

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİ
KULLANILARAK DEPREM PERFORMANSLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Kerem KÜLEKÇİ**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİ
KULLANILARAK DEPREM PERFORMANSLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Kerem KÜLEKÇİ
(501061007)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Canan GİRGİN (YTÜ)**

OCAK 2010

Aileme ve Nilüfer'e,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, farklı türde çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizi yöntemi kullanılarak deprem performansları değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans tezi süresince, bilgi ve deneyimleri ile gelişimime yardımcı olan, desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI'ya, en zor zamanlarında bile bana zaman ayıran ve her soruma yanıt bulduğum ve çok şey öğrendiğim değerli hocam Dr. Cüneyt VATANSEVER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bana her zaman sonsuz destek veren ve hep güvenen aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince çalışmalarına destek olan ve anlayış gösteren Borusan Mannesmann Boru ailesine ve yöneticilerine teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans süresince sağladığı burs ile akademik çalışmamı destekleyen Tübitak'a teşekkür ederim.

Aralık 2009

Ahmet Kerem KÜLEKÇİ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	3
2.1 Performans Hedefi.....	3
2.1.1 Performans seviyeleri.....	3
2.1.1.1 Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları	3
2.1.1.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları	5
2.1.2 Bina performans seviyeleri	6
2.2 Deprem Hareketi	7
2.2.1 Servis depremi (SE) :	7
2.2.2 Tasarım depremi (DE) :	7
2.2.3 En büyük deprem (ME) :	8
2.3 % 5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumunun Oluşturulması.....	8
2.3.1 Zemin sınıfları.....	8
2.3.2 Deprem bölge katsayısı	9
2.3.3 Kaynağa mesafe katsayıları	9
2.4 Yapısal Kapasite.....	11
2.5 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri.....	12
2.5.1 ATC 40 Kapasite Spektrumu Yöntemi	13
2.5.2 FEMA 273 Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi.....	18
2.6 Kabul Kriterleri	20
2.6.1 Bina için genel kabul kriterleri.....	20
2.6.2 Eleman için kabul kriterleri.....	20
3. YAPI SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYILARININ İNCELENMESİ.....	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Türk Deprem Yönetmeliği'nde Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları	23
3.3 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Hesaplanması	24
3.3.1 Taşıyıcı sistemlerin kuvvet – yer değiştirme eğrileri.....	25
3.3.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının bileşenleri	27
3.3.2.1 Dayanım katsayısı	27
3.3.2.2 Süneklik Katsayısı	28
Newmark ve Hall'un araştırması	30
Miranda ve Bertero'nun araştırması	30

3.3.2.3 Fazlalık Katsayısı	31
4. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİZİ VE SAYISAL UYGULAMALAR	33
4.1 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Seçimi	33
4.2 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Modellenmesi	34
4.3 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Lineer Analizleri Ve Boyutlandırılması	34
4.3.1 Taşıyıcı Sistemlerin Ortak Özellikleri	34
Normal kat döşemesi	35
Dış Duvar Yüğü	35
4.3.2 Sistem 1'in analizleri ve boyutlandırılması	36
4.3.2.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar	37
4.3.2.2 Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	37
4.3.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı	39
4.3.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması	40
4.3.2.5 Deprem yüklerinin etkiye noktaları	41
4.3.2.6 Rüzgar yükleri	41
4.3.2.7 Yük birleşimleri	42
Düşey yük birleşimleri	42
Düşey yük + deprem birleşimleri	42
Düşey yük + rüzgar birleşimleri	43
4.3.2.8 Sistem analizleri	44
4.3.2.9 Görelî kat ötelenmelerinin kontrolü	44
4.3.2.10 İkinci mertebe etkileri	46
4.3.2.11 İkincil döşeme kirişlerinin boyutlandırılması	47
4.3.2.12 Ana çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	48
4.3.2.13 Çaprazların boyutlandırılması	50
4.3.2.14 Kolonların boyutlandırılması	52
4.3.2.15 Perde kolonları dışındaki kolonların boyutlandırılması	54
4.3.3 Sistem 2'nin analizleri ve boyutlandırılması	58
4.3.3.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar	59
4.3.3.2 Dışmerkez çapraz sistemin bağ kirişlerinin boyutlandırılması	60
Bağ kirişinin boyunun kontrolü	63
Bağ kirişinin tasarım kesme kuvvetinin kontrolü	63
Bağ kirişinin dönme açısının kontrolü	63
Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan kısmının kontrolü	64
4.3.4 Sistem 3'ün analizleri ve boyutlandırılması	65
4.3.4.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar	66
4.3.5 Sistem 4'ün analizleri ve boyutlandırılması	67
4.3.5.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar	68
4.3.6 Analiz ve boyutlandırma özet bilgileri	69
4.4 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	71
4.4.1 Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizi için modellenmesi	71
4.4.2 Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizleri	72
4.4.2.1 Sistem 1 için itme analizi sonuçları	73
4.4.2.2 Sistem 2 için statik itme analizi sonuçları	75
4.4.2.3 Sistem 3 için statik itme analizi sonuçları	77
4.4.2.4 Sistem 4 için statik itme analizi sonuçları	80
4.5 Yapı Davranış Katsayılarının Belirlenmesi	82
4.6 Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi	83
5. SONUÇLAR	89

KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ATC	: Applied Technology Council
IO	: Immediate Occupancy
LS	: Life Safety
CP	: Collapse Prevention

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve aralıkları	3
Çizelge 2.2 : Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ve aralıkları	5
Çizelge 2.3 : Bina yapısal performans seviyeleri	6
Çizelge 2.4 : Çok seviyeli hedef performansın tanımlanması	8
Çizelge 2.5 : ATC 40'a göre zemin sınıfları.....	9
Çizelge 2.6 : Deprem bölge katsayıları.....	9
Çizelge 2.7 : Kaynağa mesafe katsayıları.....	9
Çizelge 2.8 : Deprem Katsayısı C_A	10
Çizelge 2.9 : Deprem katsayısı C_V	10
Çizelge 2.10 : Performans seviyelerine göre yer değiştirme sınırları.....	20
Çizelge 3.1 : Tek katlı iki taşıyıcı sistemin deprem parametreleri	29
Çizelge 3.2 : Ötelenme fazlalık katsayıları.....	31
Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kat kütleleri	38
Çizelge 4.2 : Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri	38
Çizelge 4.3 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri	40
Çizelge 4.4 : (x) Doğrultusunda görelî kat ötelenmelerinin kontrolü.....	45
Çizelge 4.5 : (y) Doğrultusunda görelî kat ötelenmelerinin kontrolü.....	45
Çizelge 4.6 : Sistem 1 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri	58
Çizelge 4.7 : Sistem 2 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri	65
Çizelge 4.8 : Sistem 3 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri	67
Çizelge 4.9 : Sistem 4 için seçilen taşıyıcı eleman kesitler	69
Çizelge 4.10 : Taşıyıcı sistem yapı ağırlıkları	69
Çizelge 4.11 : Taşıyıcı sistem modellerinde deprem katsayılarının belirlenmesi	70
Çizelge 4.12 : Eşdeğer deprem yüklerinin katlara göre dağılımları	70
Çizelge 4.13 : Deprem yükleri altında görelî kat ötelenmeleri.....	71
Çizelge 4.14 : Taşıyıcı sistem davranış katsayıları.....	83
Çizelge 4.15 : Performans noktası taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme değerleri.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları	5
Şekil 2.2 : Elastik talep spektrumu	11
Şekil 2.3 : Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi	13
Şekil 2.4 : Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi	14
Şekil 2.5 : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	15
Şekil 2.6 : İstem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi	15
Şekil 2.7 : Histeretik sönüme eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi	16
Şekil 2.8 : İndirgenmiş istem spektrumunun elde edilmesi	17
Şekil 2.9 : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi	18
Şekil 2.10 : Eleman davranış eğrileri	20
Şekil 2.11 : İdealleştirilmiş kuvvet – yer değiştirme eğrisi üzerinde performans noktaları	21
Şekil 3.1 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	24
Şekil 3.2 : Tipik taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi	25
Şekil 3.3 : Doğrusal yaklaşımli kuvvet - yer değiştirme ilişkisi – Paulay & Priestley	26
Şekil 3.4 : Doğrusal yaklaşımli kuvvet - yer değiştirme ilişkisi – eşit enerji	26
Şekil 3.5 : İki tek katlı yapı sistemi için süneklik katsayısı kavramının açıklanması	29
Şekil 4.1 : Sistem 1 ve Sistem 3'ün plan görünüşü	36
Şekil 4.2 : Sistem 1 ve Sistem 3'ün x-z düzlemindeki cephe görünüşü	36
Şekil 4.3 : Sistem 2'nin plan görünüşü	59
Şekil 4.4 : Sistem 2'nin x-z düzlemindeki cephe görünüşü	59
Şekil 4.5 : Sistem 4'ün plan görünüşü	67
Şekil 4.6 : Sistem 4'ün x-z düzlemindeki cephe görünüşü	68
Şekil 4.7 : Sistem 1 - kapasite eğrisi	73
Şekil 4.8 : Sistem 1 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi	74
Şekil 4.9 : Sistem 1 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu	74
Şekil 4.10 : Sistem 1 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları	75
Şekil 4.11 : Sistem 2 - kapasite eğrisi	76
Şekil 4.12 : Sistem 2 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi	76
Şekil 4.13 : Sistem 2 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu	77
Şekil 4.14 : Sistem 2 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları	77
Şekil 4.15 : Sistem 3 – kapasite eğrisi	78

Şekil 4.16 : Sistem 3 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi	78
Şekil 4.17 : Sistem 3 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu	79
Şekil 4.18 : Sistem 3 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları.....	79
Şekil 4.19 : Sistem 4 – kapasite eğrisi	80
Şekil 4.20 : Sistem 4 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi	81
Şekil 4.21 : Sistem 4 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu	81
Şekil 4.22 : Sistem 4 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları.....	82
Şekil 4.23 : Çaprazlı sistemlerin kapasite eğrileri	87

ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Amerika Birleşik Devletleri'nin California Eyaletinde meydana gelen 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge Depremleri'nin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekil değiştirme ve yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla ATC ve FEMA tarafından çalışmalar yürütülmüş ve çeşitli raporlar yayınlanmıştır.

Son yıllarda özellikle deprem bölgelerinde yapılan tasarımlarda binaların elastik ötesi davranışlarının incelenmesi büyük önem kazanmıştır. Sistemlerin deprem yükleri altında elastik ötesi davranışlarının incelenmesi ve değerlendirilmesi tasarım hakkında daha anlamlı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Mevcut veya yeni yapılacak binaların deprem performansları kolayca belirlenebilmektedir.

Bu hususlardan yola çıkarak bu tez çalışmasında farklı tipte çelik taşıyıcı sistemlerin deprem yükleri altında elastik ötesi davranışları incelenmiş, deprem performansları değerlendirilmiştir. Binaların performans seviyelerinin belirlenmesi için statik itme analizinden yararlanılmıştır.

Tez beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde performansa dayalı tasarımın ortaya çıkış nedenleri açıklanmış, konunun amacı ve kapsamı belirtilmiştir. Çalışmanın amacı farklı çelik yapı taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarının belirlenmesidir.

İkinci bölümde performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konuları detaylı olarak anlatılmıştır. Bina performans hedefi, taşıyıcı olan elemanlar ve taşıyıcı olmayan elemanlar için performans noktaları ve aralıkları açıklanmıştır. Ayrıca bu performans aralıklarında yapının durumu hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Bunlarında yanında deprem hareketlerinden bahsedilmiştir. % 5 sönümlü elastik talep spektrumunun ATC 40'a göre elde edilmesi adım adım açıklanmıştır. Basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden ATC 40 kapasite spektrum yöntemi ve FEMA 273 yer değiştirme katsayısı yöntemi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde taşıyıcı sistem davranış katsayılarının hesaplanması için ATC-19'da verilen yöntem açıklanmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısının hesaplanmasında kullanılan dayanım katsayısı, süneklik katsayısı ve fazlalık katsayısının tanımları yapılmış ve nasıl elde edildikleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, tasarım detayları 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen 4 farklı tipte çelik taşıyıcı sistem modeli belirlenmiş, belirlenen bu sistemlerin analizleri yapılmış, Türk Yönetmeliklerine uygun olarak boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan sistemlerin statik itme analizi yöntemi ile kapasite eğrileri elde edilmiş, kapasite spektrum yöntemi ile performans noktaları belirlenmiştir. Belirlenen performans noktalarında sistemlerin istenen performans seviyesinde olup olmadıkları irdelenmiştir. Bu bölümde ayrıca, 4 farklı sistemin taşıyıcı sistem davranış katsayıları hesaplanarak 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ile uyumu değerlendirilmiştir. Son olarak elde edilen sayısal sonuçlar verilmiştir.

Beşinci bölüm bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların açıklanmasına ayrılmıştır. Çalışmanın ana hatları, sayısal sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde verilmiştir.

DETERMINING THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF STEEL FRAME STRUCTURES BY USING THE PUSHOVER ANALYSIS

SUMMARY

The big damage caused by 1989 Loma Prieta and 1994 Northridge earthquakes in California, United States of America brings out the need of new more realistic methods based on performance criterias depending on displacement and deformation, instead of performance criterias which foresee a sufficient resistance under the effects of the earthquakes. On the purpose of satisfying this need, some researches are carried out and some reports are published by the ATC and FEMA.

In the last years, examining the nonlinear behaviour of the structures, especially at the seismic regions becomes more than an issue. Examining and evaluating the nonlinear behaviour of the systems under the earthquake loads reveal more significant design results. Earthquake performance of existing or new buildings are defined easily.

Taking into account these improvements, in this thesis, the nonlinear behaviour of different steel frame structures are examined under the seismic loads. Pushover analysis are used to determine the performances of the structures.

This thesis is consist of five chapters.

In the first chapter, the causes of the need of developing performance based design are explained, the aim and the scope of the study are indicated. The aim of the study is defining the earthquake performance of different steel frame structures.

In the second chapter, design and evaluation subjects based on performance are explained in details. Building performance target, performance points and intervals of structural and nonstructural members are mentioned. Also information about the situation of building between these intervals are given. Besides, earthquake movements are described. Obtaining 5 % damped elastic demand spectrum according to ATC 40 is explained step by step. Among the nonlinear analysis methods, ATC 40 capacity spectrum method and FEMA 273 displacement coefficient method are mentioned.

In the third chapter, the method given in ATC-19 for evaluating the structural response modification factors are explained. The strength factor, ductility factor and redundancy factor used for evaluation of structural response modification factor are defined and derivation of these factors are explained.

In the fourth chapter, four different steel frame system model in which the design details are given in the Turkish Seismic Code 2007 are defined and the defined systems are analyzed and designed in accordance with the existing code regulations. Capacity curves of the systems are obtained with the help of pushover analysis and the performance points are defined with the capacity spectrum method. At the defined performance points, the performance of the systems are examined if their performances are sufficient or not. Also in this chapter, the structural response modification factors of the systems are calculated and the conform with the 2007 Turkish Seismic Code is evaluated. Finally the numeral results are given.

The fifth chapter covers the explanations of the results obtained in this thesis. Main parts of the study and the evaluation of the numerical results are given in this chapter.

1. GİRİŞ

Yer deşiştirmeye ve şekil deşiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan değerlendirme ve tasarım yöntemleri, son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nin deprem bölgelerindeki mevcut binaların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri’nde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, yer değiştirmelere ve şekil değiştirmelere bağlı olarak tanımlanan daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini doğurmuştur.

Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC 40 [1] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA 273 [2] ve FEMA 356 [3] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 [4] taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council, American Society of Civil Engineers ve Earthquake Engineering Research Center of University of California, Berkeley tarafından yürütülen diğer projelerde bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan Avrupa birliği standartları arasında bulunan Eurocode standardında da mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır, [5].

Ülkemizde, zellikle Adapazarı, Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan binaların güçlendirilmesi amacıyla pratik uygulamalar yapılmaktadır, [5].

Bu alışma, Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007’de [6] tasarım özellikleri verilen merkezi elik aprazlı perdelerden, dışmerkez elik aprazlı perdelerden ve çerçevelerden oluşan elik taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarının statik itme analizi ile belirlenmesini içermektedir. Bu çalışmada, farklı özelliklerdeki elik taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarının belirlenmesi, yönetmelikte öngörülen

genel performans hedefleri ile karşılaştırılması ve farklı çelik taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayılarının belirlenip DBYBHY 2007 [6]'da verilen değerler ile uyumunun araştırılması amaçlanmaktadır.

2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

2.1 Performans Hedefi

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Genel olarak yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır, [5].

2.1.1 Performans seviyeleri

Performans seviyeleri; verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinezonu olarak belirlenir, [5].

2.1.1.1 Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları

ATC 40 [1] ve FEMA 273 [2] dokümanlarında, taşıyıcı elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları aşağıda verilmiştir, Çizelge 2.1.

Çizelge 2.1 : Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve aralıkları

Performans seviyesi	Performans aralığı	Kod
Hemen Kullanım		S-1
	Hasar kontrol	S-2
Can güvenliği		S-3
	Sınırlı güvenlik	S-4
Göçmenin önlenmesi		S-5

Hemen kullanım performans seviyesi (S-1)

Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır. Yapısal hasar kaynaklı, can güvenliğini tehlikeye düşürecek yaralanma riski çok düşüktür, [5].

Hasar kontrol performans aralığı (S-2)

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır, [5].

Can güvenliği performans seviyesi (S-3)

Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür, [5].

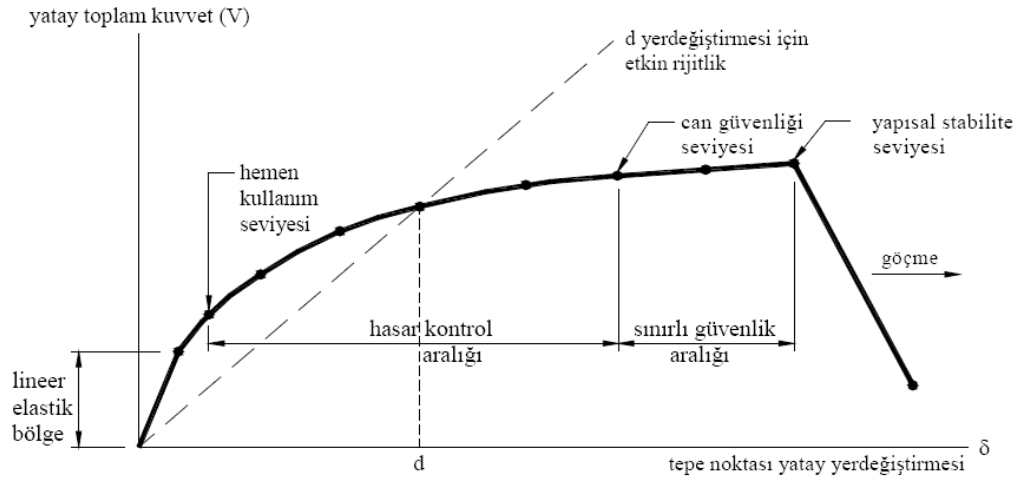
Sınırlı güvenlik performans aralığı (S-4)

Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir, [5].

Göçmenin önlenmesi (stabilitenin korunması) performans seviyesi (S-5)

Yapıyı bölgesel 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, [5].

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, Şekil 2.1’de kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet - tepe noktası yatay yer değiştirmesi diyagramı üzerinde şematik olarak işaretlenmiştir, [5].



Şekil 2.1 : Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

2.1.1.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları

ATC 40 [1] ve FEMA 273 [2] dokümanlarında, taşıyıcı olmayan elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları verilmiştir, Çizelge 2.2.

Çizelge 2.2 : Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ve aralıkları

Performans seviyesi	Kod
Kullanıma devam	N-A
Hemen kullanım	N-B
Can güvenliği	N-C
Azaltılmış hasar	N-D
Performansın dikkate alınmadığı seviye	D-E

Kullanıma devam performans seviyesi (N-A)

Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez, [5].

Hemen kullanım performans seviyesi (N-B)

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, [5].

Can güvenliği performans seviyesi (N-C)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım ihtiyacı doğar, [5].

Azaltılmış hasar performans seviyesi (N-D)

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 hasar oluşmaz, [5].

Performansın dikkate alınmadığı seviye (N-E)

Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir, [5].

2.1.2 Bina performans seviyeleri

Binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır, [1]. Çizelge 2.3'te bu performans seviyelerinin olası kombinezonları yer almaktadır. KÖ ile belirtilen kombinezonlar, kullanılması önerilmeyen performans seviyelerini göstermektedir, [5].

Çizelge 2.3 : Bina yapısal performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N-A	1-A	2-A	KÖ	KÖ	KÖ
N-B	1-B	2-B	3-B	KÖ	KÖ
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D
N-E	KÖ	KÖ	3-E	4-E	5-E

1-A: Kullanıma devam yapısal performans seviyesi (S1 + NA)

Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina kullanıma devam edilebilecek durumdadır, [5].

1-B: Hemen kullanım performans seviyesi (S1 + NB)

Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür, [5].

3-C: 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, [5].

5-E: Göçmenin önlenmesi-yapısal stabilitenin korunması performans seviyesi (S5 + NE)

Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir, [5].

2.2 Deprem Hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeylerde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler, [5].

ATC 40 projesinde [1] üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, üç ayrı sismik risk seviyesi göz önüne alınmaktadır. Benzer tanımlar FEMA 273 ve 356 [2,3] dokümanlarında da yapılmıştır. Aşağıda, ATC 40'da [1] tanımlanan deprem hareketleri verilerek FEMA 273, 356 [2,3] depremleri ile karşılaştırılmıştır.

2.2.1 Servis depremi (SE) :

50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır, [5].

2.2.2 Tasarım depremi (DE) :

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerinde [6] de esas alınan bu deprem FEMA 273'te [2] temel güvenlik depremi-1 (BSE-1) olarak isimlendirilir, [5].

2.2.3 En büyük deprem (ME) :

ATC 40'a göre [1], belirli bir bölgede jeolojik veriler çerçevesinde meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı % 5, dönüş periyodu yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi tasarım depreminin 1.25-1.50 katı dolaylarındadır. Ayrıca FEMA 273'te [2], temel güvenlik depremi-2 (BSE-2) olarak isimlendirilen ve 50 yılda asılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir deprem daha tanımlanmıştır. Bu depremin ATC 40'daki [1] en büyük depreme karşı geldiği, ancak etkisinin daha büyük olduğu söylenebilir. Bir yapıda, belirli bir deprem hareketi altında tek bir performans hedefi öngörülebileceği gibi, birden fazla yer hareketi altında çok seviyeli performans hedefleri de esas alınabilir. Çizelge 2.4'te çok seviyeli performans hedefi için bir örnek verilmiştir, [5].

Çizelge 2.4 : Çok seviyeli hedef performansın tanımlanması

Yer hareketi	Bina performans seviyesi		
	Kullanıma devam	Hemen kullanım	Can güvenliği
Servis depremi			
Tasarım depremi			
En büyük deprem			

2.3 % 5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumunun Oluşturulması

Elastik spektrum, ATC 40 [1] yönetmeliğine göre, her bir zemin sınıfı için C_A ve C_V deprem bölge katsayılarından yola çıkarak oluşturulur. Bu parametreler, zemin sınıfına, deprem bölge katsayısına, deprem kaynağına olan mesafeye ve seçilen deprem etkisine göre belirlenmektedir.

2.3.1 Zemin sınıfları

ATC 40'a göre [1] tanımlı zemin sınıfları verilmiştir, Çizelge 2.5. S_F zemin sınıfı, daha fazla yerel zemin incelemesine ihtiyaç duyulan zemin türlerinde seçilmelidir.

Çizelge 2.5 : ATC 40’a göre zemin sınıfları

Zemin Sınıfı	Zemin sınıfı tanımı
S_A	Sert kaya
S_B	Kaya
S_C	Çok sıkı zemin veya yumuşak kaya
S_D	Sıkı zemin
S_E	Yumuşak zemin
S_F	Zemin incelemesi gerekli

2.3.2 Deprem bölge katsayısı

ATC 40’a göre [1] her yapı için Çizelge 2.6’daki deprem bölge katsayılarından birisi seçilmelidir, [7].

Çizelge 2.6 : Deprem bölge katsayıları

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

2.3.3 Kaynağa mesafe katsayıları

Amerikan Yönetmelikleri’nde yapıların deprem kaynağına olan uzaklıkları dikkate alınmaktadır. Çizelge 2.7’de deprem kaynağı türüne göre kaynağa mesafe katsayıları verilmiştir, [8]. Tabloda olmayan mesafeler için lineer enterpolasyon yapılabilir.

Çizelge 2.7 : Kaynağa mesafe katsayıları

Deprem kaynağı türü	Bilinen deprem kaynağına en yakın mesafe							
	2 km		5 km		10 km		15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük deprem oluşturan kaynak	1,5	2,0	1,2	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
B: Orta Deprem oluşturan kaynak	1,3	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
C: Küçük deprem oluşturan kaynak	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

C_A ve C_V parametreleri, ATC 40'da [1] verilen ZEN parametresinden yola çıkılarak hesaplanmaktadır. ZEN parametresindeki Z terimi Çizelge 2.6'dan alınan deprem bölge katsayısını temsil etmektedir. E terimi ise seçilen deprem etkisinden yola çıkarak, kullanma depremi için 0.5, tasarım depremi için 1 ve maksimum deprem için 4. deprem bölgesinde 1.25, 3. deprem bölgesinde 1.5 alınmaktadır. Son olarak N terimi Çizelge 2.7'den alınan kaynağa mesafe katsayısını temsil etmektedir. ZEN parametresine ve zemin cinsine göre C_A ve C_V parametreleri Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'dan hesaplanmaktadır. Tabloda olmayan değerler için lineer enterpolasyon yapılabilir, [1].

Çizelge 2.8 : Deprem Katsayısı C_A

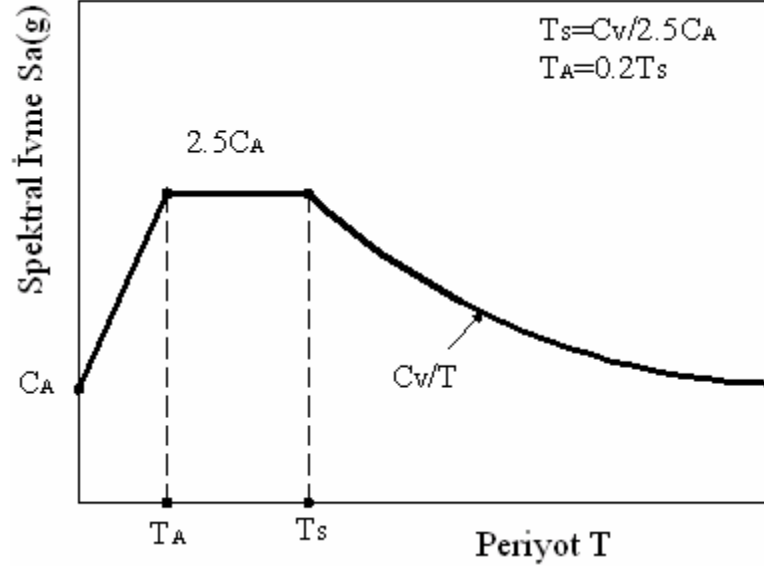
Zemin sınıfı	Deprem katsayısı (ZEN)					
	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0 (ZEN)
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0 (ZEN)
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1 (ZEN)
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9 (ZEN)
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekmektedir					

Çizelge 2.9 : Deprem katsayısı C_V

Zemin sınıfı	Deprem katsayısı (ZEN)					
	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0 (ZEN)
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4 (ZEN)
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6 (ZEN)
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4 (ZEN)
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekmektedir					

C_A ve C_V deprem parametrelerinden yola çıkılarak oluşturulan elastik spektrum gösterilmiştir, Şekil 2.2, , [8]. Burada C_A yer hareketinin etkili maksimum ivmesini

temsil etmektedir. C_A parametresinin 2.5 katı ise % 5 sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ivmesine karşılık gelmektedir. C_V parametresi ise periyodu 1 sn olan % 5 sönümlü sistemin spektrum değeri olarak tanımlanmaktadır, [7].



Şekil 2.2 : Elastik talep spektrumu

2.4 Yapısal Kapasite

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem ve kapasitedir. İstem (talep) yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisinin kesişim noktası performans noktasını vermektedir. Bu performans noktasından yola çıkılarak yapı taşıyıcı elemanlarının hangi performans seviyeleri arasında kaldıkları belirlenebilmektedir, [5].

Yapısal kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Doğrusal elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir, [5].

Yapısal kapasite, pushover curve (kapasite eğrisi) ile temsil edilir. Bu eğri, 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, [5].

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında yapılan hesap ile belirlenir. Diğer bir deyişle, yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Bu varsayım, özel periyodu $T=1.00$ sn'den daha küçük olan yapılar için geçerli olabilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1.00 sn'yi aşan yapılarda, daha yüksek modların etkilerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Diğer taraftan, burulma titreşimlerinin etkin olduğu yapı sistemlerinde, burulma titreşimi modları da hesaba katılmalıdır. [5]

2.5 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

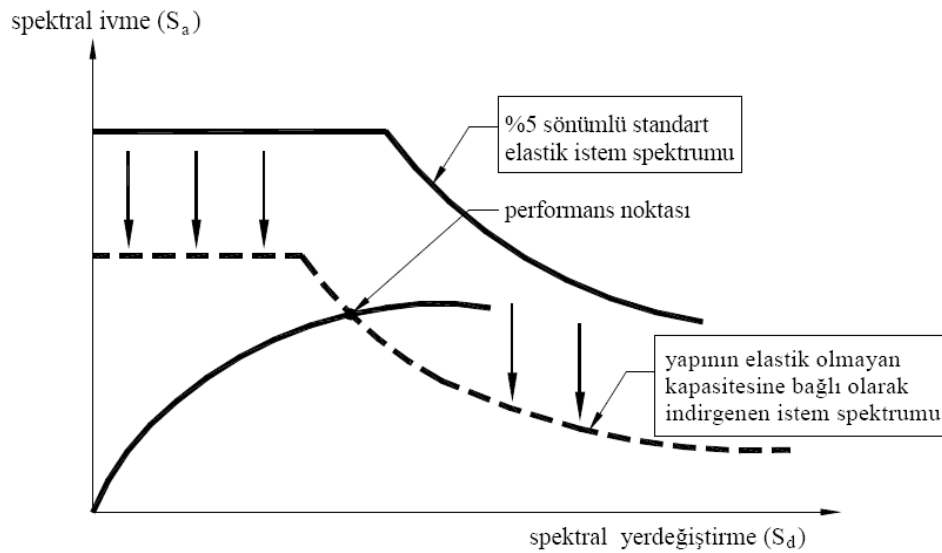
Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yer değiştirme ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanarak, yapının zayıf (yetersiz) elemanları, bunların yerleri ve olası bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir, [5].

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapı performansının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapıya etkitilen yatay deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen seviyeye ulaştığında, gerek dayanım gerekse yer değiştirme ve şekil değiştirmeler bakımından yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yer değiştirme ve şekil değiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı yöntemlerde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir, [5].

Aşağıdaki bölümlerde, yer değiştirme bazlı performans kriterlerini esas alan başlıca değerlendirme yöntemleri ayrıntılı olarak gözden geçirilecektir. [5]

2.5.1 ATC 40 Kapasite Spektrumu Yöntemi

Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem istemini (talebini) azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik istem spektrumu indirgenerek kapasite ve istemin eşit olduğu nokta belirlenir, Şekil 2.3. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yer değiştirme istemi ve performans noktasıdır, Şekil 2.3, [5].



Şekil 2.3 : Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

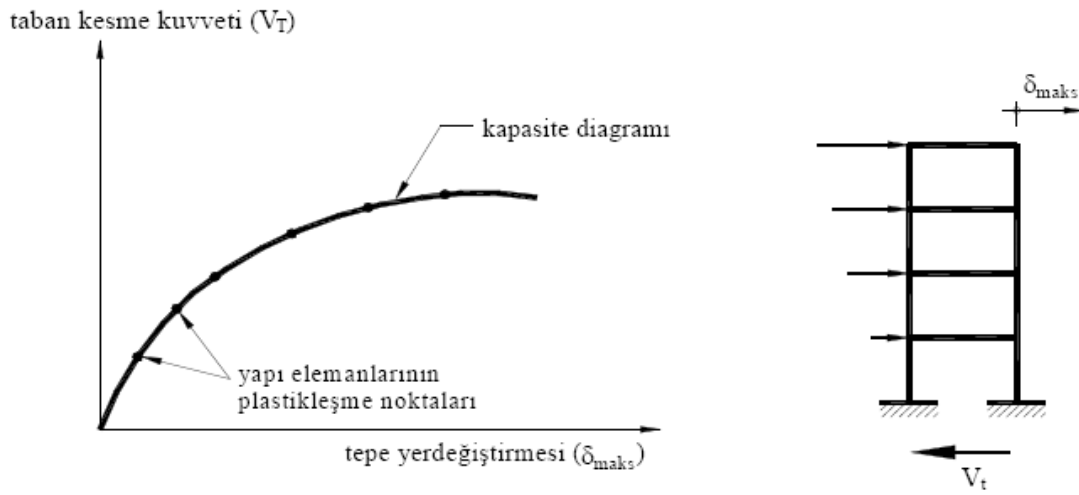
Kapasite eğrisi, Şekil 2.4, istem spektrumu ile karşılaştırılabilmesi için spektral formata dönüştürülür, Şekil 2.5. Ancak, istem spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin de eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı ve modal katılım çarpanı kullanılarak aşağıdaki denklem 2.1 - 2.4 ile yapılabilir, [5].

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g) \right]} \quad (2.1)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (2.2)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g)}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g)} \right] \quad (2.3)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (2.4)$$



Şekil 2.4 : Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

Bu bağıntılarda

S_a : spektral ivme

S_d : spektral yer değiştirme

V_T : toplam taban kesme kuvveti

δ_{maks} : yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi

W : yapının toplam ağırlığı

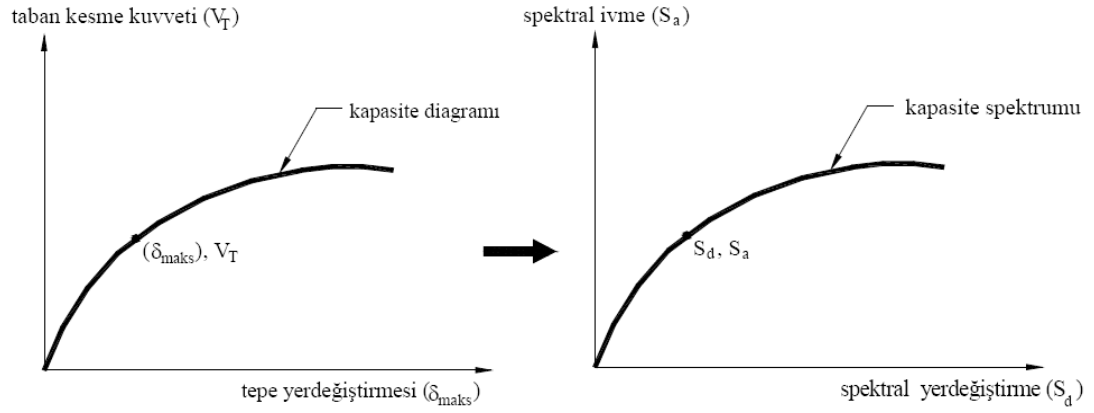
$\phi_{tepe,1}$: birinci normal moda ait en üst kattaki genlik

$\phi_{i,1}$: birinci moda ait (i) numaralı kattaki genlik

N : binanın kat sayısı

w_i / g : i numaralı katın kütlesi

olarak tanımlanmaktadır.



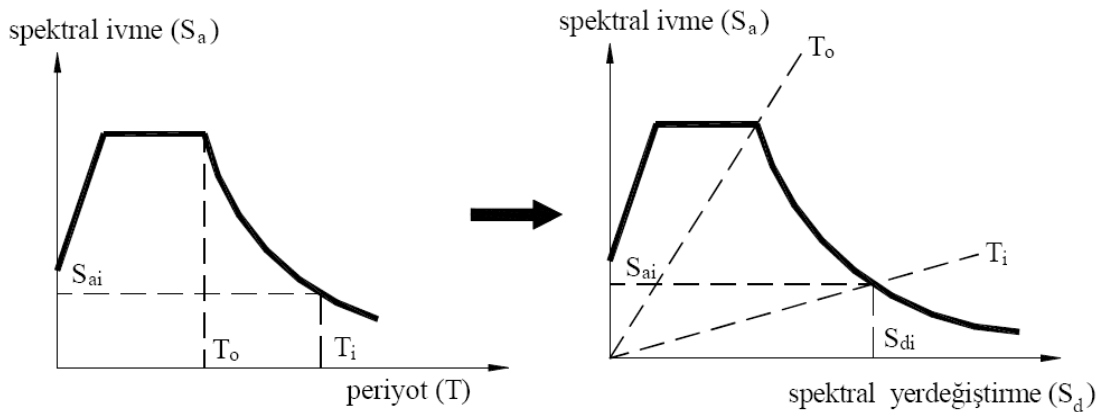
Şekil 2.5 : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite spektrumu ile aynı eksen takımı üzerinde gösterilebilmesi için, elastik istem spektrumunun da spektral ivme – spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmesi gerekir, Şekil 2.6, [5].

Bunun için, spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki denklem 2.5 bağıntısından yararlanılır.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (2.5)$$

Burada T, yapı sisteminin birinci doğal periyotunu göstermektedir.



Şekil 2.6 : İstem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi

Kapasite ve elastik istem spektrumları, aynı spektral ivme – spektral yer değiştirme koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik istem spektrumunun indirgenmesi gerekir. İndirgeme işlemi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır. Etkili sönüm yüzdesi, histeretik ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüme oranı olarak tanımlanır. Viskoz sönüm genellikle % 5 olarak alınmaktadır. Histeretik sönüm ise kapasite spektrumunu içeren histeresizin alanı ile ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir. Kapasite spektrumunun iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesi halinde, etkili sönüm yüzdesi için denklem 2.6 yazılabilir, [5].

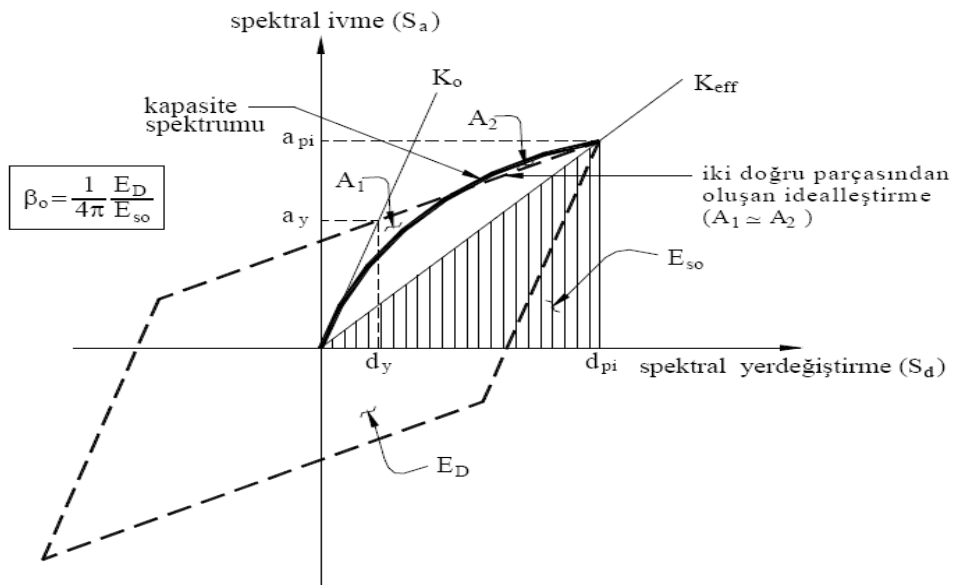
$$\beta_{eq} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (2.6)$$

Bu bağıntıda;

β_{eq} : yüzde olarak ifade edilen etkin sönüm oranını

β_0 : eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönümü

κ : yapının taşıyıcı sistemi ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen ve değeri 0.33 ile 1.00 arasında değişen bir katsayıyı göstermektedir.



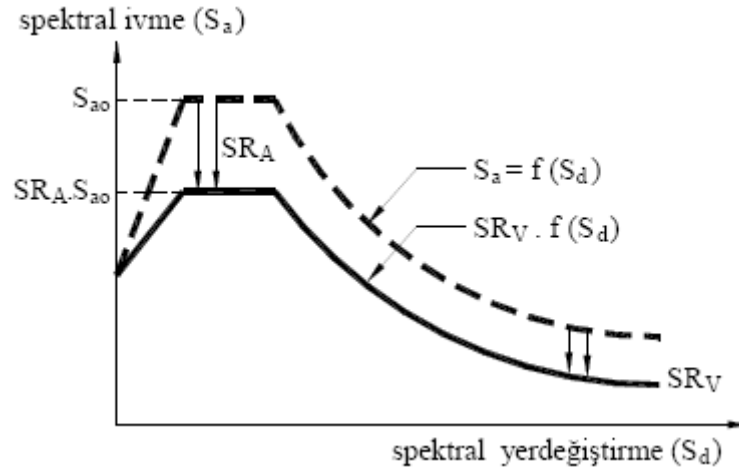
Şekil 2.7 : Histeretik sönüme eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için, performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir. Spektral ivme-spektral yer değiştirme koordinat sisteminde ifade edilen elastik istem spektrumunun yatay koluna ve azalan bölümüne uygulanacak indirgeme katsayıları, etkili sönüm oranına bağlı olarak, sırasıyla

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \geq SR_{A, \min} = 0.33 - 0.56 \quad (2.7)$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \geq SR_{V, \min} = 0.50 - 0.67 \quad (2.8)$$

formülleri ile hesaplanır, [5].



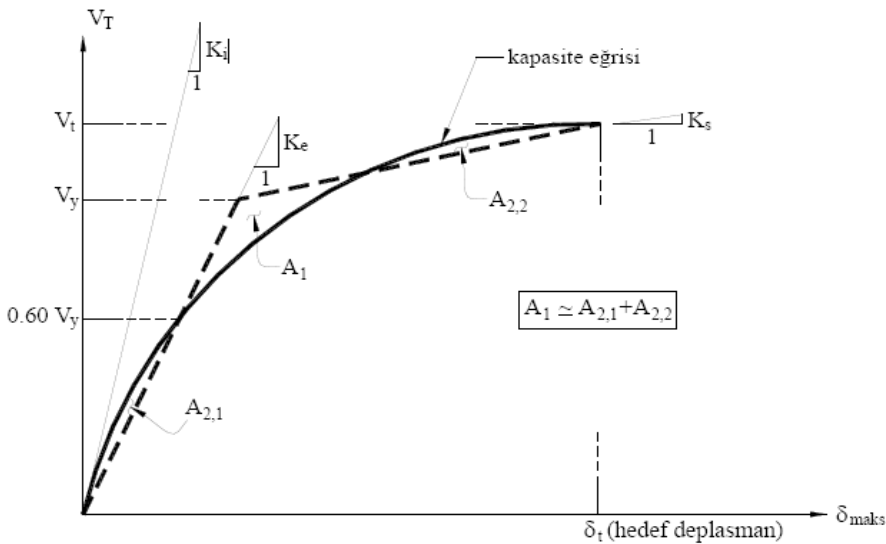
Şekil 2.8 : İndirgenmiş istem spektrumunun elde edilmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş istem spektrumunun kesim noktası, öngörülen deprem etkisi altında yapının performans noktasını vermektedir. Yapının performans noktası bu şekilde bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin performans noktasındaki değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Bu sınır değerler, belirli bir deprem hareketi altında öngörülen performans seviyesinin gerçekleşebilmesi için, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyelerinin üst sınırlarını vermektedir, [1,5].

2.5.2 FEMA 273 Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi

Yer değiştirme katsayısı yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yer değiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda, kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek olmamaktadır, [5].

Yer değiştirme katsayısı yönteminde önce taban kesme kuvveti ile maksimum tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyotuna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir, şekil 2.9. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini keştiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların keşiştiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir, [5].



Şekil 2.9 : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin T_e etkin doğal periyodu, T_i hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyotu göstermek üzere

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.9)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduğundan sonra, hedef yer değiştirme

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.10)$$

formülü ile elde edilir, [5]. Burada;

C_0 : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı

C_1 : Doğrusal elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı

C_2 : Histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı

C_3 : İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı

S_a : Göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir, [5].

Bu katsayı ve büyüklüklerin hesabına yönelik ayrıntılı bilgi FEMA 273 ve 356 dokümanlarında bulunmaktadır, [2,3].

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi, yer değiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yer değiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_t yer değiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir. Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme bulunduğundan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır, [5].

2.6 Kabul Kriterleri

Performans noktasının belirlenmesinden sonra binanın ve elemanların performans noktasındaki sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bina için istenen performans seviyesinde olup olmadığının kontrolü için kabul edilebilir sınırlar açıklanmıştır. Bu sınırlar iki sınıfta toplanabilir;

2.6.1 Bina için genel kabul kriterleri

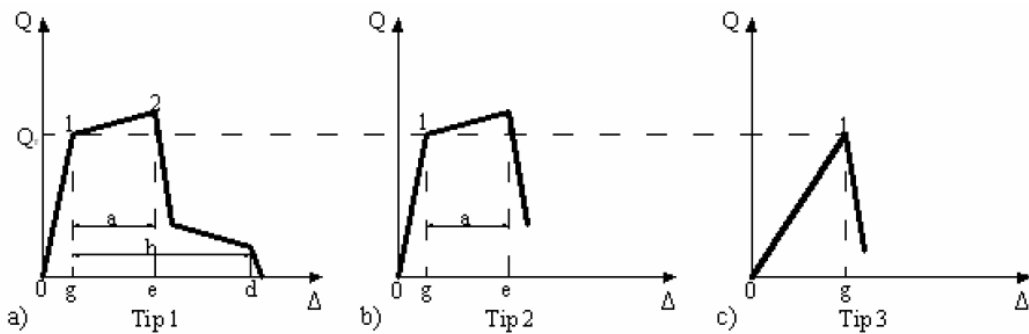
FEMA 273'te [2] moment aktaran çerçeve ve çaprazlı çerçeveler için performans seviyelerine göre verilen yer değiştirme limit değerleri Çizelge 2.10'da görülmektedir.

Çizelge 2.10 : Performans seviyelerine göre yer değiştirme sınırları

Yapı Cinsi	Göçmenin önlenmesi	Can güvenliği	Hemen kullanım
Moment aktaran çerçeve	% 5 geçici veya kalıcı	% 2.5 geçici, % 1 kalıcı	% 0.7 geçici, ihmal edilecek kadar kalıcı
Çaprazlı çerçeveler	% 2 geçici veya kalıcı	% 1.5 geçici, % 0.5 kalıcı	% 0.5 geçici, ihmal edilecek kadar kalıcı

2.6.2 Eleman için kabul kriterleri

Şekil 2.10 farklı davranışlar için, idealleştirilmiş tipik kuvvet-şekil değiştirme eğrilerini göstermektedir, [7].



Şekil 2.10 : Eleman davranış eğrileri

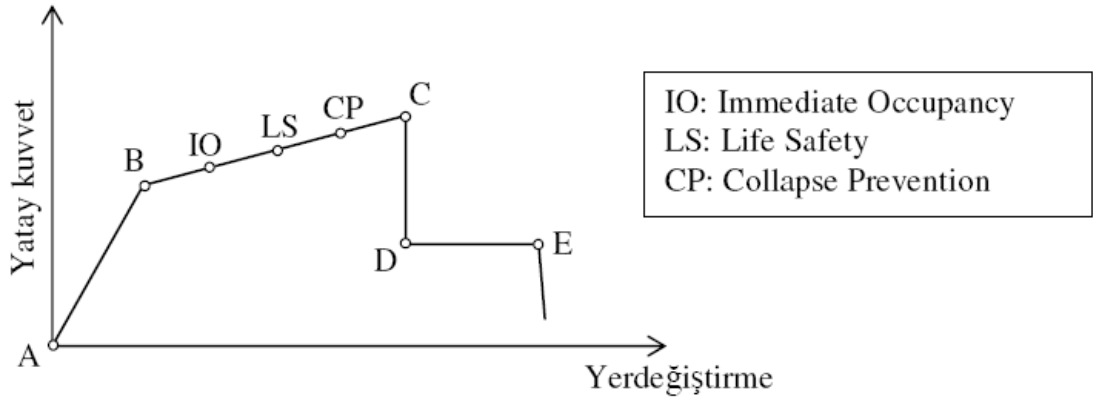
Tip 1 eğrisi sünek davranışı temsil etmektedir. Bu tip eğride elastik davranışı takip eden plastik davranış görülmektedir. Plastik davranış içinde gerilme pekleşmesi gözlemlenebilir. Bu tip davranışa sahip olan birincil elemanlar için kabul kriterleri

tipik olarak performansa seviyesine göre 1-2 noktaları arasında yer almaktadır. Birincil birleşenlerin davranışları gerilme pekleşmesinin yeterli büyüklükte olması ile, $e > 2g$, deplasman kontrollü, diğer durumlarda kuvvet kontrollü olarak değerlendirilmektedir.

Tip 2 eğrisi diğer bir sünek davranışı temsil etmektedir. Bu eğri, elastik sınır ve plastik sınırı takip eden hızlı ve tam dayanım kaybı ile karakterize edilmiştir. Plastik sınırın yeterince büyük olması durumunda, $e > 2g$, deplasman kontrollü diğer durumlarda kuvvet kontrollü olarak değerlendirilmektedir. Bu tip davranışa sahip olan birincil elemanlar için kabul kriterleri tipik olarak performansa seviyesine göre elastik veya plastik sınırlar içinde yer almaktadır.

Tip 3 eğrisi sünek olmayan davranışı temsil etmektedir. Elastik sınırı takip eden ani ve hızlı dayanım kaybı ile karakterize edilmiştir. Bu tip davranış daima kuvvet kontrollü olarak sınıflandırılmıştır. Bu davranış için kabul kriterleri elastik sınır içinde yer almaktadır.

Şekil 2.11 deplasman kontrollü, idealleştirilmiş kuvvet yer değiştirme eğrisi üzerinde performans noktalarını göstermektedir, [7].



Şekil 2.11 : İdealleştirilmiş kuvvet – yer değiştirme eğrisi üzerinde performans noktaları

Yüklenmemiş durum olan A noktası ile akmanın gerçekleştiği B noktası arasında lineer davranış tanımlanmıştır. B noktasından C noktasına kadar olan kısmın eğimi elastik sınırdaki eğimin düşük bir yüzdesi (% 0 - % 10) kadardır ve bu kısma gerilme pekleşmesi adı verilir. C noktasının ordinatı bileşenin dayanımını, apsisi ise gözle görülür dayanım kaybının başladığı şekil değiştirme değerini göstermektedir. D noktasından ötede, bileşen büyük oranda azalan dayanım ile E noktasına kadar

davranışına devam etmektedir. E noktasından sonra bileşenin dayanımı yaklaşık olarak sıfıra eşittir.

İdealleştirilmiş kuvvet - yer değiştirme eğrisi üzerinde belirlenen IO noktası hemen kullanım, LS noktası can güvenliği, CP noktası ise göçmenin önlenmesi performans noktasını göstermektedir. Kabul edilebilir şekil değiştirme veya şekil değiştirme oranlarının sayısal değerleri eleman türlerine göre FEMA 273 [2] dokümanında verilmiştir.

3. YAPI SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYILARININ İNCELENMESİ

Bu bölümde, yapı sistemlerinin hesabında, tasarımda kullanılacak deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayıları incelenecektir. Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007’nde [6] çelik taşıyıcı sistemler için verilen taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve ATC 19 yönetmeliğinde [9] bu katsayıların hesaplanması için verilen metod anlatılacaktır.

3.1 Giriş

Taşıyıcı sistemlerin hesabında kullanılan deprem kuvvetleri, elastik ivme spektrumu ile ilişkili olan kuvvetlerin, deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılması sonucunda belirlenmektedir, [9].

İyi detaylandırılmış bir taşıyıcı sistem, göçmeye ulaşıncaya kadar büyük elastik ötesi deformasyonlar yapabilmektedir. Böylece taşıyıcı sistemler, dizayn dayanımından çok daha yüksek yatay dayanıma sahip olmaktadır. Deprem yükü azaltma katsayısı bu önermeye dayanmaktadır, [9].

3.2 Türk Deprem Yönetmeliği’nde Deprem Yükü Azaltma Katsayıları

DBYBHY 2007’de [6] depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere elastik deprem yükleri, deprem yükleri azaltma katsayısına bölünecektir. Deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Şekil 3.1’de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ’ye ve doğal titreşim periyodu T ’ye bağlı olarak denklem 3.1 ile hesaplanacaktır, [6].

$$\begin{aligned} R_d(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \rightarrow (0 \leq T \leq T_A) \\ R_d(T) &= R \rightarrow (T_A < T) \end{aligned} \tag{3.1}$$

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
<u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u>		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7
<u>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</u>		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar..	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
<u>(3) ÇELİK BİNALAR</u>		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması 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.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Şekil 3.1 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)

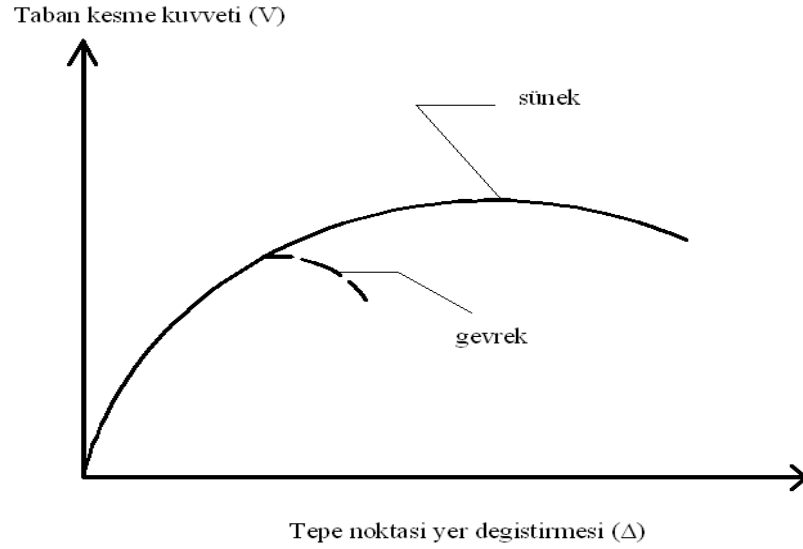
3.3 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Hesaplanması

ATC 19 raporunda [9] taşıyıcı sistem davranış katsayısının hesaplanması için bir metod verilmiştir. Bu metod sayesinde farklı tipte taşıyıcı sistemlerin, kapasite

eğrisinden yola çıkarak, deprem yükü azaltma katsayılarının hesaplanması mümkün olmaktadır.

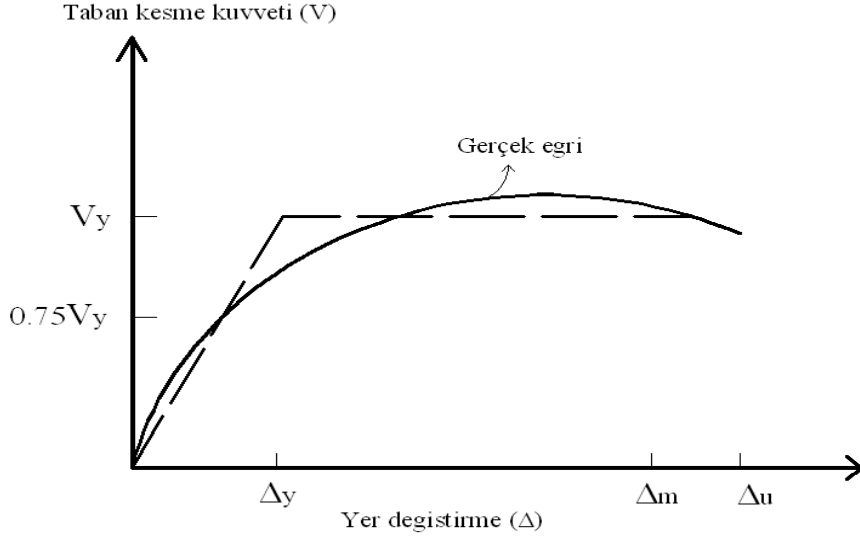
3.3.1 Taşıyıcı sistemlerin kuvvet – yer değiştirme eğrileri

Tipik bir kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.2’de görülmektedir. Dizaynda yapılacak hesapları kolaylaştırmak için bu eğri yaklaşık olarak iki doğrusal çizgi ile idealleştirilmektedir. Bu doğrusal çizgilerden oluşan idealleştirilmiş yaklaşımın belirlenmesi için iki farklı metod yaygın olarak kullanılmaktadır, [9].



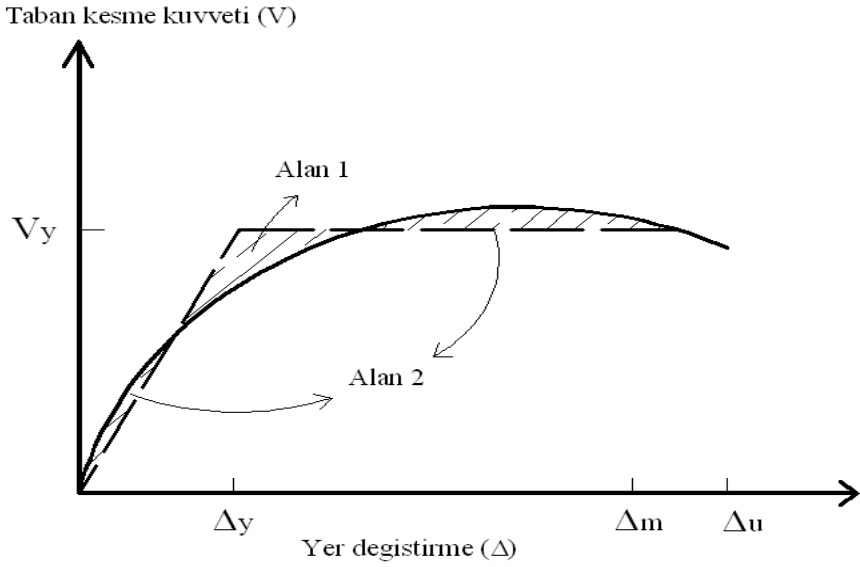
Şekil 3.2 : Tipik taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme ilişkisi

Betonarme yapıların yük – yer değiştirme ilişkisini tanımlamak için geliştirilen ilk yaklaşım, sistemin akmaya ulaştığı noktanın muhtemel değerinin bilindiğini varsaymaktadır. Sistemin elastik rijitliği, akma dayanımının 0.75 katında eğrinin doğrusal yaklaşım ile kesişeceğinin esas alınmasıyla hesaplanmaktadır, Şekil 3.3, [9].



Şekil 3.3 : Doğrusal yaklaşımli kuvvet - yer değıştirme ilişkisi – Paulay & Priestley

Kuvvet- yer değıştirme ilişkisinin doğrusal yaklaşımının ikincisi eşit enerji metodudur. Bu metod, iki doğru ile temsil edilen yaklaşım ile gerçek eğrinin altında ve üstünde kalan alanların eşit olması ilkesine dayanmaktadır, Şekil 3.4, [9].



Şekil 3.4 : Doğrusal yaklaşımli kuvvet - yer değıştirme ilişkisi – eşit enerji

Bu yaklaşımlardaki terimler;

V_y = Akma taban kesme kuvveti

Δ_y = Akma yer değıştirmesi

V_0 = Maksimum kuvvet

Δ_m = Limit durum yer değiştirmesi

Δ_u = Gmeden nceki yer değiştirme

Δ_m ve Δ_u yer değiştirmeleri sünek yapı sistemlerinde akma yer değiştirmesinden çok daha büyük değerler almaktadır. Elastik rijitlik K_0 akma dayanımının akma yer değiştirmesine bölünmesiyle elde edilir. Akmadan sonraki rijitlik denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır, [9].

$$K_1 = \alpha K_0 = \frac{V_0 - V_y}{\Delta_m - \Delta_y} \quad (3.2)$$

Bir taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışta yk taşıyabilme ve enerji yutabilme kabiliyeti süneklik olarak adlandırılmaktadır. Yer değiştirme sünekliliği ise, Δ_m ile Δ_y arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Yer değiştirme süneklik katsayısı denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır, [9].

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \quad (3.3)$$

Bu denklemde Δ_m her zaman Δ_y değerinden daha büyüktür.

3.3.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının bileşenleri

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı için yapılan son çalışmalar, 3 faktörün çarpımından oluşan yeni formülü desteklemektedir, [9]. Bu formülü denklem 3.4'te verilmiştir.

$$R = R_s R_\mu R_R \quad (3.4)$$

Burada R_s periyoda bağlı dayanım katsayısı, R_μ periyota bağlı süneklik katsayısı ve R_R fazlalık katsayısıdır, [9].

3.3.2.1 Dayanım katsayısı

Lineer olmayan analizler ile bir taşıyıcı sistemin dayanımı hakkında fikir sahibi olunabilir. Bir yapının dayanımının hesaplanması için araştırmacının, yapı davranışının limit değerini seçmesi gerekir, [9].

Dayanım katsayısının hesaplanması için verilen adımlar aşağıdaki gibidir, [9];

1. Lineer olmayan statik analizler ile taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi oluşturulur.
2. Eğrinin limit değerine karşı gelen yer değiştirmedeki taban kesme kuvveti değeri hesaplanır. Yapının saklı dayanımı dizayn kesme kuvveti V_d ile V_0 arasındaki farka eşittir.
3. Dayanım katsayısı denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır.

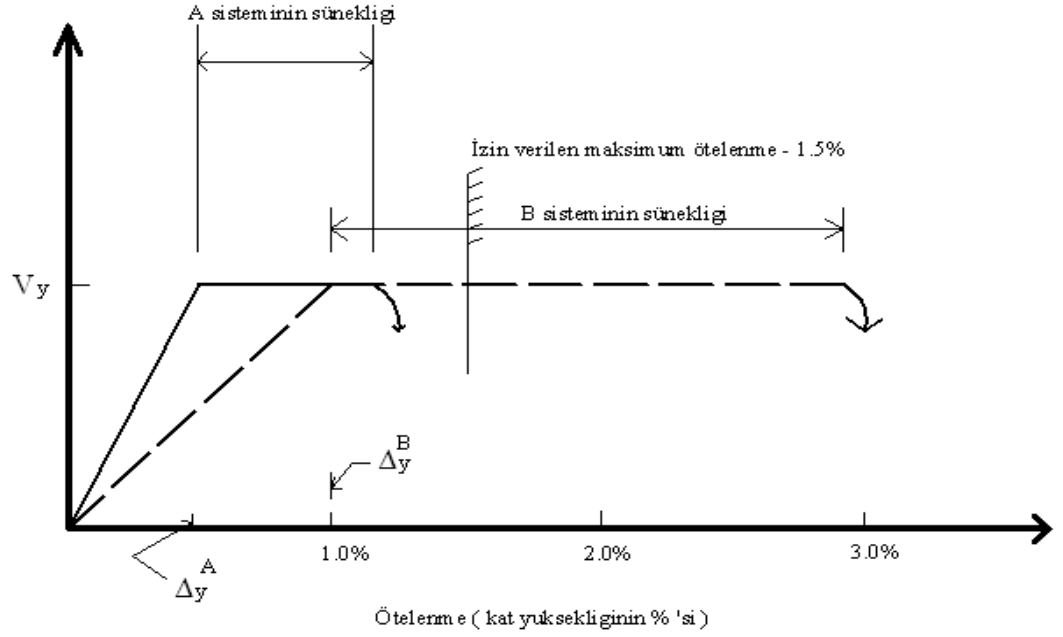
$$R_s = \frac{V_0}{V_d} \quad (3.5)$$

3.3.2.2 Süneklik Katsayısı

Yer değiştirme kapasitesi, süneklik ve süneklik oranı terimleri birbiriyle yakın ilişki içinde olmasına rağmen çoğu zaman karıştırılmaktadır. Örneğin, büyük yer değiştirme kapasitesi olan bir taşıyıcı sistem düşük süneklik ve düşük süneklik oranına sahip olabilmektedir. Bunun yanında küçük yer değiştirme kapasitesi ve sünekliği olan bir taşıyıcı sistem büyük süneklik oranına sahip olabilmektedir, [9].

Şekil 3.5'te verilen iki tek katlı sistemin ilişkisini ele alalım. Akma ötelenmesi oranları A sistemi için % 0.2 ve B sistemi için % 1.0, maksimum ötelenmeler A sistemi için % 1.2 ve B sistemi için % 3 olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.1 de ilgili terimler verilmiştir. Ötelenme sınır değeri % 1.5 olarak ilgili yönetmelikten alınmıştır, [9].

Kuvvet



Şekil 3.5 : İki tek katlı yapı sistemi için süneklik katsayısı kavramının açıklanması

Çizelge 3.1’deki değerler kat yüksekliğinin yüzdesi olarak verilmiştir. Bu veriler özel limitlerin deprem parametrelerini ne kadar etkilediğini göstermektedir. Ötelenmelerin % 1.5 ile sınırlanması ile, esnek olmayan A sistemi daha esnek olan B sistemine göre daha sünek görünmekte ve daha yüksek süneklik oranına sahip olmaktadır. Buna rağmen, eğer ötelenmeler sınırlanmasaydı B sistemi A sistemine göre daha yüksek sünekliğe sahip olacaktı, [9].

Çizelge 3.1 : Tek katlı iki taşıyıcı sistemin deprem parametreleri

Parametre	A sistemi	B Sistemi
Akma ötelenmesi	0.2 %	1.0 %
Ötelenme Kapasitesi	1.2 %	1.5 %
Yer değiştirme sünekliği	1.0 %	0.5 %
Yer değiştirme sünekliği oranı	6,0	1,5

Süneklik oranı (μ) sistem, kat ve eleman seviyesinde hesaplanabilmektedir, [9]. Bu çalışmada yer değiştirme süneklik katsayısı sistem seviyesinde hesaplanacaktır.

Yer değiştirme sünekliğinin güvenilir yaklaşımlarının olduğu varsayımıyla gelecek adımda yer değiştirme sünekliği ile süneklik katsayısı arasında ilişkiler verilecektir. Bu adım son dönemde birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu alışmada, Newmark ve Hall (1982) ile Miranda ve Bertero (1994)’nun çalışmaları anlatılacaktır.

Newmark ve Hall’un araştırması

Newmark ve Hall (1982) süneklik katsayısı R_μ nin belirlenmesi için elasto-plastik tek serbestlik dereceli sistemlerde aşağıda ilişkiyi önermektedir, [9].

0.03 sn’den daha düşük periyotlarda;

$$R_\mu = 1.0 \quad (3.6)$$

0.12 sn ile 0.5 sn aralığındaki periyotlarda;

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (3.7)$$

1 sn üzerindeki periyotlarda

$$R_\mu = \mu \quad (3.8)$$

Aradaki periyot değerleri için lineer enterpolasyon yapılmalıdır.

Miranda ve Bertero’nun araştırması

Miranda ve Bertero (1994) alışmaları sonucunda denklem 3.9’daki ilişkiyi önermektedir, [9].

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \quad (3.9)$$

Burada;

Kaya zeminler için;

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} e^{-1.5(\ln(T) - 0.6)^2}$$

Alüvyon zeminler için;

$$\phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} e^{-2(\ln(T) - 0.2)^2}$$

Yumuşak zeminler için;

$$\phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} e^{-3(\ln(T/T_g) - 0.25)^2}$$

T_g zemin hareketinin baskın periyodudur.

3.3.2.3 Fazlalık Katsayısı

Fazla deprem dayanımına sahip taşıyıcı sistemler birden çok düşey çizgiden oluşmalıdır, her düşey çizginin kestiği bölge yükleri temel aktaracak şekilde iyi detaylandırılmalıdır, [9].

Yeterli fazlalık için, yapının her temel doğrultusunda en az 4 tane düşey deprem çerçevesi olmalıdır, [9].

Çizelge 3.2 de verilen değerler son zamanlardaki yönelimi göstermektedir. Bu tablo araştırmacı ve projecilerin tartışmaları sonucunda ortaya çıkan ve araştırmaya açık değerlerdir. Bu tablodaki değerler herhangi bir teknik temele dayanmamaktadır ve deprem yönetmeliklerindeki uygulamalara yönelik değildir, [9].

Çizelge 3.2 : Ötelenme fazlalık katsayıları

Düşey Deprem Çerçevesi Sayısı	Ötelenme Fazlalık Katsayısı
2	0.71
3	0.86
4	1.00

4. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİZİ VE SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde DBYBHY 2007’de [6] tasarım koşulları verilen çelik taşıyıcı sistemlerin DBYBHY 2007’ye ve TS 648 Çelik Yapılar Standart’ına [10] uygun olarak boyutlandırılması anlatılacak, örnek kesitler için hesap adımları gösterilecektir. Hesaplar sonucunda taşıyıcı elemanları belirlenen sistemlerin statik itme analizi ile kapasite eğrileri oluşturulacak ve performans noktaları belirlenecektir. Ayrıca yapıların performans noktasındaki durumları değerlendirilecektir.

Son olarak hesaplara konu olan 4 çelik taşıyıcı sistemin taşıyıcı sistem davranış katsayıları hesaplanacak ve Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007 [6] ile uyumu irdelenecektir

4.1 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Seçimi

Bu tez çalışmasında, deprem davranışlarının incelenmesi için, aşağıda taşıyıcı sistem özellikleri verilen 4 farklı tipte sistem seçilmiştir.

Sistem 1: Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı perdelerden oluşan 5 katlı çelik bina

Sistem 2 : Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan çelik bina

Sistem 3: Her iki doğrultuda süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perdelerden oluşan çelik bina

Sistem 4: Her iki doğrultuda süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan çelik bina

4.2 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Modellenmesi

Taşıyıcı sistemlerin modellenmesi ve lineer analizleri SAP 2000 [11] paket programı kullanılarak yapılacaktır. SAP 2000 programında bir yapının modellenmesi ve analizi için gerekli adımlar aşağıda açıklanmıştır, [12].

1. İlk olarak sistemin geometrisi programa girilir. Kat yükseklikleri, aks aralıkları ve aks açıklıkları programa girilerek model geometrisi oluşturulur.
2. Seçilen yapı elemanlarının malzemesi tanımlanır ve malzemenin mekanik özellikleri sisteme girilir. Yapı elemanlarının kesit özellikleri ve ölçüleri sisteme tanımlanır.
3. Daha önce tanımlanan yapı taşıyıcı elemanlarının kesit özellikleri ilgili elemanlara atanır.
4. Taşıyıcı elemanların mesnetlenme koşulları sisteme tanımlanır.
5. Statik yükler programa tanımlanır.
6. Tanımlanan statik yükler, taşıyıcı elemanlara ve düğüm noktalarına atanır.
7. Son olarak sistem çözülür ve kesit tesirleri programdan okunur.

4.3 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Lineer Analizleri Ve Boyutlandırılması

4 farklı çelik taşıyıcı sistemin analizleri ve kesitlerin boyutlandırılması bu bölümde anlatılacaktır.

4.3.1 Taşıyıcı Sistemlerin Ortak Özellikleri

Taşıyıcı sistemler için belirlenen ortak özellikler şunlardır:

1. Bina yükseklikleri her kat için aynı ve 3 metre olarak seçilmiştir. 5 katlı seçilen yapıların toplam yüksekliği 15.00 metre'dir.
2. Sistemler her iki doğrultuda 6 metre açıklıklı ve toplam 36 metre genişliktedir.

3. Yapı düşey yükleri;

Çatı döşemesi;

Ölü yük - $g = 4.3 \text{ kN} / \text{m}^2$

Hareketli Yük - $q = 1.0 \text{ kN} / \text{m}^2$

Normal kat döşemesi

Ölü yük - $g = 4.9 \text{ kN} / \text{m}^2$

Hareketli Yük - $q = 2.0 \text{ kN} / \text{m}^2$

Dış Duvar Yüğü

Normal Katlarda $g_d = 3.0 \text{ kN} / \text{m}^2$

4. Yapıların, İstanbul il sınırları içinde, 1. Derece deprem bölgesinde ve yerel zemin sınıfı 2 üzerinde inşa edileceğı öngörölmüştür. Buna göre;

Etkin yer ivmesi katsayısı : 0.40

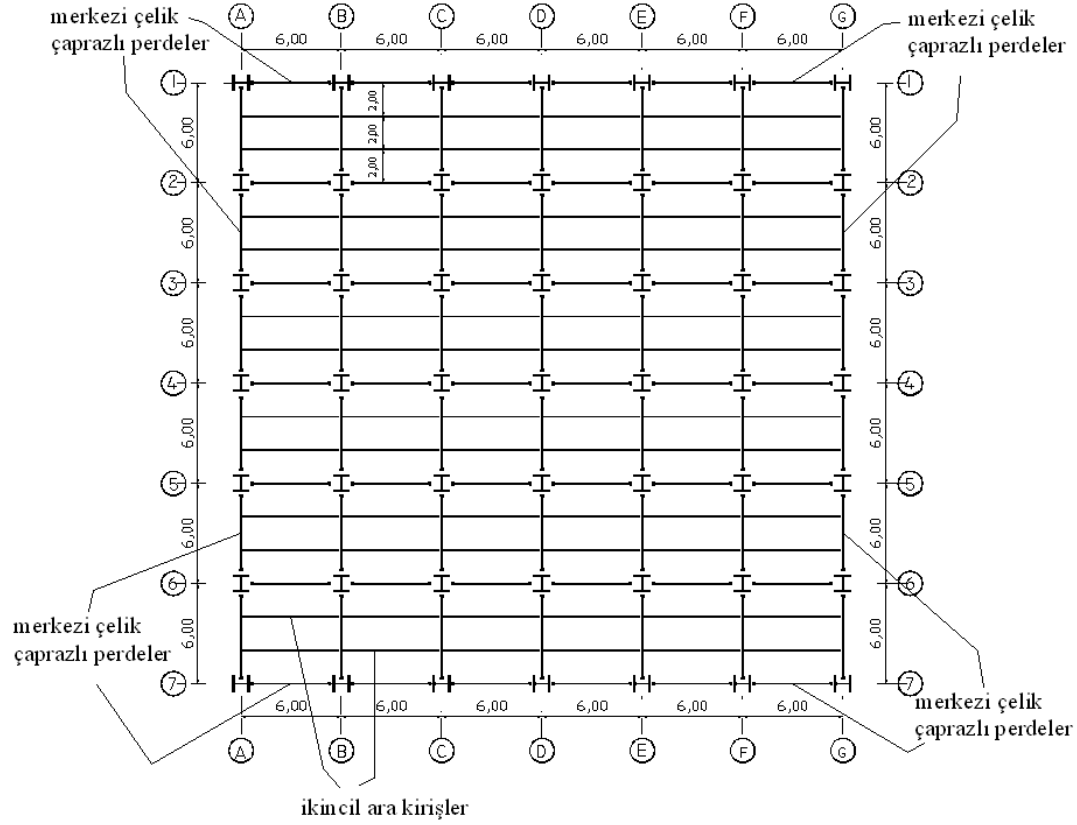
Yerel zemin sınıfı : Z2 ($T_A = 0.15 \text{ sn}$, $T_B = 0.40 \text{ sn}$)

Yapı önem katsayısı : $I = 1.00$

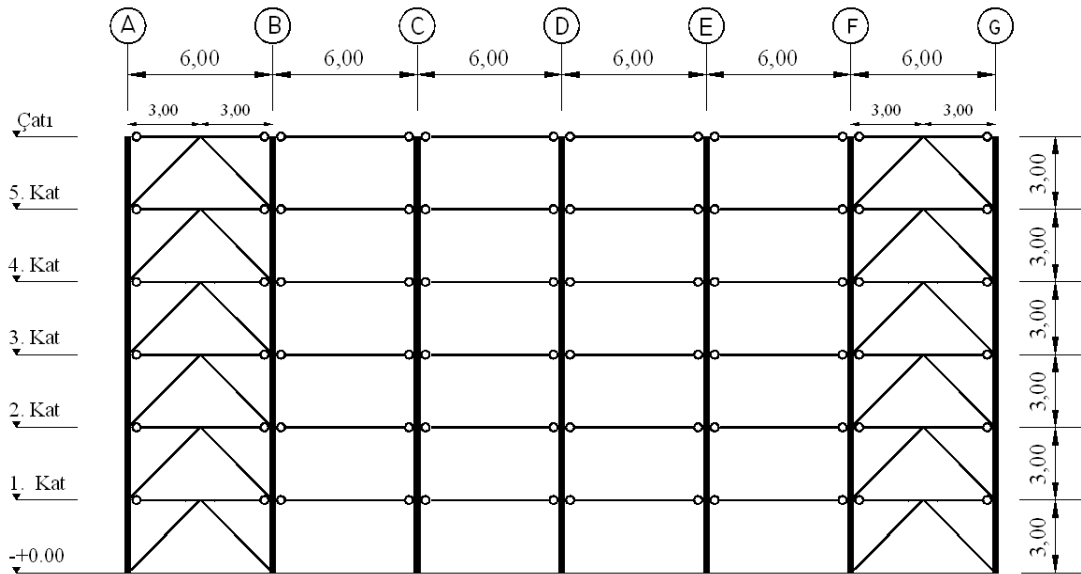
Kullanılan yapı çeliğı : Fe 37

4.3.2 Sistem 1'in analizleri ve boyutlandırılması

Sistem 1 ve Sistem 3 için ortak olarak verilen plan görünüşü ve x-z düzlemindeki cephe görünüşü verilmiştir, Şekil 4.1, Şekil 4.2.



Şekil 4.1 : Sistem 1 ve Sistem 3'ün plan görünüşü



Şekil 4.2 : Sistem 1 ve Sistem 3'ün x-z düzlemindeki cephe görünüşü

4.3.2.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar

Bu bölümde; her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, DBYBHY 2007’de [6] tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlardan oluşan sistemin tasarımına ait başlıca sonuçlar ve tipik elemanlarının boyutlandırma ve detay hesapları açıklanacaktır, [13].

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profili sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen kayma çivilerinden (stud) yararlanılmıştır. Bu sistemde çelik kirişlerin, düşey yükler altında, betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışması dikkate alınmamaktadır, [13].

2.0 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Benzer şekilde, akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları da mafsallı olacaktır. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele mafsallı olarak mesnetlendiği göz önünde tutulacaktır, [13].

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları Avrupa norm profilleri (kirişler için IPE ve profilleri, kolonlar için HEB ve HEA profilleri) kullanılarak boyutlandırılacaktır. Düşey düzlem çaprazları ise kare kesitli kutu profillerle teşkil edilecektir. Seçilen kesitler Çizelge 4.6’da verilmektedir.

4.3.2.2 Binanın birinci doğal titreşim periyotunun belirlenmesi

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasında, binanın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotları denklem 4.1 ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır, [13].

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

Bu denklemde m_i toplam kat kütlelerini göstermektedir ve w_i , g_i , q_i sırasıyla toplam kat ağırlıkları ile katların toplam sabit ve hareketli yükleri olmak üzere

$$m_i = \frac{w_i}{g} = \frac{1}{g} [g_i + nq_i] \quad (4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır, [13]. Kat ağırlıkları ve kütleleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kat kütleleri

Kat Ağırlıkları ve Kat Kütleleri		
Kat	wi (kN)	mi (kNs2/mt)
Çatı	5961.6	607.7
4	7560.0	770.6
3	7560.0	770.6
2	7560.0	770.6
1	7560.0	770.6
Toplam	36201.6	3690.3

Denklem 4.1’deki F_{fi} fiktif kuvvetleri kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve denklem 4.3 ile hesaplanabilirler, [13].

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} F_0 \quad (4.3)$$

Burada F_0 , seçilen herhangi bir yük katsayısını göstermektedir ve bu uygulamada $F_0=1000$ kN olarak alınacaktır. Bu şekilde hesaplanan F_{fi} fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen d_{fix} yatay kat yer değiştirmeleri Çizelge 4.2’nin üçüncü kolonunda görülmektedir. Bu büyüklükler denklem 4.1’de yerine konularak yapı sisteminin x doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu hesaplanır, [13].

Çizelge 4.2 : Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri

Kat	F_{fi} (kN)	d_{fix} (m)	m_i	$m_i d_{fix}^2$	$F_{fi} d_{fix}$
Çatı	282.8	0.004	607.7	0.00972	113.115
4	286.9	0.0033	770.6	0.00839	0.94672
3	215.2	0.0024	770.6	0.00444	0.51639
2	143.4	0.0015	770.6	0.00173	0.21516
1	71.7	0.0007	770.6	0.00038	0.05020
Toplam	1000.0			0.02467	285.963

(x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu

$$T_{1x} = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fix}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fix}} \right]^{1/2} = 0.583 \text{ s}$$

olarak bulunur. Diğer doğrultudaki periyot da sistemin simetrik olması nedeniyle aynı değerde hesaplanmıştır.

4.3.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı

Deprem etkileri altında uygulanacak hesap yönteminin seçimine ilişkin olarak, DBYBHY 2007'ye [6] göre bina yüksekliğinin 40 metreden az olması, taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanacaktır, [13].

DBYBHY 2007'ye [6] göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t , denklem 4.4 ile belirlenecektir, [13].

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_d(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (4.4)$$

Binanın (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti

$$T_{1x} = 0.583 \text{ s} > 0.40 \text{ s} = T_B$$

için

$$S(T_{1x}) = 2.5 \left(\frac{0.40}{0.583} \right)^{0.8} = 1.848 \text{ ve } R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 5$$

Değerleri denklem 4.4'te yerine konularak

$$V_{tx} = 36201.6 \times \frac{0.40 \times 1.0 \times 1.848}{5} = 5354.5 \text{ kN}$$

Şeklinde hesaplanır. (y) doğrultusundaki taban kesme kuvveti de 5354.5 kN olarak hesaplanır.

4.3.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

DBYBHY 2007'ye [6] göre eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü, ΔF_N , (x) ve (y) doğrultuları için

$$\Delta F_{Nx} = 0.0075NV_{tx} = 0.0075 \times 5 \times 5354.5 = 200.8kN$$

$$\Delta F_{Ny} = 0.0075NV_{ty} = 0.0075 \times 5 \times 5354.5 = 200.8kN$$

şeklinde hesaplanır, [13].

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N tepe kuvveti dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına denklem 4.5 ile dağıtılacaktır, [13].

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (4.5)$$

(x) ve (y) doğrultuları için

$$F_{ix} = (5354.54 - 200.8) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \text{ ve } F_{iy} = (5354.54 - 200.8) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

denklemleri ile hesaplanan F_{ix} ve F_{iy} eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.3'te topluca verilmiştir. En üst kat döşemesine etkiyen eşdeğer deprem yükleri, ΔF_N tepe kuvvetlerini de içermektedir, [13].

Çizelge 4.3 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	$w_i H_i / \sum W_i H_i$	$F_{ix} (kN)$	$F_{iy} (kN)$
Çatı	0.282787	1658.21	1658.21
4	0.286885	1478.53	1478.53
3	0.215164	1108.90	1108.90
2	0.143443	739.27	739.27
1	0.071721	369.63	369.63
Toplam	1	5354.54	5354.54

4.3.2.5 Deprem yüklerinin etkime noktaları

DBYBHY 2007'ye [6] göre burulma düzensizliğinin bulunmadığı binalarda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin, ek dışmerkezliğinin hesaba katılabilmesi amacı ile göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5'i ve - % 5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanması öngörülmektedir. (x) ve (y) doğrultularındaki eş dışmerkezlikler

$$e_x = \pm 0.05 \times 36.00 = \pm 1.8m \text{ ve } e_y = \pm 0.05 \times 36.00 = \pm 1.8m$$

değerlerini alırlar, [13].

Not: İncelenen bu binada kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışması nedeniyle, eşdeğer deprem yüklerinin sadece kütle merkezinin $\pm$ % 5 ek dışmerkezlik kadar kaydırıldığı noktalara etkitilmesi yeterli olmakta, ayrıca kat kütle merkezine uygulanması gerekmemektedir, [13].

4.3.2.6 Rüzgar yükleri

Rüzgar Yükleri, TS 498'e [14] göre belirlenecektir. Rüzgar doğrultusundaki dik olan yüzeye yayılı olarak etkiyen rüzgar yükleri, kat döşemelerine etkiyen statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılacaktır, [13].

$$W_i = c_f q A_i \quad (4.6)$$

Bir kat döşemesine etkiyen kuvvet denklem 4.6 ile hesaplanır. Burada

c_f : aerodinamik yük katsayısıdır. Plandaki izdüşümü dikdörtgen olan ve yükseklik/genişlik oranı 5'i aşmayan bina türü yapılarda $c_f=1.2$ değerini almaktadır.

q : nominal rüzgar basıncıdır. Bina yüksekliğine bağlı olarak

$$0 < H \leq 8m \quad \text{için} \quad q = 0.5kN / m^2$$

$$8.0m < H \leq 20.0m \quad \text{için} \quad q = 0.8kN / m^2$$

$$20.0 < H \leq 100m \quad \text{için} \quad q = 1.1kN / m^2$$

bağıntıları ile hesaplanır, [13].

A_f : kat döşemesine rüzgar yükü aktaran alandır ve rüzgar doğrultusuna dik olan yüzey genişliği ile ardışık iki katın yüksekliklerinin ortalamasının çarpımı ile elde edilir.

Buna göre (x) doğrultusunda yapıya etkiyen rüzgar yükleri

$$W_{1x} = 1.2 \times 0.5 \times 36 \times 3 = 64.8 kN$$

$$W_{2x} = 1.2 \times 36 \times \left(0.5 \times \left(1.5 + \frac{2}{3} \right) + 0.8 \times \left(1 \times \frac{0.5}{3} \right) \right) = 66.96 kN$$

$$W_{3x} = 1.2 \times 36 \times \left(0.5 \times \left(2 \times \frac{1}{3} \right) + 0.8 \times \left(1 \times \frac{2.5}{3} + 1.5 \right) \right) = 95.04 kN$$

$$W_{4x} = 1.2 \times 36 \times 0.8 \times 3 = 103.68 kN$$

$$W_{5x} = 1.2 \times 36 \times 0.8 \times 1.5 = 51.84 kN$$

değerlerini almaktadır, [13].

Not: Nominal rüzgar basıncının değer değiştirdiği katın altındaki ve üstündeki döşemelere etkiyen rüzgar kuvvetleri, yayılı rüzgar yüklerine statikçe eşdeğer kuvvetler olarak hesaplanmışlardır, [13].

(y) doğrultusundaki rüzgar yükleri (x) doğrultusundaki değerler ile aynıdır.

4.3.2.7 Yük birleşimleri

Yapı sisteminin düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, DBYBHY 2007'ye [6] ve TS 648 Çelik Yapılar Standardı'na [10] uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirileceklerdir, [13].

Düşey yük birleşimleri

$$G + Q \text{ (1 Yükleme)}$$

Düşey yük + deprem birleşimleri

$$G + Q \pm E_{x1} \pm 0.3E_y \text{ (32 Yükleme)}$$

$$G + Q \pm E_{x2} \pm 0.3E_y$$

$$G + Q \pm 0.3E_x \pm E_{y1}$$

$$G + Q \pm 0.3E_x \pm E_{y2}$$

$$0.9G \pm E_{x1} \pm 0.3E_y$$

$$0.9G \pm E_{x2} \pm 0.3E_y$$

$$0.9G \pm 0.3E_x \pm E_{y1}$$

$$0.9G \pm 0.3E_x \pm E_{y2}$$

Düşey yük + rüzgar birleşimleri

$$G + Q \pm W_x \text{ (8 Yükleme)}$$

$$G + Q \pm W_y$$

$$0.9G \pm W_x$$

$$0.9G \pm W_y$$

Burada

G: Sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler

Q: Hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler

E_{x1}, E_{x2} : (x) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5'i ve - % 5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

E_{y1}, E_{y2} : (y) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5'i ve - % 5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

W_x, W_y : Sırasıyla (x) ve (y) doğrultusundaki rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetlerdir, [13].

DBYBHY 2007'ye [6] göre, yönetmeliğin gerekli gördüğü yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında, artırılmış deprem yüklemeleri göz önüne alınacaktır. Artırılmış deprem yüklemelerinde, deprem etkilerinde oluşan iç kuvvetler Ω_0 büyütme katsayıları ile çarpılarak artırılacaktır. DBYBHY 2007'ye [6] göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için büyütme katsayısı $\Omega_0 = 2.0$ değerini almaktadır, [13].

TS 648 Çelik Yapılar Standardı'na [10] ve DBYBHY 2007'ye [6] göre, emniyet gerilmeleri yöntemine göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri düşey yük + rüzgar yüklemeleri için % 15, düşey yük + deprem yüklemeleri için % 33 arttırılacaktır. Birleşim ve eklerin tasarımında ise, her iki yükleme durumu için emniyet gerilmeleri % 15 arttırılacaktır, [13].

4.3.2.8 Sistem analizleri

Ön boyutlandırma sonucunda enkesit profilleri belirlenen yapı sisteminin, yukarıdaki bölümlerde hesaplanan düşey yükler ile deprem ve rüzgar yükleri altında analizi yapılmış ve toplam 41 adet yük birleşimi için eleman iç kuvvetleri elde edilmiştir, [13].

4.3.2.9 Göreli kat ötelenmelerinin kontrolü

Görelî kat ötelenmelerinin kontrolü DBYBHY 2007'ye [6] göre yapılacaktır.

Herhangi bir kolon için, ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelenmesi, Δ_i , denklem 4.7 ile hesaplanır, [13].

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.7)$$

Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yer değıştirmeleri göstermektedir. Bu uygulamada, her bir deprem doğrultusu için d_i kat yer değıştirmelerinin en büyük değeri, sayısal değeri Çizelge 4.3'te verilen ve % 5 ek dışmerkezlikle uygulanan azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelmektedir, [13].

Her bir deprem doğrultusunda, binanın i'inci katındaki kolonlar için etkin göreli kat ötelenmesi, δ_i , denklem 4.8 ile hesaplanır, [13].

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (4.8)$$

(x) ve (y) doğrultularında % 5 ek dışmerkezlik uygulanan azaltılmış E_{x1} ve E_{y1} deprem yükleri altında, yapı sisteminin analizi ile elde edilen d_{ix} ve d_{iy} yatay yer değiştirmelerinin her katta aldığı değerler Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'in üçüncü kolonunda, ardışık katlar arasındaki azaltılmış görelî kat ötelenmeleri ise tabloların dördüncü kolonunda verilmiştir. Hesaplarda, ana deprem doğrultusundaki deprem yüklerinden dolayı, bu doğrultuya dik doğrultudaki yer değiştirmelerin bileşke yer değiştirmeye etkisi terk edilmiştir. Her iki doğrultudaki simetri nedeniyle burulma düzensizliği bulunmayan bu binada, söz konusu varsayımın yer değiştirmelere etkisi % 1'den daha küçük olmaktadır, [13].

Çizelge 4.4 : (x) Doğrultusunda görelî kat ötelenmelerinin kontrolü

Kat	$h_i (cm)$	$d_{ix} (cm)$	$\Delta_{ix} (cm)$	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix} (cm)$	δ_{ix} / h_i
Çatı	300	20.500	0.3900	19.500	0.0065
4	300	16.600	0.4600	23.000	0.0077
3	300	12.000	0.4600	23.000	0.0077
2	300	0.7400	0.4200	21.000	0.0070
1	300	0.3200	0.3200	16.000	0.0053

Çizelge 4.5 : (y) Doğrultusunda görelî kat ötelenmelerinin kontrolü

Kat	$h_i (cm)$	$d_{iy} (cm)$	$\Delta_{iy} (cm)$	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy} (cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	20.500	0.3900	19.500	0.0065
4	300	16.600	0.4600	23.000	0.0077
3	300	12.000	0.4600	23.000	0.0077
2	300	0.7400	0.4200	21.000	0.0070
1	300	0.3200	0.3200	16.000	0.0053

Her bir deprem doğrultusu için, binanın her katındaki azaltılmış görelî kat ötelenmeleri söz konusu deprem doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayısı, R ile çarpılarak δ_i etkin görelî kat ötelenmeleri hesaplanmış ve tabloların beşinci kolonuna yazılmıştır. Bu değerlerin kat yüksekliklerine oranı ise tabloların son kolonunda yer almaktadır, [13].

Tablolardan görüldüğü gibi, δ_{iy} / h_i oranlarının en büyük değerleri, (x) ve (y) doğrultularında,

$$(\delta_{ix} / h_i)_{maks} = 0.0077 < 0.02 \quad (\delta_{iy} / h_i)_{maks} = 0.0077 < 0.02$$

olmakta ve DBYBHY 2007'de [6] öngörülen koşulu sağlamaktadır.

4.3.2.10 İkinci mertebe etkileri

DBYBHY 2007 [6] uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (4.9)$$

koşulu kontrol edilecektir, [13]. Bu bağıntıda

$(\Delta_i)_{ort}$: i'inci kat için yukarıdaki bölümde tanımlanan azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin kat içindeki ortalama değerini

V_i : göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kesme kuvvetini

h_i : binanın i'inci katının yüksekliği

w_j : binanın j'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir, [13].

Kat döşemesinin rijit diyafram olarak çalıştığı bu binada, E_{x1} ve E_{x2} yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin ortalaması, (x) doğrultusu için $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir. Benzer durum (y) doğrultusu için de geçerlidir, [13].

Her iki deprem doğrultusu için, bütün katlarda denklem 3.9 koşulunun sağlanması durumunda, ikinci mertebe etkileri TS648 Çelik Yapılar Standardı'na [10] uygun olarak değerlendirilecektir. Bu koşulun herhangi bir katta sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır, [13].

Her iki deprem doğrultusu için her katta hesaplanan θ_i parametresinin en büyük değeri (y) doğrultusunda 2. katta meydana gelmektedir.

$$(\Delta_{1y})_{ort} = ((d_{1y})_{ort} - (d_{0y})_{ort}) = 0.73 - 0.18 = 0.54 \text{ cm}$$

$$\sum_{j=1}^5 w_j = 4 \times 7560 + 5961.6 = 36201.6 \text{ kN}$$

$$V_{1y} = 5354.54 \text{ kN}$$

$$h_1 = 300 \text{ cm}$$

olmak üzere

$$\theta_{maks} = \theta_{1y} = \frac{0.54 \times 36201.6}{300 \times 5354.54} = 0.0121 < 0.12$$

koşulunu sağladığından, ikinci mertebe etkilerinin TS 648 Çelik Yapılar Standardı'na [10] göre değerlendirilmesi yeterlidir, [13].

4.3.2.11 İkincil döşeme kirişlerinin boyutlandırılması

Ana çerçeve kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenen ve deprem yükleri etkisinde olmayan normal kat ikincil döşeme kirişlerinin düşey yükler altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır, [13].

Düşey ve hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)

$$M_{maks} = 62.1 \text{ kNm}$$

$$T_{maks} = 41.4 \text{ kN}$$

değerlerini almaktadır.

Seçilen kiriş kesiti (IPE 300) için gerekli enkesit karakteristikleri:

$$W_x = 557 \text{ cm}^3, I_x = 8356 \text{ cm}^4, S_x = 314 \text{ cm}^3, t_w = 7.1 \text{ mm}$$

Normal gerilme tahkiki:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{62.1 \times 10^6}{557 \times 10^3} = 111.4 \text{ N/mm}^2 < 141 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{em}$$

Kayma gerilmesi tahkiki:

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{41.4 \times 314 \times 10^6}{8356 \times 10^4 \times 7.1} = 21.0 \text{ N/mm}^2 < 82 \text{ N/mm}^2 = \tau_{em}$$

Sehim tahkiki:

$$f_{maks} = 1.327 \text{ cm} , L = 600 \text{ cm}$$

$$\frac{f_{maks}}{L} = \frac{1.327}{600} = \frac{1}{452} < \frac{1}{300}$$

4.3.2.12 Ana çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması

1. Kat A aksı çerçevesi 2-3 aksları arası en elverişsiz yükleme olan düşey yükler + deprem (DY1) yüklemesi için gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.

DY1 yüklemesi altında kiriş mesnedinde oluşan iç kuvvetler

$$M_{G+Q+E} = 29.3 \text{ kNm}$$

$$N_{G+Q+E} = 716 \text{ kN}$$

$$T_{G+Q+E} = 45.3 \text{ kN}$$

değerlerini almaktadır.

Seçilen kiriş (IPE 360) için enkesit karakteristikleri:

$$A = 72.7 \text{ cm}^2 , W_x = 904 \text{ cm}^3 , I_x = 16270 \text{ cm}^4 , S_x = 510 \text{ cm}^3 , i_x = 15.0 \text{ cm} , i_y = 3.79 \text{ cm}$$

Enkesit boyutları:

başlık genişliği : $b = 170 \text{ mm}$, başlık kalınlığı : $t = 12.7 \text{ mm}$

enkesit yüksekliği : $d = 360 \text{ mm}$, gövde kalınlığı : $t_w = 8 \text{ mm}$

gövde yüksekliği : $h = 334.6 \text{ mm}$, başlık alanı : $F_b = 21.6 \text{ cm}^2$

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kirişleri için DBYBHY 2007’de [6] verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının sınır değerleri aşmaması gerekmektedir, [13].

Kiriş enkesitinde yerel burkulmanın önlemesini amaçlayan bu koşullar denklem 4.10’da verilmiştir.

$$\frac{b/2}{t} \leq 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad \text{ve} \quad \frac{h}{t_w} \leq 3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad (4.10)$$

$$\text{Fe 37 çeliği için } \sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29.62$$

değeri yukarıdaki ifadelerde yerlerine konularak

$$\frac{85}{12.7} = 6.69 < 0.3 \times 29.62 = 8.89 \text{ ve } \frac{334.6}{8} = 41.83 < 3.2 \times 29.62 = 94.78$$

elde edilir ve yukarıdaki koşulları sağladığı görülür.

Betonarme döşemenin kompozit etkisi nedeniyle kiriş üst başlığının yanal burkulması önlenmektedir. Buna karşılık, negatif mesnet momenti etkisinde, kiriş alt başlığının yanal burkulma tahkiki yapılacaktır, [13].

TS 648 Standardı'na [10] göre, basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi denklem 4.11 ile hesaplanır, [13].

$$\sigma_b = \frac{840000 \times C_b}{s \times d / F_b} \leq 0.6 \times \sigma_a \quad (4.11)$$

Bu denklemde;

s : kiriş basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık s = 200 cm

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \text{ şeklinde hesaplanan bir katsayıdır.}$$

Emniyetli yönde kalmak üzere, $M_1 / M_2 = -1$ için hesaplanan $C_b = 1.00$ değeri yukarıdaki denklemde yerine konularak

$$\sigma_B = \frac{840000 \times 1.00}{200 \times 36 / 21.6} = 2520 \text{ kg / cm}^2 \cong 252.0 \text{ N / mm}^2 \longrightarrow \sigma_B = 141 \text{ N / mm}^2$$

elde edilir.

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{29.3 \times 10^6}{904 \times 10^3} + \frac{716 \times 10^3}{72.7 \times 10^2} = 131 \text{ N / mm}^2 < 1.33 \times 141 \text{ N / mm}^2 = 187.5 = \sigma_{em}$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{45.3 \times 510 \times 10^6}{16270 \times 10^4 \times 8} = 17.75 N / mm^2 < 1.33 \times 82 = 109 N / mm^2 = \tau_{em}$$

DBYBHY 2007 [6] uyarınca, V ve ters V şeklindeki çapraz sistemlerinde, çaprazların bağlandığı kirişlerin sürekli olması ve çaprazların yok varsayılması durumunda kendi üzerindeki yükleri güvenle taşıması gerekmektedir, [13].

Çaprazların yok varsayılması durumunda, söz konusu kirişte G+Q yüklemesinden meydana gelen kesit zorları

$$M_{G+Q} = 106.65 kNm$$

$$T_{G+Q} = 47.7 kN$$

değerlerini almaktadır. Bu kesit zorları için

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{106.65 \times 10^6}{904 \times 10^3} = 117.97 N / mm^2 < 141 N / mm^2 = \sigma_{em}$$

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{47.7 \times 510 \times 10^6}{16270 \times 10^4 \times 8} = 18.69 N / mm^2 < 82 N / mm^2 = \tau_{em}$$

Şeklinde normal gerilme ve kayma gerilmesi tahkikleri sağlanmaktadır.

Sehim tahkiki:

$$f_{maks} = 1.16 cm, L = 600 cm$$

$$\frac{f_{maks}}{L} = \frac{1.16}{600} = \frac{1}{517} < \frac{1}{300}$$

4.3.2.13 Çaprazların boyutlandırılması

1 aksı çerçevesi, 2-3 aksları arası merkezi çelik çapraz sisteminin 1. kat elemanlarında en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi altında (G+Q- E_{y2} - $0.3E_x$ yüklemesi) için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

Bu elemanlarda, düşey yükler + deprem yüklemesi altında oluşan çubuk kuvvetleri:

$$N_{G+Q+E} = -1070 kN$$

Çapraz elemanlar için seçilen kesit: Kutu Profil 200x200x12

Enkesit karakteristikleri: $A = 84.1 \text{ cm}^2$ $i_{\min} = 7.50 \text{ cm}$

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin elemanları için DBYBHY 2007’de [6] verilen enkesit koşulları uyarınca, çapraz elemanların kenar uzunluğu/kalınlık oranının, çapraz elemanında yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan denklem 4.12’deki koşulu sağlaması gerekmektedir, [13].

$$\frac{h}{t_w} \leq 0.7 \sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (4.12)$$

Fe 37 yapı çeliği için $\sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29.62$

değeri yukarıdaki ifadede yerine konularak

$$\frac{200 - 2 \times 12}{12} = 14.7 < 0.7 \times 29.62 = 20.73$$

elde edilir ve enkesit koşullarını sağladığı görülür.

Deprem Yönetmeliği’ne göre basınca çalışan elemanlarının narinlik oranı

$$4.0 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 4.0 \times 29.62 = 118$$

sınır değerini aşmayacaktır.

Çubuk boyu $L = 424 \text{ cm}$ olan çapraz elemanlarda, narinlik oranı

$$\lambda = \frac{424.3}{7.5} = 56 < 118$$

olduğundan narinlik koşulu sağlanmaktadır.

Narinliğin $\lambda = 56$ değeri için, TS648 Çelik Yapılar Standardı’ndan [10] bulunan basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem} = 1093 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 109 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{1070 \times 10^3}{84.1 \times 10^2 \times 109} = 1.16 < 1.33$$

4.3.2.14 Kolonların boyutlandırılması

1. Kat G/1 kolonu, en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi altında ($G+Q-E_{x1}-0.3E_y$ yüklemesi) için boyutlandırılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı kolon üst ucunda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)

$$N_G = -494.8kN \quad N_Q = -160.3kN \quad N_E = \pm 1745kN$$

Seçilen kolon kesiti (HE 400 B) için gerekli enkesit karakteristikleri:

$$A = 197.8cm^2$$

$$W_x = 2884cm^3 \quad I_x = 57680cm^4 \quad S_x = 1616cm^3 \quad i_x = 17.08cm$$

$$W_y = 721.3cm^3 \quad I_y = 10820cm^4 \quad S_y = 552cm^3 \quad i_y = 7.40cm$$

Enkesit boyutları:

başlık genişliği : $b = 300$ mm, başlık kalınlığı : $t = 24$ mm

enkesit yüksekliği : $d = 400$ mm, gövde kalınlığı : $t_w = 13.5$ mm

gövde yüksekliği : $h = 352$ mm, başlık alanı : $F_b = 72 cm^2$

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kolonları için DBYBHY 2007'de [6] verilen enkesit koşulları uyarınca kolon enkesitinde yerel burkulmaları engelleyen, kolon enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının, denklem 4.13 ve denklem 4.14'deki koşulları sağlaması gerekmektedir, [13].

$$\frac{b/2}{t} \leq 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad (4.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| > 0.10 \text{ için } \frac{h}{t_w} \leq 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \frac{N_d}{\sigma_a A} \right) \quad (4.14)$$

$$\text{Boyutsuz normal kuvvetin oranının} \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \frac{2489 \times 10^3}{235 \times 197.8 \times 10^2} = 0.53 > 0.10$$

$$\text{değeri ile Fe37 çeliği için } \sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29.62$$

değeri denklem 3.13 ve denklem 3.14'de yerlerine konularak

$$\frac{150}{24} = 6.25 < 0.3 \times 29.62 = 8.89 \quad \text{ve} \quad \frac{352}{13.5} = 26 < 1.33 \times 29.62 \times (2.1 - 0.53) = 61.85$$

elde edilir ve enkesit koşulları sağlandığı görülür.

Merkezi çapraz sisteminden aktarılan büyük eksenel kuvvetlerin etkisinde olan, buna karşılık eğilme momentleri küçük değerler alan bu kolonda DBYBHY 2007 [6] uyarınca

$$G + Q + \Omega_0 E = G + Q + 2.0 \times E$$

$$0.9G + \Omega_0 E = 0.9G + 2.0 \times E$$

yüklemeleri altında elde edilen eksenel basınç ve çekme kuvvetleri için (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) kesit hesabı daha elverişli sonuç vermektedir, [13].

Bu şekilde hesaplanan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri

$$N_{G+Q+2E} = -494.8 - 160.3 - 2.0 \times 1745 = -4145 \text{ kN}$$

$$N_{0.9G+2E} = -0.9 \times 494.8 + 2.0 \times 1745 = 3045 \text{ kN}$$

değerlerini almaktadır. Kolon enkesitinin eksenel basınç ve çekme kapasiteleri ise denklem 4.15 ve denklem 4.16 ile hesaplanacaktır, [13].

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A \quad (4.15)$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} \quad (4.16)$$

Burada

σ_{bem} : kolonun $\lambda_x = S_{kx} / i_x$ ve $\lambda_y = S_{ky} / i_y$ narinliklerinden büyük olanına bağlı olarak, TS 648 Çelik Yapılar Standardı'ndan [10] alınan basınç emniyet gerilmesidir.

Kolonun her iki eksen doğrultusunda yanal ötelenmesinin merkezi çapraz sistemi ile önlenmiş olduğu göz önünde tutulmuştur. Buna göre kolonun mesnetlenme şartlarına göre S_{kx} ve S_{ky} burkulma boyları

$$S_{kx} = K_x \times H \cong 0.96 \times 300 = 288cm , S_{ky} = K_y \times H \cong 0.92 \times 300 = 276cm$$

değerlerini almaktadır, [13]. Bu değerler kullanılarak narinlik oranları

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{288}{17.08} = 17 , \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} = \frac{276}{7.40} = 37 , \lambda_{maks} = (\max \lambda_x, \lambda_y) = 37$$

olarak bulunur.

Bu narinlik değeri için bulunan basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem} = 1257.2kg / cm^2 \cong 125.7N / mm^2$$

dir. Bu değerler ile hesaplanan eksenel basınç ve çekme kapasiteleri

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A = 1.7 \times 125.7 \times 19780 \times 10^{-3} = 4226kN > 4145kN$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} = \sigma_a A = 235 \times 19780 \times 10^{-3} = 4648kN > 3045kN$$

Kapasite tahkikleri sağlanmaktadır.

4.3.2.15 Perde kolonları dışındaki kolonların boyutlandırılması

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı kolon alt ucunda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)

$$N_{G+Q+E} = -1184kN$$

(x) doğrultusunda;

$$M_{G+Q+E} = 2.7kNm$$

$$T_{G+Q+E} = 0.9kN$$

(y) doğrultusunda;

$$M_{G+Q+E} = 0.9kNm$$

$$T_{G+Q+E} = 0.3kN$$

Seçilen kolon kesiti (HE 220 B) için gerekli enkesit karakteristikleri:

$$A = 91cm^2$$

$$W_x = 735.5cm^3 \quad I_x = 8091cm^4 \quad S_x = 413.5cm^3 \quad i_x = 9.43cm$$

$$W_y = 258.5cm^3 \quad I_y = 2843cm^4 \quad S_y = 196.9cm^3 \quad i_y = 5.59cm$$

Enkesit boyutları:

başlık genişliği : $b = 220$ mm, başlık kalınlığı : $t = 16$ mm

enkesit yüksekliği : $d = 220$ mm, gövde kalınlığı : $t_w = 9.5$ mm

gövde yüksekliği : $h = 188$ mm, başlık alanı : $F_b = 24.2 cm^2$

Süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kolonları için DBYBHY 2007’de [6] verilen enkesit koşulları uyarınca kolon enkesitinde yerel burkulmaları engelleyen, kolon enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının, denklem 4.17 ve denklem 4.18’deki koşulları sağlaması gerekmektedir, [13].

$$\frac{b/2}{t} \leq 0.3\sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (4.17)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| > 0.10 \text{ için } \frac{h}{t_w} \leq 1.33\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(2.1 - \frac{N_d}{\sigma_a A} \right) \quad (4.18)$$

$$\text{Boyutsuz normal kuvvetin oranının} \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \frac{1184 \times 10^3}{235 \times 91 \times 10^2} = 0.55 > 0.10$$

$$\text{değeri ile Fe37 çeliği için } \sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29.62$$

değeri denklem 4.16 ve denklem 4.17’de yerlerine konularak

$$\frac{110}{16} = 6.875 < 0.3 \times 29.62 = 8.88 \quad \text{ve} \quad \frac{188}{9.5} = 19.79 < 1.33 \times 29.62 \times (2.1 - 0.55) = 61.06$$

elde edilir ve enkesit koşulları sağlandığı görülür.

Bileşik eğik eğilme (eksenel basınç ve iki eksenli eğilme) etkisindeki bu kolonda, normal gerilme tahkiki TS648 Çelik Yapı Standardı’nda [10] verilen denklem 4.19 ile yapılacaktır, [13].

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \sigma_{bx}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \sigma_{by}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \sigma_{By}} \leq 1.00 \quad (4.19)$$

Burada;

$$\sigma_{eb} = \frac{1184 \times 10^3}{91 \times 10^2} = 130 \text{ N/mm}^2 : \text{yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme}$$

σ_{bem} : kolonun $\lambda_x = s_{kx} / i_x$ ve $\lambda_y = s_{ky} / i_y$ narinliklerinden büyük olanına bağlı olarak, TS648 Standardı’ndaki [10] çizelgeye göre belirlenen basınç emniyet gerilmesidir.

TS648 Standardı’ndan [10] bulunan K_x ve K_y katsayıları yardımı ile hesaplanan s_{kx} ve s_{ky} burkulma boyları

$$s_{kx} = K_x \times H = 0.78 \times 300 = 234 \text{ cm}, s_{ky} = K_y \times H = 0.86 \times 300 = 258 \text{ cm}$$

Değerlerini almaktadır, bu değerler kullanılarak hesaplanan narinlik oranları;

$$\lambda_x = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{234}{9.43} = 25, \quad \lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{258}{5.59} = 47, \quad \lambda_{maks} = (\text{maks} \lambda_x, \lambda_y) = 47$$

olarak bulunur.

Bu narinlik değeri için bulunan basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem} = 1170 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 117 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Yalnız eğilme momentleri altında hesaplanan gerilmeler;

$$\sigma_{bx} = \frac{2.7 \times 10^6}{735.5 \times 10^3} = 3.67 \text{ N} / \text{mm}^2 \quad , \quad \sigma_{by} = \frac{0.9 \times 10^6}{258.5 \times 10^3} = 3.48 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$C_{mx} = C_{my} = 0.6$ yanal ötelenmesi önlenmiş sistem

$$\sigma'_{ex} = \frac{8290000}{25^2} = 13264 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 1326.4 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = \frac{8290000}{47^2} = 3753 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 375.3 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Yanal burkulma halinde basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_B = \frac{840000 \times C_b}{s \times d / F_b} \leq 0.6 \times \sigma_a \quad (4.20)$$

Bu denklemde;

s : kolon basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık s = 300 cm

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \text{ şeklinde hesaplanan bir katsayıdır.}$$

Kuvvetli eksen doğrultusundaki kolon uç momentlerinin

$$\left(\frac{M_1}{M_2} \right)_x = -\frac{0}{2.7} = 0$$

Oranı için hesaplanan $C_{bx} = 1.75$ değeri yukarıdaki denklemde yerine konularak

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 \times 1.75}{300 \times 22 / 24.2} = 5390 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 539.0 \text{ N} / \text{mm}^2 \longrightarrow \sigma_B = 141 \text{ N} / \text{mm}^2$$

elde edilir.

Kolonun zayıf eksenini doğrultusunda yanal burkulma söz konusu olmadığından, eğilmedeki emniyet gerilmesi aynen kullanılacaktır, [13].

Normal gerilme tahkiki;

$$\frac{\sigma}{\sigma_{em}} = \frac{130}{117} + \frac{0.6 \times 3.67}{\left(1.0 - \frac{130}{1326.4}\right) \times 141.0} + \frac{0.6 \times 3.48}{\left(1.0 - \frac{130}{375.3}\right) \times 141.0} = 1.15 \leq 1.33$$

Kayma gerilmesi tahkiki:

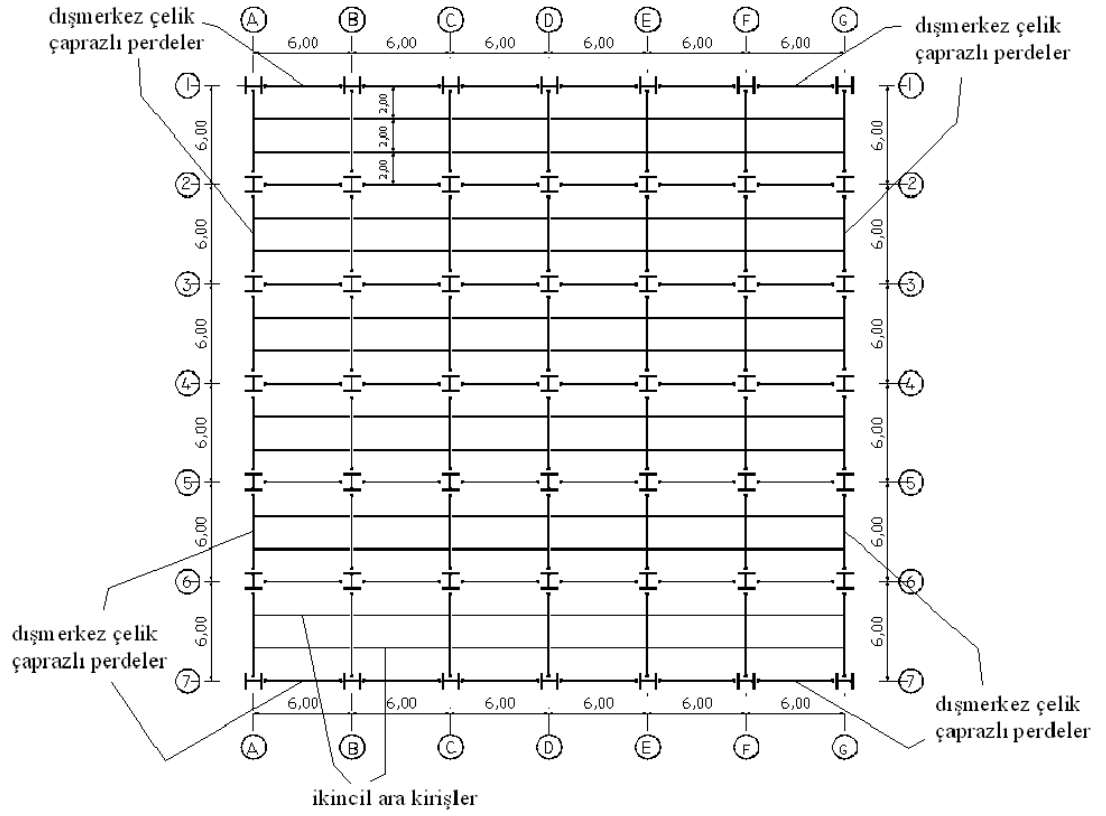
$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{0.9 \times 413.5 \times 10^6}{8091 \times 10^4 \times 9.5} = 0.48 N / mm^2 < 1.33 \times 82 = 109 N / mm^2 = \tau_{em}$$

Çizelge 4.6 : Sistem 1 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri

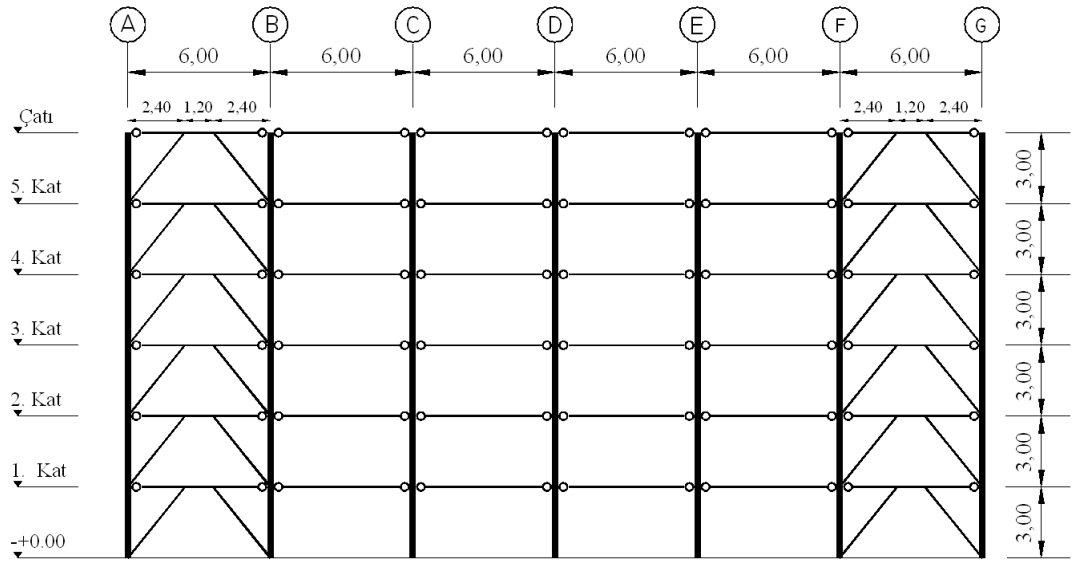
Kesit	Taşıyıcı sistem elemanı	Boyutlamada esas alınan özellik
+0.00 ve +6.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 400 B	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
+6.00 ve +15.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 400 A	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
Perdelerin dışındaki +0.00 ve +15.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 220 B	TS 648 Madde 3.4 eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için hesap
Tüm kat kirişleri	IPE 360	TS 648 Madde 3.3.4.2 yanal burkulma tahkiki
Tüm ikincil kirişler	IPE 300	Normal gerilme ve kayma gerilmesi tahkikleri
Tüm çapraz sistemi elemanları	Kutu 200x200x12	TS 648 basınç gerilmesi tahkiki

4.3.3 Sistem 2'nin analizleri ve boyutlandırılması

Sistem 2 için plan görünüşü ve x-z düzlemindeki cephe görünüşü verilmiştir, Şekil 4.3, Şekil 4.4.



Şekil 4.3 : Sistem 2'nin plan görünüşü



Şekil 4.4 : Sistem 2'nin x-z düzlemindeki cephe görünüşü

4.3.3.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar

Bu bölümde; her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, DBYBHY 2007'de [6] tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik

çaprazlardan oluşan sistemin tasarımına ait başlıca sonuçlar ve tipik elemanlarının boyutlandırma ve detay hesapları açıklanacaktır, [13].

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profili sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen kayma çivilerinden (stud) yararlanılmıştır. Bu sistemde çelik kirişlerin, düşey yükler altında, betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışması dikkate alınmamaktadır, [13].

2.0 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Benzer şekilde, akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları da mafsallı olacaktır. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele mafsallı olarak mesnetlendiği göz önünde tutulacaktır, [13].

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları Avrupa norm profilleri (kirişler için IPE ve profilleri, kolonlar için HEB ve HEA profilleri) kullanılarak boyutlandırılacaktır. Düşey düzlem çaprazları ise boru kesitli profillerle teşkil edilecektir, [13].

Bu sistemin analizi sonucunda yapılan boyutlandırmalar bir önceki bölüm ile benzer şekilde yapıldığından tekrar gösterilmeyecektir. Hesap sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu kısımda sadece diğer sistemlerden farklı hesap yolları olan dışmerkez çaprazlı perdelerin bağ kirişlerinin hesap adımları gösterilecektir.

4.3.3.2 Dışmerkez çapraz sistemin bağ kirişlerinin boyutlandırılması

1. Kat, A aksı çerçevesi, 1-2 aksları arası kirişi en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi için boyutlandırılacaktır.

Seçilen kiriş (IPE 600) için enkesit karakteristikleri:

$$A = 156 \text{ cm}^2, W_x = 3070 \text{ cm}^3, I_x = 92080 \text{ cm}^4, S_x = 1756 \text{ cm}^3$$

$$i_x = 24.3 \text{ cm}, i_y = 4.66 \text{ cm}$$

Enkesit boyutları:

başlık genişliği : $b = 220 \text{ mm}$, başlık kalınlığı : $t = 19 \text{ mm}$

enkesit yüksekliği : $d = 600 \text{ mm}$, gövde kalınlığı : $t_w = 12 \text{ mm}$

gövde yüksekliği :h = 562 mm,başlık alanı : $F_b = 41.8 \text{ cm}^2$

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı kirişte oluşan iç kuvvetler (kesit zorları) ile iç kuvvetler

$$M_{G+Q} = -33.5 \text{ kNm} \quad M_E = -286.3 \text{ kNm} \quad M_{G+Q+E} = -319.8 \text{ kNm}$$

$$T_{G+Q} = 15.1 \text{ kN} \quad T_E = 477 \text{ kN} \quad T_{G+Q+E} = 492.1 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q} \cong 0 \text{ kN} \quad N_E = -30.8 \text{ kN} \quad N_{G+Q+E} = -30.8 \text{ kN}$$

değerlerini almaktadır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kirişleri için DBYBHY 2007’de [6] verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının sınır değerleri aşmaması gerekmektedir, [13].

Kiriş enkesitinde yerel burkulmanın önlemesini amaçlayan bu koşullar denklem 4.21’de verilmiştir.

$$\frac{b/2}{t} \leq 0.3\sqrt{E_s / \sigma_a} \text{ ve } \frac{h}{t_w} \leq 3.2\sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (4.21)$$

$$\text{Fe 37 çeliği için } \sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29.62$$

değeri yukarıdaki ifadelerde yerlerine konularak

$$\frac{110}{19} = 5.78 < 0.3 \times 29.62 = 8.89 \text{ ve } \frac{562}{12} = 46.8 < 3.2 \times 29.62 = 94.78$$

elde edilir ve yukarıdaki koşulları sağladığı görülür.

DBYBHY 2007 [6] uyarınca, bağ kirişlerinin alt ve üst başlıkları kirişin iki ucunda, yanal doğrultuda mesnetlenecek ve yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli dayanımı kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0.06’sından daha az olmayacaktır, [13].

Diğer taraftan DBYBHY 2007’ye [6] göre, bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümünün de

$$0.45b_{bf}\sqrt{E_s / \sigma_a} = 0.45 \times 20 \times 29.62 = 266 \text{ cm}$$

aralıklarla yanal doğrultuda mesnetlenmesi gerekmektedir.

Bu koşulların sağlanabilmesi amacıyla, bağ kirişinin iki ucunda 80 cm aralıkla ve bağ kirişi dışında kalan kiriş kısımlarının ortalarında 125 cm aralıklarla, bağ kirişine dik doğrultuda kirişler oluşturulacak ve bu kirişler kompozit betonarme döşemeye bağlanacaktır. Bu kirişler de IPE 300 kesitinde olacaktır, [13].

Betonarme döşemenin kompozit etkisi nedeniyle kiriş üst başlığının yanal burkulması önlenmektedir. Buna karşılık, negatif mesnet momenti etkisinde, kiriş alt başlığının yanal burkulma tahkiki yapılacaktır, [13].

Emniyetli yönde kalmak üzere, $M_1/M_2 = -1$ için hesaplanan $C_b = 1.00$ değeri yukarıdaki denklemde yerine konularak

$$\sigma_B = \frac{840000 \times 1.00}{200 \times 50 / 32} = 2688 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 268.8 \text{ N} / \text{mm}^2 \longrightarrow \sigma_B = 141 \text{ N} / \text{mm}^2$$

elde edilir.

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{319.8 \times 10^6}{3070 \times 10^3} + \frac{30.8 \times 10^3}{156 \times 10^2} = 105.9 < 1.33 \times 141 \text{ N} / \text{mm}^2 = 191.52 \text{ N} / \text{mm}^2 = \sigma_{em}$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{492.1 \times 1756 \times 10^6}{92080 \times 10^4 \times 12} = 78.2 \text{ N} / \text{mm}^2 < 1.33 \times 82 \text{ N} / \text{mm}^2 = 109 \text{ N} / \text{mm}^2 = \tau_{em}$$

Asal gerilme:

$$\sigma_h = \sqrt{95.6^2 + 3 \times 72.5^2} = 172 \text{ N} / \text{mm}^2 < 0.8 \times 235 \text{ N} / \text{mm}^2 = 188 \text{ N} / \text{mm}^2 = \sigma_{h,em}$$

Sehim tahkiki:

$$f_{maks} = 0.45 \text{ cm}, L = 600 \text{ cm}$$

$$\frac{f_{maks}}{L} = \frac{0.45}{600} = \frac{1}{1333} < \frac{1}{300}$$

Bağ kirişinin boyunun kontrolü

DBYBHY 2007'ye göre [6] kolona birleşen bağ kirişlerinin dışında, bağ kirişinin boyu

$$1.0M_p / V_p \leq e \leq 5.0M_p / V_p$$

bağıntısını sağlayacak şekilde belirlenebilir, [13]. Burada

$$M_p = W_p \sigma_a = 3512 \times 235 \times 10^{-3} = 825.3 \text{ kNm}$$

bağ kirişinin eğilme momenti kapasitesini

$$V_p = 0.6 \sigma_a A_k = 0.6 \times 235 \times 562 \times 12 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$$

bağ kirişinin kesme kuvveti kapasitesini göstermektedir. Buna göre

$e = 1.2 \text{ m}$ olarak seçilen kiriş boyu

$$\frac{825.3}{951} = 0.86 \text{ m} \leq e \leq \frac{5 \times 825.3}{951} = 4.33 \text{ m} \text{ koşulunu sağlamaktadır.}$$

Bağ kirişinin tasarım kesme kuvvetinin kontrolü

DBYBHY 2007'ye [6] uygun olarak, bağ kirişinin tasarım kesme kuvveti

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} = \frac{30.8 \times 10^3}{235 \times 156 \times 10^2} = 0.0073 < 0.15$$

için

$$V_d = 492.1 \text{ kN} < 951 \text{ kN} = V_p$$

$$V_d = 492.1 \text{ kN} \leq \frac{2 \times 825.3}{1.2} = 1375 \text{ kN} = \frac{2M_p}{e}$$

koşulların her ikisi de sağlanmaktadır, [13].

Bağ kirişinin dönme açısının kontrolü

DBYBHY 2007 [6] uyarınca, bağ kirişinin dönme açısı kontrol edilecektir. Buna göre, incelenen bağ kirişinin bulunduğu 2. katın (x) doğrultusundaki

$$\theta_p = R \frac{\Delta_i}{h_i} = \frac{\delta_i}{h_i} = 0.0127$$

Görelî kat ötelemesi açısından oluşan

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p = \frac{6.00}{1.20} \times 0.0127 = 0.0635$$

Bağ kirişi dönme açısı, bağ kirişi uzunluğunun

$$e = 1.20m = 0.86 \frac{M_p}{V_p} < 1.6 \frac{M_p}{V_p}$$

değeri için

$$\gamma_p = 0.0635 < 0.10$$

koşulunu sağlamaktadır, [13].

Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan kısmının kontrolü

DBYBHY 2007 [6], kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümünün bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1.1 D_a katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılmasını öngörmektedir, [13].

DBYBHY 2007'ye [6] göre, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetlerin, bağ kirişinin kesit seçimi sonucunda belirlenen

$$\frac{M_p}{M_d} = \frac{825.3}{319.8} = 2.58 \text{ ve } \frac{V_p}{V_d} = \frac{951}{492.1} = 1.93$$

Tasarım büyütme katsayılarının küçüğü ile uyumlu olacak şekilde arttırılması suretiyle belirlenecektir, [13].

Buna göre, kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan kısımlarının tasarımında esas alınacak iç kuvvetler Fe37 çeliği için

$D_a = 1.2$ katsayısı kullanılarak

$$\overline{V}_d = 1.1 \times 1.2 \times 951 = 1255.3 \text{ kN}$$

$$\overline{M}_p = \frac{1255.3 - 15.1}{477} \times 286.3 + 33.5 = 777.9 \text{ kNm}$$

Şeklinde hesaplanır, [13]. Bağ kirişinin eğilme momenti kapasitesi

$$M_p = 825.3 \text{ kNm} > 777.9 \text{ kNm}$$

Olduğundan kesit eğilme açısından yeterlidir. Buna karşılık, kat kirişinin bağ kirişi dışındaki kısmının, örneğin gövde levhaları eklenerek, kesme kuvvetine karşı takviye edilmesi gerekmektedir. 8 mm kalınlığındaki gövde levhaları ile kat kirişinin bağ kirişi dışındaki kısmı takviye edilecektir.

Çizelge 4.7 : Sistem 2 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri

Kesit	Taşıyıcı sistem elemanı	Boyutlamada esas alınan özellik
+0.00 ve +6.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 320 B	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
+6.00 ve +15.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 320 B	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
Perdelerin dışındaki +0.00 ve +15.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 220 B	TS 648 Madde 3.4 eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için hesap
Bağ kirişleri	IPE 600	TS 648 Madde 3.3.4.2 yanal burkulma tahkiki
Bağ kirişleri haricindeki tüm kat kirişleri	IPE 360	TS 648 Madde 3.3.4.2 yanal burkulma tahkiki
Tüm ikincil kirişler	IPE 300	Normal gerilme ve kayma gerilmesi tahkikleri
Tüm çapraz sistemi elemanları	Boru 323.9x12	Basınç gerilmesi tahkiki

4.3.4 Sistem 3'ün analizleri ve boyutlandırılması

Sistem 3'ün plan görünüşü ve x-z düzlemindeki cephe görünüşü Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

4.3.4.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar

Bu bölümde; her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, DBYBHY 2007’de tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen, süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlardan oluşan sistemin tasarımına ait başlıca sonuçlar verilecektir, [13].

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profili sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen kayma çivilerinden (stud) yararlanılmıştır. Bu sistemde çelik kirişlerin, düşey yükler altında, betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışması dikkate alınmamaktadır, [13].

2.0 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Benzer şekilde, akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları da mafsallı olacaktır. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele mafsallı olarak mesnetlendiği göz önünde tutulacaktır, [13].

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları Avrupa norm profilleri (kirişler için IPE ve profilleri, kolonlar için HEB ve HEA profilleri) kullanılarak boyutlandırılacaktır. Düşey düzlem çaprazları ise kutu kesitli profillerle teşkil edilecektir, [13].

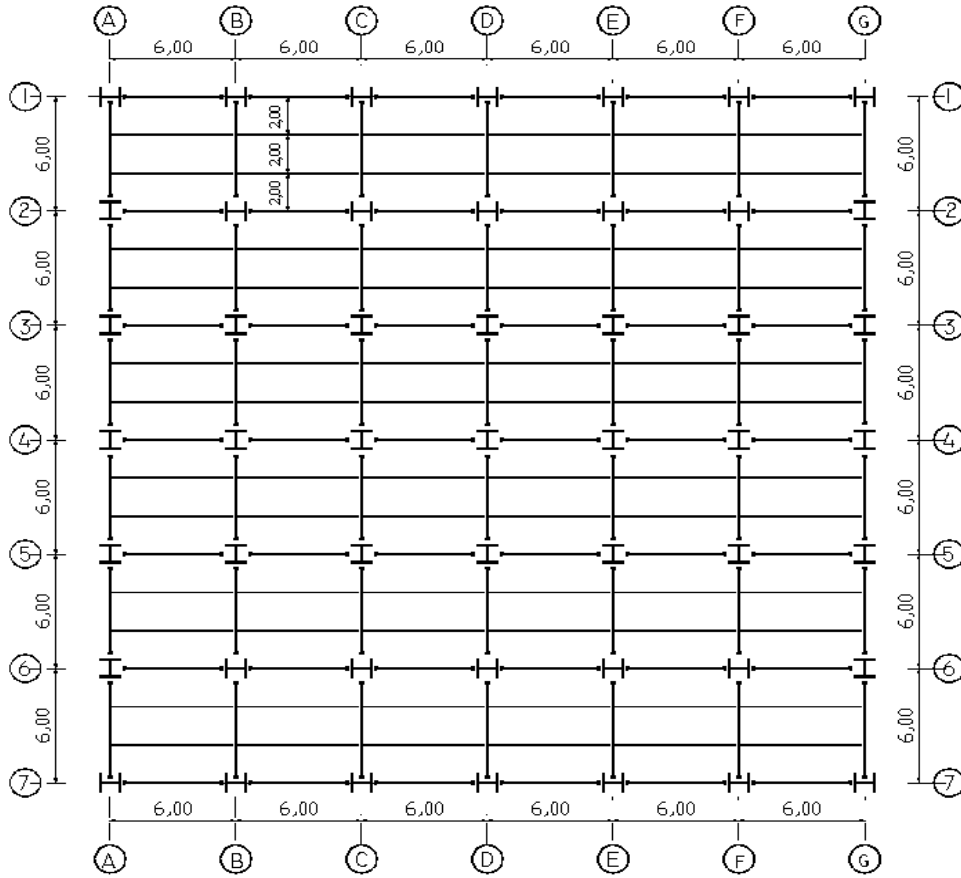
Bu sistemin analizi sonucunda yapılan boyutlandırmalar bir önceki bölümler ile benzer şekilde yapıldığından tekrar gösterilmeyecektir. Hesap sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Sistem 3 için seçilen taşıyıcı eleman kesitleri

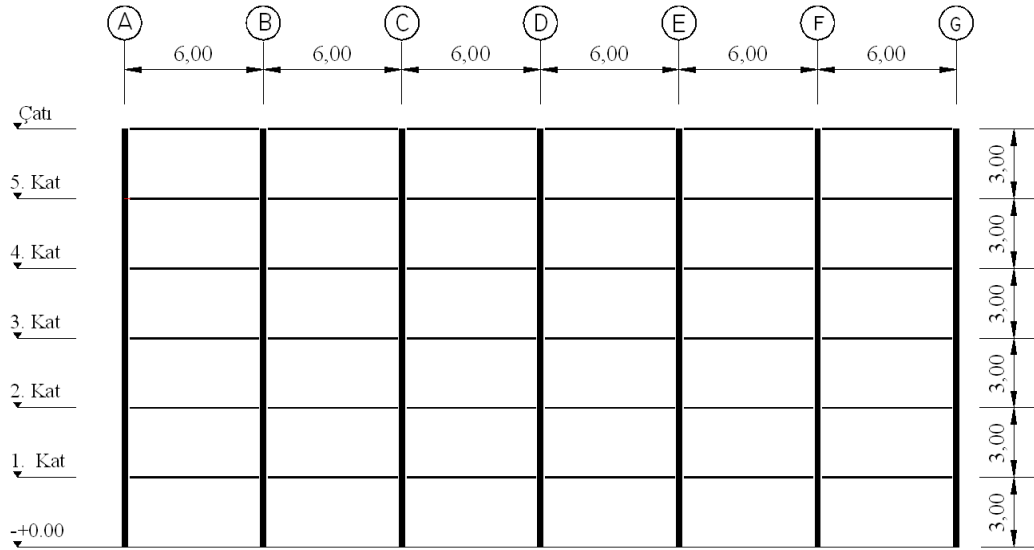
Kesit	Taşıyıcı sistem elemanı	Boyutlamada esas alınan özellik
+0.00 ve +6.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 600 B	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
+6.00 ve +15.00 kotları arasındaki perde kolonları	HE 600 A	Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2 kapasite tahkikleri
Perdelerin dışındaki +0.00 ve +15.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 220 B	TS 648 Madde 3.4 eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için hesap
Tüm kat kirişleri	IPE 360	TS 648 Madde 3.3.4.2 yanal burkulma tahkiki
Tüm ikincil Kirişler	IPE 300	Normal gerilme ve kayma gerilmesi tahkikleri
Çapraz sistemi elemanları	Kutu 250x250x10	Basınç gerilmesi tahkiki

4.3.5 Sistem 4'ün analizleri ve boyutlandırılması

Sistem 4'ün plan görünüşü ve x-z düzlemindeki cephe görünüşü verilmiştir, Şekil 4.5, Şekil 4.6.



Şekil 4.5 : Sistem 4'ün plan görünüşü



Şekil 4.6 : Sistem 4'ün x-z düzlemindeki cephe görünüşü

4.3.5.1 Sistem genel özellikleri ve varsayımlar

Bu bölümde; her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, DBYBHY 2007'de [6] tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen, süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan sistemin tasarımına ait başlıca sonuçlar verilecektir, [13].

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profili sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen kayma çivilerinden (stud) yararlanılmıştır. Bu sistemde çelik kirişlerin, düşey yükler altında, betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışması dikkate alınmamaktadır, [13].

2.0 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları kolonların güçlü yönlerinde moment aktaracak şekilde, kolonların zayıf eksenlerinde ise mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele ankastre olarak mesnetlendiği göz önünde tutulacaktır, [13].

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları Avrupa norm profilleri (kirişler ve kolonlar için HEB ve HEA profilleri) kullanılarak boyutlandırılacaktır.

Bu sistemin analizi sonucunda yapılan boyutlandırmalar bir önceki bölüm ile benzer şekilde yapıldığından tekrar gösterilmeyecektir. Hesap sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Sistem 4 için seçilen taşıyıcı eleman kesitler

Kesit	Taşıyıcı sistem elemanı	Boyutlamada esas alınan özellik
+0.00 ve +9.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 600 B	Görelî kat ötelenmeleri
+9.00 ve +12.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 600 A	Görelî kat ötelenmeleri
Tüm Kat Kirişleri	HE 300 A	TS 648 Madde 3.3.4.2 yanal burkulma tahkiki
Tüm İkincil Kirişler	IPE 300	Normal gerilme ve kayma gerilmesi tahkikleri

4.3.6 Analiz ve boyutlandırma özet bilgiler

Önceki bölümlerde hesap adımları verilen çelik taşıyıcı sistemlerin analiz ve boyutlandırmasında kullanılan bilgilerin özet tabloları bu bölümde verilecektir.

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılması sonucunda belirlenen kesitlerin eleman bazında ve toplam ağırlıkları ve bu ağırlıkların oranları verilmiştir, Çizelge 4.10.

Çizelge 4.10 : Taşıyıcı sistem yapı ağırlıkları

Sistem	Kolonlar		Kirişler		Çapraz Elemanlar (ton)	Toplam (ton)	Oran
	Perde Kolonları (ton)	Ara Kolonlar (ton)	Bağ Kirişleri (ton)	Ana Kirişler (ton)			
1	32,88	35,39		143,89	24,42	236,58	0,64
2	30,48	35,39	41,48	130,1	28,33	265,78	0,72
3	45,98	35,39		143,89	25,78	251,04	0,68
4		145,82		222,5	-	368,32	1

Taşıyıcı sistem modellerinin deprem analizinde kullanılmak üzere hesaplanan parametreler, periyotlar, yapı davranış katsayıları ve deprem katsayıları verilmiştir, Çizelge 4.11.

Çizelge 4.11 : Taşıyıcı sistem modellerinde deprem katsayılarının belirlenmesi

Sistem	Etkin yer ivmesi katsayısı	Yapı önem katsayısı	Yapı 1. doğal titreşim periyodu (sn)	Spektrum katsayısı	Yapı davranış katsayısı	Deprem katsayısı
	A_0	I	T_1	S(T)	R	V_t / W
1	0,40	1,00	0,58	1,84	5	0,148
2	0,40	1,00	0,63	1,73	7	0,099
3	0,40	1,00	0,51	2,03	4	0,204
4	0,40	1,00	1,08	1,13	5	0,091

Çizelge 4.12’de eşdeğer deprem yüklerinin katlara göre dağılımları ve toplamaları görülmektedir.

Çizelge 4.12 : Eşdeğer deprem yüklerinin katlara göre dağılımları

Sistem	1	2	3	4
Kat	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
5	1658,2	1114,4	2285,2	1017,5
4	1478,5	993,6	2037,6	907,3
3	1108,9	745,2	1528,2	680,5
2	739,3	496,8	1018,8	453,6
1	369,6	248,4	509,4	226,8
Toplam	5354,5	3598,4	7379,3	3285,7

Deprem yükleri altında oluşan görelî kat ötelenmeleri her sistem için verilmiştir, Çizelge 4.13.

Çizelge 4.13 : Deprem yükleri altında görel kat ötelenmeleri

Sistem				
Kat	1	2	3	4
5	0,0065	0,0072	0,0073	0,0140
4	0,0077	0,0093	0,0082	0,0175
3	0,0077	0,0105	0,0078	0,0195
2	0,0070	0,0100	0,0070	0,0177
1	0,0053	0,0086	0,0055	0,0102
Sınır değer	0,020	0,020	0,020	0,020

4.4 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde Bölüm 4.3’de açıklandığı şekilde boyutlandırılan çelik taşıyıcı sistemlerin lineer olmayan davranışları statik itme analizi yöntemiyle belirlenecek, performans noktaları hesaplanacak ve değerlendirilecek, taşıyıcı sistem davranış katsayısı hesaplanacaktır.

4.4.1 Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizi için modellenmesi

Bu çalışmada lineer olmayan davranışın incelenmesi için yapılacak statik itme analizi SAP 2000 [11] programından faydalanılarak yapılacaktır. SAP 2000 programında statik itme analizi yapmak için ilk olarak Bölüm 4.2’de verilen adımlarla oluşturulan sistem modeline, Bölüm 4.3’de sistemin analizi ve boyutlandırılması sonucunda belirlenen kesitler tanımlanır. Daha sonraki adımlar aşağıdaki gibidir [12];

1. Statik itme analizi için kullanılacak mafsallar tanımlanır. Bu çalışmada programda yer alan varsayılan mafsallar kullanılmıştır. Bu mafsallar; iki eksenli eğilme ve normal kuvvet etkileşimini içeren PMM mafsalı, tek eksenli eğilme etkisini içeren M3 mafsalı, sadece kesme kuvveti etkisini içeren V mafsalı ve sadece eksenel kuvvet etkisini içeren P mafsalıdır. Belirtilen mafsallar sisteme tanımlanır.

2. Tanımlanan mafsallara kabul kriterleri girilir. Kabul kriterleri için de SAP 2000 programının [11] varsayılan değerleri kullanılacaktır.

3. Tanımlanan mafsallar, kesitlerin ilgili kısımlarına atanır. Bu çalışmada kolonlara PMM mafsalı, kirişlere M3 mafsalı, bağ kirişlerine V mafsalı ile M3 mafsalı ve çapraz elemanlara P mafsalı tanımlanmıştır.

4. Statik itme analizi için yükler tanımlanır. SAP 2000 programında [11] birden fazla yük durumu aynı anda çözümlenebilir. Ayrıca bir yük durumu diğer bir yük durumunun bitiş noktasından başlayabilmektedir. Genel olarak ilk statik itme yük durumu düşey yükler olarak belirlenmektedir ve daha sonra yatay yükler düşey yüklerin sistemde oluşturduğu etkilerin sonundan başlayacak şekilde tanımlanır, bu çalışmada belirtilen şekilde uygulama yapılacaktır. Statik itme analizi kuvvet kontrollü olarak ve deplasman kontrollü olarak yapılabilmektedir. Kuvvet kontrollü itme analizinde sistem belirlenen bir kuvvet seviyesine kadar itilir, deplasman kontrollü itme analizinde ise sistem belirli bir deplasman değerine kadar itilir. Bu çalışmada düşey yükler altında kuvvet kontrollü ve yatay yükler altında deplasman kontrollü olarak itme analizi yapılacaktır.

5. Sistem çözümlenir.

6. Kapasite eğrisi görüntülenir. SAP 2000 programında [11] çözümlemenin her adımında, taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değeri okunabilmektedir. Ayrıca her adımda oluşan mafsalları ve bu mafsalların hangi performans aralıklarında oldukları tablodan alınabilmektedir.

7. Performans noktası belirlenir. Bu çalışmada performans noktasının belirlenmesi için ATC 40 Kapasite Spektrum Metodu kullanılacaktır.

8. Performans noktasında mafsalların hangi performans düzeyinde oldukları belirlenir.

4.4.2 Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizleri

Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizinde performans noktasının belirlenmesi için kullanılacak ve detayları Bölüm 2’de verilmiş olan katsayılar aşağıdaki gibidir.

1. Lineer analizlerde kullanılan ve DBYBHY 2007’den [6] alınan değerlere göre yapıların 1. derece deprem bölgesinde yapılması düşünülmektedir. ATC 40 Yönetmeliği’nde [1] bu 4. bölgeye karşılık gelmektedir. Böylece deprem bölge katsayısı 0.4 seçilmiştir.

2. Tasarım depremi etkisi düşünülerek $E=1.00$ olarak belirlenmiştir.

3. Yapıların İstanbul sınırları içinde yapılması planlanmaktadır. Bu nedenle orta deprem oluşturan deprem kaynağına mesafe 16 km ve deprem kaynağına mesafe katsayıları $N_A = 1.00$ ve $N_V = 1.00$ olarak belirlenmiştir.

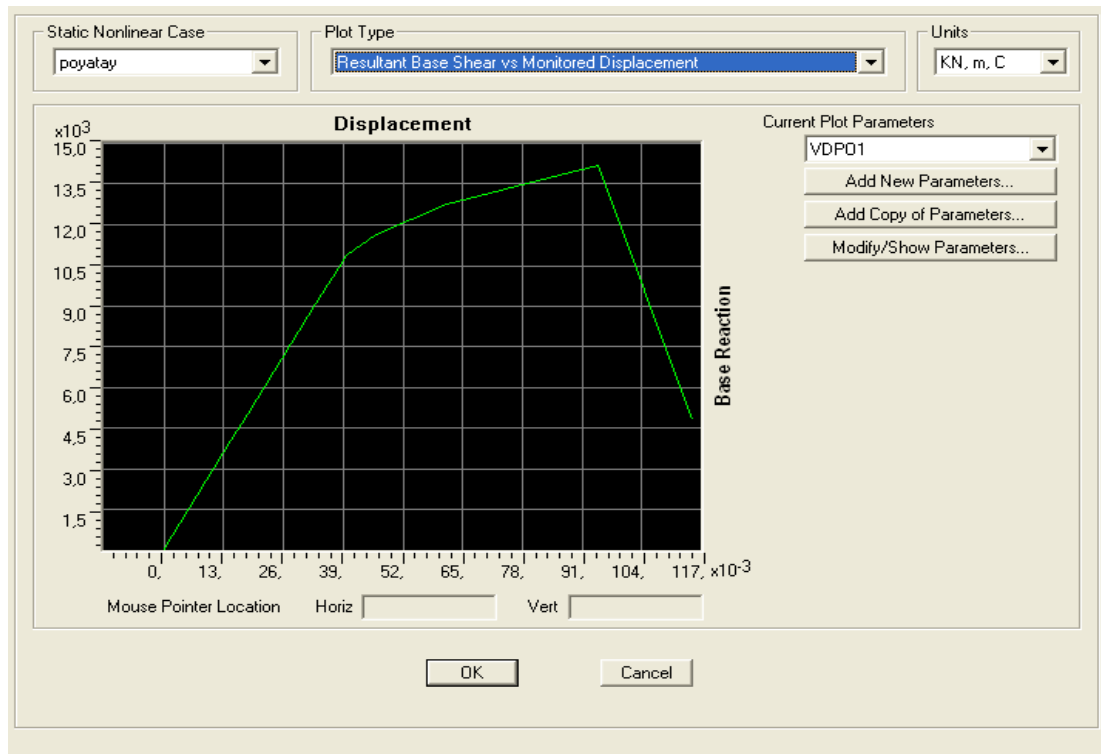
4. Bu katsayıların çarpılmasıyla oluşan ZEN parametresi 0.40'dır. Bu değerden yola çıkılarak S_B zemin sınıfı için deprem parametreleri $C_A = 0.40$, $C_B = 0.40$ olarak belirlenmiştir.

5. Yapısal davranış tipi, uzun süreli deprem ve yeni yapılacak bina parametrelerinden yola çıkılarak Tip B olarak belirlenmiştir.

6. Analizlerde P - delta etkisi dikkate alınmıştır.

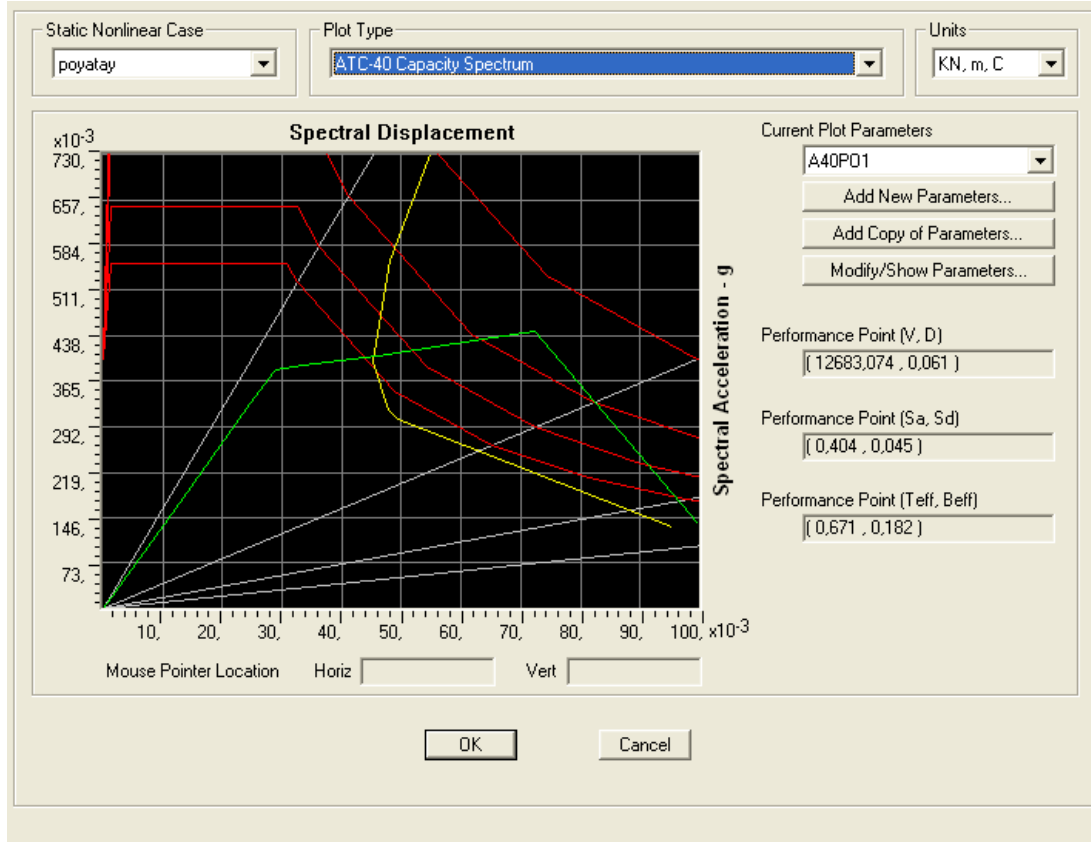
4.4.2.1 Sistem 1 için itme analizi sonuçları

Taşıyıcı sistemi her iki yönde sünellik düzeyi yüksek merkezi çaprazlardan oluşan Sistem 1 için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Yatay eksen tepe noktası yer değiştirmesini, dikey eksen ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.7 : Sistem 1 - kapasite eğrisi

Şekil 4.8’de ATC 40 kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi gösterilmektedir. Performans noktası değerleri $V = 12683$ ve $D = 0.061$ olarak grafikten okunmaktadır.



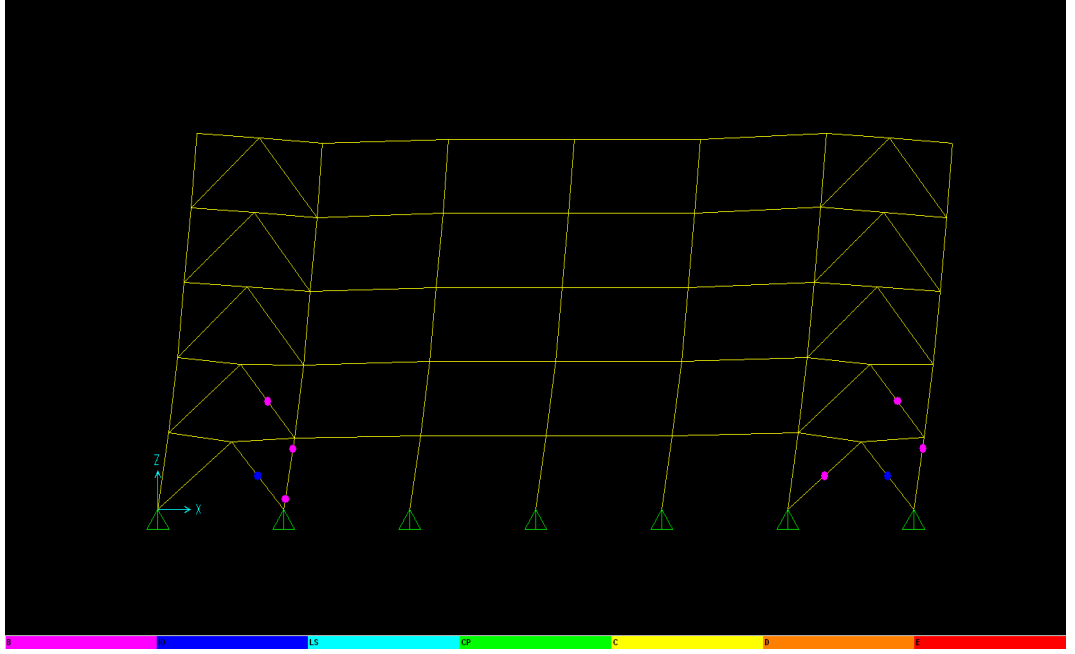
Şekil 4.8 : Sistem 1 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi

Şekil 4.9’da, Sistem 1 için, kapasite eğrisinin hesap adımlarında, elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları gösterilmektedir.

Table Display											
File Edit											
Pushover Curve - poyatay											
Step	Displacement m	Base Force KN	AtorB	BtorD	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0.000353	0.000	530	0	0	0	0	0	0	0	530
1	0.014641	4071.968	530	0	0	0	0	0	0	0	530
2	0.018169	5029.896	530	0	0	0	0	0	0	0	530
3	0.033169	9101.870	530	0	0	0	0	0	0	0	530
4	0.039271	10758.230	528	2	0	0	0	0	0	0	530
5	0.039827	10891.990	526	4	0	0	0	0	0	0	530
6	0.046123	11655.217	522	8	0	0	0	0	0	0	530
7	0.061488	12749.020	515	11	4	0	0	0	0	0	530
8	0.085928	13836.500	504	18	4	4	0	0	0	0	530
9	0.094598	14184.941	503	19	4	0	0	4	0	0	530
10	0.105313	4211.172	499	23	4	0	0	0	0	4	530

Şekil 4.9 : Sistem 1 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

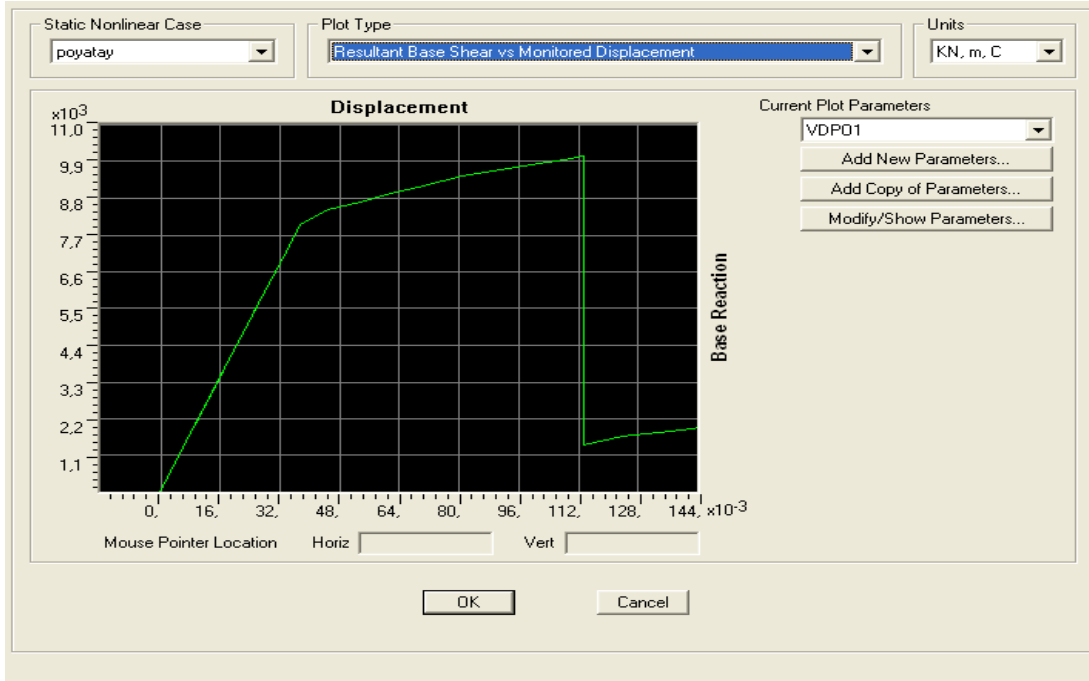
Şekil 4.10'da performans noktasında sistemde oluşan plastik mafsalların yeri ve performans seviyesi gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Sistem 1 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları

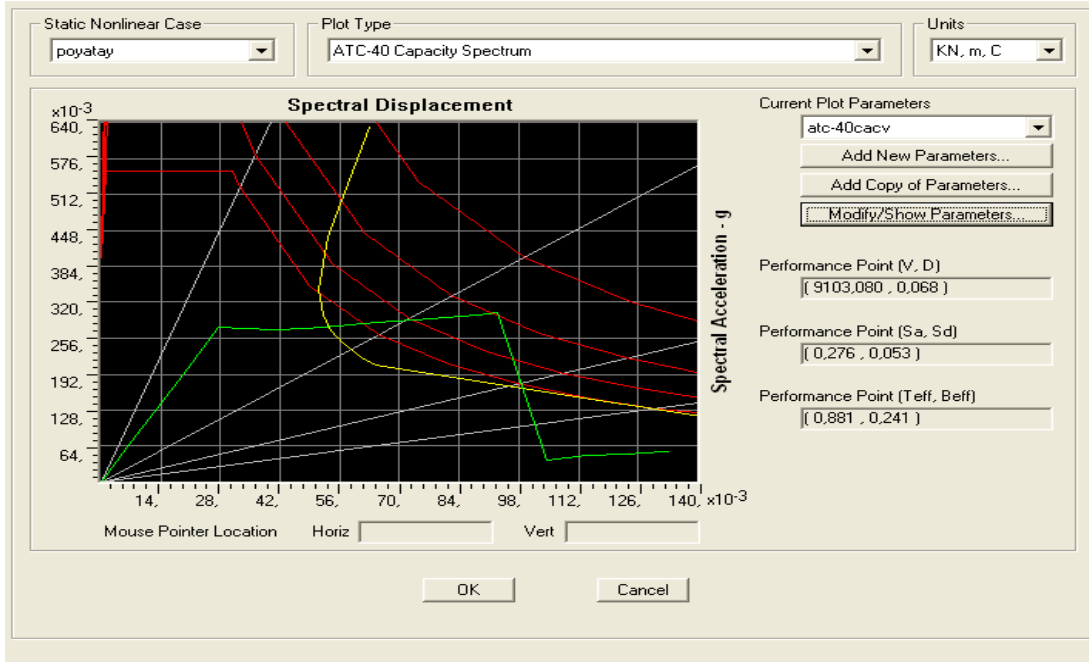
4.4.2.2 Sistem 2 için statik itme analizi sonuçları

Taşıyıcı sistemi her iki yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlardan oluşan Sistem 2 için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.11 de verilmiştir. Yatay eksen tepe noktası yer değiştirmesini, düşey eksen ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.11 : Sistem 2 - kapasite eğrisi

Şekil 4.12’de ATC 40 kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi gösterilmektedir. Performans noktası değerleri $V = 9103$ ve $D = 0.068$ olarak grafikten okunmaktadır.



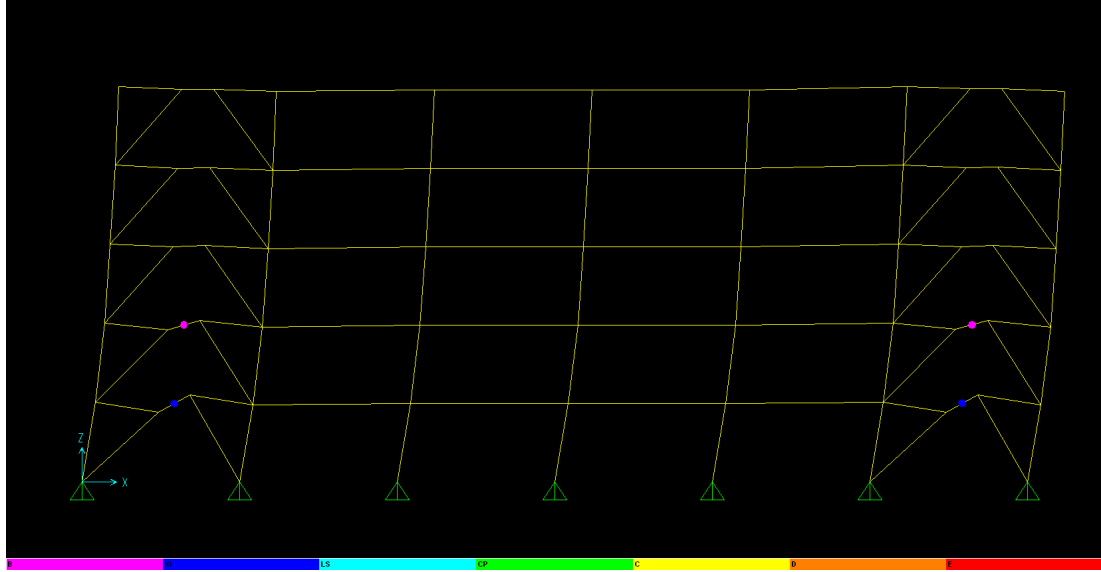
Şekil 4.12 : Sistem 2 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi

Şekil 4.13’de, Sistem 2 için, kapasite eğrisinin hesap adımlarında, elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları gösterilmektedir.

Table Display											
File Edit											
Pushover Curve - poyistay											
Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoD	DtoE	EtoF	FtoG	GtoH	HtoI	ItoJ	Total
0	-0.000383	0.000	770	0	0	0	0	0	0	0	770
1	0.008117	1801.297	770	0	0	0	0	0	0	0	770
2	0.016617	3602.594	770	0	0	0	0	0	0	0	770
3	0.008776	1941.098	770	0	0	0	0	0	0	0	770
4	0.017276	3742.396	770	0	0	0	0	0	0	0	770
5	0.025776	5543.694	770	0	0	0	0	0	0	0	770
6	0.025091	5398.512	770	0	0	0	0	0	0	0	770
7	0.033591	7199.813	770	0	0	0	0	0	0	0	770
8	0.037411	8009.191	766	4	0	0	0	0	0	0	770
9	0.044852	8463.974	762	8	0	0	0	0	0	0	770
10	0.053352	8698.895	762	8	0	0	0	0	0	0	770
11	0.061852	8933.837	762	4	4	0	0	0	0	0	770
12	0.070352	9168.801	762	4	4	0	0	0	0	0	770
13	0.080911	9459.255	760	2	8	0	0	0	0	0	770
14	0.091031	9658.006	758	4	4	4	0	0	0	0	770
15	0.099531	9814.419	758	4	4	4	0	0	0	0	770
16	0.108031	9970.846	758	4	4	4	0	0	0	0	770
17	0.113250	10066.906	758	4	4	0	0	0	4	0	770
18	0.113503	1421.243	758	4	4	0	0	0	0	4	770
19	0.123752	1688.497	746	16	4	0	0	0	0	4	770
20	0.133644	1807.442	742	20	4	0	0	0	0	4	770
21	0.142144	1903.367	742	20	4	0	0	0	0	4	770
22	0.144342	1929.048	742	20	4	0	0	0	0	4	770

Şekil 4.13 : Sistem 2 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

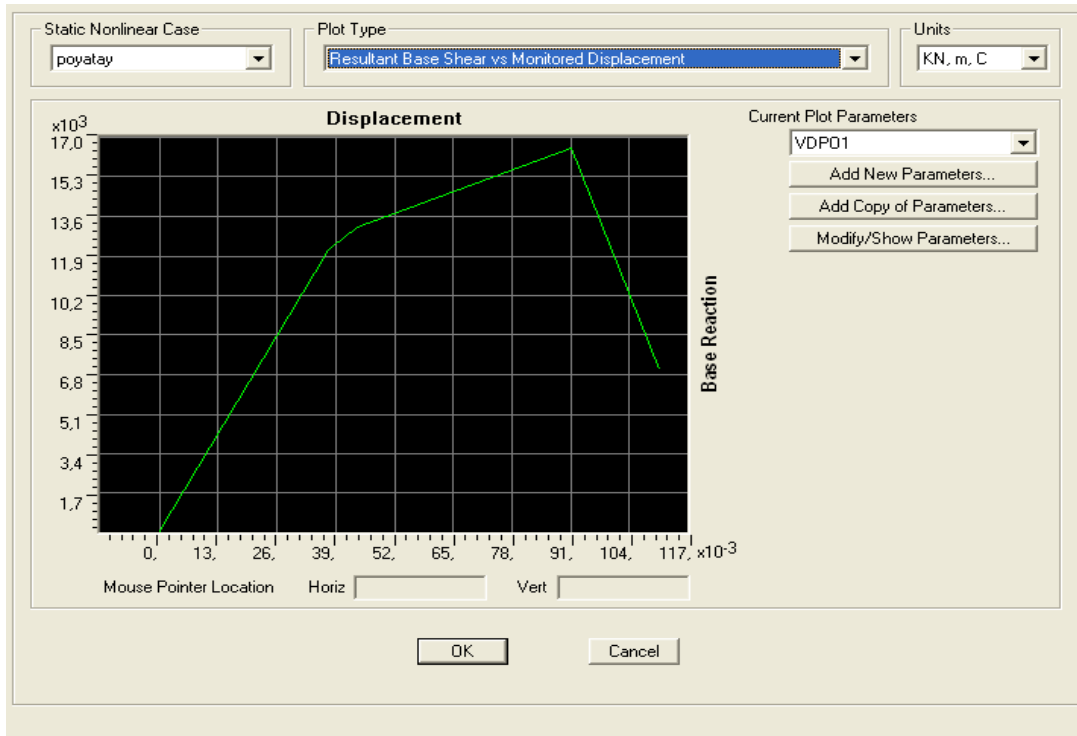
Şekil 4.14'te performans noktasında sistemde oluşan plastik mafsalların yeri ve performans seviyesi gösterilmektedir.



Şekil 4.14 : Sistem 2 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları

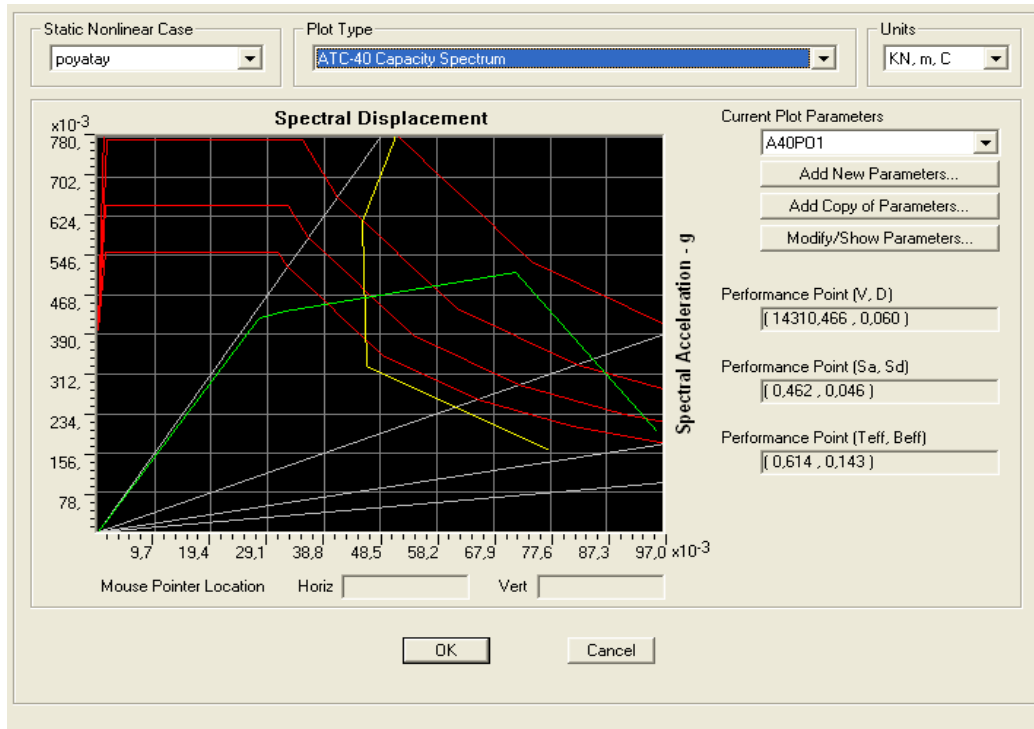
4.4.2.3 Sistem 3 için statik itme analizi sonuçları

Taşıyıcı sistemi her iki yönde süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlardan oluşan Sistem 3 için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.15'de verilmiştir. Yatay eksen tepe noktası yer değiştirmesini, düşey eksen ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.15 : Sistem 3 – kapasite eğrisi

Şekil 4.16’da ATC 40 kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi gösterilmektedir. Performans noktası değerleri $V = 14310$ ve $D = 0.060$ olarak grafikten okunmaktadır.



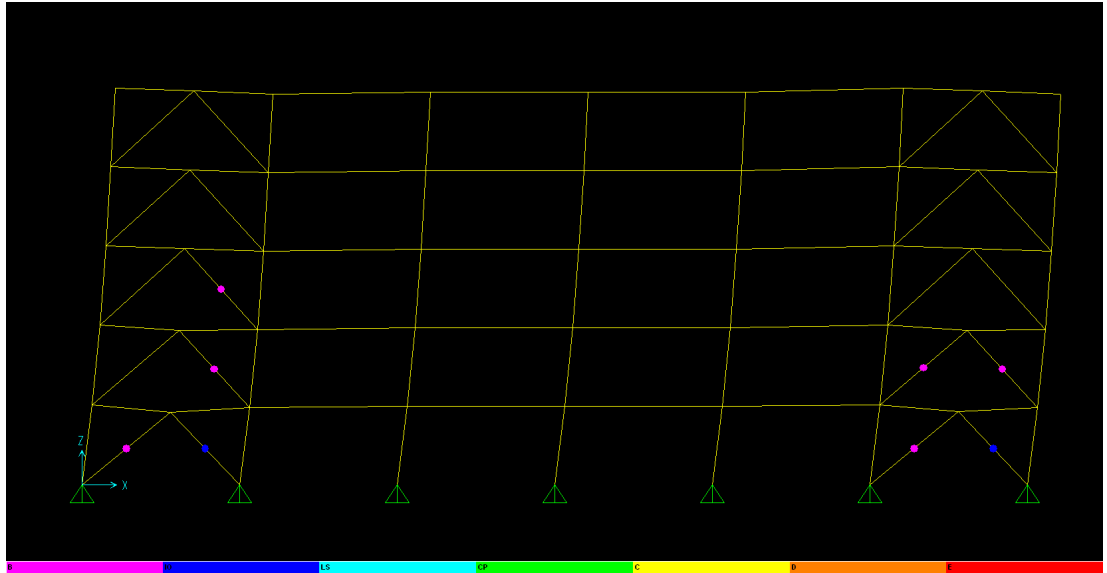
Şekil 4.16 : Sistem 3 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi

Şekil 4.17’de, Sistem 3 için, kapasite eğrisinin hesap adımlarında, elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları gösterilmektedir.

Table Display											
File Edit											
Pushover Curve - poyatay											
Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoD	DtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0,000260	0,000	570	0	0	0	0	0	0	0	570
1	0,008073	2677,701	570	0	0	0	0	0	0	0	570
2	0,013923	4557,210	570	0	0	0	0	0	0	0	570
3	0,022256	7234,912	570	0	0	0	0	0	0	0	570
4	0,030589	9912,613	570	0	0	0	0	0	0	0	570
5	0,035446	11473,196	570	0	0	0	0	0	0	0	570
6	0,038016	12279,586	566	4	0	0	0	0	0	0	570
7	0,043782	13153,496	562	8	0	0	0	0	0	0	570
8	0,052115	13870,822	560	10	0	0	0	0	0	0	570
9	0,063271	14831,877	554	12	4	0	0	0	0	0	570
10	0,072026	15376,370	550	12	4	4	0	0	0	0	570
11	0,080526	15898,976	550	12	4	4	0	0	0	0	570
12	0,088859	16409,640	550	12	4	4	0	0	0	0	570
13	0,091165	16550,986	550	12	0	4	0	4	0	0	570
14	0,130199	7599,060	538	20	0	8	0	0	0	4	570
15	0,134378	7750,345	538	20	0	8	0	0	0	4	570

Şekil 4.17 : Sistem 3 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

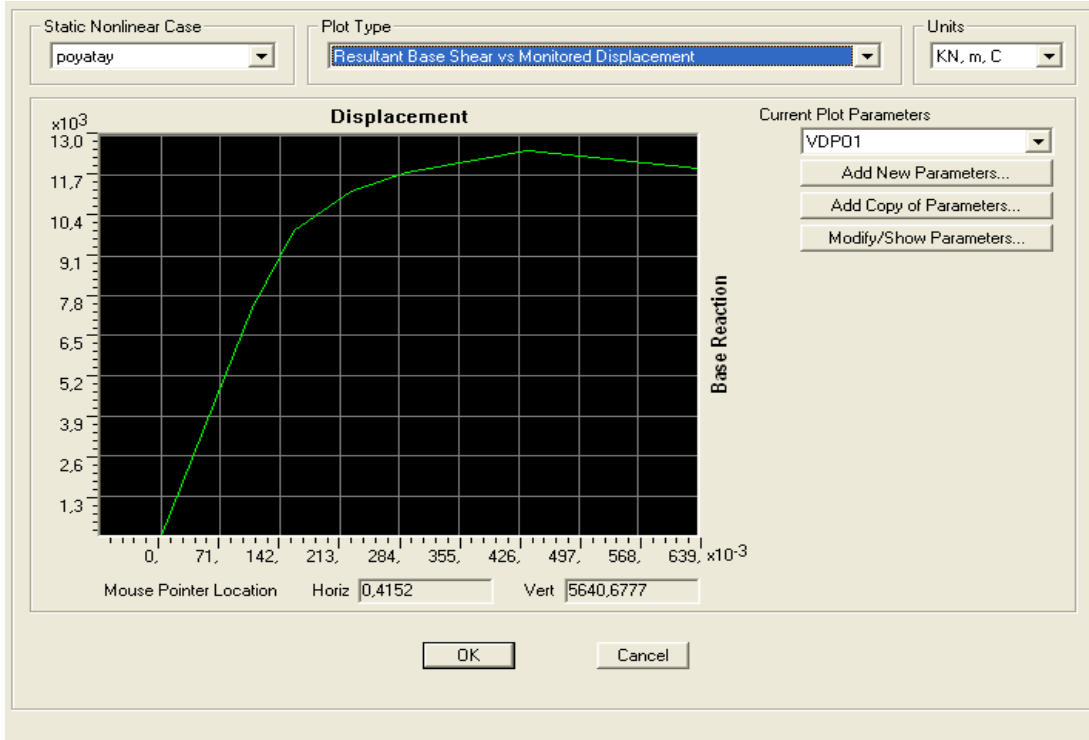
Şekil 4.18’de performans noktasında sistemde oluşan plastik mafsalların yeri ve performans seviyesi gösterilmektedir.



Şekil 4.18 : Sistem 3 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları

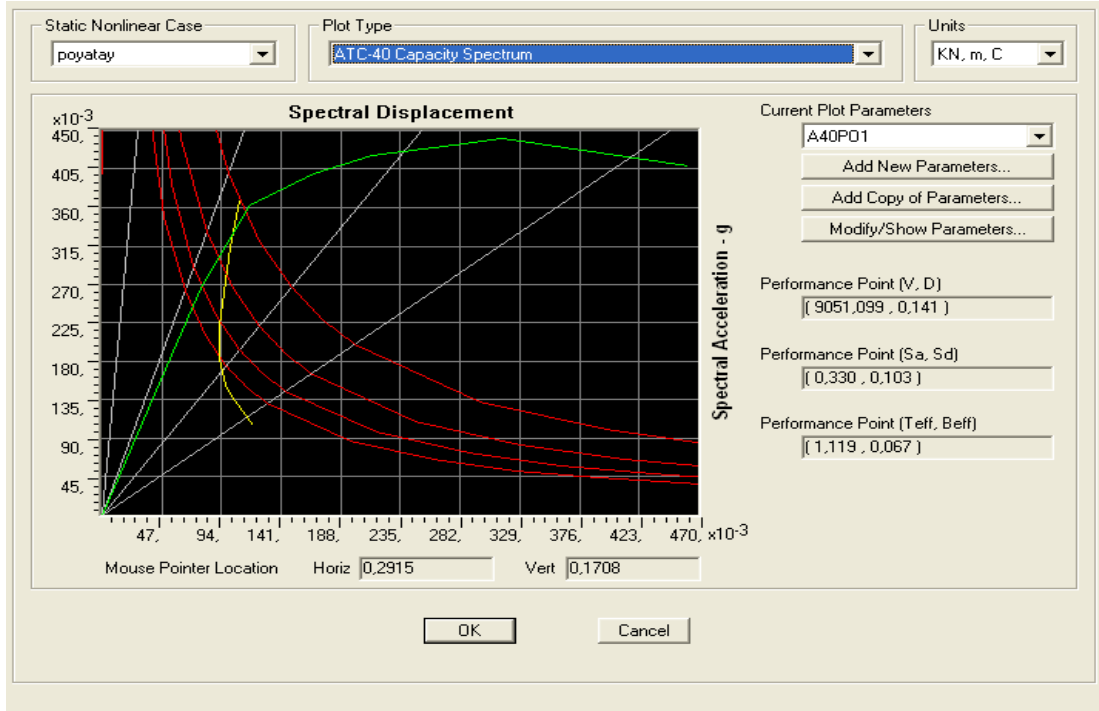
4.4.2.4 Sistem 4 için statik itme analizi sonuçları

Taşıyıcı sistemi her iki yönde süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan sistem 4 için statik time analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.19’da verilmiştir. Yatay eksen tepe noktası yer değiştirmesini, düşey eksen ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.19 : Sistem 4 – kapasite eğrisi

Şekil 4.20’de ATC 40 kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi gösterilmektedir. Performans noktası değerleri $V = 9051$ ve $D = 0.141$ olarak grafikten okunmaktadır.



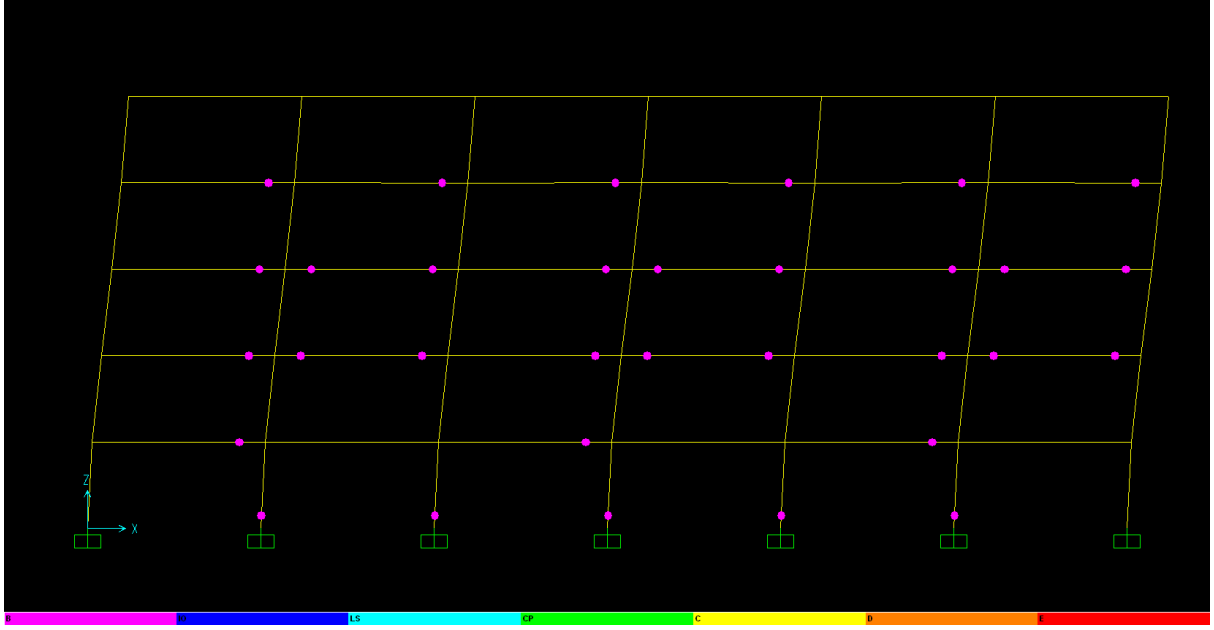
Şekil 4.20 : Sistem 4 - kapasite spektrum metodu ile performans noktasının elde edilmesi

Şekil 4.21’de, Sistem 4 için, kapasite eğrisinin hesap adımlarında, elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları gösterilmektedir.

Table Display											
File Edit											
Pushover Curve - poyatay											
Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoD	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0,000014	0,000	1330	0	0	0	0	0	0	0	1330
1	0,074986	5150,034	1330	0	0	0	0	0	0	0	1330
2	0,107973	7415,173	1324	6	0	0	0	0	0	0	1330
3	0,158533	9927,898	1226	104	0	0	0	0	0	0	1330
4	0,226485	11180,841	1135	195	0	0	0	0	0	0	1330
5	0,292073	11805,079	1073	233	24	0	0	0	0	0	1330
6	0,382394	12258,903	1063	211	32	24	0	0	0	0	1330
7	0,435280	12505,298	1061	138	107	6	0	18	0	0	1330
8	0,437569	12505,031	1061	138	107	2	0	22	0	0	1330
9	0,639273	11933,486	1061	8	193	19	0	49	0	0	1330

Şekil 4.21 : Sistem 4 - hesap adımları arasında elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Şekil 4.22’de performans noktasında sistemde oluşan plastik mafsalların yeri ve performans seviyesi gösterilmektedir.



Şekil 4.22 : Sistem 4 - performans noktasında oluşan plastik mafsallar ve performans aralıkları

4.5 Yapı Davranış Katsayılarının Belirlenmesi

Bu bölümde 4 çelik taşıyıcı sistemin, taşıyıcı sistem davranış katsayıları belirlenecektir.

Bu çalışmada yapı davranış katsayılarının hesaplanması için ATC-19 raporunda [7] önerilen hesap yolu kullanılmıştır.

Süneklik katsayısı R_μ nin belirlenmesi için detayları bölüm 3’te verilen Newmark ve Hall (1982) un önerdiği formül kullanılmıştır.

Fazlalık katsayısı için bütün sistemlerde her iki doğrultuda da 4 ve daha fazla deprem çerçevesi olduğundan $R_R = 1$ değeri kullanılmıştır.

Hesap adımları ve sonucunda 4 çelik taşıyıcı sistem için belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayısı Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14 : Taşıyıcı sistem davranış katsayıları

Sistem	V_0	V_d	R_s	Δ_m	Δ_y	μ	R_μ	R_R	R
1	14186	5354	2,65	0,095	0,047	2,01	1,77	1	4,69
2	10067	3598	2,80	0,113	0,038	3,01	2,44	1	6,83
3	16481	7379	2,23	0,092	0,046	2,01	1,73	1	3,86
4	11810	3285	3,60	0,300	0,210	1,43	1,43	1	5,14

4.6 Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi

Çelik taşıyıcı sistem modellerinin lineer olmayan davranışlarına ait sayısal irdelemeler aşağıda verilmiştir.

1. Statik itme analizi sonucunda belirlenen performans noktasındaki taban kesme kuvvetleri ve tepe noktası yer değiştirmeleri Çizelge 4.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 : Performans noktası taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme değerleri

Sistem	Taban kesme kuvveti (kN)	Tepe noktası yer değiştirmesi (m)
1	12683	0,061
2	9103	0,068
3	14310	0,06
4	9051	0,141

Çizelgede görüldüğü gibi çaprazlı sistemlerde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirine yakın değerlerde gözlemlenmiştir. Buna karşın performans noktasındaki taban kesme kuvveti değerleri süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perdelerden oluşan sistemde en büyük, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı perdelerden oluşan sistemde daha küçük, dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistemde ise en küçük değeri almaktadır.

Süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan sistem performans noktasında, çaprazlı sistemlere göre daha yüksek tepe noktası yer değiştirmesi ve daha düşük taban kesme kuvveti değerine sahiptir.

2. Çelik taşıyıcı sistemlerin statik itme analizi adımlarında gösterdiği davranışlar özetlenecek olursa;

a. Sistem 1'in statik itme analizi sonucunda belirlenen performans noktasında B-IO performans aralığında 11, IO-LS performans aralığında ise 4 plastik mafsallarda meydana gelmiştir. Plastik mafsallar ilk olarak çapraz elemanlarda daha sonra birinci kat kolonlarında oluşmuştur. Performans noktasında, x doğrultusundaki her perdenin birinci katındaki merkezi çaprazlardan basınç kuvvetine maruz kalan çapraz elemanlarda IO-LS performans aralığına ulaşılmıştır. Performans noktasına ulaşıldıktan sonra analize devam edildiğinde birinci kattaki çaprazlar LS-CP performans aralığına ulaşırken, ikinci kattaki merkezi çaprazlardan basınç kuvvetine maruz kalan çapraz elemanlar IO-LS performans aralığına ulaşmaktadır. Birinci kat çapraz elemanlarının burkulması ve dayanımını kaybetmesi sonucunda sistem göçmeye ulaşmıştır.

b. Sistem 2'nin statik itme analizi sonucunda belirlenen performans noktasında B-IO performans aralığında 4 ve IO-LS performans aralığında 4 adet plastik mafsallarda oluşmuştur. Plastik mafsalların tamamı dışmerkez çaprazların bağ kirişlerinde kesme kuvveti etkisinde oluşmuştur. Performans noktasında birinci kat bağ kirişleri IO-LS performans aralığında, ikinci kat bağ kirişleri ise B-IO performans aralığında yer almaktadır. Performans noktasına ulaşıldıktan sonra sistemin üçüncü kat bağ kirişlerinin plastikleşmesini takiben birinci kat bağ kirişleri dayanımını kaybetmiştir ve sistem göçmeye ulaşmıştır. Birinci kat bağ kirişlerinin dayanımını kaybetmesi sonucunda birinci kat kolonlarının uç kısımlarında ve ikinci kat kolonlarının alt kısımlarında plastik mafsallar oluşmuş ve sistemde bir miktar dayanım artışı meydana gelmiştir.

c. Sistem 3'ün statik itme analizi sonucunda belirlenen performans noktasında B-IO performans aralığında 12, IO-LS performans aralığında ise 4 plastik mafsallarda meydana gelmiştir. Performans noktasında, x doğrultusundaki perdelerin birinci katında basınç kuvvetine maruz kalan çapraz elemanlarda IO-LS performans aralığına ulaşılmıştır. Diğer mafsallar, B-IO performans aralığında, ikinci ve üçüncü

katta, basınç kuvvetine maruz kalan çaprazlarda meydana gelmiştir. Performans noktasından sonra itme analizine devam edildiğinde birinci katta basınç kuvveti altındaki çapraz elemanlar önce LS-CP daha sonra IO-CP performans aralığına gelirken ikinci katta basınç kuvveti altındaki çapraz elemanlar önce IO-LS daha sonra C-D performans aralığına ulaşmıştır. Birinci katta basınç kuvvetine maruz kalan çapraz elemanların burkulması ve dayanımlarını kaybetmesi sonucunda sistem göçmeye ulaşmıştır. Çaprazların dayanımını kaybetmesi sonucu birinci kat kolonların uç kısımlarında ve ikinci kat kolonların alt kısımlarında plastik mafsallar oluşmuş ve sistemde bir miktar dayanım artışı meydana gelmiştir.

d. Sistem 4'ün statik itme analizi sonucunda belirlenen performans noktasında B-IO performans aralığında 104 plastik mafsallık meydana gelmiştir. İlk plastik mafsallar ikinci kat kirişlerinde oluşmuş daha sonra diğer kat kirişlerinde ve birinci kat kolonların alt uçlarında meydana gelmiştir. Performans noktasına ulaşıldıktan sonra itme analizine devam edildiğinde, kirişlerde oluşan plastik mafsallık sayıları artış gösterirken kolonların alt ucundaki plastik mafsallar C-D performans aralığına gelmiştir ve sistem göçmeye ulaşmıştır. Bu noktadan sonra azalan bir eğimle sistem yük taşımaya devam etmiştir.

3. Performans kriterleri göz önüne alındığında sistemlerin hepsinin öngörülen can güvenliği performans seviyesini sağladığı görülmektedir.

4. Sistemlerin göçmeye ulaştığı andaki bağıllık yer değıştirme değeri;

- Sistem 1 için $\delta / H = 0,0062$
- Sistem 2 için $\delta / H = 0,0075$
- Sistem 3 için $\delta / H = 0,006$
- Sistem 4 için $\delta / H = 0,029$

Bu değeri, çaprazlı sistemler için göçme durumuna karşı gelen 0,02 ve çerçeve sistem için göçme durumuna karşı gelen 0,05 sınır yer değıştirmesinin [2] altında kalmaktadır.

5. Merkezi çaprazlı perdelerden oluşan sistemde meydana gelen ilk plastik kesitler çaprazlarda, dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistemde bağıllık kirişinde, çerçevelerden oluşan sistemde ise kirişlerde meydana gelmektedir.

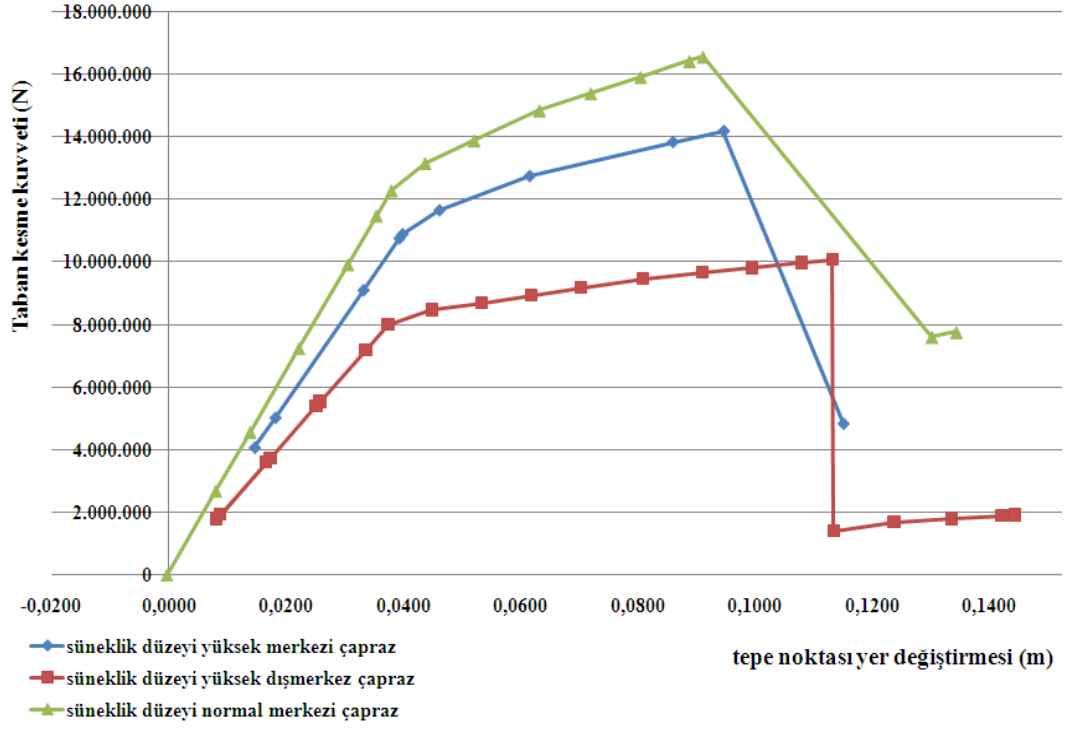
6. Çelik taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılması sonucunda oluşan yapı sistemlerinin ağırlık oranları, sistem 1 için 0,64, sistem 2 için 0,72, sistem 3 için 0,68 ve sistem 4 için 1 olarak belirlenmiştir.

Dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistem 2, merkezi çaprazlı sistemlere göre daha yüksek ağırlık oranına sahiptir. Bunun nedeni bağ kirişlerinin kesitlerinin büyük olması ve imalat zorluğunun göz önünde bulundurulması nedeniyle seçilen tek bağ kirişi ve kolon kesitidir. İmalat detayları düşünülmeyen projelendirilme yapılmış olsaydı diğer çaprazlı sistemlere yakın ağırlık değeri elde edilecekti.

Çaprazlı sistemlerin birbirine yakın değerde ağırlık oranına sahip olmasının nedeni, perdelerin dışındaki kolon kesitlerinin yatay yük taşımaması sonucu sadece düşey yüklere göre dizayn edilmesi ve bütün sistemler için aynı olmasıdır. Perdelerin toplam yapı ağırlığı içinde düşük orana sahip olması nedeniyle, kesitlerin küçülmesinin veya büyümesinin yapı toplam ağırlığına etkisi az olmaktadır.

Çerçevelerden oluşan sistem, çaprazlı sistemlere göre % 20-25 daha ağır olarak görülmektedir. Bu ağırlık farkı, kat ötelenmelerinin sınırlanması için seçilen gereğinden büyük kesitlerle açıklanabilir.

7. Çaprazlı taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrileri Şekil 4.23'te görülmektedir. Kapasite eğrileri incelendiğinde dışmerkez çaprazlı sistemlerin merkezi çaprazlı sistemlere göre daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı ve daha sünek davranış gösterdiği görülmektedir, [15].



Şekil 4.23 : Çaprazlı sistemlerin kapasite eğrileri

8. Sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayıları incelendiğinde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistem için 4.69, süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perdelerden oluşan sistem için 3.86, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistem için 6.83, süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan sistem için 5.14 değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR

1. Bu tez çalışmasında, statik itme analizi yöntemi kullanılarak, SAP 2000 paket programından faydalanmak suretiyle, çelik taşıyıcı sistemin deprem performansları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca sistem modellerinin taşıyıcı sistem davranış katsayıları belirlenerek Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007 ile uyumu değerlendirilmiştir.

2. Çalışmada, incelemeyi yapmak üzere süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı perdelerden, süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perdelerden, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı perdelerden ve çerçevelerden oluşan 4 farklı sistem göz önüne alınmıştır. Bu farklı çelik yapı sistemlerinin lineer olmayan davranışın incelenmesi düşünülmüştür.

3. Çelik taşıyıcı sistemlerin, taşıyıcı sistem davranış katsayılarının hesaplanması için ATC-19 raporunda önerilen hesap metodu kullanılmıştır ve sonuçlar Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007 ile karşılaştırılmıştır.

4. Sayısal incelemeler sonucunda oluşan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

a. TS648 çelik yapılar yönetmeliğine ve Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007'ye uygun olarak boyutlandırılan 4 farklı çelik taşıyıcı sistemin performans noktası belirlenmiştir. Performans noktasında sistem taşıyıcı elemanlarının performans aralıkları elde edilmiştir. Sistemlerin tamamı öngörülen can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

b. Çaprazlı sistemler performans noktasından sonra burkulmalar nedeniyle ani dayanım kaybına uğramaktadır. Buna karşın çerçevelerden oluşan sistemde ani ve büyük miktarda dayanım kaybı olmamaktadır. Bu sonuç, çerçevelerden oluşan sistemin hiperstatiklik derecesinin fazla olması ve sistemi oluşturan taşıyıcı elemanların yardımlaşması ile açıklanabilir.

c. Plastik kesitler merkezi çaprazlı sistemlerde ilk olarak çaprazlarda, dışmerkez çaprazlı sistemde bağ kirişinde, çerçevelerden oluşan sistemde ise kirişlerde meydana gelmiştir.

d. Plastik mafsalların sayısına bakıldığında çaprazlı sistemlerde birbirine yakın değerler elde edilmekte, buna karşın çerçevelerden oluşan sistemde ise çok daha fazla sayıda plastik kesit elde edilmektedir. Bu fark, yine çerçevelerden oluşan sistemde hiperstatiklik derecesinin fazla olması ile açıklanabilmektedir.

e. Çaprazlı sistemler ve çerçevelerden oluşan sistem, sırasıyla göçme durumuna karşı gelen $\delta/H = 0.02$ ve $\delta/H = 0.05$ sınır yer değiştirme değerlerinin [2] altında göçme durumuna ulaşmaktadır.

f. Boyutlandırılan yapı sistemlerinde ağırlık oranları incelendiğinde çaprazlı sistemler birbirine yakın değerler almaktadır. Dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistemin diğer çaprazlı sistemlere oranla daha ağır çıkmasının sebebi, imalat detaylarının zorluğunun düşünülmesi nedeniyle seçilen tek kolon ve bağ kirişi kesitidir. Ayrıca çaprazlı sistemlerde ağırlık oranlarının büyük farklılıklar göstermemesinin nedeni ise, sistemin tamamına oranla perdelerin düşük bir ağırlık yüzdesine sahip olması ve perde taşıyıcı elemanlarındaki değişikliklerin sistem genel ağırlığını fazla etkilememesidir.

Çaprazlı sistemler ile çerçevelerden oluşan sistem kıyaslandığında % 20-25 ağırlık farkı görülmektedir. Bu büyük fark çerçevelerden oluşan sistemin taşıyıcı elemanlarının kat ötelenmelerinin sınırlandırılması amacıyla gereğinden büyük seçilmesi ile açıklanabilir.

g. Sistemlerin kapasite eğrileri incelendiğinde çaprazlı sistemler içinde dışmerkez çaprazlı sistemlerin göçmeden önce yaptığı yer değiştirme daha yüksek değerler almaktadır. Bu sonuç dışmerkez çaprazlı sistemin merkezi çaprazlı sistemlere oranla daha fazla deprem enerjisi tüketebildiğini göstermektedir.

h. Taşıyıcı sistem davranış katsayıları hesaplandığında süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistem için 4.69, süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perdelerden oluşan sistem için 3.86, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı perdelerden oluşan sistem için 6.83, süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan sistem için 5.14 değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Bu değerler ilgili taşıyıcı sistem modelleri için Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY 2007'de verilen sırasıyla $R = 5$, $R = 4$, $R = 7$ ve $R = 5$ değerleri ile belirli bir yaklaşıklık içinde uyumlu gözükmektedir.

i. Bu tez çalışmasında uygulanan yöntemler ele alınarak diğer çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi ve yapı davranış katsayılarının hesaplanması ve ilgili yönetmelikler ile değerlerin karşılaştırılması mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **ATC 40**, 1996: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Techonology Council, Atc, Vol. 1, Redwood City, California, 1996.
- [2] **FEMA (Federal Emergency Management Agency)**, Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings., 273, 1997.
- [3] **FEMA (Federal Emergency Management Agency)**, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings., 356, 2000.
- [4] **FEMA (Federal Emergency Management Agency)**, 440 Improvement Of Nonlinear Static Seismic analysis Procedures, NEHRP Guidelines, Washington D.C., 2005.
- [5] **Özer, E.**, 2005. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, *Ders notları*, İTÜ, İstanbul, pp. 1-14.
- [6] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, (TDY2007) İstanbul, Resmi Gazete 2007.
- [7] **Topaloğlu, N.**, 2007. Merkezi Çelik Çaprazlı Perde Türlerinin Etkinliğinin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trazbon.
- [8] **Celep, Z., ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. *Beta Dağıtım, İstanbul*.
- [9] **ATC 19**, 1995: Structural Response Modification Factors, Applied Techonology Council, Redwood City, California, 1995.
- [10] **TS 648**, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **SAP 2000p V.14.1.0**, 2009. Static and Dynamic Finite Elements Analysis of Structures, *Structural Analysis Program*, Computers and Structures, Inc., 1995 University Avenue, Berkeley, California.
- [12] **Computers and Structures Inc.**, 1998. Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures, *Detailed Tutorial Including Pushover Analysis*, Berkeley, California, USA.

- [13] **Özer, E.**, 2006. Çelik Yapı Sistemlerinin Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe (2006 Türk Deprem Yönetmeliği) Uygun Olarak Tasarımı, İMO, İzmir, 111 p.
- [14] **TS 498**, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara., 1987.
- [15] **Özcihan, B.**, 2001. Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışın İncelenmesi ve Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ahmet Kerem Külekçi

Doğum Yeri ve Tarihi: Giresun, 12.06.1983

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Ahmet Kerem Külekçi, 1983 yılında Giresun’da doğmuştur. İlkokulu Cumhuriyet İlkokulu’nda okuduktan sonra ortaokul ve liseyi Giresun Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi’nde bitirmiştir. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2006 yılında bu bölümü bitirdikten sonra, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, Yapı analizi ve Boyutlandırma Programı’na girmeye hak kazanmıştır. Halen özel bir kuruluştaki görev yapmaktadır.