayrıca TS-4561' deki yük katsayıları Denklem 3.17' deki gibi değiştirilecektir.

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 E \quad (3.17)$$

Daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda ise Denklem 3.18' uyulacaktır.

$$0.9 G \pm 1.0 E \quad (3.18)$$

3.6. Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım

Depreme karşı davranışları bakımından, çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri aşağıda tanımlanan iki sınıfa ayırmıştır;

- A. Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
- B. Süneklik Düzeyi Normal Sistemler

3.6.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler

Süneklik düzeyi yüksek sistemler aşağıdaki koşulları sağlayan çerçeve türü taşıyıcı sistemler, dışmerkez çelik çaprazlardan oluşan sistemler veya bu iki tür taşıyıcı sistemin birleşiminden oluşan sistemlerden oluşabilir.

a) Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek olan sistemlerde, oluşturulan yüksek süneklikten dolayı elastik deprem yüklerinin daha büyük bir katsayı ile azaltılması öngörülmüştür. Bir

taşıyıcı sistemin süneklik düzeyinin yüksek olabilmesi için uyulması gereken kurallar aşağıda belirtilmiştir:

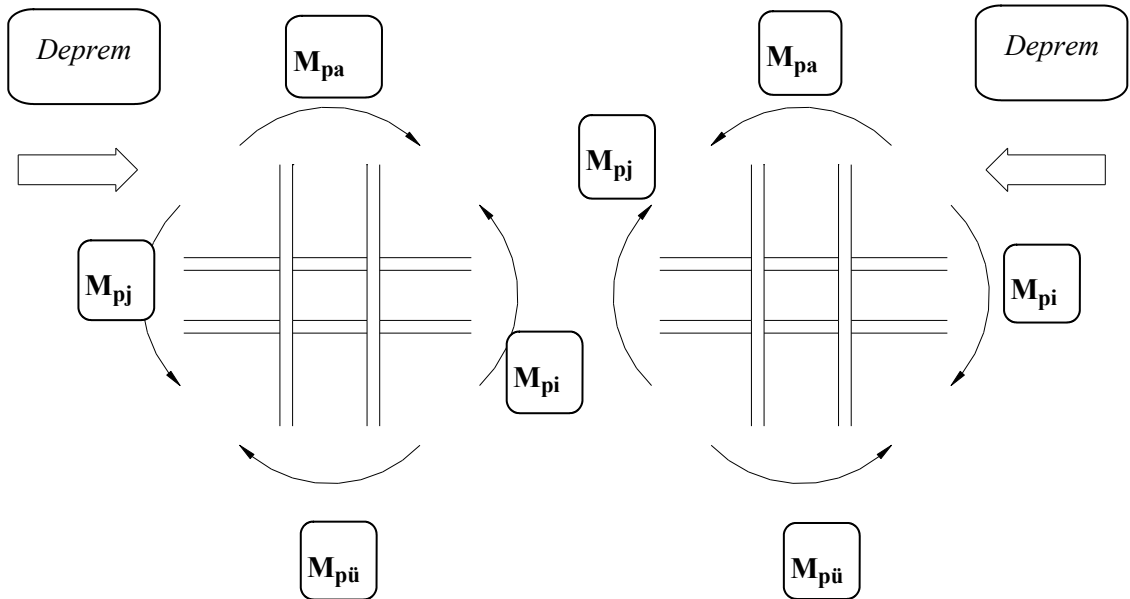
- Kesit hesapları TS-648 emniyet gerilmeleri yöntemi ile yapılırsa bile, tüm çerçeve elemanlarında başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranları için TS-4561 verilen aşağıdaki şartlar sağlanacaktır:

$$\frac{b}{t_b} \leq 17 \quad (3.19)$$

$$\frac{d_g}{t_g} \leq 43 \sqrt{\frac{2531}{\sigma_a}} = 44,16 \quad (3.20)$$

- Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçevesi sistemlerin çerçevelerinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların plastikleşme momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin plastikleşme momentleri toplamından daha büyük olacaktır.

$$(M_{pa} + M_{pü}) > (M_{pi} + M_{pj}) \quad (3.21)$$



Şekil 3.4 Kuvvetli Kolon Zayıf Kiriş

Denklem 3.21, depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek şekilde ayrı ayrı uygulanacaktır. Kolon plastikleşme momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri göz önüne alınacaktır. Kolonların kirişlerden daha güçlü elması koşulunun herhangi bir katın bazı kolonlarında sağlanamaması durumunda, Denklem 3.22' nin sağlanması koşulu ile hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağladığı kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri $1/\alpha_i$ değeri ile çarpılacaktır.

$$\alpha_i = V_{is} / V_{ik} \geq 0.70 \quad (2.22)$$

b) Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı çerçeveler; kolonlar, kirişler ve düğüm noktalarına dış merkez olarak bağlanan çapraz çubuklarından oluşan yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu elemanlara uygulanacak koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Kararlılık bağı çaprazlarının kolon-kiriş birleşim noktasına ya da iki kararlılık çaprazının bir kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dışmerkezliği, perde kolonları arasındaki açıklığın 1/5'i ile 1/10'u arasında seçilecektir. Dış merkez kararlılık çaprazlarının kirişle birleşme noktalarında, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi için gerekli önlemler alınacaktır.
- Kararlılık bağı çaprazlarının kolonlara bağlandığı perdelerde, bağlantı kolon keskinin başlığına yapılacaktır. Kolon gövdesine bağlantı yapılamaz. Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan kararlılık bağı çaprazlarının narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basınç kuvveti de alan kararlılık bağı çaprazlarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.
- Kararlılık bağı çaprazlarının birleşimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda, bulonların emniyet gerilmeleri %33 azaltılacaktır.

3.6.2. Süneklik Düzeyi Normal Sistemler

a) Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler

- Süneklik düzeyi normal çerçevelerde, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için verilen enkesit koşulları, kolonların kirilerden daha güçlü olması koşulu ve kolonların kirilerden daha güçlü olması koşulunun bazı kolonlarda sağlamaması durumu için uygulanması gereken kurallara uyulması zorunlu değildir.

b) Süneklik Düzeyi Normal elik aprazlı ereveler

Süneklik düzeyi normal elik aprazlı çerçeveler; kolonlar, kirişler ve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlanan çapraz çapraz çubuklarından oluşan yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu elemanlara uygulanacak koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Çaprazların sadece çekmeye çalışmak üzere hesaplanmadığı durumda, kararlılık bağı çaprazlarının narinlik oranı 250'yi amayacaktır.
- Basıncı kuvveti de alacak şekilde hesaplanan kararlılık bağı aprazların narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basıncı kuvveti de alan kararlılık bağı aprazlarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.
- Kararlılık bağı çaprazlarının birleimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda, bulonların emniyet gerilmeleri %33 azaltılacaktır.

4. ÇELİK YAPI TASARIMI

Çelik yapılar, yüksek dayanım ve süneklik özelliklerinden dolayı büyük deprem performansına sahip olduklarından deprem bölgelerinde çoğunlukla tercih edilmektedir. Yapıda uygun deprem tasarımı, kullanılabilirlik, hasar kontrolü ve göçme kontrolü sınır durumları olarak belirlenen temel gereksinimleri karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Sınır durumlarının göz önüne alınması olası bir depremin yıkıcı gücüyle çok ilgilidir. Hatta kullanılabilirlik sınır durumu kontrolünde yapının ömrü boyunca bir çok kez etkiyen düşük şiddetli depremler için yapı tümüyle yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Bu kontrol yapısal olan ve olmayan elemanlarda hiç hasar olmamasını gerektirir. Bunun yanında yapının amacına bağlı olarak fonksiyonuna devam etmesi sağlanmalıdır.

Anlaşılabacağı gibi bu gereksinimlerin sağlanabilmesi için, yapının tasarımı elastik sınır içinde kalmalı ve böylece yapısal elemanlarda hiç hasar oluşmaması sağlanmalıdır. Ayrıca, yeterli rijitliğin sağlanabilmesi için yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmasından ve de yapının yapım amacına bağlı olarak gerçekleşen faaliyetlerinin yarıda kesilmesinden kaçınılmalıdır.

Orta şiddetli depremlerde kullanma sınır durumu kontrolü aranmaz. Bu tür depremler sonucunda yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşabilir, istisna olarak sivil savunma için önemli olan yapılar kapsam dışıdır.

Son olarak da göçme sınır durumuyla, güvenliğin göz önüne alındığı şiddetli depremler için depremin geri-dönüş periyodu yapının geri-dönüş periyodundan büyüktür. Bu durumda göçme kontrollü sınır durum kontrolü için, yapı deprem esnasında gelen enerjiyi tüketerek karşılamalı ki, eğer yapıda onarılamayacak kadar büyük bir hasar oluşursa yapının göçmesi engellenmeli ve yapının içindekilerin hayatının korunması sağlanmalıdır.

Süneklik ve taşıyıcı sistemin enerji tüketme kapasitesi arasındaki ilişki taşıyıcı sistemin depreme karşı davranışını belirler. Deprem riskinden korunmak için

geliştirilen yeni tekniklerin dışında, deprem enerjisi, tasarımda belirli koşulların yerine getirilmesiyle enerjinin tüketileceği bölgelere yönltilmekte ve yoğunlaştırılmaktadır. Yatay yük etkisindeki çelik yapı tasarımında bu gereksinimler üç farklı yapı tipi ile karşılanır.

- moment taşıyabilen çerçeveler,
- merkezi çaprazlı çerçeveler,
- dış merkez çaprazlı çerçeveler.

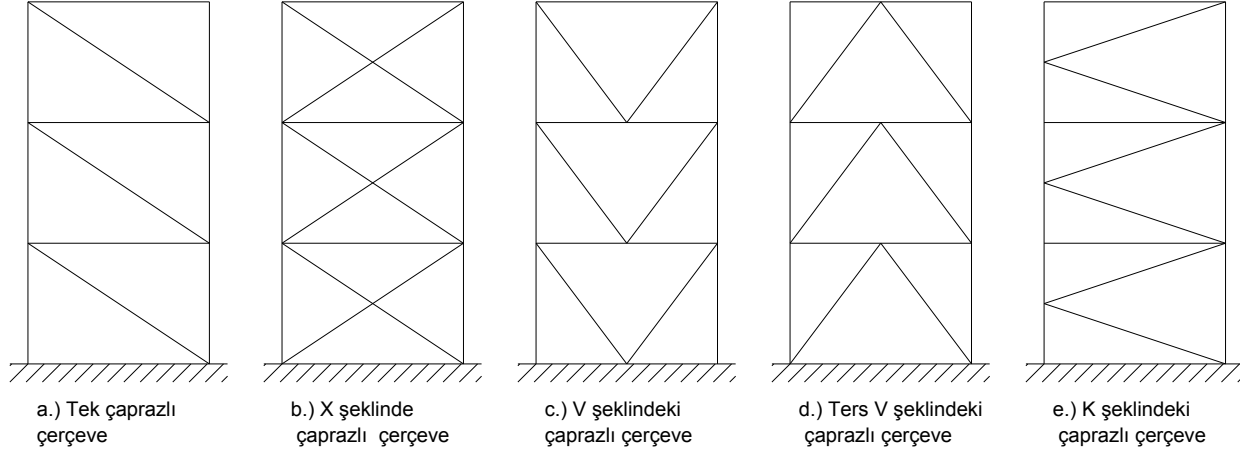
Kullanılabilirlik ve hasar kontrolü sınır durumları iyi seviyede olduğu süre boyunca, yapı tipine bağlı olarak farklı öneme sahip olurlar. En önemli tasarım kontrolü her durumda göçmeye karşı güvenliğin sağlanmasıdır. Çeliğin en önemli iki özelliği, sünekliği ve çevrimsel plastik yükleme etkisindeki tüketme kapasitesidir. Yukarıda belirtilen yapı tipleri için tasarım kuralları genel olarak yatay yükleri lineer elastik bölgede kalarak iletmek için verilmekteydi. Bu taşıyıcı sistemlerin tasarımında belirli kurallara uyulduğunda deprem etkisi altında plastik çevrimsel cevapların arttırılabildiği, başka bir deyişle süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler elde edilebileceği görülmektedir.

Merkezi çaprazlı çerçevelerle dışmerkez çaprazlı çerçevelerin elastik ötesi davranışlarının incelenmesi enerji tüketme kapasitelerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Dış merkez çaprazlı çerçeveler, moment taşıyabilen çerçevelerle merkezi çaprazlı çerçeveler arasında bir davranış gösterirler [19].

4.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Bu tür sistemlerde çapraz elemanları eksenel yükler etkisindedir. Merkezi çaprazlı çerçeveler yüklere karşı, elastik sınır içerisinde yeterli yanal rijitliği sağlayabilecek şekilde planlanmalıdır. Bu çerçeve sistemleri kullanma ve hasar kontrollü sınır durumları kontrollerinde olması gereken tüm gereksinimleri karşılamalıdır. Bu tip çerçeveler, servis yükleri altındaki bu iyi davranışa rağmen tersinir yükler altında enerji tüketme kapasiteleri sınırlıdır ve sonuç olarak yıkıcı depremlere karşı uygun değildir. Merkezi çaprazlı çerçevelerin tersinir yüklere maruz kaldığında dayanım ve rijitlik değerindeki hızlı bir azalmaya gitmektedir. Depremselliği yüksek bölgelerde

merkezi çaprazlı çerçevelerin kullanımı bu nedenlerden dolayı tartışılmakta ve deprem yönetmeliğinde bu tür çaprazlı sistem kullanılması halinde tasarım deprem kuvvetinin arttırılması istenmektedir[20-23]. Bu tür merkezi çaprazlı yapıların sünekliğinin ve olası kontrol dışı oluşabilecek deplasmanları azaltmak içindir. Çok kullanılan merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri [10]

Tek çaprazlı çerçeveler

Çerçevede tek çapraz eleman kullanılıyorsa, bu eleman hem basınç hem de çekmeyi taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle çapraz elemanlarının yeterince iyi boyutlandırılması gerekir. Gelen deprem enerjisi çapraz elemanın tersinir eksenel şekil değiştirmesi sayesinde tüketilir. Burkulma nedeniyle eksenel yüklü elemanların simetrik olmayan davranışlarından dolayı, bu tip tek çaprazlı çerçeveler yerine çift çaprazlı çerçeveler daha çok kullanılmaktadır. Çift çaprazlı çerçeveler depremin etkidiği yönden bağımsız olarak her zaman bütün katlarda en azından bir çapraz elemanının çekme kuvveti taşımasını sağlar.

X şeklindeki çaprazlı çerçeveler

Bu tür çapraz sistemlerinde her zaman çaprazlardan biri çekmeye diğeri de basınca çalışmaktadır. Gelen deprem enerjisi esas olarak çekme çaprazıyla tüketilir. Basınç çaprazının enerji tüketilmesine çok önemsiz bir katkısı vardır.

V ve Ters V şeklindeki çaprazlı çerçeveler

Bu sistemdeki çaprazlar aynı anda hem çekme çaprazı hem de basınca maruz kalmaktadır. X şeklindeki çaprazlı çerçeveler arasındaki ana farklılık, çekme ve basınç çaprazının davranışlarının farklı olmasından dolayı, V şeklindeki çaprazlı çerçevelerde çapraz elemanlardaki eksenel kuvvetlerden oluşan düşey etkidir. Bunun sonucunda yatay elemanda (kiriş) eğilme etkisi oluşur. V şeklindeki çaprazlı çerçevede burkulma sonrası dayanımda küçük bir azalma olmaktadır. Bunun nedeni ilk olarak burkulma elemanın büyük olasılıkla kendi konumuna dönememesinden ve çekme etkisi altındayken bir anda basınçtaki kapasitesini aşabilmesidir. Bu davranış burkulma sonrası dayanımda hızlı bir azalmaya neden olabilmektedir.

K şeklindeki çaprazlı çerçeveler

K şeklindeki çaprazlı çerçevelerin davranışı V ve Ters V çaprazlı çerçevelere benzemektedir. Ancak bu tip çerçevelerin güvenilirliği şiddetli deprem bölgelerinde yeterli değildir. Kolonun ortasındaki yatay deplasman, kolonun yanal burkulmasına ve beklenmedik göçmeye neden olabilir[24].

4.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Süneklik Düzeyi

Çapraz elemanların eksen çizgilerinin bir noktada kesiştiği merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan düşey kafes sistem, yatay kuvvetleri karşılar. Merkezi çaprazlı çerçeveler geometrilerinden dolayı, elastik bölgede eksenel kuvvet etkisinde kalan elemanlarıyla tam olarak kafes davranış gösterirler. Yine de orta şiddetliden şiddetliye kadar olan depremlerde, burkulma ötesi bölgede çapraz elemanlarda ve bunların birleşimlerinde önemli plastik şekil değiştirmeler beklenir.

Son zamanlarda, merkezi çaprazlı çerçevelerin depreme ilişkin tasarım kurallarına ilave olarak, daha yüksek tasarım kuvvetleri olduğunda plastik davranışı azaltabilmek için çapraz elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin artırılmasına önem verildi. Buna bağlı olarak, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerini arttırmak için ilave koşullar eklendi. Çerçeveler tasarım deprem kuvveti etkisi altında kaldığında, elemanların ve birleşimlerinin sınırlı veya daha önemli plastik şekil değiştirmelere dayanması süneklik düzeyini belirler. Bu amaçla UBC 1997 standardı esas alınarak sünek davranışını sağlayan detaylandırma gereksinimlerinin yerine

getirilmesine bağılı merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri deprem tasarımında iki şekilde göz önüne alınmaktadır [15].

- Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler,
- Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler.

4.2.1. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve çaprazlarının narinliği $4,23\sqrt{E / \sigma_y}$ değerini aşmayacaktır. Bu elemanlar için kullanılacak profil en kesiti biçimine göre genişlik / et kalınlığı oranları aşağıdaki değerleri aşmayacaktır.

$$\text{Korniyer kesitler için (genişlik / et kalınlığı)} \quad 0,31\sqrt{E / \sigma_y} \quad (4.1)$$

$$\text{Boru kesitler için (genişlik / et kalınlığı)} \quad 7,33\sqrt{E / \sigma_y} \quad (4.2)$$

$$\text{Dikdörtgen kesitler için (genişlik / et kalınlığı)} \quad 0,65\sqrt{E / \sigma_y} \quad (4.3)$$

Çapraz birleşim elemanları; aksel çekme halindeki yük taşıma kapasitesi, deprem yükünden dolayı çapraz elemanlarında oluşan aksel kuvvetin 2,8 katı ile gravitasyonel yüklerden aynı çaprazlarda oluşan aksel yüklerin toplamı, taşıyıcı sistem tarafından çapraz elemanlarına aktarılabilen maksimum aksel kuvvet değerlerinden en küçüğünü taşıyabilecek taşıma kapasitesine sahip olmalıdır.

Çapraz elemanın bulonlu birleşiminde elemanın etkili faydalı enkesit alanının,

$$\text{kayıpsız en kesit alanına oranı } \frac{F_n}{F} \geq \frac{1,2 \alpha \sigma^*}{\sigma_u} \text{ eşitsizliğini sağlamalıdır.}$$

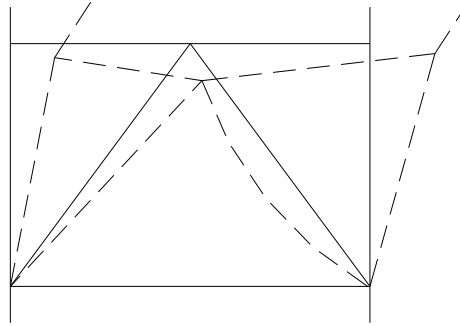
Yapılan analiz sonucu çapraz elemanları guse levhaları düzleminde burkulacağı saptanırsa, guse ve birleşimin diğer elemanları; çapraz elemanlarının burkulma düzlemi içindeki eğilme mukavemetine eşit bir mukavemete sahip olacaktır. Eğer çapraz elemanları guse levhası düzlemi dışında burkulacağı saptanırsa, çapraz elemanı guse levhasının bağlandığı kolon veya kiriş kenarına, minimum guse levhası kalınlığının iki misli kadar yaklaştırılacaktır.

V ve Ters V şeklindeki güçlendirme elemanları deprem yüklerinin oluşturduğu aksenal yükün 1,5 katı için boyutlandırılmalıdır. Çapraz elemanlarının birleştiği kiriş elemanları kolonlar arasında sürekli olmalıdır. Ters V çapraz elemanı kiriş alttan birleşirse kiriş, üzerine gelen bütün gravitasyonel yükleri bu çapraz elemanı yokmuş gibi taşıyabilmelidir.

K şeklindeki çaprazların depremselliği yüksek bölgelerde kullanılmasından kaçınılmalıdır.

4.2.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve çaprazlarının tasarımları süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler ile aynıdır. Bu sistem için farklılık gösteren tasarım özellikleri;



Şekil 4.2 Merkezi çaprazlı ters V çerçeve sisteminin göçme mekanizması [22]

Çapraz elemanı narinliği $5,87\sqrt{E / \sigma_y}$ değerini aşmayacaktır.

Çapraz elemanlarının birleştiği kirişin birleşim noktasında, kirişin her iki başlığı yanal harekete karşı tutulmalıdır. Bu amaçla kullanılan elemanlar $(0,02 \times \sigma_y b_f t_{bf})$ 'den hesaplanan kuvvetlere göre boyutlandırılmalıdır.

Yukarıda açıklandığı gibi süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler için verilen kurallar süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler için sünek davranışı sağlayan detaylandırma gereksinimlerinin birçoğunu kapsamaktadır. Şekil 4.2 ' de Merkezi Ters V çaprazlı bir çerçevenin şekil değiştirmesi görülmektedir.

Deprem tasarım kuvvetleri etkisinde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin önemli plastik şekil değiştirmelere dayanması beklenir. Basınç alan çaprazlar burkulduğunda dayanımdaki küçük azalmaya bağlı olarak, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelere göre artmış bir sünekliğe sahiptir.

Genel olarak süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler için gereken dayanım şiddetli bir depremde plastik deformasyonların çok büyük olmaması kabulüne dayanan bir davranış gösteren süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler için gereken dayanımdan daha yüksektir.

4.3. Dış Merkez Çaprazlı Çerçeveler

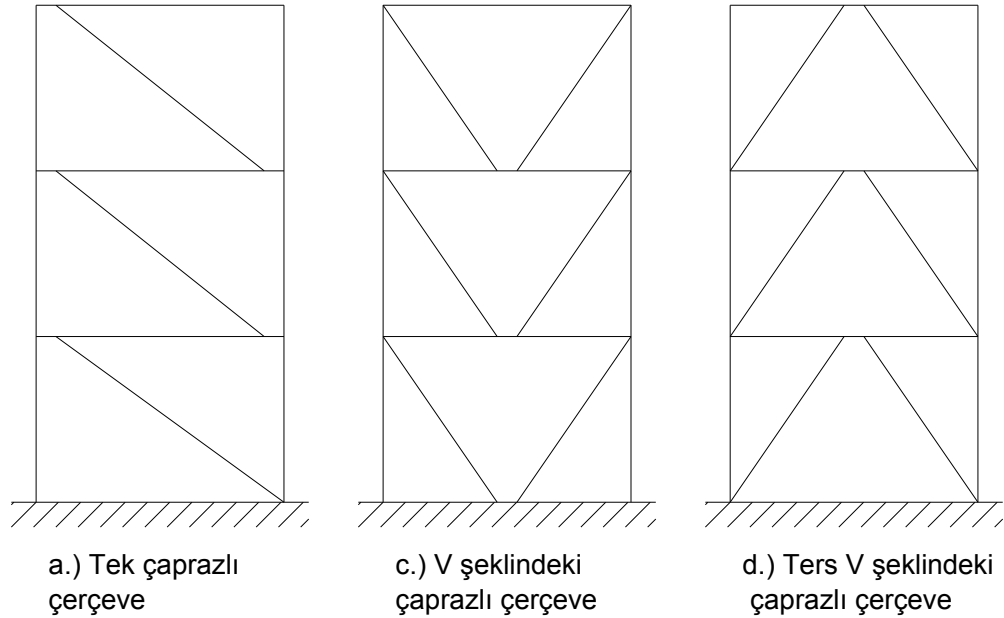
Çelik yapıların deprem yüklerine karşı tasarımında geleneksel olarak moment taşıyabilen çerçeveler ve merkezi çaprazlı çerçeveler kullanılmaktadır. Son zamanlarda yeni bir yapı tipi uygun bir seçenek olarak önerilmeye ve benimsenmeye başlanmıştır. Bu yeni tipte esas prensip, moment taşıyabilen çerçevelerin kirişlerini iki veya daha fazla parçalara bölen dış merkez çapraz elemanların yerleştirilmesi sonucunda güçlendirilmesidir. Çaprazlarla kirişin bölündüğü en küçük parçaya bağlantı kirişi denir ve görevi şiddetli yer hareketleri sırasında ortaya çıkan deprem enerjisinin büyük kısmını plastik kesme ve eğilme şekil değiştirmeleri sayesinde tüketmektir.

Doğru deprem tasarımı için gereken kriter; büyük geri dönüş periyotlu şiddetli depremlere karşı yeterli süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olması, küçük geri dönüş periyotlu orta şiddetli depremlere karşı ise yeterli dayanım ve rijitliğin sağlanmasıdır.

Merkezi çaprazlı çerçeveler yeterli dayanım ve rijitliğe sahiptirler, fakat onların plastik tersinir davranışı stabil değildir ve enerji tüketme kapasitelerinde bir azalma gösterirler. Aksine moment taşıyabilen çerçevelerde, elemanların uçlarında oluşan plastik mafsallar iyi çalışan birer enerji tüketme mekanizması oluşturur. Bu sistemlerin dezavantajı ise şekil değiştirmelerin daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla, moment taşıyabilen çerçevelere dış merkez yerleştirilen çapraz elemanlar ile güçlendirildiğinde, merkezi çaprazlı çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler

arasında yer alan davranış gösterirler. Depremde ortaya çıkan enerji, bağlantı kirişinin kesme ve/veya eğilmesiyle tüketilir. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerdeki enerji tüketme mekanizması, merkezi çaprazlı çerçevelere kıyasla moment taşıyabilen çerçevelerdekine daha benzerdir. Bu davranış esas olarak bağlantı kirişinin boyutlarını belirler. Dış merkez çaprazlı çerçevelerin tasarımında; bağlantı kirişinin önemi büyüktür sistem tasarımı yapılırken elastik olmayan davranışların bağlantı kirişi üzerinde oluşmasını sağlamak ve çerçeve sistemini, bağlantı kirişinden gelecek tesirlere göre boyutlandırmak yatar. Burada kesme kuvveti önemli rol oynadığı için moment taşıyabilen çerçevelerden farklı bir sünek davranış ortaya çıkar. Şekil 4.3' te dışmerkez çaprazlı çerçeve tipleri verilmiştir.

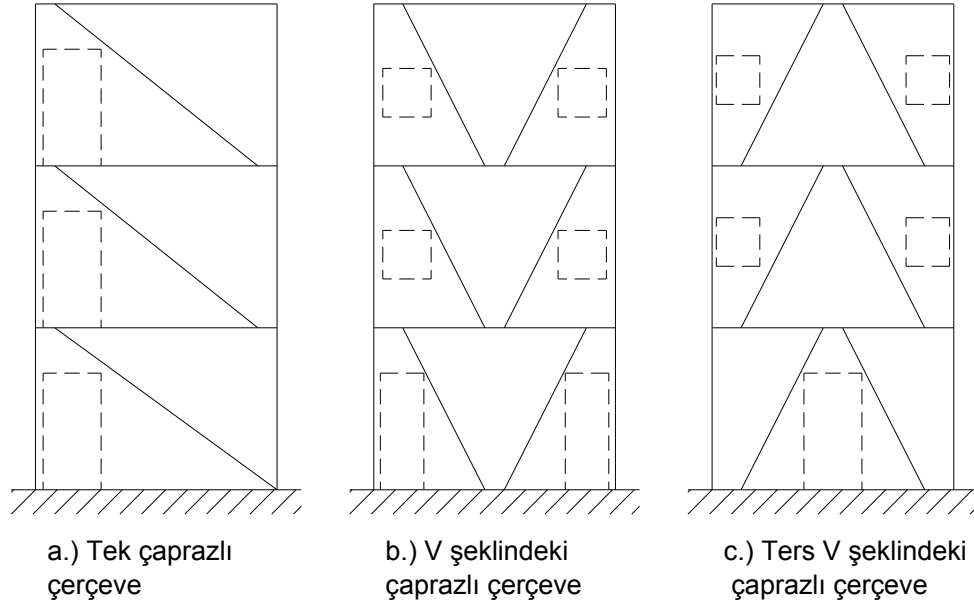
Dışmerkez çaprazlı çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler arasındaki önemli bir fark; çerçeve geometrisinden dolayı dış merkez çaprazlı çerçevelerde istenen yüksek eleman sünekliğine karşı, moment taşıyabilen çerçevelerde istenen yapısal sünekliktir. Bunun sonucunda, merkezi çaprazlı çerçevelerdeki gibi elastik bölgede şekil değiştirmelerde sağlanan azalma ile birlikte, moment taşıyabilen çerçevelerdeki gibi plastik bölgede yüksek süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olurlar.



Şekil 4.3 Dış merkez çaprazlı çerçeve sistemleri[15]

Bağlantı kirişi enerji tüketme bölgeleri olarak nitelendiğinde, bu elemanların boyutlandırılması ve detaylandırılması önemlidir.

İşlevsellik açısından dışmerkez çaprazlı çerçeveler mimari gereksinimlere de yapı içerisinde cevap vermektedir. Bu mimari fonksiyonellik Şekil 4.4’ de görülmektedir.



Şekil 4.4 Dış merkez çaprazlı çerçeve sistemlerin mimari fonksiyonelliği [22]

4.4. Dış Merkez Çaprazlı Çerçevelerin Davranışını Belirleyen Özellikler

4.4.1. Geometrik Parametreler

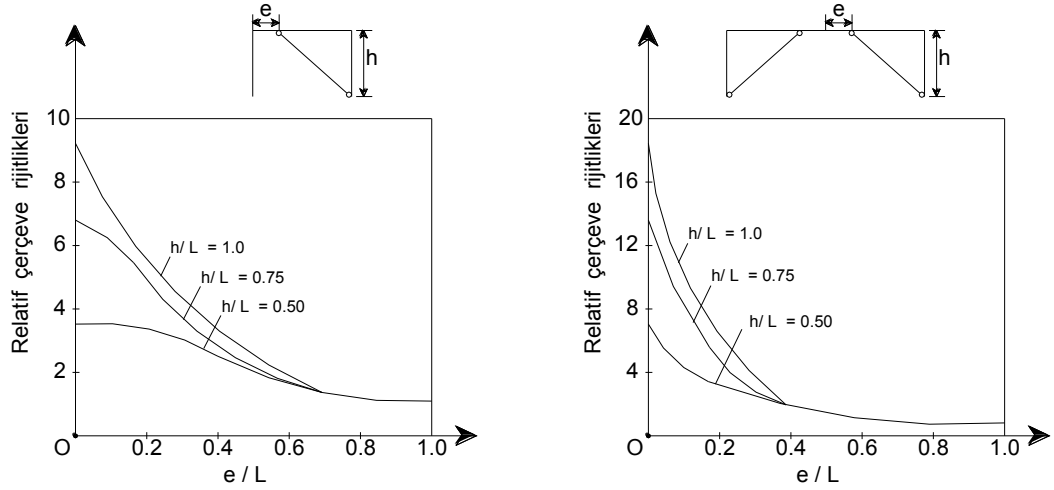
Dış merkez yerleştirilen çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin davranışını esas e/L ve h/L oranlarıyla belirlenebilir. Burada e : bağlantı kiriş boyu, L : çerçeve açıklığı, h : kat yüksekliğini göstermektedir. Buna göre $e/L = 0$ durumu merkezi çaprazlı çerçevelere karşılık gelir, $e/L = 1$ durumu ise moment taşıyan çapraz içermeyen çerçeveleri gösterir [26].

4.4.2. Mekanik Parametreler

Çerçevenin boyutları için, çerçevenin yapısal davranışını üç ana rijitlik oranı belirler. Bunlar kiriş – kolon rijitlik oranı, kiriş – çapraz eleman rijitlik oranı, kiriş eğilme rijitliği – kiriş kesme rijitliği oranı.

4.5. Dış Merkez Çaprazlı Çerçevelerin Rölatif Rijitliği

Çerçevenin rölatif rijitliği e/L oranının merkezi çaprazlı çerçeveden ($e/L = 0$) rijit çerçeve sistemine ($e/L = 1$) doğru gidildikçe azaldığı Şekil 4.5’ de görülmektedir.

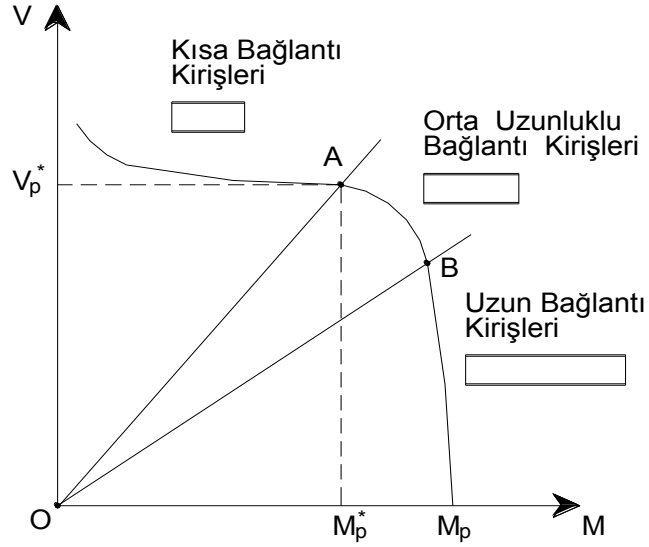


Şekil 4.5 h/L ' nin Relatif rijitliğe etkisi [15]

4.6. Bağlantı Kirişinin Davranışı

Dış merkez çaprazlı çerçevelerde enerji tüketiminin en fazla olduğu yerin bağlantı kirişleri olduğu açıktır. Uygun şekilde detaylandırılan bağlantı kirişlerinin gücünü kaybetmeden şiddetli tersinir yükler altında, uzun süre büyük plastik şekil değiştirmelerle büyük miktardaki enerjiyi tüketebildikleri deneysel araştırmalarla kanıtlanmıştır. Daha fazla enerji tüketme kapasitesi sağlandığından tasarımda bağlantı kirişlerinde kesme akması, eğilme akmasına tercih edilir.

Geniş başlıklı kirişler için tipik kesme – moment etkileşim diyagramı Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Bu diyagram bağlantı kirişinin boyuna göre kısa, orta, uzun olmak üzere 3 parçaya bölünmüştür



Şekil 4.6 Geniş başlıklı kirişler için tipik kesme – moment etkileşim diyagramı [22]

a.) Kısa bağlantı kirişleri

Kısa bağlantı kirişlerinde çoğunlukla kesme akması olduğundan dolayı büyük miktarda enerji tüketebilirler. Bu sebepten hangi durumlarda bağlantı kirişinin kısa bağlantı kirişi olarak düşünebileceğini belirlemek önemlidir.

b.) Orta ve uzun bağlantı kirişleri

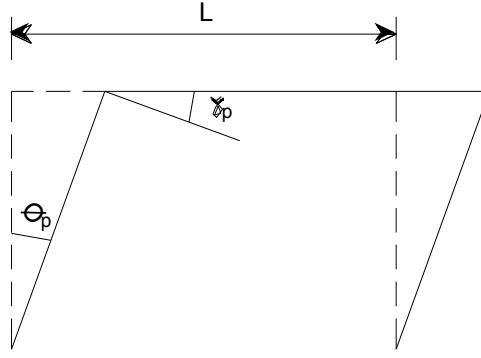
Bu bağlantı kirişlerinde bağlantı kirişi plastik davranışı kesme akmasıyla eğilme akması arasındaki etkileşimle tanımlanır. Bağlantı kiriş boyu uzadıkça plastikleşme kesme akmasından eğilme akmasına dönüşmektedir [15]. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerinde bağlantı kiriş göçme mekanizması Şekil 4.7' de verilmiştir.

Genel olarak bağlantı kiriş boyları;

$$\text{Kısa bağlantı kiriş boyu için} \quad e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p} \quad (4.4)$$

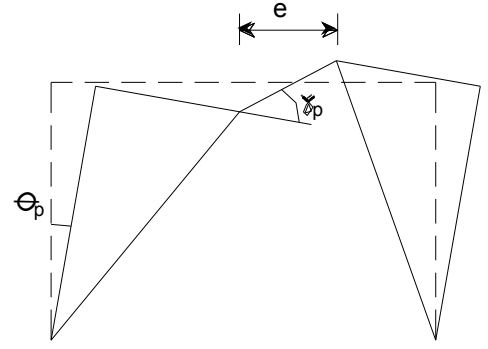
$$\text{Orta uzunlukta bağlantı kirişi için} \quad 1,6 \frac{M_p}{V_p} < e < (2,5 - 3) \frac{M_p}{V_p} \quad (4.5)$$

$$\text{Uzun bağlantı kirişi için} \quad e \geq (2,5 - 3) \frac{M_p}{V_p} \quad \text{olmalıdır} \quad (4.6)$$



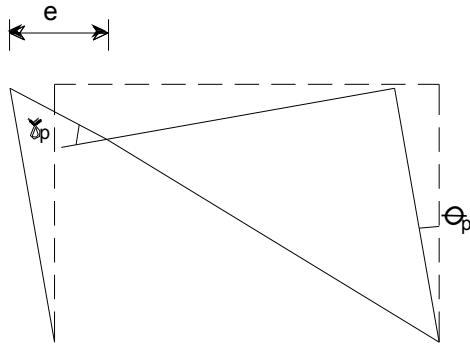
a.) Çerçeve sistem

$$\Delta_p = \Theta_p$$



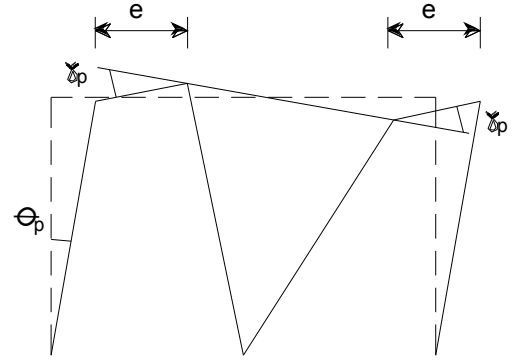
b.) Ters V şeklindeki çaprazlı çerçeve

$$\Delta_p = \frac{L}{e} \Theta_p$$



c.) Tek çaprazlı çerçeve

$$\Delta_p = \frac{L}{e} \Theta_p$$



d.) V şeklindeki çaprazlı çerçeve

$$\Delta_p = \frac{L}{2.e} \Theta_p$$

Şekil 4.7 Dışmerkez çaprazlı çerçeve bağlantı kirişi göçme mekanizması [22]

4.7. Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerin Tasarım Kuralları

UBC 1997 standardı esas alınarak dış merkez çerçevelerin tasarım kuralları verilmiştir.

Her bir çapraz elemanının sonunda bir bağlantı kirişi yer almalı ve kiriş başlıkları

$b / 2t_f \leq 0,31\sqrt{E / \sigma_y}$ olmalıdır. Bağlantı kiriş mukavemeti ise

$V_p = 0,55.d t_w .\sigma_y$ $M_p = W_p .\sigma_y$ şeklinde hesaplanır.

Bağlantı kirişi dış etkiler altında dönme sınırları;

$$e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p} \quad \text{için} \quad 0,09 \text{ radyan}; \quad e \geq 3 \frac{M_p}{V_p} \quad \text{için} \quad 0,03 \text{ radyan}$$

bu iki değer arasındaki uzunluklar için interpolasyonla bulunacak değerler sınır değerleridir.

Bağlantı kiriş gövdesi parçasız olacak ve gövde makaslama kuvveti $0,8.V_p$ olacaktır.

Çapraz elemanı bağlantı kiriş birleşimi, çapraz elemanın taşıyabileceği minimum eksenel basınç kuvvetini, bağlantı kirişlerine aktarabilme ve bu birleşimin hiçbir parçası bağlantı kirişinin gövde bölgesine uzanmayacaktır.

Bağlantı kirişleri, çapraz elemanlarının birleştiği uçlarında gövdenin her iki tarafına gövde takviye levhaları konacak ve bu levhalar $(b_f - 2t_w)/2$ genişliğinde ve en az $0,75t_w$ kalınlığında olacaktır.

Gövde takviye levhaları ara mesafeleri 0,09 radyan dönme açısına sahip bağlantı kirişlerinde $(38t_w - d/5)$; 0,03 radyan ve daha düşük dönme açısına sahip bağlantı kirişlerinde $(56t_w - d/5)$ değerlerini aşmayacaktır.

Kolona birleşen bağlantı kirişinin uzunluğu $1,6M_p/V_p$ değerini aşmayacak.

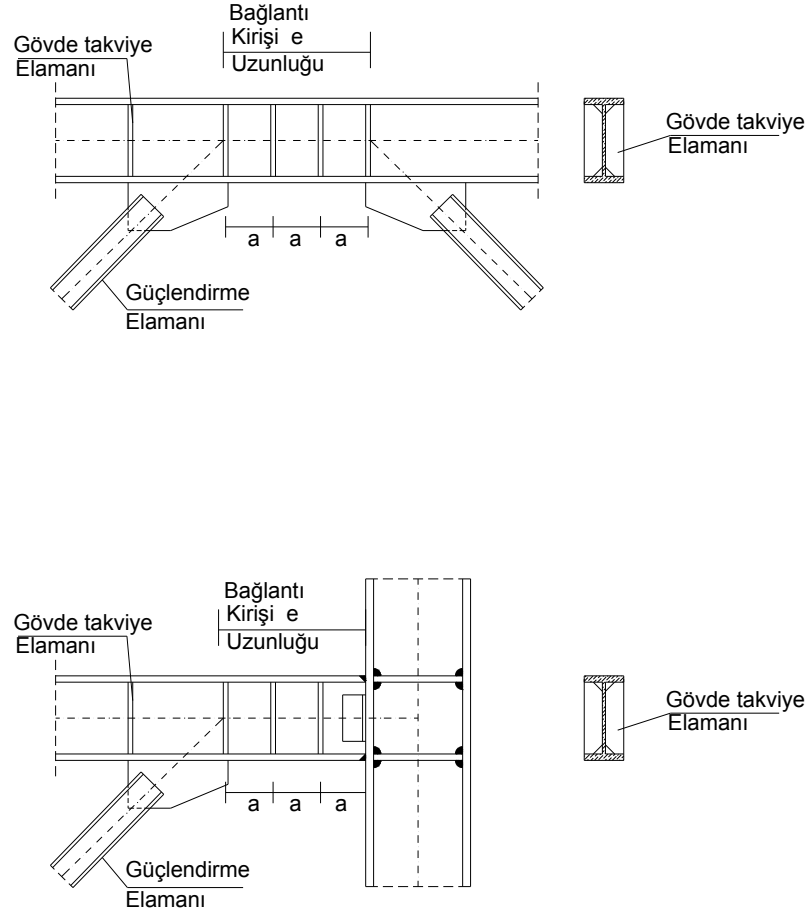
Çapraz elemanı bağlantı kirişin kontrol eden mukavemetine karşı gelen kuvvetlerin, en az 1,5 katına eşit eksenel yük veya M_{rp} azaltılmış eğilme momenti taşıyabilmesine sahip olacaktır. Bağlantı kirişi dışındaki her bir çapraz elemanı, kiriş parçası çifti; bağlantı kirişini kontrol eden mukavemetinin en az 1,3 katına karşı gelen, toplam M_{rp} azaltılmış eğilme momenti kapasitesine sahip olmalıdır.

Kolonlar dış merkez çaprazlı çerçeve mukavemetinin 1,25 katı değerinde elastik kalacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

Çerçeve kiriş alt ve üst başlıkları bağlantı kirişleri uçlarında ve $(0,45\sqrt{E/\sigma_y} \times \text{başlık genişliği})$ uzunluğunu geçmeyen aralıklarla kiriş gövde düzlemi dışına harekete karşı tutulmalıdır.

Bağlantı kiriş kolona direkt olarak bağlanmıyorsa bu durumda kirişin, kolona birleşimi mafsallı olarak yapılabilir ve bu birleşim $(0,01\sigma_y b_f t_f d)$ değerinde bir

burulma momentine karşı koyabilmelidir [15]. Dışmerkez çaprazlı sistemlerde ana kiriş çapraz elemanı bağlantı detayı Şekil 4.8’ de verilmiştir.



Şekil 4.8 Dışmerkez çaprazlı çerçeve tip birleşim detayları [15]

5. PERFORMANSA DAYALI TASARIM

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi talep ve kapasitedir. Talep yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

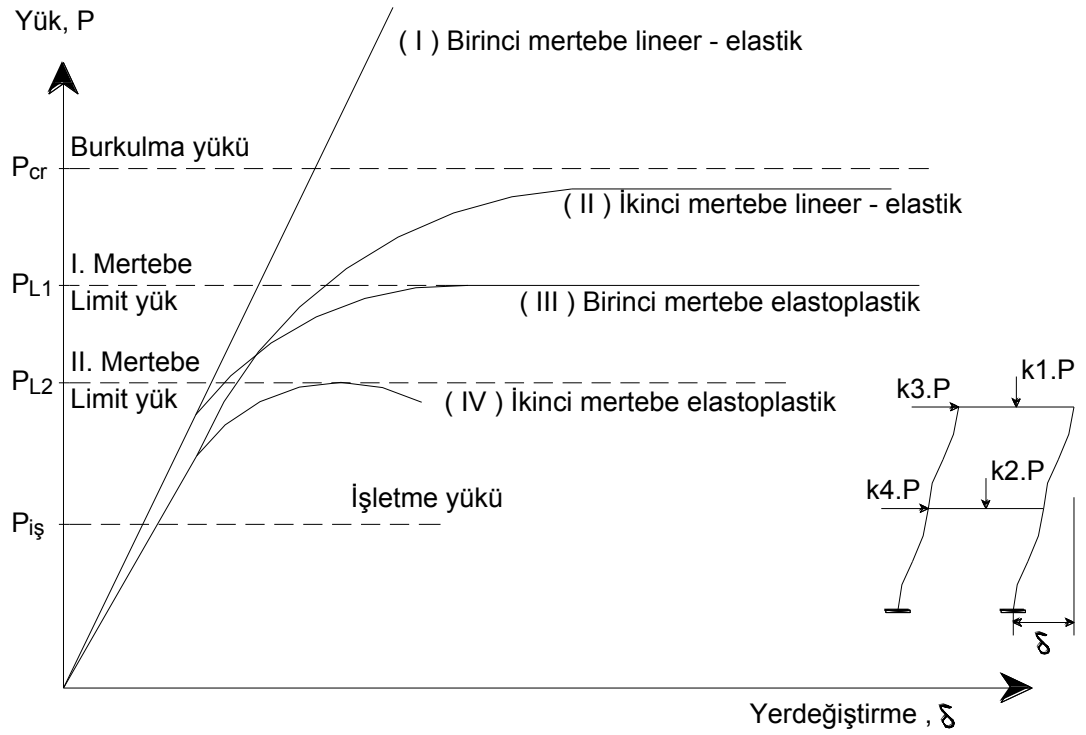
Yapısal kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elamanların ve şekil değiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Lineer elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite; kapasite eğrisi (pushover curve) ile temsil edilir. Bu eğri ise, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır[27].

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sünek davranışın sağlanması önemli bir tasarım kriteri olarak görülmektedir. Pek çok çağdaş deprem yönetmeliğinde sistemin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere; deprem yükü azaltma katsayıları ve yapıda öngörülen süneklik kavramına önemli ölçüde yer vermektedir. Yapı sistemleri, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sünek davranış sayesinde, yapıya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir kısmı tüketilmektedir[28].

5.1. Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışın İncelenmesi

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin lineer olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi – yer değiştirme ($P - \delta$) bağıntıları Şekil 5.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Yük parametresi – yer değiştirme ($P - \delta$) bağıntıları [27]

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının lineer olmaması iki sebepten ileri gelmektedir :

- a- malzemenin lineer – elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet – şekil değiştirme bağıntılarının lineer olmaması,
- b- geometri değişimlerinin etkisi nedeniyle denge denklemlerinin lineer olmaması.

Bilindiği gibi, malzemenin lineer olmayan davranışının göz önüne alındığı teoriye elastoplastik teori, denge denklemlerinin şekil değiştirmiş eksen üzerinde oluşturulduğu teoriye ikinci mertebe teorisi, lineerliği bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alındığı hesap yöntemine ise ikinci mertebe elastoplastik teori denilmektedir.

Malzemenin sınırsız olarak lineer – elastik kabul edildiği bir yapı sisteminin I. ve II. Mertebe teorilerine göre hesabı ile elde edilen ($P - \delta$)bağıntıları Şekil 5.1 de (I) ve (II) ile gösterilmiştir. II. mertebe teorisine göre hesapta, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi nedeniyle, artan yük parametresine daha hızla artan yerdeğiştirmelere karşı gelmektedir. Yük parametresi artarak P_{cr} sınır değerine eşit

olunca yer değiştirmeler sonsuza erişir ve sistem burkulur. Bu yüke elastik burkulma yükü denir.

Lineer olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde artan yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer- elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yapı eliği gibi, kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu, sünek malzemeden yapılan sistemlerde plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunların dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer – elastik davrandığı kabul edilebilir. Bilindiği gibi, tek eksenli basit eğilmenin etkin olduğu düzlem sistemlerde; bu kabule plastik mafsalsal hipotezi denilmektedir.

Bu hipotezin uygulandığı bir yapı sisteminin I. Mertebe teorisine göre hesabında (şekil 5.1, (III) eğrisi), oluşan plastik kesitler nedeniyle sistemin tümü veya bir bölümü mekanizma durumuna gelir ve taşıma gücü sona erer. Bu duruma karşı gelen yüke I. Mertebe limit yk denir.

Lineerliği bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin II. mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $(P - \delta)$ bağıntısı şekil 5.1 deki (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu bağıntı ile plastik kesitin oluşumuna kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra meydana gelen plastik şekil değiştirmeler nedeniyle yer değiştirmeler hızla artmaktadır. Yükler artarak bir P_{L2} değerine eşit olunca, oluşan plastik kesitler sonucunda rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer yani $(P - \delta)$ diyagramında artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelir. Yapının stabilite yetersizliği nedeniyle göçmesine sebep olan bu yük parametresine II. mertebe limit yk denilmektedir.

Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi terk edilerek hesaplanan I. Mertebe limit yükten farklı olarak, II. mertebe limit yükte; sistem mekanizma durumuna gelmeyebilir.

Bazı hallerde, dış yükler ikinci mertebe limit yüke P_{L2} erirmeden önce, meydana gelen büyük yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler yapının göçmesine neden

olabilir. Göçmenin meydana geldiği P_G yük parametresine göçme yükü denilmektedir [29].

5.2. Yapı Sistemlerinde Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin süneklik düzeyini belirleyen başlıca parametre süneklik oranıdır. Süneklik oranı genel olarak, göçmeye neden olan yer değiştirmenin lineer sınıra karşı gelen yer değiştirmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. Çaprazlı yapı sistemlerinde göçmeye ait bağıl yer değiştirme için $\delta / H = 0,02$ sınır değeri esas alınmaktadır [30]. Diğer taraftan lineer sınıra karşı gelen yer değiştirmenin, ikinci mertbe limit yüke ulaşınca kadar meydana gelen plastik kesitlerin yaklaşık %10' unun oluştuğu andaki yer değiştirme olduğu varsayılmıştır. Bu yer değiştirmenin ise, yaklaşık olarak ikinci mertbe limit yükün %70' ine ulaşıldığı andaki yer değiştirme olduğu sayısal incelemelerden görülmektedir. Bu hususlar göz önünde tutularak, merkezi ve dış merkez çaprazlı çelik yapı sistemlerinde süneklik oranı için

$$\mu = \frac{0,02}{(\delta / H)_{0,7PL2}} \quad (5.1)$$

bağıntısının kullanılması önerilmektedir.

Yapı davranışının doğrusal elastik kabul edilerek hesap yapılması daha kolaydır. Bu nedenle, yapı elamanlarının sahip olması gerekli elastik dayanım gerçekleştirilecek süneklik oranına bölünerek azaltılabilir. Böylece, doğrusal olmayan bir deprem hesabı elastik bir hesap yapılarak yaklaşık olarak gerçekleştirilebilir[4]. Yapının deprem hesabında esas alınacak yükler süneklik oranına doğrudan bağlıdır. Bu yüzden de yapı için optimum süneklik oranının tayin edilmesi ve bu oranın gerçekleşmesi için tasarım kurallarına uyulması gerekmektedir.

Kuvvetli deprem etkileri altında yapıların elastik davranışın üzerinde şekil değiştirmesi öngörülür. Bu durumda elastik ötesi davranış önem kazanır. Yapının elastik sınırı geçip, sünerek kesit zorlarında önemli artışlar olmadan şekil değiştirmesi arzu edilir. Bu yolla depremin dinamik etkisi elastik ve geri dönüşümlü olmayan enerji türüne dönüşerek yutulmaktadır. Sünek davranış, güç tükenmesi sırasında elastik olmayan büyük şekil veya yer değiştirmelerin ortaya çıkması olarak da görülebilir. Benzer şekilde, bir taşıyıcı sistem için de uygun şekil veya yer

değiştirme alınarak süneklik tanımlanabilir. Örneğin kullanılabilirlik sınırını aşmayacak şekilde belirlenecek yer değiştirmeler ya da performans analizleri ile bulunacak yer değiştirmeler uygun yer değiştirme olarak düşünülebilir.

Bir yapı sünek ise deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı yapı dayanımında önemli bir kayıp olmadan yutulur. Süneklik sayesinde, aşırı yükleme sonucu akmaya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan komşu kesitlere dağıtılması sağlanır.

Yapılarda izin verilecek hasar yapının fonksiyonu ile doğrudan ilgilidir. Süneklik düzeyi izin verilen hasar oluşumu ile sınırlı olmalıdır. Bu sınırı aşmaya zorlayacak şekilde süneklik oranı beklenenin tersi sonuçlar doğurur. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi kontrollü hasarla göçmeden uzak kalınarak yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekir. Hiperstatiklik mertebesinin yüksek olması için birleşim bölgeleri elamanlar arasında yük iletimini sağlayabilmelidir[31].

Bir binada, toptan göçmenin veya büyük hasarların önlenmesi taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının önemli bir kısmını elastik sınır aşıldıktan sonra da devam ettirebilmesi ile mümkündür. Binanın sünek davranabilmesi için, elemanların ve yapımında kullanılan malzemenin sünek olması gerekir. Burkulma sünek olmayan bir davranış biçimidir. Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemede enerji söndürebilme özelliğini içerir. Sünek davranışta kapasite eğrisinin yataya yakın olarak devam etmesi halinde göçme olmadan yapı yük taşımaya devam edecektir. Bu durumda sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış sebebiyle söndürülürken ortaya çıkan büyük şekil değiştirmeler elamanlar arası yardımlaşmaya imkan verecek ve taşıma kapasiteleri olan komşu elemanların devreye girmesi sağlanacaktır. Depremlerde büyük hasar nedenlerinden biri de sünek davranışın sağlanamamasıdır.

Taşıyıcı sistem elamanlarından birinin kesitinde yeterli eğilme momenti dayanımı bulunmaması durumunda bile taşıyıcı sistemin bütünlüğünün bozulmaması ve sistemde yeterli süneklik kapasitesinin sağlanması koşuluyla her zaman ağır hasara uğramadığı belirlenmiştir. Taşıyıcı sistemin sünek davranışı sonucunda deprem enerjisinin sönmülenebileceği ve elemanlar arasında yardımlaşma sayesinde daha büyük deprem etkilerinin karşılanabileceği görülmektedir. Ancak oluşan aşırı plastik

şekil değiştirmeler sonucu ikinci merteye etkilerin de artmasıyla taşıyıcı sistem göçme durumuna ulaşabilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesi şeklindedir. Taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmelerin sınırlandırılarak rijitliğinin sağlanması ve bu suretle taşıyıcı olmayan diğer elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer önemli bir husustur[31].

5.3. Yapılarda Performans Seviyeleri

Deprem sonrası yapıların hasar tespiti ve gösterdikleri performansın değerlendirilmesinde sistem kapasitesinin rijitlik, periyot gibi etkenlere göre değişimi bilinmelidir. Statik itme analizi yapının yük- yerdeğiştirme kapasitesini hesaplamak için son yıllarda gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Özellikleri bilinen, bir yapının tasarım depremi altındaki maksimum respons deplasmanı, yapının deplasman talebini gösterir. Kapasite eğrisi ve deplasman talebi bir kere belirlendikten sonra performans kontrolü yapılarak, taşıyıcı elemanların veya bütün olarak yapının performans ölçütleriyle kabul edilebilir sınırların içinde hasar görüp görmediği kontrol edilebilmektedir[28].

Performans seviyeleri, yapıya etki eden deprem yükleri altında öngörülen hasar miktarlarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir[27]. Taşıyıcı elamanların performans seviyeleri;

Hemen kullanım performans seviyesi (S1);

Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır.

Hasar kontrol performans aralığı (S2);

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.

Can güvenliği performans seviyesi (S3);

Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında canlılarda yaralanmalar oluşabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlarla ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

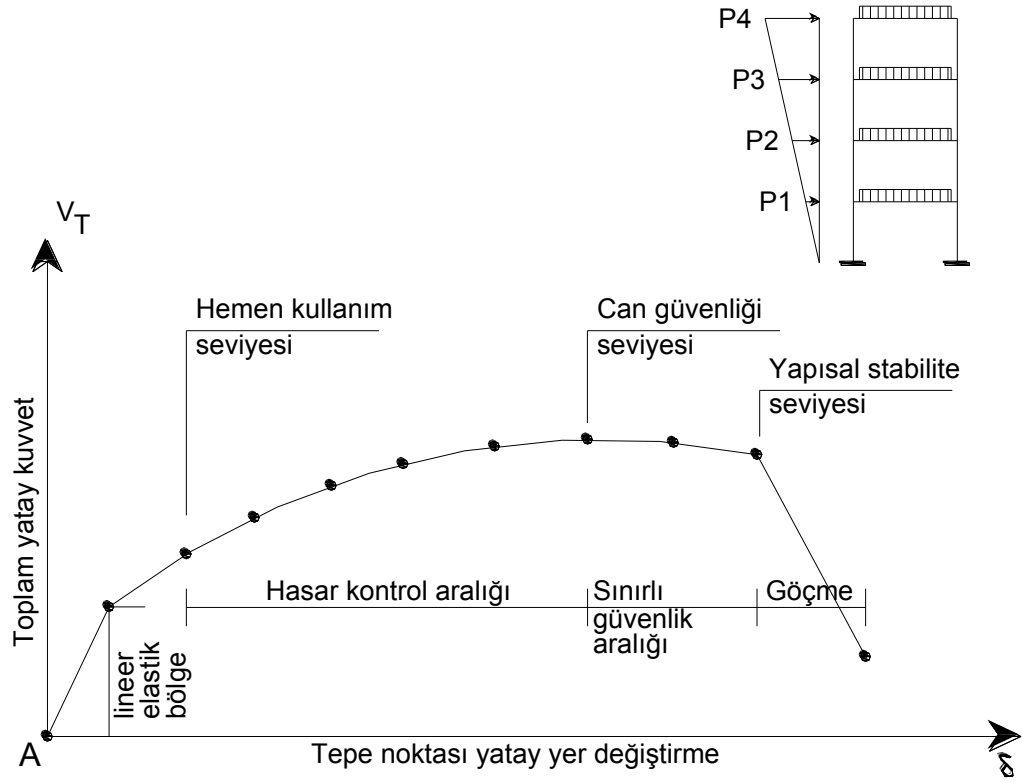
Sınırlı güvenlik performans aralığı (S4);

Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

Göçmenin önlenmesi (stabilitenin korunması) performans seviyesi (S5);

Yapıyı kısmi veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır [30].

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan yatay kuvvet – yatay yerdeğiştirme diyagramı üzerinde Şekil 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Kapasite eğrisi - performans seviye aralıkları [27]

Taşıyıcı olmayan elamanların performans seviyeleri;

Kullanıma devam performans seviyesi (NA);

Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisat ve ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanların kullanımını engellemez.

Hemen kullanım performans seviyesi (NB);

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanın onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.

Can güvenliği performans seviyesi (NC);

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara sebep olabilecek makine

devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanlarda tamirat ihtiyacı doğar.

Azaltılmış hasar performans seviyesi (ND);

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasarlar oluşmaz.

Performansın dikkate alınmadığı seviye (NE);

Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir.

Binanın toplam yapısal performans seviyesi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşur. Bir yapıya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çok kere aşağıda belirtilen performans birleşimlerinden biri esas alınmaktadır.

Kullanıma devam yapısal performans seviyesi (S1 + NA);

Hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Yapı kullanıma devam edebilecek durumdadır.

Hemen kullanım performans seviyesi (S1 + NB);

Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenilir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

Can güvenliği performans seviyesi (S3 + NC);

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

Göçmenin önlenmesi–yapısal stabilitenin korunması performans seviyesi(S5+NE);

Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Yapının artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır. Yapının kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik değildir [30].

5.4. Lineer Olmayan Statik İtme Analizi (Pushover)

Yapıların deprem etkisindeki davranışını belirlemek için statik itme (pushover) analiz ve dinamik analiz gibi yöntemler mevcuttur. Statik itme analizi son yıllarda gittikçe daha fazla ilgi görmektedir. Bu analizle yapının süneklik kapasitesi, dinamik yüklere dayanımı, taşıyıcı elemanların ne zaman ve hangi sıra ile akma ve göçmeye ulaştığı belirlenebilir. Statik itme analizi iki türlü yapılabilir. Birincisi, kuvvet kontrollü itme analizi, ikincisi deplasman kontrollü itme analizi.

Kuvvet kontrollü itme analizinde; yapının önceden belirlenen bir göçme deplasman profilini oluşturacak yatay kuvvetler hesaplanır. Her adımda deplasmanlar sabit artımlarla arttırılarak yatay kuvvetler hesaplanır. Ancak çok serbestlik dereceli bir bina sisteminin göçme deformasyon profili daima aynı olmayıp önceden bilinemez. Göçme için kabul edilecek her deplasman profili için birbirinden farklı kapasite eğrileri elde edilmekte; bu ise kapasiteleri karşılaştırmada güçlük yaratmaktadır. Bu yüzden kuvvet kontrollü itme analizi tercih edilmemektedir.

Deplasman kontrollü itme analizinde ise birbirleri arasındaki oran sabit olan bir yatay kuvvetler grubu sabit artımlarla adım adım etki ettirilir. Her adımda bu kuvvetlerin doğurduğu deplasmanlar hesaplanır. Sisteme etkiyen yatay kuvvetler genellikle eşdeğer statik deprem yüklerinin etkime biçimindedir. Analiz, sistem bu kuvvetler grubu altında göçmeye ulaşınca kadar devam eder. İstenilen aşamada sistemin çeşitli karakteristikleri hesaplanabilir[17].

Kuvvet ve yer değiştirme kontrollü analiz yöntemleri karşılaştırıldığında şu sonuçlara varılmaktadır.

- Tek serbestlik dereceli sistemlerde, seçilen her hangi bir büyüklük sistemin iç kuvvet, şekil ve yer değiştirme durumunu tanımlamak için yeterli olduğundan, yer değiştirme kontrollü hesap kesindir; yani ilk adımda sistemin gerçek çözümünü

vermektedir. Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise, ardışık yaklaşımın birinci adımında elde edilen çözüm, artan yüklerle birlikte sisteme ait büyüklüklerin aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttıkları varsayımı altında problemin yaklaşık çözümünü vermektedir. Diğer adımlarda, bu varsayımın neden olduğu yaklaşıklığın etkisi göz önüne alındığından kesin çözüme hızla ulaşılabileceği söylenebilir.

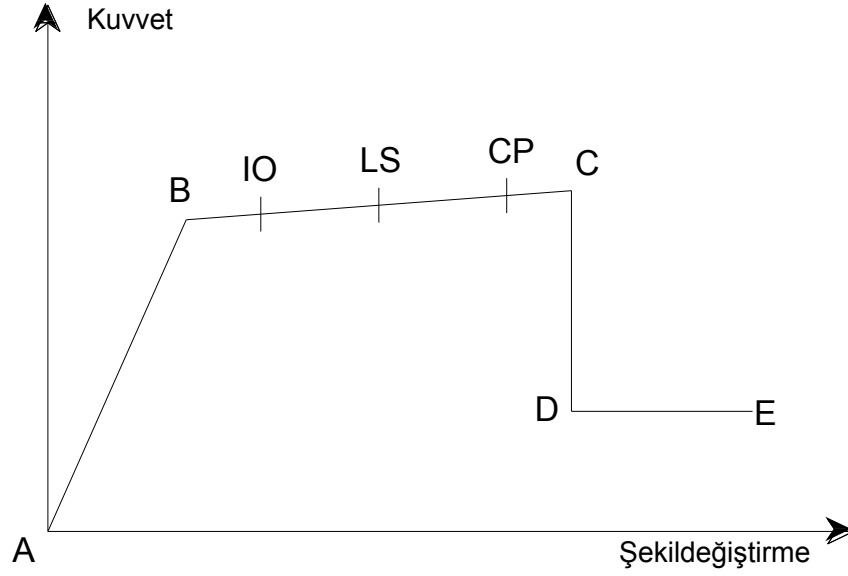
- Sistemin taşıma gücünü aşan yük parametreleri için, kuvvet kontrollü analizde çözüm elde edilememektedir. Buna karşılık, yerdeğiştirme kontrollü analizde, seçilen her yerdeğiştirme değeri için bir çözüm elde edilebilir.

- Yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntısı bir maksimumdan geçen sistemlerde, her yük parametresine birden fazla yerdeğiştirme durumu karşı geldiği halde, seçilen her yerdeğiştirme durumuna tek bir yük parametresi karşı gelmektedir. Bu özellik, söz konusu sistemlerin taşıma güçlerinin hesabında, yerdeğiştirme kontrollü yöntemin önemli bir üstünlüğünü oluşturmaktadır.

- Göçmenin kırılma (bir kesitteki iç kuvvetin bir sınır değere ulaşması), büyük yerdeğiştirmeler veya büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle meydana gelmesi halinde, söz konusu kritik büyüklüğün seçilen sınır değeri için hesap yapmak suretiyle göçme yükü doğrudan doğruya elde edilebilmektedir[27].

Performansa dayalı tasarım, nonlinear itme analizini öne çıkarmıştır. Statik itme analizi, yapısal yüklemenin daha önceden belirlenmiş bir düzene göre arttırılmasıyla yapılan bir nonlinear prosedürdür. Nonlinear statik analiz ATC40 ve FEMA273 yönetmelikleri esaslarına dayanmaktadır.

Statik itme analizi için kullanılan SAP2000 programında da yukarıdaki kriterler kabul edilmiştir. ATC40 ver FEMA273 yönetmelikleri tarafından önerilen plastik mafsallı şekil değiştirme özellikleri Şekil 5.3’ de verilmiştir.



Şekil 5.3 Plastik mafsal kuvvet– şekil değiştirme ilişkisi [8]

AB noktaları arasında kesit lineer davranış göstermektedir

B noktası plastik şekildeğiştirmelerin başladığı noktadır.

C noktası kesit taşıma gücünü belirtmektedir

D noktasından sonra artan şekil değiştirme durumları için kesit taşıma kapasitesi küçük değerler almaktadır.

E noktasından sonra kesit taşıma gücünü tamamen kaybetmektedir.

Kesit taşıma gücüne erişinceye kadar IO, LS, CP seviyeleri tanımlanmıştır bunlar:

IO (Immediate Occupancy) : Hemen kullanılabilirlik sınır durumunu göstermektedir. Bu durumda yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında herhangi bir hasarın oluşmaması beklenmektedir.

LS (Life Safety) : Can güvenliği sınır durumunu göstermektedir. Yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında hasarlar oluşabilmektedir, fakat bu hasarın yapının göçmemesini sağlayacak ve tamir edilebilir boyutlarda olması istenmektedir.

CP (Collapse Prevention) : Göçme sınır durumunu göstermektedir. Yapı elemanlarında büyük hasar oluşabilmekte ve yapı sisteminde kısmi göçmelerle karşılaşılabilir fakat bu durumda taşıyıcı sistemin ayakta kalması ve can

kaybının olmaması yada çok az olması istenmektedir. Yapının tamir edilmesi ekonomik bakımdan uygun olmayabilmektedir.

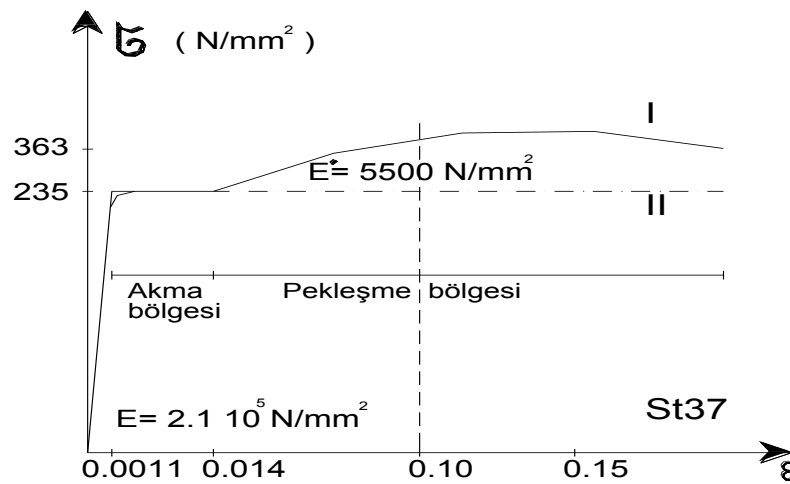
Çözüm sonrasında oluşturulan her adım için plastik mafsalların şekil değiştirme seviyeleri elde edilebilmektedir.

B, IO, LS, CP, C, D, E şekil değiştirme seviyeleri için kesit özelliklerine göre değerler önerilmiştir. Sünek davranış gösteren çelik taşıyıcı elemanlarda , kesit tipine göre (I, kutu, boru, haç) taşıma gücünü belirten C seviyesi için $1.1 M_y - 1.30 M_y$, D seviyesi için $0.2 M_y$ değerleri önerilmektedir[30,33]

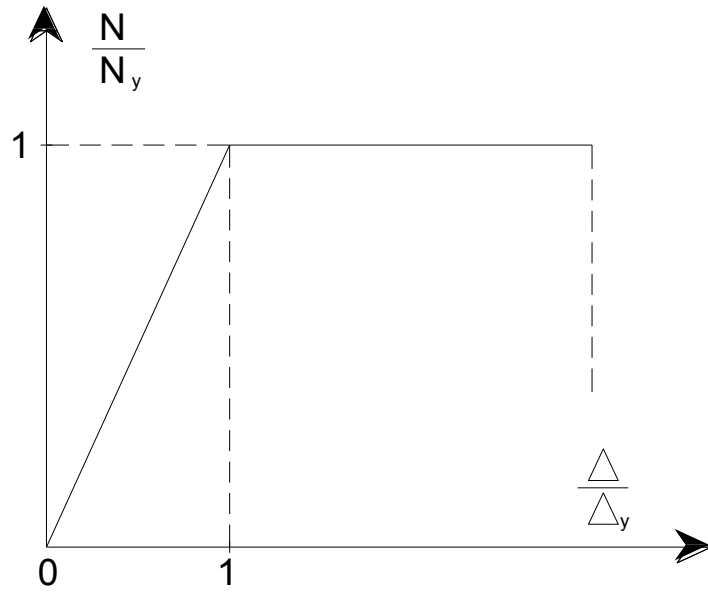
Çelik uzaysal sistemler için Sap2000 programında 3 çeşit plastik mafsal tanımı yapılabilmektedir bunlar [8]:

P Plastik Mafsalı

Sadece eksenel yük etkisindeki çelik yapı elemanlarında normal kuvvet şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması için P plastik mafsalı kullanılmaktadır. Normal kuvvete maruz St37 çelik yapı elemanının $\sigma - \varepsilon$ bağıntısı Şekil 5.4' de verilmiştir. Şekilde I eğrisi gerçek $\sigma - \varepsilon$ bağıntısını II eğrisi ise ideal elasto plastik $\sigma - \varepsilon$ bağıntısını göstermektedir. Çelik malzemenin ideal elasto plastik ve maksimum plastik birim şekil değiştirmenin $\varepsilon=0.1$ kabulü ile P mafsalı için Şekil 5.5' de normal kuvvet şekil değiştirme ilişkisi verilmiştir.



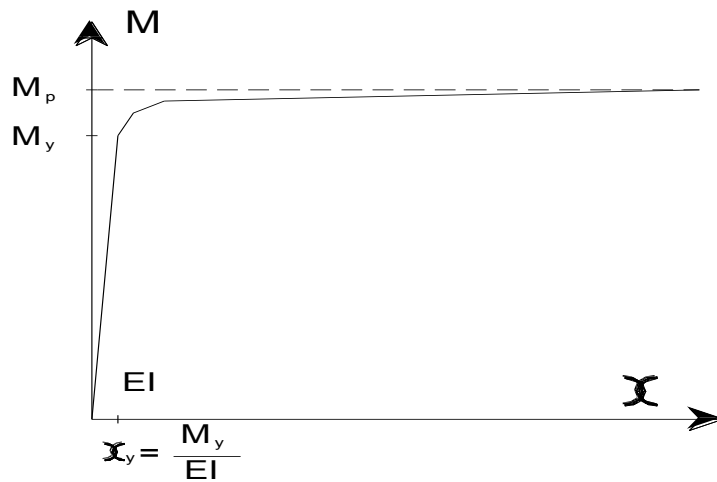
Şekil 5.4 St37 yapı çeliği $\sigma - \varepsilon$ grafiği [34]



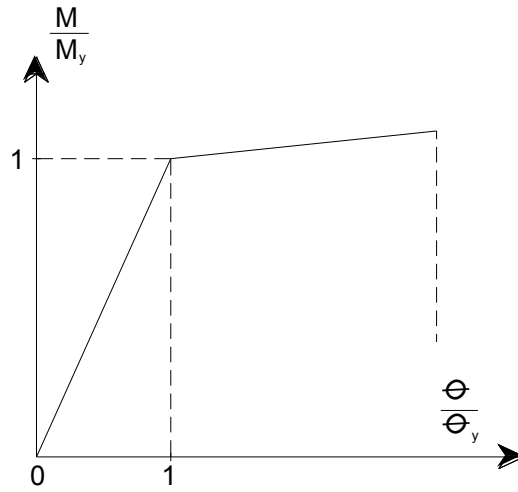
Şekil 5.5 P mafsalı normal kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi [8]

M3 Plastik Mafsalı

Moment yük etkisindeki çelik yapı elemanlarında $M - \chi$ ilişkisinin tanımlanması için M3 plastik mafsalı kullanılmaktadır. Moment etkisinde St37 çelik yapı elemanının $M - \chi$ bağıntısı Şekil 5.6’ de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi M değeri M_y değerine kadar lineer olarak artmakta daha sonra M_p değerinde sonsuz şekildeğişimine uğramaktadır. M3 mafsalı için Şekil 5.7’ de $M - \theta$ ilişkisi verilmiştir.



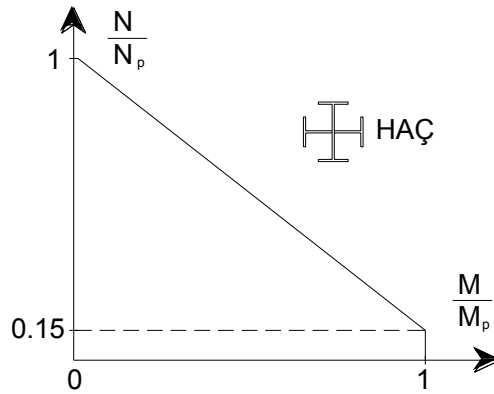
Şekil 5.6 $M - \chi$ grafiği [34]



Şekil 5.7 M3 mafsalı $M - \theta$ ilişkisi [8]

PMM Plastik Mafsalı

Bileşik veya eğik eğilme etkisi altındaki elemanlarda eğilme momenti normal kuvvet arasındaki etkileşimin tanımlanması için PMM mafsalı kullanılmaktadır. PMM mafsalı çelik kolon elemanları için TS 4561’ de öngörülen N/N_p - M/M_p ilişkisi Şekil 5.8’ de verilmiştir.



Şekil 5.8 PMM mafsalı $N/N_p - M/M_p$ ilişkisi [3]

6. ÖRNEKLER

Bu bölümde; 4 katı Bodrum ve 11 katı Ofis olarak kullanılan 15 katlı bir yapı ele alınmıştır. Deprem yükleri 4 farklı düzenlemeyle taşınarak her bir sistem hesaplanmış ve taşıyıcı sistem ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Yapıda Bodrum katlar otopark olarak kullanılmakta ve kat yükseklikleri 2,60 m; ofis kat yükseklikleri ise 3,00m' dir. Bodrum kat 32,35m x 42,00m; ofis katları ise 22.05m x 30.00m ebatlarındadır. Çelik yapı taşıyıcı kirişlerde hadde I profilleri, kolonlarda hadde I profillerden oluşturulmuş HAÇ profiller, çaprazlarda ise Borusan' ın boru kesitli profilleri kullanılmıştır. Döşemeler kompozit olarak tasarlanmış otopark katlarında kompozit döşeme kalınlığı 15 cm, diğer katlarda ise 12 cm alınmıştır. Çelik malzemesi olarak St37 seçilmiştir.

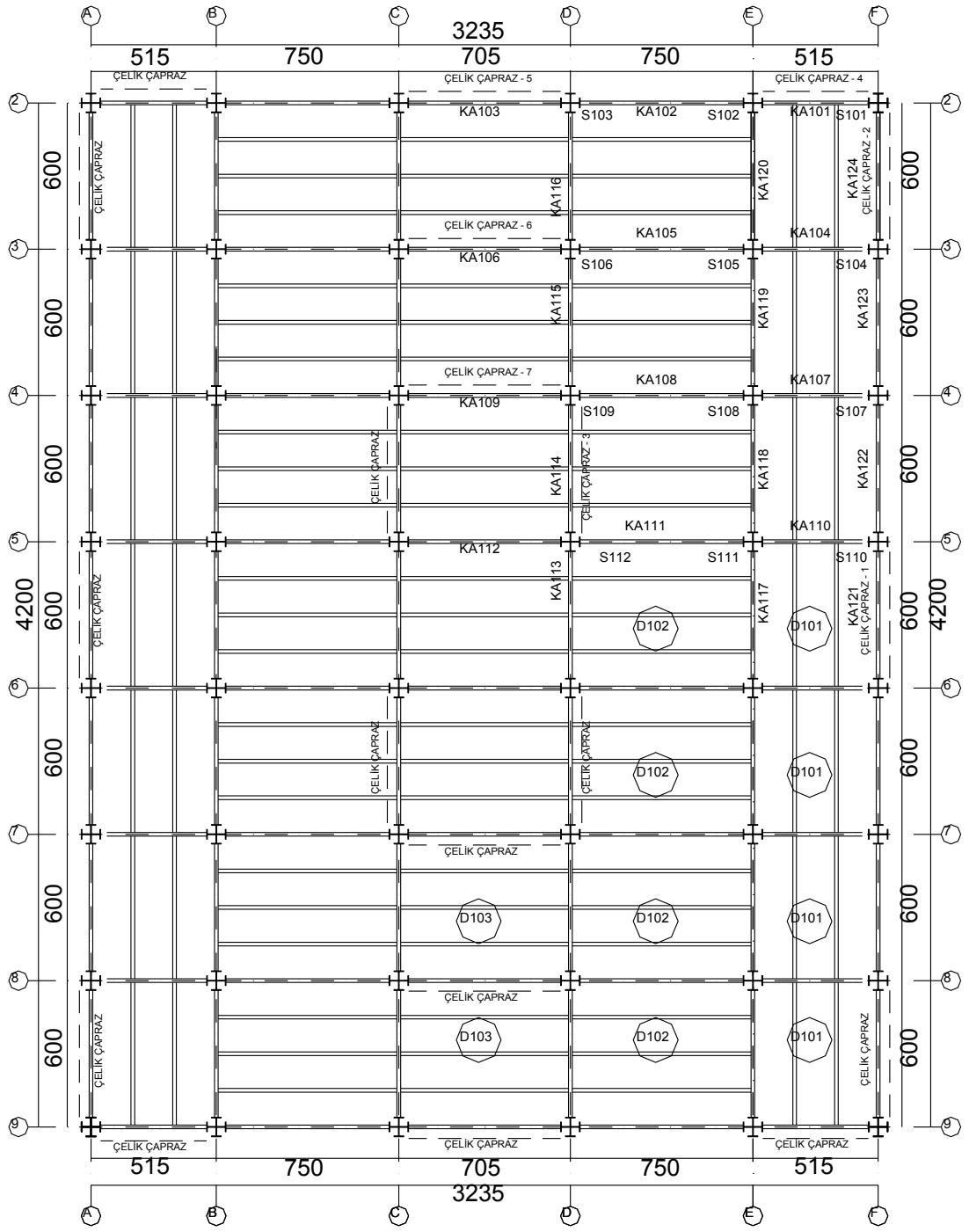
Çelik yapı Bodrum kat planı Şekil 6.1' de ,Ofis kat planı ise kat planı Şekil 6.2' de verilmiştir.

6.1. Taşıyıcı Sistem Düzenlemeleri

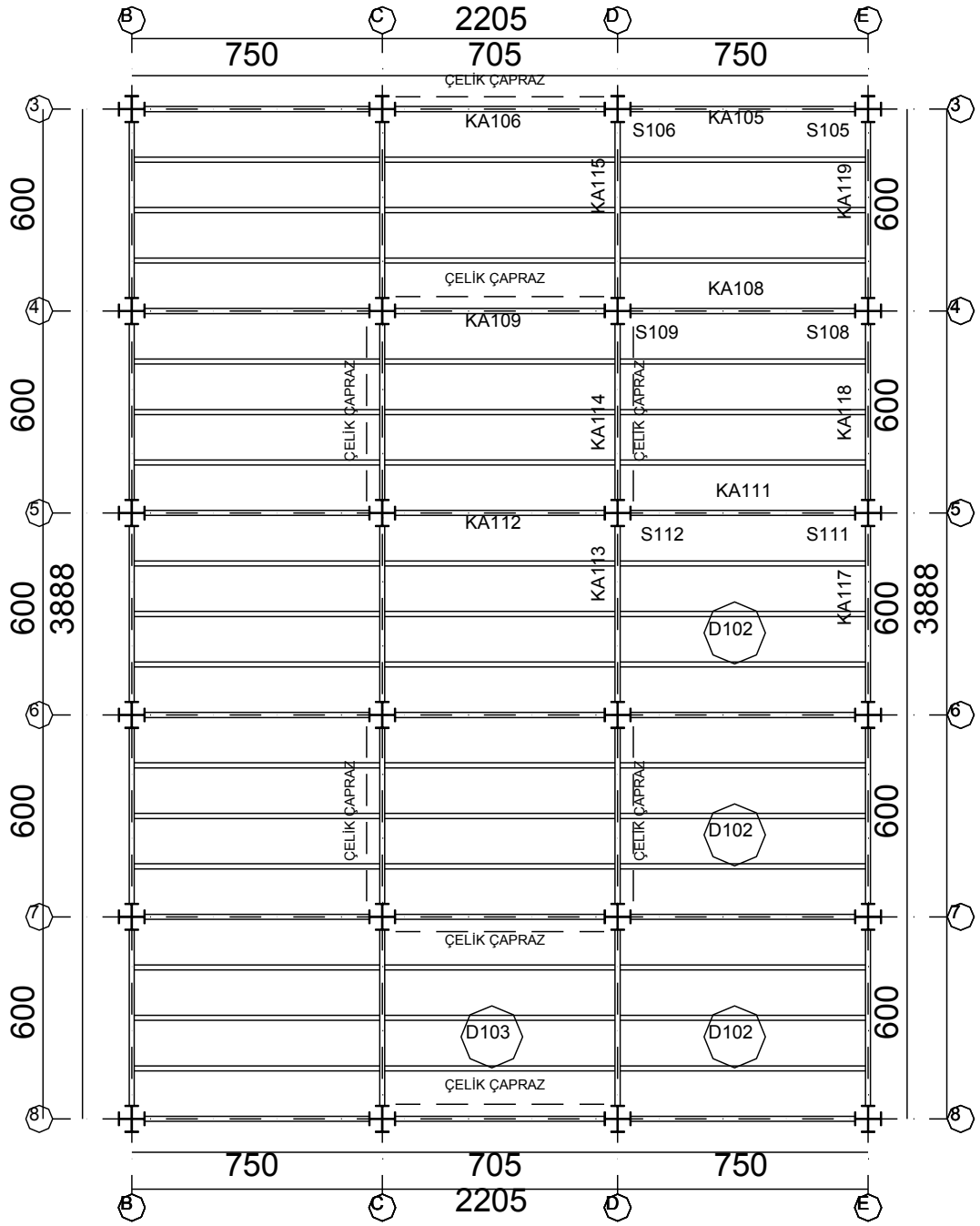
Deprem yükleri için ; yapı ortasında çekirdek halinde tüm deprem yüklerini alacak çelik çaprazlar oluşturulmuştur. Deprem yüklerini karşılayan 4 çelik çapraz tipi; merkezi Ters V, merkezi X, dış merkez Ters V, dış merkez X olarak tasarlanmıştır.

Çelik çaprazlar ofis katlarında 4 adet X yönünde, 4 adet Y yönünde olmak üzere 8 adettir. Otopark katlarında ise hareketli yükün ve hareketli yük katılım oranının fazla olması nedeni ile X yönünde 10 adet, Y yönünde 10 adet toplam 20 adet çapraz oluşturulmuştur. Çaprazların kat içinde düzenlenmesinde; deprem yükü etkisinde yapının yanal ötelenmesinin sınırlandırılması, merkezi çaprazlı yapılarda deprem yükünün fazla olması ve çapraz çelik taşıyıcı elemanların statik hesap sonucu kesitlerinin uygun çıkması etkenleri göz önünde bulundurulmuştur. Otopark ve ofis katları çelik çapraz yerleşimi Şekil 6.1, Şekil 6.2' de verilmiştir.

Döşeme tali çelik kiriş ve kolon ön boyut hesapları TS 648 ve TS4561 ve ilgili yönetmeliklerine göre yapılmış ve Ek A' da verilmiştir.



Şekil 6.1 Bodrum kat planı



6.2. Düşey Yük Analizi

Yapıya etkiyen sabit ve hareketli yükler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

6.2.1. Otopark ve Sahanlık Düşey Yük Analizi

- Sabit Yük

15 cm trapez saçlı B.A. Döşeme:	: 3,06 kN/m ²
Seramik	: 0,21 kN/ m ²
Kaplama harcı	: 0,43 kN/ m ²
3cm şap	: 0,58 kN/ m ²
<u>Asma tavan + tesisat</u>	<u>: 0,29 kN/ m²</u>
Toplam G	: 4,61 kN/ m ²

- Hareketli Yük

Otoparklarda Q	: 4,91 kN/m ²
----------------	--------------------------

6.2.2. Ofis Katı Düşey Yük Analizi

- Sabit Yük

12 cm trapez saçlı B.A. Döşeme	: 2,33 kN/m ²
Seramik	: 0,21 kN/ m ²
Kaplama harcı	: 0,43 kN/ m ²
3cm şap	: 0,58 kN/ m ²
<u>Asma tavan + tesisat</u>	<u>: 0,29 kN/ m²</u>
Toplam	: 3,87 kN/ m ²

- Hareketli Yük

Ofislerde Q	: 1,96 kN/m ²
-------------	--------------------------

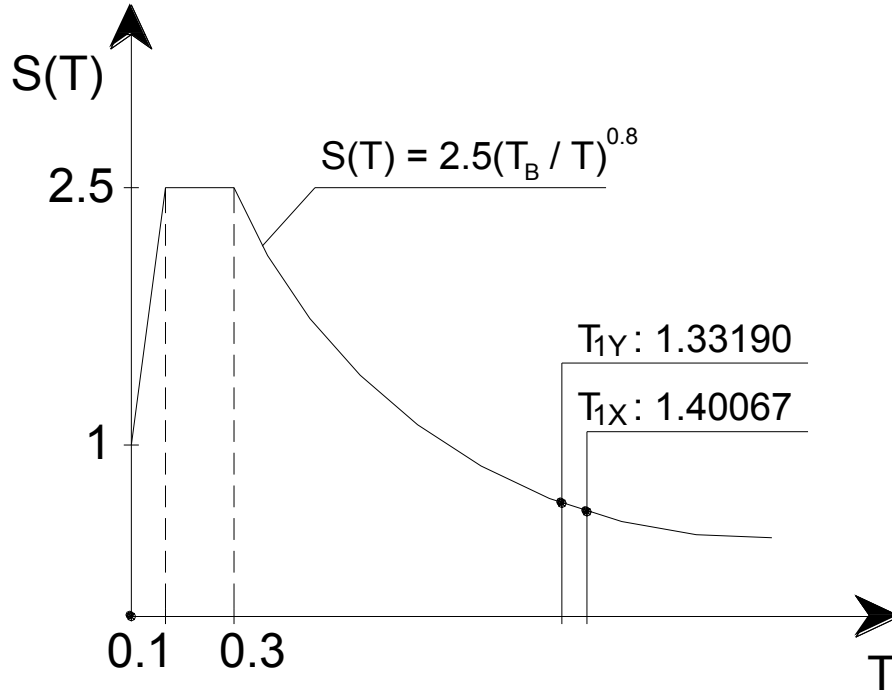
6.3. Deprem Yüklerinin Hesabı

Bu bölümde dört farklı deprem düzenlemesi için 1998 Deprem Yönetmeliğine göre yapıya etkiyecek deprem yüklerinin hesabı yapılmış ve sistemlerin dinamik analizinde yapı yüksekliğinin 25m' den fazla olması sebebiyle MOD birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Her sistemin MOD birleştirme yöntemine göre hesabı için alınan değerler aşağıda verilmiştir.

Etkin yer ivme katsayısı; A_0	: 0.3
Bina önem katsayısı; I	: 1
Spectrum karakteristik periyotları; T_a, T_b	: 0.10, 0.30
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı; R	
{ Merkezi çaprazlı sistemler için	: 3
{ Dış merkez çaprazlı sistem için	: 7
Hareketli yük katılım katsayısı; n	: 0.3, 0.6
Yapı ağırlığı ($G+nQ$); W	: 82392,14 kN
Çelik yapı yüksekliği; H_n	: 43,4 m
C_t katsayısı;	
{ Merkezi çaprazlı sistemler için	: 0,05
{ Dış merkez çaprazlı sistem için	: 0,07
Mod birleştirme sönüm oranı;	: 0,05
Dinamik hesap için seçilen Mod sayısı	: 12

6.3.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem

6.3 Bölümünde verilen değerlere göre yapılan dinamik hesap sonucu merkezi ters V çaprazlı sistem için elde edilen değerler Şekil 6.3 ve Tablo 6.1’ de verilmiştir.



Şekil 6.3 Merkezi ters V çaprazlı yapı tasarım spectrum eğrisi

Çelik yapı sistemi SAP2000 statik analiz programı ile çözülmüştür. Dinamik yük F_{cqc} değerinin elde edilmesi için her kat kütlesi hesap edildi, iki doğrultuda %5 eksantrisite oluşturacak şekilde kütle merkezi hesaplandı ve her kat kendi içinde rijit diyafram kabul edilerek dinamik çözüm yapıldı. Bu hesap sonucu elde edilen dinamik analiz sonuçları :

Tablo 6.1 Merkezi ters V çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları

Yön	F_{cqc} (kN)	T_1 (s)	$S(T)$	Dinamik Kütle Katılım	Statik Kütle Katılım
X-X	6883.91	1.40067	0.72873	%92.00	%99.00
Y-Y	7157.50	1.33190	0.75867	%93.00	%99.00

Eldeki değerlere göre

- *XX Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.72873}{3} = 6004.19 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.05 * 6004.19 * 1.40067 = 420.49 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_x = 6424.68 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

- *YY Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.758678}{3} = 6250.90 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.05 * 6250.90 * 1.331909 = 416.28 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_y = 6667.19 \text{ kN}$$

$$\sum V_y \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

- *Deprem yükü kontrolü*

$$\beta = \frac{F_{DN}}{F_{ST}} \geq 0.90$$

$$\beta_x = \frac{6883.91}{6424.68} = 1.071$$

$$\beta_y = \frac{7157.50}{6667.19} = 1.073$$

Dinamik analizi yapılan çok katlı çelik yapının bu yanal kuvvetler altında kat yanal ötelenmelerinin 3.16a ve 3.16b değerlerinden elverişsiz olanı sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.16a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \leq 0.02 / 3 = 0.0066 \quad (3.16b)$$

Merkezi Ters V çaprazlı sistem; yapı kütle, deprem hesapları ve kat ötelenme değerleri Ek B' de verilmiştir. Merkezi Ters V çaprazlı sistem deprem yükleri etkisindeki kat ötelenmeleri Tablo 6.2 ve Tablo 6.3' de verilmiştir.

Tablo 6.2 x-x doğrultusu kat ötelenmeleri

Kat	d_x (m)	Δ_i	h kat	Δ_i / h
N11	0,079788	0,005393	3	0,001798
N10	0,074395	0,006106	3	0,002035
N9	0,068289	0,006343	3	0,002114
N8	0,061946	0,006481	3	0,00216
N7	0,055465	0,006512	3	0,002171
N6	0,048953	0,006426	3	0,002142
N5	0,042527	0,006437	3	0,002146
N4	0,03609	0,006436	3	0,002145
N3	0,029654	0,006318	3	0,002106
N2	0,023336	0,006097	3	0,002032
N1	0,017239	0,005079	3	0,001693
NB1	0,01216	0,002913	2,6	0,00112
NB2	0,009247	0,003193	2,6	0,001228
NB3	0,006054	0,003391	2,6	0,001304
NB4	0,002663	0,002663	2,6	0,001024

Buna göre ;

$$(\Delta_i / h_i)_{\max} = 0.002171 < 0.0035$$

Tablo 6.3 y-y doğrultusu kat ötelenmeleri

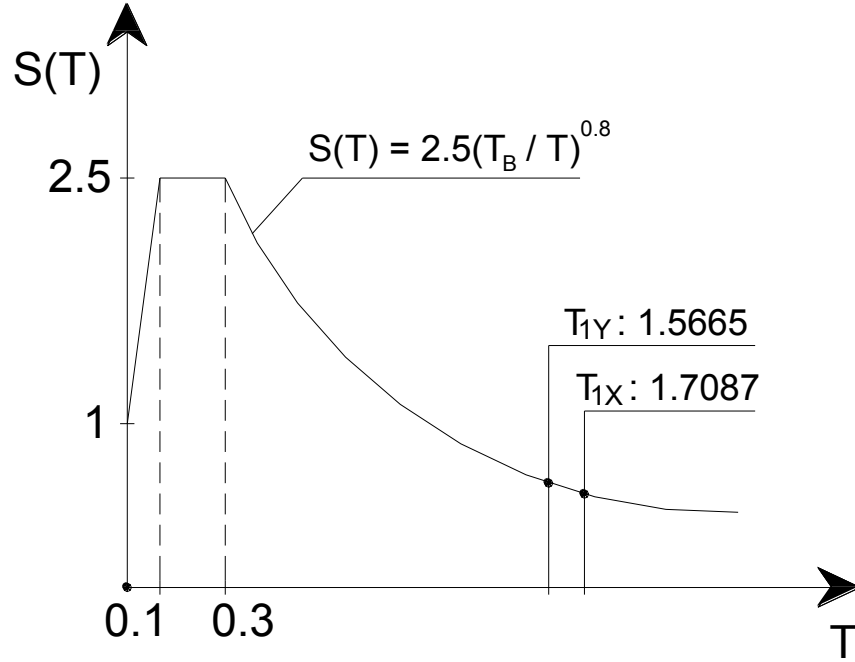
Kat	d_x (m)	Δ_f	h kat	Δ_f / h
N11	0,0754	0,005249	3	0,00175
N10	0,070151	0,005959	3	0,001986
N9	0,064192	0,006038	3	0,002013
N8	0,058154	0,006162	3	0,002054
N7	0,051992	0,00619	3	0,002063
N6	0,045802	0,005941	3	0,00198
N5	0,039861	0,005992	3	0,001997
N4	0,033869	0,006021	3	0,002007
N3	0,027848	0,005868	3	0,001956
N2	0,02198	0,005703	3	0,001901
N1	0,016277	0,004766	3	0,001589
NB1	0,011511	0,002672	2,6	0,001028
NB2	0,008839	0,002969	2,6	0,001142
NB3	0,00587	0,00319	2,6	0,001227
NB4	0,00268	0,00268	2,6	0,001031

Buna göre ;

$$(\Delta_f / h_f)_{\max} = 0.002053 < 0.0035$$

6.3.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem

Bölüm 6.3’ de verilen değerlere göre yapılan dinamik hesap sonucu merkezi ters X çaprazlı sistem için elde edilen sonuçlar Şekil 6.4 ve Tablo 6.4’ de verilmiştir.



Şekil 6.4 Merkezi X çaprazlı yapı tasarım spectrum eğrisi

Çelik yapı sistemi SAP2000 statik analiz programı ile çözülmüştür. Dinamik yük Fcqc değerinin elde edilmesi için her kat kütlesi hesap edildi, iki doğrultuda %5 eksantrisine oluşturacak şekilde kütle merkezi hesaplandı ve her kat kendi içinde rijit diyafram kabul edilerek dinamik çözüm yapıldı. Bu hesap sonucu elde edilen dinamik analiz sonuçları :

Tablo 6.4 Merkezi X çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları

Yön	Fcqc (kN)	T1 (s)	S(T)	Dinamik Kütle Katılım	Statik Kütle Katılım
X-X	5759.14	1.70875	0.62158	%92.00	%99.00
Y-Y	5928.90	1.56655	0.66631	%93.00	%99.00

Eldeki değerlere göre

- *XX Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.62158}{3} = 5759.14 kN$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4m > 25m$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.05 * 5759.14 * 1.70875 = 437.55 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_x = 5558.84 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

- *YY Yn Eşdeğer Deprem yk:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.666317}{3} = 5489.92 kN$$

Bina yksekliği $H_N = 43.4m > 25m$ iin;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.05 * 5489.92 * 1.56655 = 430.01 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_y = 5919.94 \text{ kN}$$

$$\sum V_y \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

- *Deprem yükü kontrolü*

$$\beta = \frac{F_{DN}}{F_{ST}} \geq 0.90$$

$$\beta_x = \frac{5779.14}{5558.84} = 1.03$$

$$\beta_y = \frac{5928.90}{5919.94} = 1.00$$

Dinamik analizi yapılan çok katlı çelik yapının bu yanal kuvvetler altında kat yanal ötelenmelerinin 3.16a ve 3.16b değerlerinden elverişsiz olanı sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.16a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \leq 0.02/3 = 0.0066 \quad (3.16b)$$

Merkezi X çaprazlı sistem; yapı kütle, deprem hesapları ve kat ötelenme değerleri Ek C' de verilmiştir. Merkezi X çaprazlı sistem deprem yükleri etkisindeki kat ötelenmeleri Tablo 6.5 ve Tablo 6.6' da verilmiştir.

Tablo 6.5 x-x doğrultusu kat ötelenmeleri

Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,086208	0,005666	3	0,001889
N10	0,080542	0,006448	3	0,002149
N9	0,074094	0,006723	3	0,002241
N8	0,067371	0,006915	3	0,002305
N7	0,060456	0,00699	3	0,00233
N6	0,053466	0,006899	3	0,0023
N5	0,046567	0,006941	3	0,002314
N4	0,039626	0,006965	3	0,002322
N3	0,032661	0,006843	3	0,002281
N2	0,025818	0,006628	3	0,002209
N1	0,01919	0,005561	3	0,001854
NB1	0,013629	0,003303	2,6	0,00127
NB2	0,010326	0,003598	2,6	0,001384
NB3	0,006728	0,003787	2,6	0,001457
NB4	0,002941	0,002941	2,6	0,001131

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0.00233 < 0.0035$$

Tablo 6.6 y-y doğrultusu kat ötelenmeleri

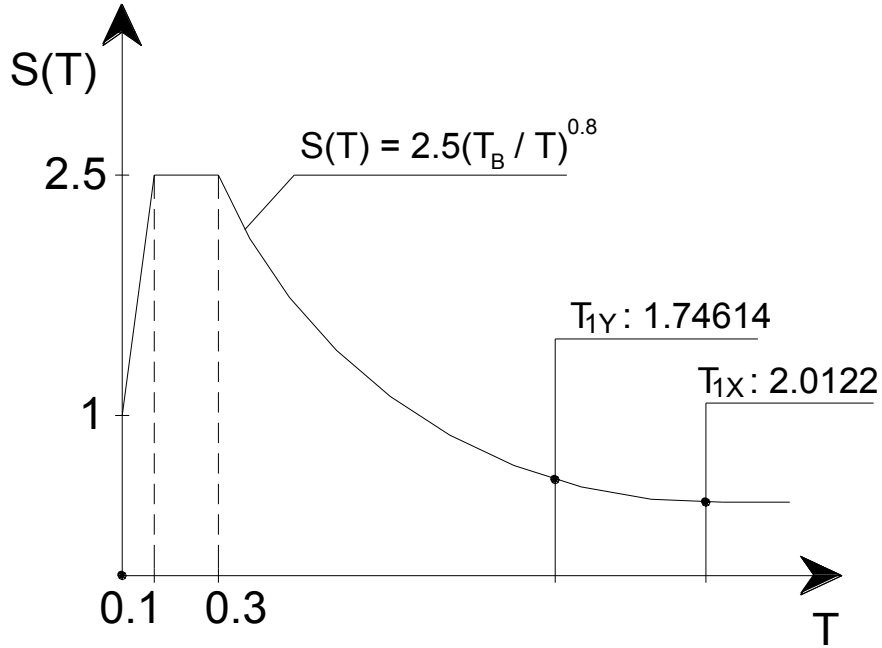
Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,079403	0,005601	3	0,001867
N10	0,073802	0,006291	3	0,002097
N9	0,067511	0,006354	3	0,002118
N8	0,061157	0,006486	3	0,002162
N7	0,054671	0,006502	3	0,002167
N6	0,048169	0,006197	3	0,002066
N5	0,041972	0,006218	3	0,002073
N4	0,035754	0,006206	3	0,002069
N3	0,029548	0,006	3	0,002
N2	0,023548	0,005831	3	0,001944
N1	0,017717	0,004959	3	0,001653
NB1	0,012758	0,002967	2,6	0,001141
NB2	0,009791	0,003295	2,6	0,001267
NB3	0,006496	0,003532	2,6	0,001358
NB4	0,002964	0,002964	2,6	0,00114

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0.002167 < 0.0035$$

6.3.3. Dış Merkez Ters V Çaprazlı Sistem

Bölüm 6.3' de verilen değerlere göre yapılan dinamik hesap sonucu dış merkez ters V çaprazlı sistem için elde edilen sonuçlar Şekil 6.5 ve Tablo 6.7' de verilmiştir.



Şekil 6.5 Dış merkez ters V çaprazlı yapı tasarım spectrum eğrisi

Çelik yapı sistemi SAP2000 statik analiz programı ile çözülmüştür. Dinamik yük Fcqc değerinin elde edilmesi için her kat kütlesi hesap edildi, iki doğrultuda %5 eksantrisite oluşturacak şekilde kütle merkezi hesaplandı ve her kat kendi içinde rijit diyafram kabul edilerek dinamik çözüm yapıldı. Bu hesap sonucu elde edilen dinamik analiz sonuçları :

Tablo 6.7 Dış merkez ters V çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları

Yön	Fcqc (kN)	T1 (s)	S(T)	Dinamik Kütle Katılım	Statik Kütle Katılım
X-X	2500.98	2.01227	0.54537	%93.00	%99.00
Y-Y	2799.80	1.746147	0.610903	%93.00	%99.00

Eldeki değerlere göre

- *XX Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.54537}{7} = 1925.74 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.07 * 1925.74 * 2.01227 = 271.25 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_x = 2196.99 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

$$\sum V_x = 2471.76 \text{ kN}$$

- *YY Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.610903}{7} = 2157.15 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.07 * 2157.15 * 1.740147 = 263.66 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_y = 2420.82 \text{ kN}$$

$$\sum V_y \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

$$\sum V_y = 2471.76 \text{ kN}$$

Deprem yükü kontrolü

$$\beta = \frac{F_{DN}}{F_{ST}} \geq 0.90$$

$$\beta_x = \frac{2500.98}{2471.76} = 1.011$$

$$\beta_y = \frac{2799.80}{2471.76} = 1.132$$

Dinamik analizi yapılan çok katlı çelik yapının bu yanal kuvvetler altında kat yanal ötelenmelerinin 3.16a ve 3.16b değerlerinden elverişsiz olanı sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.16a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \leq 0.02/7 = 0.0029 \quad (3.16b)$$

Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem; yapı kütle, deprem hesapları ve kat ötelenme değerleri Ek D' de verilmiştir. Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem deprem yükleri etkisindeki kat ötelenmeleri Tablo 6.8 ve Tablo 6.9' da verilmiştir.

Tablo 6.8 x-x doğrultusu kat ötelenmeleri

Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,05171	0,002352	3	0,000784
N10	0,049358	0,003107	3	0,001036
N9	0,046251	0,003481	3	0,00116
N8	0,04277	0,00381	3	0,00127
N7	0,03896	0,004098	3	0,001366
N6	0,034862	0,004295	3	0,001432
N5	0,030567	0,004582	3	0,001527
N4	0,025985	0,004901	3	0,001634
N3	0,021084	0,005028	3	0,001676
N2	0,016056	0,004851	3	0,001617
N1	0,011205	0,003668	3	0,001223
NB1	0,007537	0,001839	2,6	0,000707
NB2	0,005698	0,001986	2,6	0,000764
NB3	0,003712	0,002124	2,6	0,000817
NB4	0,001588	0,001588	2,6	0,000611

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0,001676 < 0,0029$$

Tablo 6.9 y-y doğrultusu kat ötelenmeleri

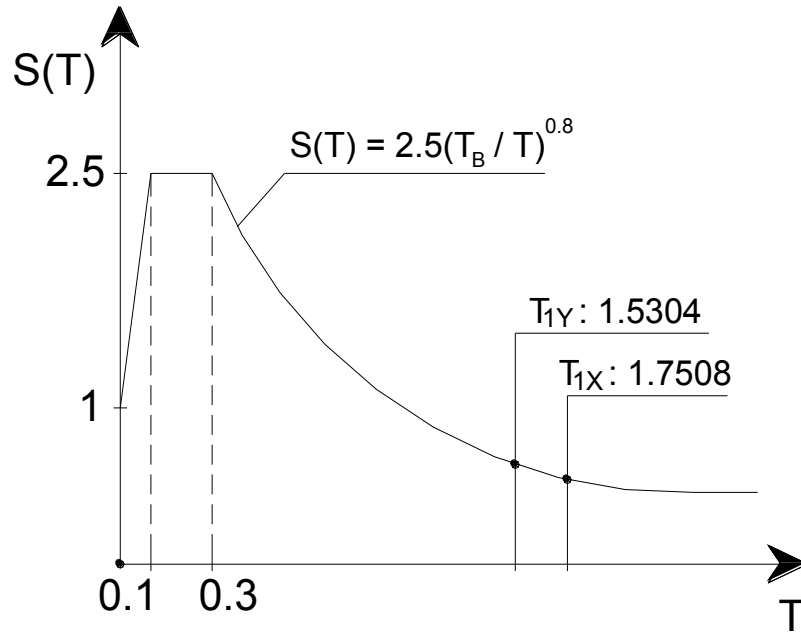
Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,045053	0,002379	3	0,000793
N10	0,042674	0,003039	3	0,001013
N9	0,039635	0,003201	3	0,001067
N8	0,036434	0,003442	3	0,001147
N7	0,032992	0,003596	3	0,001199
N6	0,029396	0,003544	3	0,001181
N5	0,025852	0,003724	3	0,001241
N4	0,022128	0,003907	3	0,001302
N3	0,018221	0,003931	3	0,00131
N2	0,01429	0,003857	3	0,001286
N1	0,010433	0,003108	3	0,001036
NB1	0,007325	0,001704	2,6	0,000655
NB2	0,005621	0,001891	2,6	0,000727
NB3	0,00373	0,002054	2,6	0,00079
NB4	0,001676	0,001676	2,6	0,000645

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0.00131 < 0.0029$$

6.3.4. Dış Merkez X Çaprazlı Sistem

Bölüm 6.3’ de verilen değerlere göre yapılan dinamik hesap sonucu dış merkez ters V çaprazlı sistem için elde edilen sonuçlar Şekil 6.6 ve Tablo 6.10’ da verilmiştir.



Şekil 6.6 Dış merkez X çaprazlı yapı tasarım spectrum eğrisi

Çelik yapı sistemi SAP2000 statik analiz programı ile çözülmüştür. Dinamik yük Fcqc değerinin elde edilmesi için her kat kütlesi hesap edildi, iki doğrultuda %5 eksantrisite oluşturacak şekilde kütle merkezi hesaplandı ve her kat kendi içinde rijit diyafram kabul edilerek dinamik çözüm yapıldı. Bu hesap sonucu elde edilen dinamik analiz sonuçları :

Tablo 6.10 Dış merkez X çaprazlı sistem dinamik hesap sonuçları

Yön	Fcqc (kN)	T1 (s)	S(T)	Dinamik Kütle Katılım	Statik Kütle Katılım
X-X	2581.38	1.75084	0.60959	%93.00	%99.00
Y-Y	3006.10	1.530435	0.67889	%94.00	%99.00

Eldeki değerlere göre

- *XX Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.60959}{7} = 2152.52 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.07 * 2152.52 * 1.75084 = 263.81 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_x = 2416.31 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

$$\sum V_x = 2471.76 \text{ kN}$$

- *YY Yönü Eşdeğer Deprem yükü:*

$$V_t = W * \frac{A(T_1)}{R}$$

$$82392.14 * \frac{0.3 * 1 * 0.67889}{7} = 3006.10 \text{ kN}$$

Bina yüksekliği $H_N = 43.4\text{m} > 25\text{m}$ için;

$$\Delta F_N = C_t * T_1 * V_t \leq 0.2 * V$$

$$0.07 * 3006.10 * 1.530435 = 256.80 \text{ kN}$$

$$\sum V_t = \Delta F_N + V_t$$

$$\sum V_x = 2653.95 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \geq 0.1 * A_o * I * W = 0.1 * 0.3 * 1 * 82392.14 = 2471.76 \text{ kN}$$

- *Deprem yükü kontrolü*

$$\beta = \frac{F_{DN}}{F_{ST}} \geq 0.90$$

$$\beta_x = \frac{2581.38}{2471.76} = 1.044$$

$$\beta_y = \frac{3006.10}{2653.95} = 1.132$$

Dinamik analizi yapılan çok katlı çelik yapının bu yanal kuvvetler altında kat yanal ötelenmelerinin 3.16a ve 3.16b değerlerinden elverişsiz olanı sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.16a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \leq 0.02 / 7 = 0.0029 \quad (3.16b)$$

Dışmerkez X çaprazlı sistem; yapı kütle, deprem hesapları ve kat ötelenme değerleri Ek E' de verilmiştir. Merkezi Ters V çaprazlı sistem deprem yükleri etkisindeki kat ötelenmeleri Tablo 6.11 ve Tablo 6.12' de verilmiştir.

Tablo 6.11 x-x doğrultusu kat ötelenmeleri

Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,037084	0,002515	3	0,000838
N10	0,034569	0,002867	3	0,000956
N9	0,031702	0,00293	3	0,000977
N8	0,028772	0,003	3	0,001
N7	0,025772	0,003042	3	0,001014
N6	0,02273	0,00294	3	0,00098
N5	0,01979	0,002951	3	0,000984
N4	0,016839	0,002965	3	0,000988
N3	0,013874	0,002873	3	0,000958
N2	0,011001	0,002786	3	0,000929
N1	0,008215	0,002365	3	0,000788
NB1	0,00585	0,001405	2,6	0,00054
NB2	0,004445	0,00153	2,6	0,000588
NB3	0,002915	0,001624	2,6	0,000625
NB4	0,001291	0,001291	2,6	0,000497

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0.001014 < 0.0029$$

Tablo 6.12 y-y doğrultusu kat ötelenmeleri

Kat	d_x (m)	Δ_I	h kat	Δ_I / h
N11	0,035754	0,002606	3	0,000869
N10	0,033148	0,002921	3	0,000974
N9	0,030227	0,002889	3	0,000963
N8	0,027338	0,002934	3	0,000978
N7	0,024404	0,002951	3	0,000984
N6	0,021453	0,002767	3	0,000922
N5	0,018686	0,002772	3	0,000924
N4	0,015914	0,002774	3	0,000925
N3	0,01314	0,002648	3	0,000883
N2	0,010492	0,002576	3	0,000859
N1	0,007916	0,002208	3	0,000736
NB1	0,005708	0,001318	2,6	0,000507
NB2	0,00439	0,001462	2,6	0,000562
NB3	0,002928	0,001575	2,6	0,000606
NB4	0,001353	0,001353	2,6	0,00052

Buna göre ;

$$(\Delta_I / h_I)_{\max} = 0.000984 < 0.0029$$

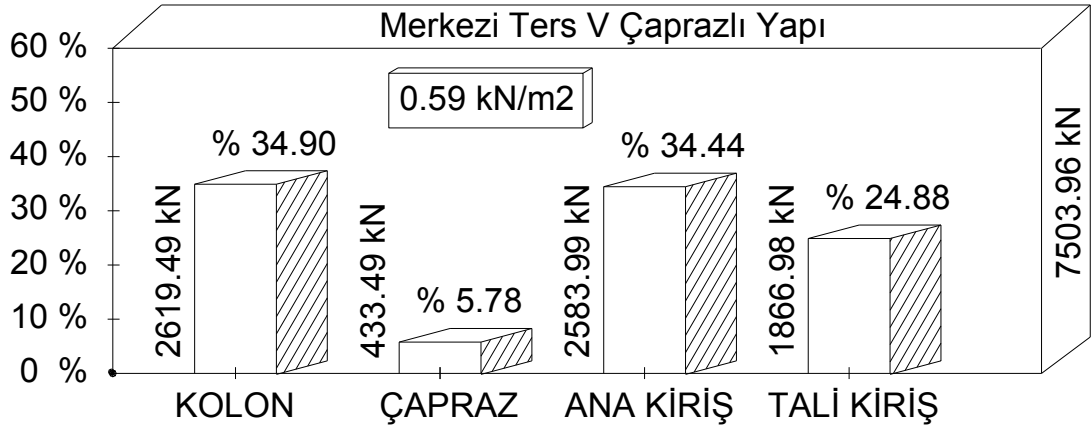
6.4. Kesit Hesapları

Bu bölümde farklı çapraz tiplerine göre düzenlenmiş 4 adet çok katlı çelik yapının, düşey ve yatay yükler etkisinde en elverişsiz kesit tesirleri elde edilmiş ve bu kesit tesirlerine göre yapıyı oluşturan çelik yapı elamanlarının kesit hesapları yapılmıştır. Sistem kesit hesapları TS648 elastik hesap kurallarına göre yapılmıştır. Tüm taşıyıcı sistem elamanlarının kesit hesapları tamamlandıktan sonra farklı çapraz tipine sahip her çelik yapı için çelik taşıyıcı sistem ağırlıkları hesaplanmıştır.

6.4.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem

Merkezi ters V çaprazlı sistemin 3 boyutlu statik analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda en elverişsiz kesit tesirlerine göre tüm kolon, kiriş, çaprazların kesit ve taşıyıcı sistem ağırlık hesapları yapılmış; Ek-B' de verilmiştir. Çelik yapı elemanlarının toplam taşıyıcı sistem ağırlığındaki oranları Şekil 6.7' de verilmiştir.

Toplam kolon ağırlığı	: 2619.49 kN
Toplam çapraz ağırlığı	: 433.49 kN
Toplam ana kiriş ağırlığı	: 2583.99 kN
<u>Toplam tali döşeme kiriş ağırlığı</u>	<u>: 1866.98 kN</u>
Toplam taşıyıcı sistem ağırlığı	: 7503.96 kN
<u>Toplam yapı alanı</u>	<u>: 12712 m²</u>
M2' deki çelik ağırlığı	: 0.59 kN/m ²



Şekil 6.7 Merkezi ters V çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı

6.4.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem

Merkezi X çaprazlı sistemin 3 boyutlu statik analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda en elverişsiz kesit tesirlerine göre tüm kolon, kiriş, çaprazların kesit ve taşıyıcı sistem ağırlık hesapları yapılmış; Ek-C' de verilmiştir. Çelik yapı elemanlarının toplam taşıyıcı sistem ağırlığındaki oranları Şekil 6.8' de verilmiştir.

Toplam kolon ağırlığı : 2624.55 kN

Toplam çapraz ağırlığı : 393.29 kN

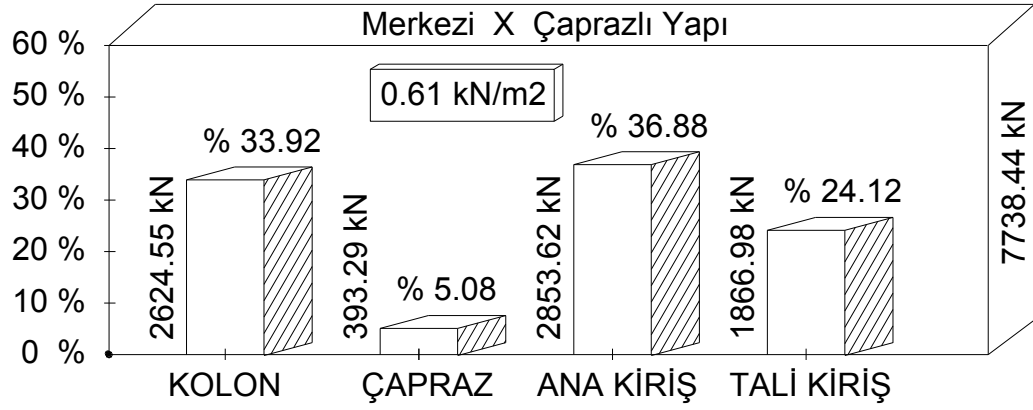
Toplam ana kiriş ağırlığı : 2853.62 kN

Toplam tali döşeme kiriş ağırlığı : 1866.98 kN

Toplam taşıyıcı sistem ağırlığı : 7738.44 kN

Toplam yapı alanı : 12712 m²

M2' deki çelik ağırlığı : 0.61 kN/m²



Şekil 6.8 Merkezi X çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı

6.4.3. Dış Merkez Ters V Çaprazlı Sistem

Dış merkez ters V çaprazlı sistemin 3 boyutlu statik analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda en elverişsiz kesit tesirlerine göre tüm kolon, kiriş, çaprazların kesit ve taşıyıcı sistem ağırlık hesapları yapılmış; Ek-D' de verilmiştir. Çelik yapı elemanlarının toplam taşıyıcı sistem ağırlığındaki oranları Şekil 6.9' de verilmiştir.

Toplam kolon ağırlığı : 2191.55 kN

Toplam çapraz ağırlığı : 276.09 kN

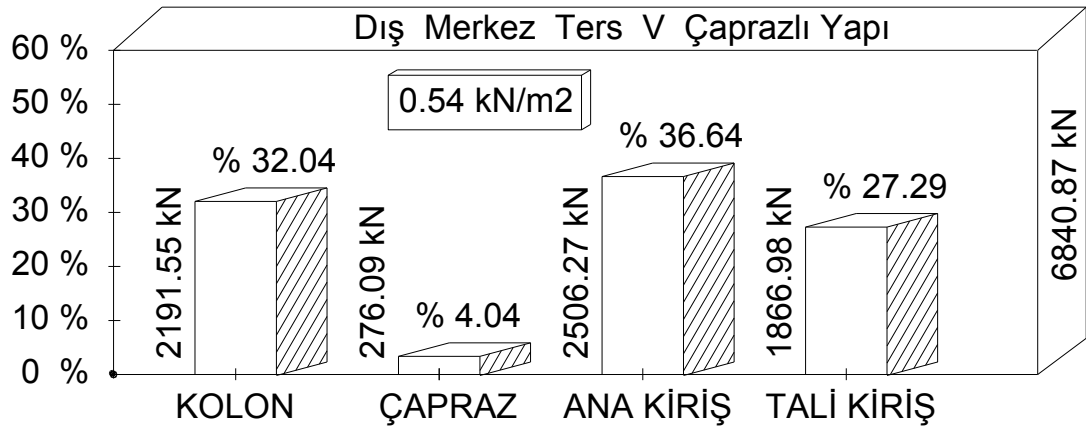
Toplam ana kiriş ağırlığı : 2506.27 kN

Toplam tali döşeme kiriş ağırlığı : 1866.98 kN

Toplam taşıyıcı sistem ağırlığı : 6840.87 kN

Toplam yapı alanı : 12712 m²

M2' deki çelik ağırlığı : 0.54 kN/m²

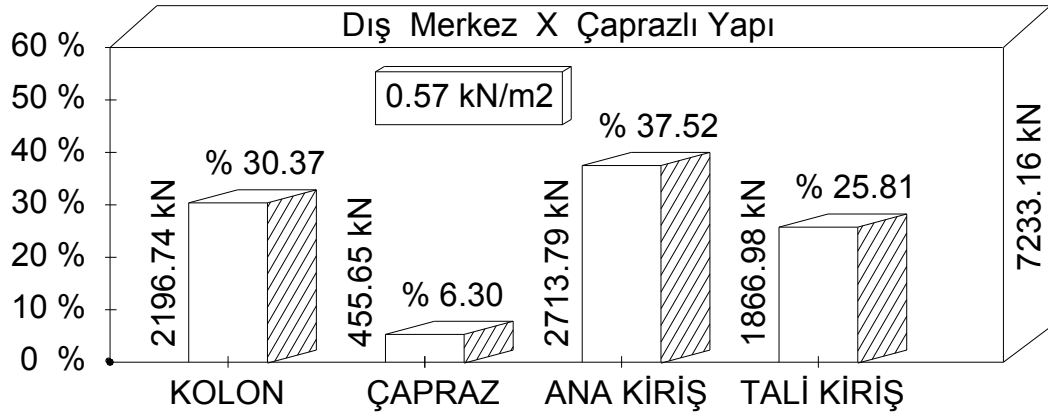


Şekil 6.9 Dış merkez ters V çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı

6.4.4. Dış Merkez X Çaprazlı Sistem

Dış merkez X çaprazlı sistemin 3 boyutlu statik analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda en elverişsiz kesit tesirlerine göre tüm kolon, kiriş, çaprazların kesit ve taşıyıcı sistem ağırlık hesapları yapılmış; Ek-E' de verilmiştir. Çelik yapı elemanlarının toplam taşıyıcı sistem ağırlığındaki oranları Şekil 6.10' de verilmiştir.

Toplam kolon ağırlığı	: 2196.74 kN
Toplam çapraz ağırlığı	: 455.65 kN
Toplam ana kiriş ağırlığı	: 2713.79 kN
<u>Toplam tali döşeme kiriş ağırlığı</u>	<u>: 1866.98 kN</u>
Toplam taşıyıcı sistem ağırlığı	: 7233.16 kN
<u>Toplam yapı alanı</u>	<u>: 12712 m²</u>
M2' deki çelik ağırlığı	: 0.57 kN/m ²



Şekil 6.10 Dış merkez X çaprazlı sistem toplam çelik ağırlığının dağılımı

6.5. Yapı Sistemlerinin Süneklik Hesabı

Bu bölümde Sap2000 analiz programı kullanılarak 4 farklı sistemin uzaysal nonlinier analizi yapılmıştır. Tüm sistelerin pushover eğrileri çıkarılmış ve II. mertebe yükü bu eğrilerden tespit edilerek FEMA273' e göre süneklikleri hesaplanmıştır. Sap2000 programında sistemlerin nonlineer analizi için izlenen yol aşağıda belirtilmiştir.

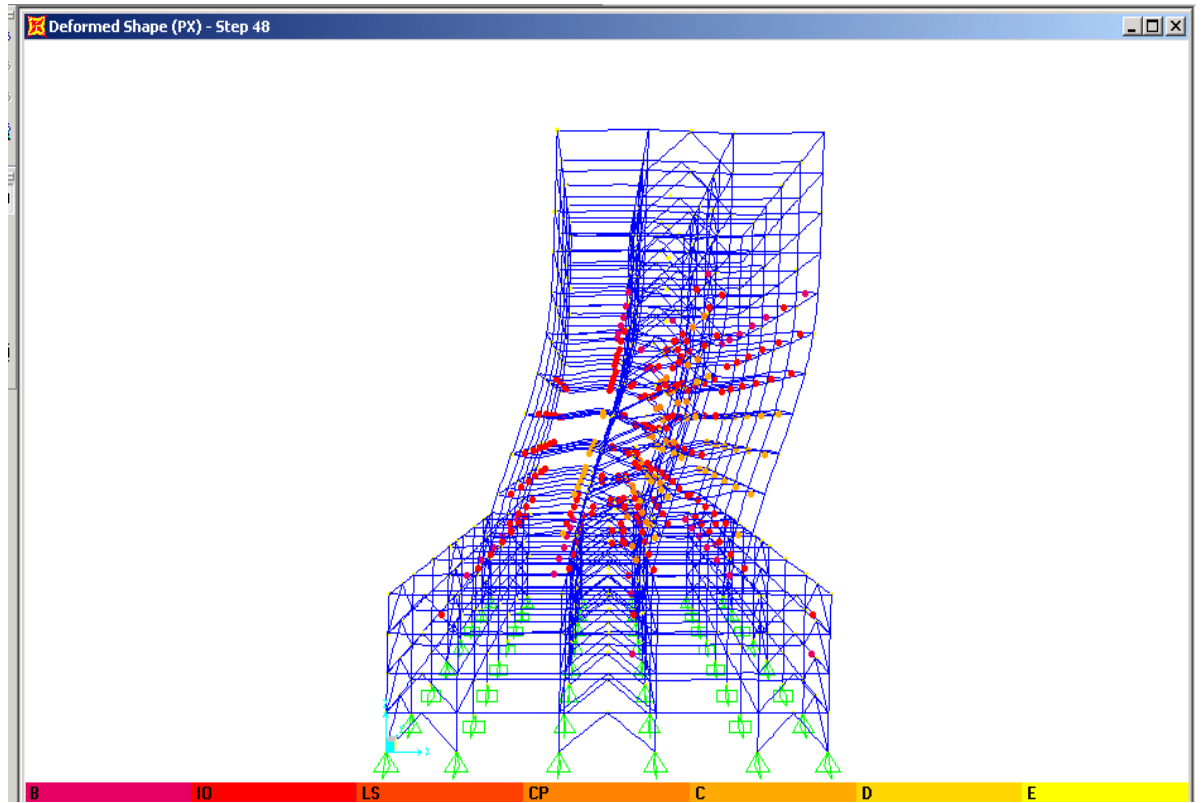
- Yapı elemanlarının oluşturulması
- Kesit özelliklerinin girilmesi
- Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması (P, M3, PMM)
- Plastik mafsalların yapı elemanlarına atanması
- Yüklerin girilmesi
 - Düşey yüklerin tanıtılması
 - Eşdeğer deprem yüklerin hesaplanarak yüklerin tanıtılması
- Lineer olmayan analizin tanıtılması
 - Kontrol noktasının belirlenmesi
 - Analiz çeşidinin belirlenmesi
 - Kontrol noktası ötelenme mesafesinin girilmesi ($0.02 * H_{sistem}$)

- Çözüm

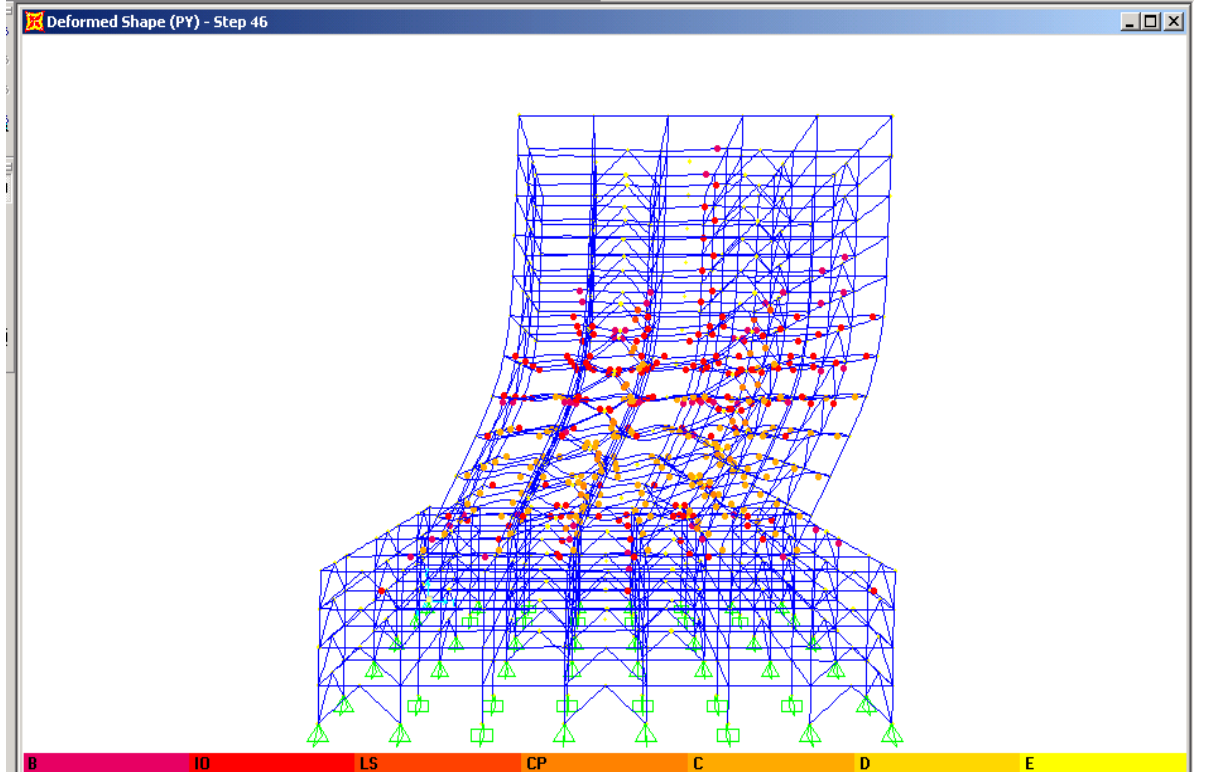
Çözüm sonrası her adım için

- Oluşan plastik mafsalların yerleri,
- Plastik mafsallarda şekildeğiştirme seviyeleri,
- Yapı elemanlarında oluşan kesit zorları,
- Sistem pushover eğrisinin elde edilmesi

Yapı sistemlerinin pushover analizi sonucu elde edilen yapı şekil değiştirmeleri Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’ de verilmiştir.



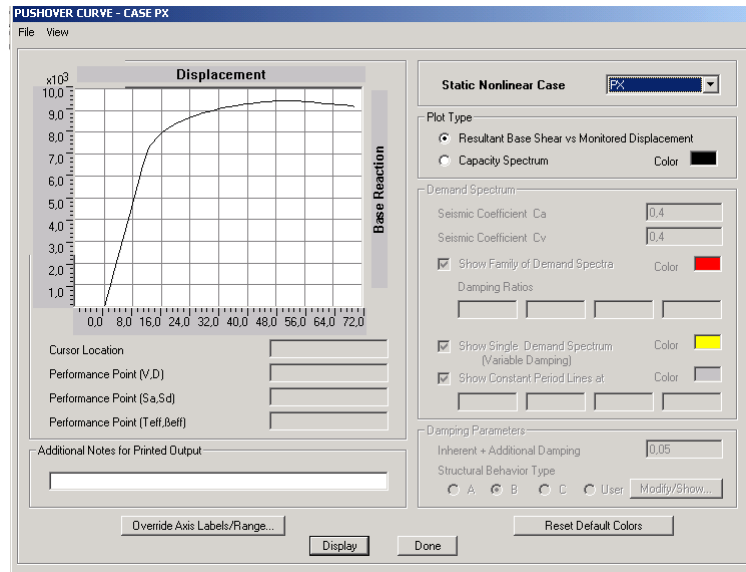
Şekil 6.11 Merkezi ters V çaprazlı sistem x-x yönü deformasyonu



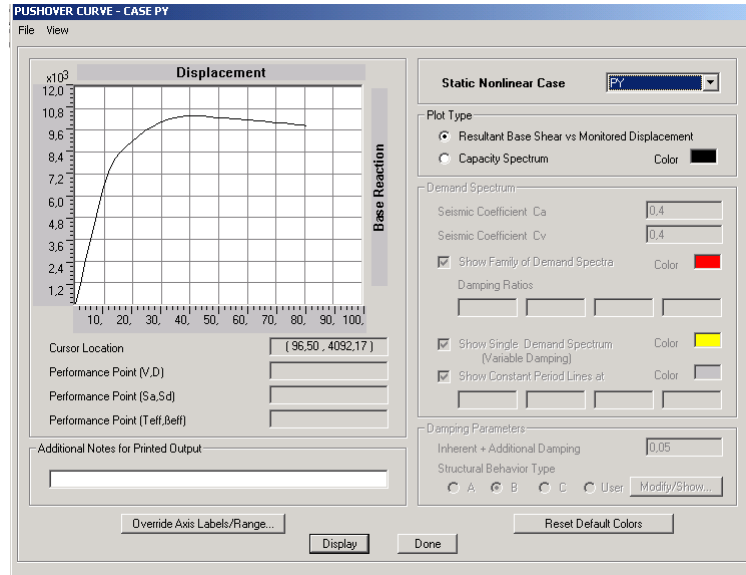
Şekil 6.12 Merkezi ters V çaprazlı sistem y-y yönü deformasyonu

6.5.1. Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem

Merkezi Ters V çaprazlı sistemin pushover analizi sonucu elde edilen pushover eğrileri Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’ de verilmiştir.



Şekil 6.13 Merkezi ters V çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi (kN-cm)



Şekil 6.14 Merkezi ters V çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi (kN-cm)

XX Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 9458.632 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 51.22 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 \cdot 9458.632 = 6621.04 \text{ kN}$$

$$d_{0.7II} = 11.28 \text{ cm}$$

$$H_{sistem} = 43.40 \text{ m}$$

$$\mu_{xx} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 \cdot 43.4 \cdot 10^2}{11.28} = 7.69$$

YY Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 10410.65 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 39.43 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 \cdot 10410.65 = 7287.45 \text{ kN}$$

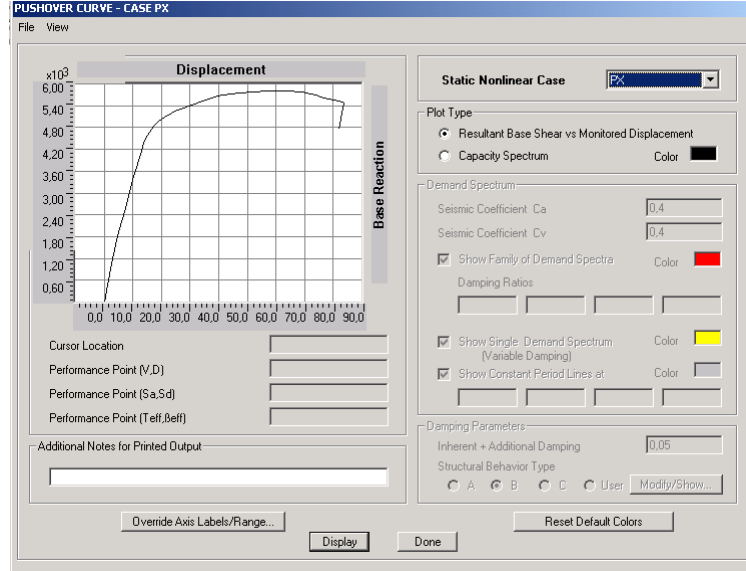
$$d_{0.7II} = 11.10 \text{ cm}$$

$$\mu_{yy} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 \cdot 43.4 \cdot 10^2}{11.10} = 7.82$$

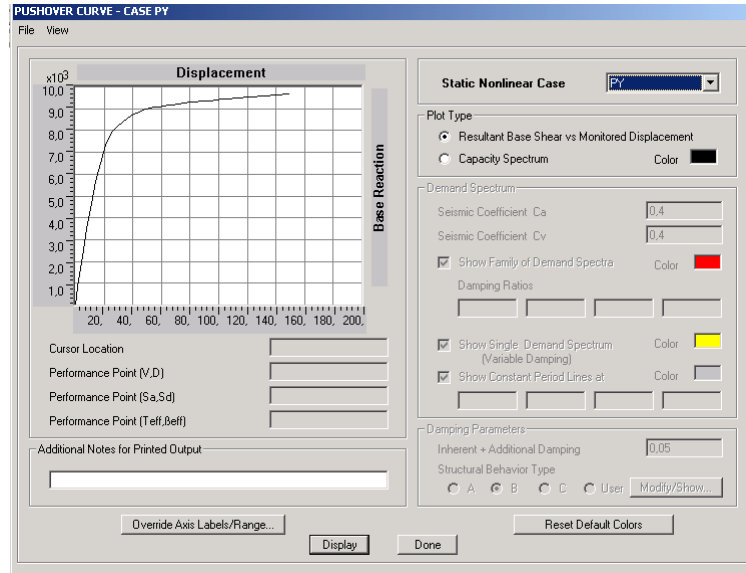
Merkezi Ters V çaprazlı sisteme ait pushover sonuçları Ek F' de verilmiştir.

6.5.2. Merkezi X Çaprazlı Sistem

Merkezi X çaprazlı sistemin pushover analizi sonucu elde edilen pushover eğrileri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’ da verilmiştir.



Şekil 6.15 Merkezi X çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi (kN-cm)



Şekil 6.16 Merkezi X çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi (kN-cm)

XX Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 5803.384 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 60.67 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 * 5803.384 = 4062,36 \text{ kN}$$

$$d_{0.7II} = 12.59 \text{ cm}$$

$$\mu_{xx} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 * 43.4 * 10^2}{12.59} = 6.89$$

YY Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 9688.68 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 150.00 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 * 9688.68 = 6782,08 \text{ kN}$$

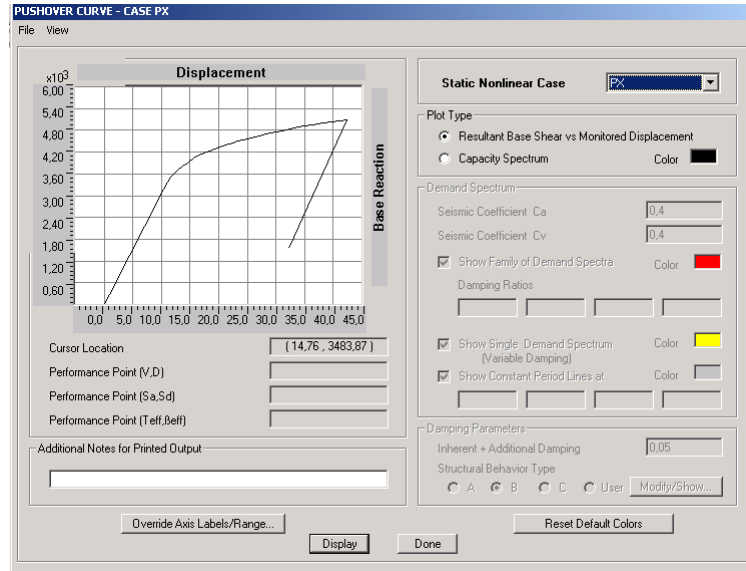
$$d_{0.7II} = 18.58 \text{ cm}$$

$$\mu_{yy} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 * 43.4 * 10^2}{18.58} = 4.67$$

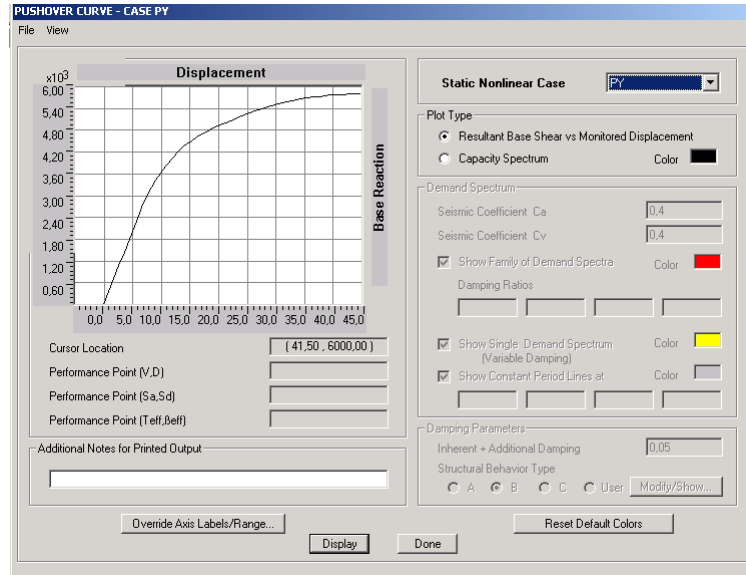
Merkezi X çaprazlı sisteme ait pushover sonuçları Ek G' de verilmiştir.

6.5.3. Dışmerkez Ters V Çaprazlı Sistem

Dışmerkez Ters V çaprazlı sistemin pushover analizi sonucu elde edilen pushover eğrileri Şekil 6.17 ve Şekil 6.18' de verilmiştir.



Şekil 6.17 Dışmerkez ters V çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi (kN-cm)



Şekil 6.18 Dışmerkez ters V çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi (kN-cm)

XX Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 5084.92 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 42.35 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 \cdot 5084.92 = 3559.44 \text{ kN}$$

$$d_{0.7II} = 12.00 \text{ cm}$$

$$H_{sistem} = 43.40 \text{ m}$$

$$\mu_{xx} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 \cdot 43.4 \cdot 10^2}{12.00} = 7.23$$

YY Yönü Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 5810.38 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 44.52 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 \cdot 5810.38 = 4067.27 \text{ kN}$$

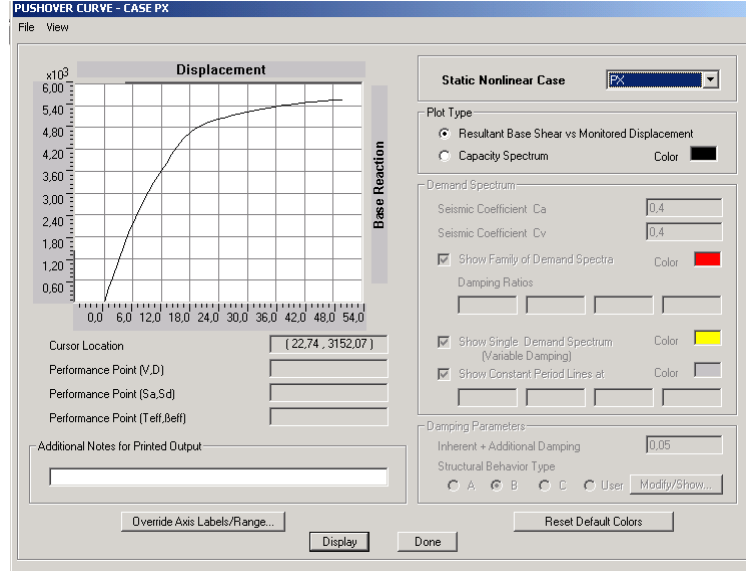
$$d_{0.7II} = 12.09 \text{ cm}$$

$$\mu_{yy} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 \cdot 43.4 \cdot 10^2}{12.09} = 7.17$$

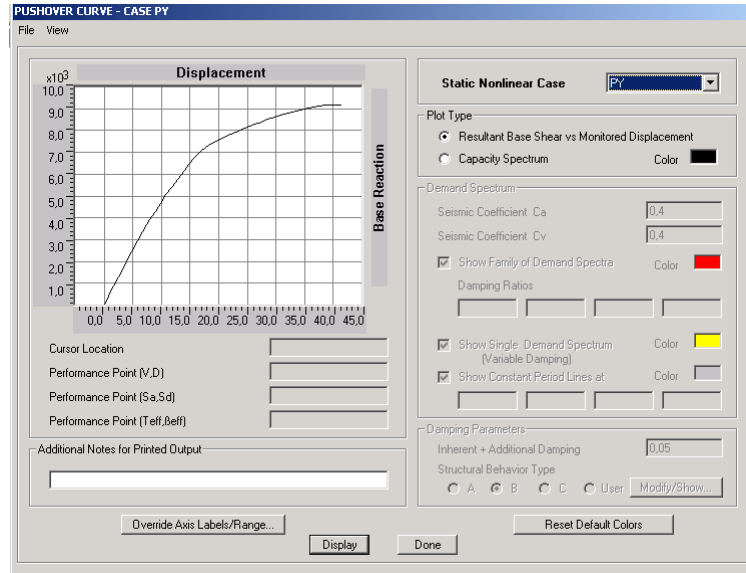
Dışmerkez Ters V çaprazlı sisteme ait pushover sonuçları Ek H' da verilmiştir.

6.5.4. Dışmerkez X Çaprazlı Sistem

Dışmerkez X çaprazlı sistemin pushover analizi sonucu elde edilen pushover eğrileri Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’ de verilmiştir.



Şekil 6.19 Dışmerkez X çaprazlı sistem x-x yönü pushover eğrisi (kN-cm)



Şekil 6.20 Dışmerkez X çaprazlı sistem y-y yönü pushover eğrisi (kN-cm)

XX Yönu Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 5557.95 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 49.99 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 * 5557.95 = 3890.56 \text{ kN}$$

$$d_{0.7II} = 13.40 \text{ cm}$$

$$H_{sistem} = 43.40 \text{ m}$$

$$\mu_{xx} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 * 43.4 * 10^2}{13.40} = 6.47$$

YY Yönu Süneklik Hesabı

$$V_{PL2} = 9181.95 \text{ kN}$$

$$d_{II} = 40.26 \text{ cm}$$

$$V_{0.7PL2} = 0.7 * 9181.95 = 6427.37 \text{ kN}$$

$$d_{0.7II} = 14.74 \text{ cm}$$

$$H_{sistem} = 43.40 \text{ m}$$

$$\mu_{yy} = \frac{0.02}{(d_{0.7II} / H)} = \frac{0.02 * 43.4 * 10^2}{14.74} = 5.88$$

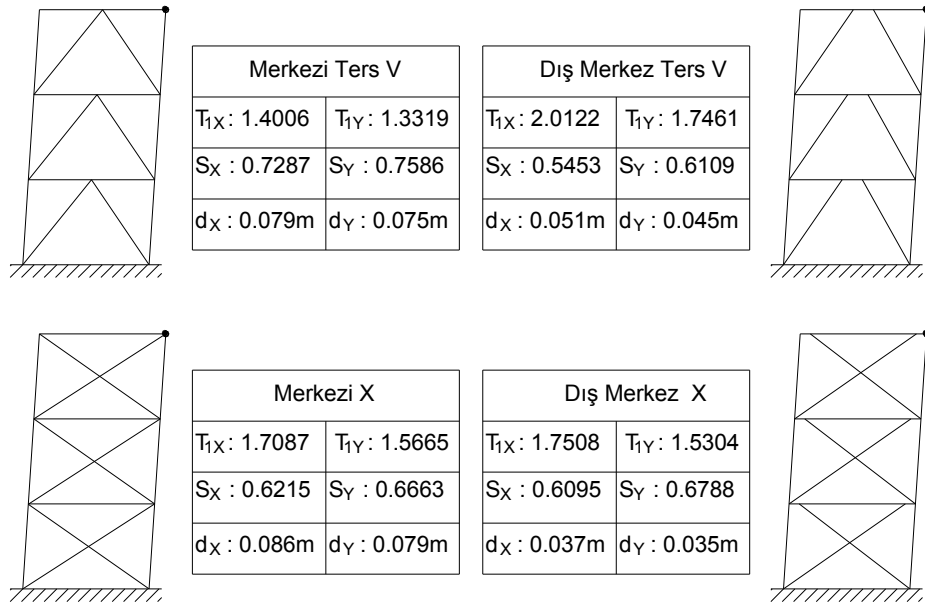
Dışmerkez X çaprazlı sisteme ait pushover sonuçları Ek I' da verilmiştir.

7. SONUÇLAR

Bölüm 6’ da ele alınan 4 tip çelik çaprazlı sistemin statik, dinamik ve pushover analizleri sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla değerlendirilmiştir.

Çelik çok katlı yapıların deprem hesabı için Sap2000’ de Modal Analiz yöntemi uygulanmıştır. 4 yapı tipi için x-x, y-y yönleri periyot , max. tepe nokta deplasman ve spektrum katsayı değerleri Şekil 7.1’ de verilmiştir.

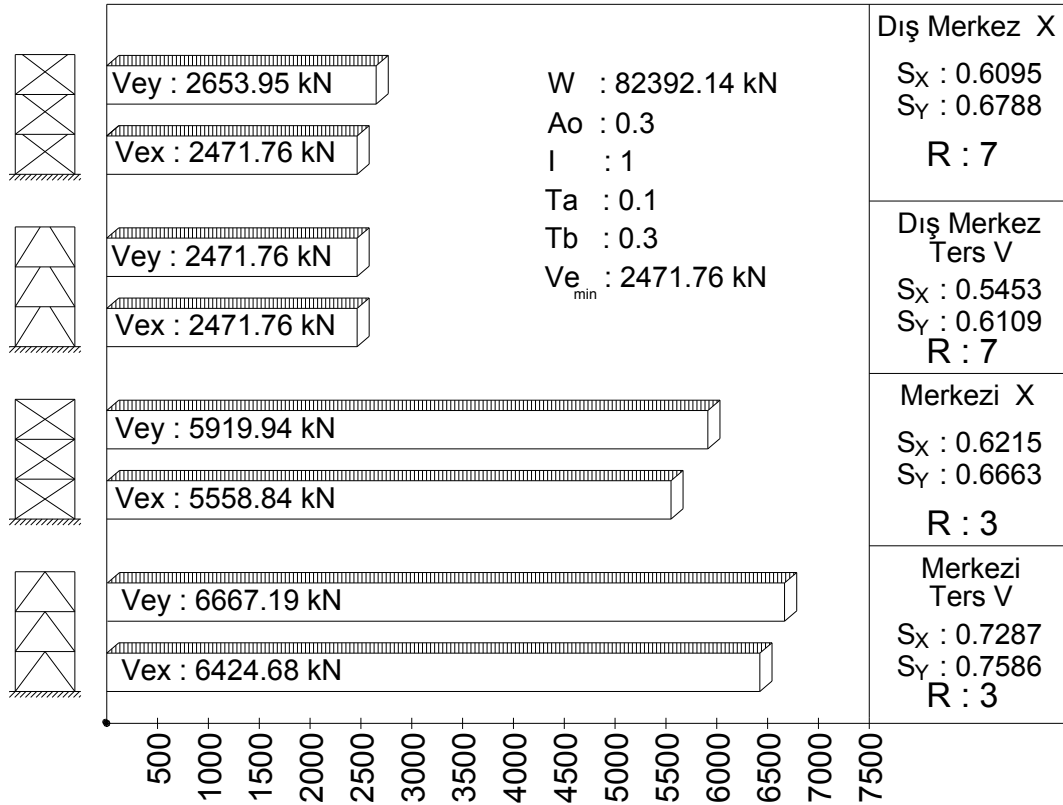
Dış Merkez Ters V çaprazlı sistem x-x yönü 2.0122 sn ile en büyük periyot değerine, aynı yön için Merkezi Ters V çaprazlı sistem 1.40006 sn değeri ile en düşük periyot değerine sahiptir. Periyot değerine ters orantılı olarak yapı spektum katsayısı en büyük olan sistem Merkezi Ters V çaprazlı sistem; en küçük değerli sistem ise Dışmerkez Ters V çaprazlı sistemdir. Deprem yükleri etkisinde en fazla şekil değiştirmeyi x-x yönü için 8.6 cm değeri ile Merkezi X çaprazlı sistem, en az şekil değiştirmeyi y-y yönü için 3.7 cm değeri ile Dışmerkez X çaprazlı sistem yapmıştır. Periyot ve spektrum katsayı max – min değerlerini Ters V çaprazlı sistemler; deplasman max – min değerlerini X çaprazlı sistemler almaktadır.



Şekil 7.1 Dört tip çelik yapının periyot ve şekildeğiştirme değerleri

4 tip çelik çok katlı yapının deprem hesabı için kullanılan değerler ile hesap sonucu her bir yapıya etkiyen deprem yükleri Şekil 7.2’ de verilmiştir.

Yapılara etkiyen deprem yükleri açısından en büyük deprem yükü 6667.19 kN ile y-y yönünde Merkezi Ters V çaprazlı yapı almakta; en küçük değeri ise minimum deprem yükü 2471.76 kN ile x-x, y-y yönleri için Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem almaktadır. Merkezi X çaprazlı sistem periyot ve spektrum katsayıları Şekil 7.1 incelendiğinde bu sistemin periyodunun Merkezi TV sisteme göre daha büyük , spektrum değerinin daha küçük değer aldığı görülmektedir. Bu nedenle Merkezi X çaprazlı sisteme etkiyen deprem yükleri Merkezi TV sisteme oranlı daha azdır. Dışmerkez X çaprazlı sistem x-x yönü için ABYYHY’ de öngörülen minimum deprem yükü 2471.76 kN, y-y yönünde ise 2653.95 kN değerini almaktadır. Merkezi çaprazlı sistemler incelendiğinde en büyük deprem yükünü Merkezi Ters V sistem almaktadır. Dışmerkez sistemler değerlendirildiğinde Dışmerkez X y-y yönü dışında iki sistemde minimum deprem yükünü almaktadır.

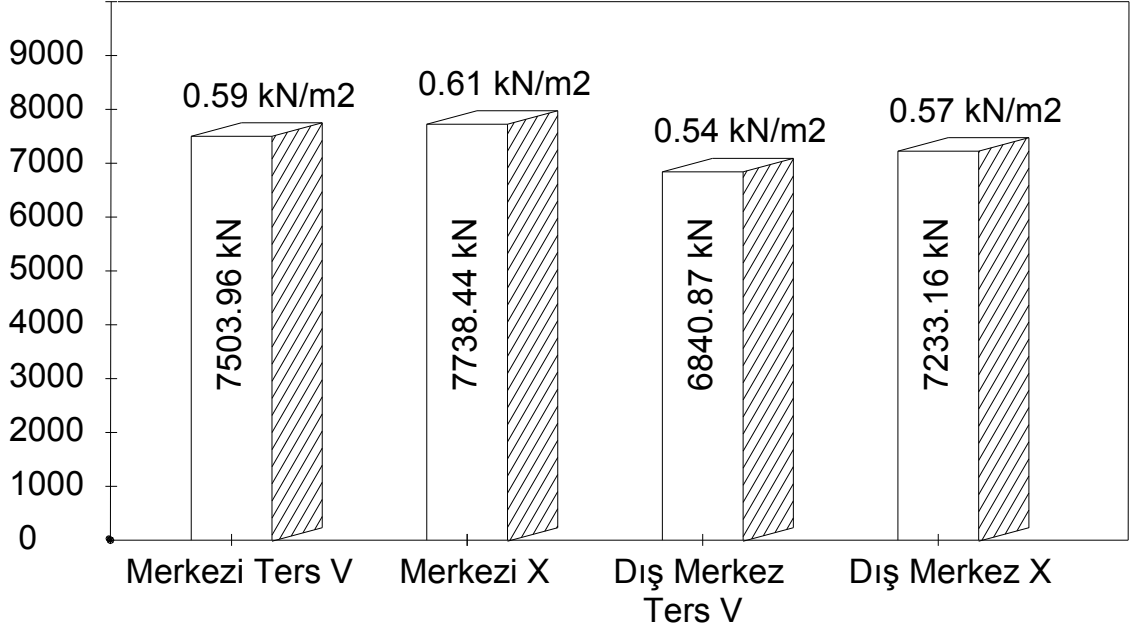


Şekil 7.2 Dört tip çelik yapıya etkiyen deprem yükleri

Tüm sistemlerin deprem , zati ve hareketli yükler etkisinde; TS648, TS4561, ABYYHY 1998 yönetmeliklerine göre elastik hesabı yapılmış ve 4 tip çelik çaprazlı yapının taşıyıcı çelik ağırlıkları Şekil 7.3’ de verilmiştir.

Taşıyıcı sistem ağırlığı bakımından 4 tip çelik çaprazlı yapı içerisinde en ekonomik sistem m2’ deki çelik ağırlığı 0.65 kN/m2 ve toplam çelik ağırlığı 8210.70 kN olan Dışmerkez Ters V çaprazlı sistemdir. En ağır taşıyıcı sisteme sahip yapı ise m2’ deki çelik ağırlığı 0.72 kN/m2 ve toplam çelik ağırlığı 9108.25 kN olan Merkezi X çaprazlı sistemdir. Genel olarak tüm sistemler için m2’ deki çelik ağırlıklarına bakıldığında aralarındaki farkın fazla olmadığı; değerlerin 0.72 kN/m2 ile 0.65 kN/m2 arasında olduğu görülmektedir.

Bölüm 6.4’ de verilmiş olan 4 tip çaprazlı yapının taşıyıcı elemanları açısından ağırlık dağılımlarını gösteren Şekil 6.5, 6.6, 6.7, 6.8’ den de anlaşılabacağı gibi tüm deprem yüklerini taşıyan çelik çaprazların genel taşıyıcı sistem içindeki oranına baktığımızda %3.36 - %5.30 arasında değişen değerler olduğu bunun toplam taşıyıcı sistem ağırlığında önemli bir yer tutmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 7.3 Dört tip çelik yapının taşıyıcı sistem ağırlıkları

Üzerinde çalışma yapılan 4 tip çelik yapı için ABYYHY 1998’ e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak merkezi çaprazlı sistemler için R=3, dışmerkez çaprazlı sistemler için R=7 değerleri alınarak statik ve dinamik hesapları yapılmış ve çelik sistem taşıyıcı elemanları en elverişsiz kesit tesirlerine göre boyutlandırılmıştır. Tüm

sistemlerin kabul edilen R değerlerine göre her kata gelen eşdeğer deprem yükleri hesap edilerek yapıların Bölüm 6.5’ te pushover analizi yapılmıştır. Pushover analizi sonucu elde edilen II. mertebe limit yük ve deplasman değerlerine göre 4 tip çelik yapının süneklikleri hesap edilerek Tablo 7.1’ de verilmiştir.

Merkezi ters V çaprazlı sistemin süneklik değerlerinin x-x yönü için 7.69, y-y yönü için 7.82 olduğu ve diğer yapı sistemlerine göre daha sünek davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu değer ABYYHY 1998’de ön görülen R=3 değeri ile karşılaştırıldığında aralarındaki farkın 2.5 kat mertebesinde olduğu görülmektedir. Merkezi X çaprazlı sisteme bakıldığında ise y-y yönü süneklik değerleri 4.67’ dir. Bu değer diğer yapı sistem sünekliklerine göre en düşük değerdir. Merkezi çaprazlı sistem süneklikleri ise 4.67-7.82 değerleri arasında değişmektedir. Dışmerkez çaprazlı sistem süneklikleri ise 5.88-7.23 değerleri arasındadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde Merkezi ve Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem süneklik değerlerinin 7.17-7.82 arasında Merkezi ve Dışmerkez X çaprazlı sistem süneklik değerlerinin 4.67-6.89 arasındadır. Buna göre Ters V çaprazlı sistemlerin X çaprazlı sistemlere göre daha sünek olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 7.1 Dört tip çelik yapının x-x, y-y yönleri için süneklik değerleri

SİSTEM	Merkezi Ters V Çaprazlı Sistem	Merkezi X Çaprazlı Sistem	Dışmerkez Ters V Çaprazlı Sistem	Dışmerkez X Çaprazlı Sistem
X-X Yönü	7.69	6.89	7.23	6.47
Y-Y Yönü	7.82	4.67	7.17	5.88
ABYYHY 1998	3	3	7	7

15 katlı çelik yapıda 4 farklı çapraz sistemi oluşturularak her bir çaprazlı sistem için yapılan pushover analiz sonucu hesaplana süneklik değerleriyle ABYYHY 1998’de öngörülen değerler karşılaştırıldığında Dışmerkez çaprazlı sistemlerin süneklik

değerlerinin $R=7'$ ye yakın çıktıkları ancak Merkezi çaprazlı sistem süneklik değerlerinin $R=3$ değerinden çok daha büyük oldukları anlaşılmaktadır.

Elde edilen sonuçlar ışığında deprem karşı yapı tasarımı için önemli bir faktör olan sünekliğin; özelliği olan çok katlı, ekonomik değeri yüksek, deprem sonrası da kullanılması gereken yapılar için PUSHOVER analizi yapılarak belirlenmesinin daha doğru olacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. İMO İzmir Şubesi Eğitim Merkezi Yayın No:25, İzmir.
- [2] **TS648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [3] **TS4561**, 1985. Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, TSE, Ankara.
- [4] **Celep, Z., Kumbasar N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [5] **TS498**, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.
- [6] **Depreme Dayanıklı Yapılar Seminer Notları**, 2001. Yapısal Çelik Haftası, İstanbul.
- [7] **Yapısal Çelik Haftası 2001 Seminer Notları**, 2001. Yapısal Çelik Haftası, İstanbul.
- [8] **SAP2000 Analysis Tutorial Manual**, 2000. Computer and Engineering Inc., Berkeley, CA.
- [9] **Celep, Z., Kumbasar N.**, 1998. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [10] **Uzgider, E.**, 2000. Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [11] **Deprem Güvenli Konut Sempozyumu**, 1999. Mesa Yayınları, Ankara.
- [12] **Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirme Kurs Notları**, 1999. TÜBİTAK, İMO, İstanbul.
- [13] **Odabaşı, Y.**, 1997. Ahşap ve Çelik Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [14] **Yardımcı, N.**, 2000. Plastic Design of Steel Structures Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [15] **Deren, H., Uzgider E., Piroğlu F.**, 2002. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [16] **Beşinci İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi**, 2002. İMG , İstanbul.
- [17] **Paulay, T. And Priestley, N.**, 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc., New York.

- [18] **Özmen, G.**, 1999. 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Uygulamaları, *T.D.V.*, İstanbul.
- [19] **Çelik, B.**, 2003. Çelik Yapılarda Çaprazlı Çerçevelerin Süneklik Düzeyinin Belirleyen Tasarım Kuralları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **UBC**, 1997. Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials*, California.
- [21] **Eurocode 8**, 1998. Design of structures for earthquake resistance, *European Committee for Standardisation*, Brussels.
- [22] **ECCS**, 1998. European recommendations for steel structures in seismic zones, *European Convention for Constructional Steelwork*, Brussels.
- [23] **LRFD**, 1999. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago
- [24] **ECCS**, 1994. Manuel on design of steel structures in seismic zones, *European Convention for Constructional Steelwork*, Brussels.
- [25] **AISC**, 1997. Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago
- [26] **Hjelmstad K.D., Popov E.P.**, 1984. Characteristics of eccentrically braced frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, February.
- [27] **Özer, E.**, 2003. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- [28] **Varol, H.S.**, 2003. Çok Katlı Bir Çelik Yapıda Deprem Yüklerinin Değişik Düzenlemelerle taşınması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Karaca, M.A.**, 1999. Boşluklu Perdeler İçeren Çok Katlı Betonarme Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Davranışlarının İncelenmesi ve Süneklik Düzeylerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] **FEMA 273**, 1997. Nehrp Guidlines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [31] **Yüksel, İ.**, 2001. Deprem Yükleri Etkisindeki Sünek Bina Sistemlerinde Yapısal Davranışın İrdelenmesi, *Z.K.Ü. Mühendislik Fakültesi*, Zonguldak.

- [32] **Ballard, T.A., Mutoke, R.,** 2001. Utilizing Pushover Analysis for Seismic Performance of Steel Bridge Structures, *Structural Engineering* , California.
- [33] **ATC 40,** 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1.
- [34] **Çakıroğlu, A., Özer, E.,** 1980. Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

EKLER

- Ek A:** Döşeme tali kiriş ve kolon ön boyut hesapları
- Ek B:** Merkezi Ters V çaprazlı sistem statik, ağırlık hesapları
- Ek C:** Merkezi X çaprazlı sistem statik, ağırlık hesapları
- Ek D:** Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem statik, ağırlık hesapları
- Ek E:** Dışmerkez X çaprazlı sistem statik, ağırlık hesapları
- Ek F:** Merkezi Ters V çaprazlı sistem pushover sonuçları
- Ek G:** Merkezi X çaprazlı sistem pushover sonuçları
- Ek H:** Dışmerkez Ters V çaprazlı sistem pushover sonuçları
- Ek I:** Dışmerkez X çaprazlı sistem pushover sonuçları

Not: Listede bulunan tüm ekler CD içerisinde tez arka kapağında verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan ÇATALKAYA, 1977 yılında İstanbul’ da doğdu. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimini süresince çelik yapı sistemleri üzerinde çalıştı. Üniversite öğrenciliğinde babası İnş.Müh. Sabahattin ÇATALKAYA’ nın kurucusu olduğu TEKTAŞ Mühendislik Mimarlık’ ta çalışmaya başladı; halen aynı şirkette proje ve uygulama sorumlusu olarak görevini sürdürmektedir.