

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



**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
TASARLANAN ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARININ DEPREM
PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET AŞÇI

BALIKESİR, 2012

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



**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
TASARLANAN ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARININ DEPREM
PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET AŞÇI

BALIKESİR, 2012

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ahmet AŞÇI tarafından hazırlanan “**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARININ DEPREM PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09/03/2012 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER



Üye
Prof. Dr. Erdal İRTEM



Üye
Doç. Dr. Konuralp GİRGİN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Hilmi NAMLI

.....

ÖZET

2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARININ DEPREM PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET AŞCI

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI : Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER)
BALIKESİR, 2012

Ülkemizde endüstriyel alanların büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle bu bölgedeki binalar önemli oranda deprem riski altında bulunmaktadır. Endüstriyel alanlarda meydana gelen depremlerde, yapı içindeki makine ve teçhizatların çok değerli ve yüksek maliyetli olması çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bina içindeki ekipmanları koruyabilmek için binanın deprem etkileri altında yeterli performans seviyesini (hasar durumunu) sağlaması gerekmektedir. Bu bağlamda şekildeğiştirmeye (hasara) dayalı deprem performansı değerlendirme, endüstri binaları için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY)'ye göre boyutlandırılmış tek katlı çelik endüstri binalarının deprem performanslarının ve deprem performanslarını etkileyen stabilite problemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla taşıyıcı sistem tipi, süneklik düzeyi ve sistem ağırlığı bakımından farklı özelliklerde altı adet bina üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemleri bir doğrultuda eğik kirişli veya kafes kirişli çerçeve sistemlerden, diğer doğrultuda merkezi çelik çaprazlı (X veya diyagonal) perde sistemlerden oluşturulmuştur. Ayrıca aşıklar ve yatay stabilite elemanları ile taşıyıcı sistemler çatı düzleminde birbirine bağlanmıştır.

Binaların performans değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-06'da önerilen performans kriterleri ve modelleme parametreleri kullanılmıştır. İki ayrı deprem tehlike seviyesi için performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunlar; binanın tasarımında kullanılan deprem seviyesi ve binanın maruz kalabileceği en büyük deprem seviyesidir. Çalışmada doğrusal olmayan statik yöntem kullanılmıştır.

İncelenen hemen hemen tüm bina taşıyıcı sistemlerinde tasarım depremi altında TDY'de öngörülen Can Güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır. Ancak kısa doğrultudaki bazı taşıyıcı sistemlerde deprem etkisi altında stabilite problemlerinin (yanal burkulma) oluşabildiği belirlenmiştir. Çalışmada stabilite problemlerini önlemek için alınması gereken önlemlere de yer verilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : endüstriyel çelik binalar, deprem performansı değerlendirme, doğrusal olmayan statik yöntem, stabilite etkisi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF INDUSTRIAL STEEL BUILDINGS DESIGNED BY 2007 TURKISH EARTHQUAKE CODE

M. Sc. THESIS

AHMET AŞCI

**BALIKESİR UNIVERSITY, INSTITUTE of SCIENCE
DEPARTMENT of CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR : Assist. Prof. Dr. Kaan TÜRKER)
BALIKESİR, 2012**

In our country, a big part of industrial areas are located on the earthquake belt. For this reason, buildings in these areas are under significant earthquake risk. Earthquakes occurred in industrial areas can cause great economic losses because of high costly machinery and equipment in industrial buildings. The building must have sufficient performance level (damage state) to protect equipments in the building under seismic effects. In this context, seismic performance evaluation based on deformation (damage) is great importance for industrial buildings.

In this study, seismic performance of single-storey industrial steel buildings designed by 2007 Turkish Earthquake Code (TEC) were investigated. In addition stability problems effect on seismic performance were determined for these single-storey buildings. For this purpose, numerical investigations were made on six buildings with different characteristics (structural system type, seismic weight and level of ductility). Structural systems of buildings were composed by portal frame or frame with trussed beams in a direction and concentric steel braced (X or diagonal bracing) frames in other direction. In addition, purlins and horizontal stability elements were connected to structural systems in the roof plane.

Performance criterias and modelling parameters proposed by ASCE/SEI 41-06 were used in the performance evaluation of buildings. Performance evaluation was made for two different seismic hazard level. These are the design earthquake of buildings and the maximum earthquake expected in the region. In the study, non-linear static procedure was used.

Almost all building structural systems investigated in the study ensured the Life Safety performance level (stipulated in TEC) under the design earthquake. Nevertheless, stability problems (lateral buckling) occurred in short direction of some structural systems under the seismic effects. The study deal also with the required measures to prevent stability problems in members.

KEYWORDS : industrial steel buildings, seismic performance evaluations, non-linear static procedure, stability effect.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	5
1.2 Literatür İncelemesi	6
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	10
2.1 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma Koşulları	14
2.1.1 İdeal Malzemeler	15
2.1.2 Yapı Çelikleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları	16
2.1.3 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları	18
2.1.4 İdeal Elastoplastik Malzemedan Yapılmış Çubuklar	21
2.1.5 Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzemedan Yapılmış Çubuklar	28
2.1.6 Tekrarlı Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanların Davranışı ..	30
2.2 Plastik Mafsal Hipotezi	33
2.3 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözüm Yöntemleri	38
2.3.1 Ardışık Yaklaşım Yöntemleri	39
2.3.2 Yük Artımı Yöntemleri	40
2.3.3 Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Yapının Yük Artımı Yöntemi İle Hesabı	42
2.3.4 Kuvvet ve Yerdeğiştirme Kontrollü Sistem Analizi	43
3. BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	45
3.1 ASCE / SEI 41-06'ya Göre Tanımlar	46
3.1.1 Performans Seviyeleri	46
3.1.1.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri ve Aralıkları	47
3.1.1.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri ..	50
3.1.1.3 Binalar İçin Performans Hedefleri	52
3.1.2 Deprem Tehlike Seviyeleri	53
3.2 ASCE / SEI 41-06'daki Analiz Yöntemleri	54
3.2.1 Doğrusal (Lineer) Yöntemler	54
3.2.2 Doğrusal Olmayan (Non-Linear) Yöntemler	55
3.3 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem	55
3.4 Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye Göre Sistemin Tepe Yerdeğiştirmesi (Hedef Yerdeğiştirme) Talebinin Belirlenmesi	60
3.5 Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri	65
4. ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARI ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER	71

4.1 Bina-1'e Ait Sayısal İncelemeler.....	74
4.1.1 Bina-1'in Boyutlandırılması.....	78
4.1.1.1 Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması.....	85
4.1.1.2 Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması.....	89
4.1.1.3 Uzun Doğrultudaki Merkezi Çapraz Elemanlarının Boyutlandırılması.....	92
4.1.1.4 Uzun (Y) Doğrultudaki Kirişlerin Boyutlandırılması... 94	
4.1.1.5 Yatay Yerdeğiştirmelerin Kontrolü.....	95
4.1.1.6 İkinci Mertebe Etkilerinin Kontrolü.....	96
4.1.2 Bina-1'in Deprem Performansının Belirlenmesi.....	98
4.1.2.1 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntılarının ve Performans Seviyelerine Ait Sınır Şekildeğiştirme Değerlerinin Belirlenmesi.....	99
4.1.2.2 Kısa (X) Doğrultudaki Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi.....	108
4.1.2.3 Uzun (Y) Doğrultudaki Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi.....	115
4.1.3 Bina-1'de Stabilite Kontrolleri.....	121
4.2 Bina-2'ye Ait Sayısal İncelemeler.....	130
4.2.1 Bina-2'nin Boyutlandırılması.....	131
4.2.2 Bina-2'nin Deprem Performansının Belirlenmesi.....	134
4.2.3 Bina-2'de Stabilite Kontrolleri.....	139
4.3 Bina-3'e Ait Sayısal İncelemeler.....	141
4.3.1 Bina-3'ün Boyutlandırılması.....	143
4.3.2 Bina-3'ün Deprem Performansının Belirlenmesi.....	148
4.3.3 Bina-3'te Stabilite Kontrolleri.....	157
4.4 Bina-4'e Ait Sayısal İncelemeler.....	160
4.4.1 Bina-4'ün Boyutlandırılması.....	161
4.4.2 Bina-4'ün Deprem Performansının Belirlenmesi.....	165
4.4.3 Bina-4'te Stabilite Kontrolleri.....	173
4.5 Bina-5'e Ait Sayısal İncelemeler.....	175
4.5.1 Bina-5'in Boyutlandırılması.....	176
4.5.2 Bina-5'in Deprem Performansının Belirlenmesi.....	181
4.5.3 Bina-5'te Stabilite Kontrolleri.....	189
4.6 Bina-6'ya Ait Sayısal İncelemeler.....	191
4.6.1 Bina-6'nın Boyutlandırılması.....	193
4.6.2 Bina-6'nın Deprem Performansının Belirlenmesi.....	197
4.6.3 Bina-6'da Stabilite Kontrolleri.....	206
4.7 Tüm Binalara Ait Sonuçların Karşılaştırılması.....	208
5. SONUÇLAR.....	213
6. KAYNAKLAR.....	218

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Tipik Bir Endüstri Yapısı Taşıyıcı Sistemi.	2
Şekil 1.2	: Tek Katlı Çelik Binalarda Kullanılan Kısa ve Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Örnekleri.....	3
Şekil 2.1	: Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen P-u _T Bağlılıları.	12
Şekil 2.2	: Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim.	14
Şekil 2.3	: Şematik Yük Parametresi-Şekildeğiştirme Diyagramı.	15
Şekil 2.4	: İdeal Malzemeler.	16
Şekil 2.5	: Yapı Çeliklerinde σ - ϵ Diyagramı.	17
Şekil 2.6	: Yapı Çeliklerinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi.	17
Şekil 2.7	: Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvetler ve Şekil Değiştirmeler. .	18
Şekil 2.8	: Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterimi.	20
Şekil 2.9	: Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı).	20
Şekil 2.10	: İdeal Elastoplastik Malzemedeki σ - ϵ Diyagramı.	21
Şekil 2.11	: İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları.....	22
Şekil 2.12	: Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı.	24
Şekil 2.13	: I Kesiti.	24
Şekil 2.14	: Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesitlerinde Akma Eğrileri.	26
Şekil 2.15	: Zayıf Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti.	26
Şekil 2.16	: Akma Eğrisi ve Akma Vektörü.	27
Şekil 2.17	: Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları.	29
Şekil 2.18	: Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı.	29
Şekil 2.19	: Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Akma ve Kırılma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı).	30
Şekil 2.20	: Farklı Narinliklere Sahip Çubukların Tekrarlı Eksenel Yük Altındaki Davranışları.	31
Şekil 2.21	: Tekrarlı Eksenel Yük Altındaki Çapraz Elemanın Davranışı.	32
Şekil 2.22	: Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı.	33
Şekil 2.23	: Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler.	34
Şekil 2.24	: İdealleştirilmiş Eğilme Momenti-Eğrilik Bağlılısı.	35
Şekil 2.25	: Plastik Mafsal Boyu.	36
Şekil 2.26	: Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Eğilme Momenti-Dönme Diyagramı.	37
Şekil 2.27	: Teğet Yöntemi.	40
Şekil 2.28	: Basit Yük Artımı Yöntemi.	41
Şekil 2.29	: Düzeltilmiş Yük Artımı Yöntemi.	41
Şekil 2.30	: Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Sistemin Artan Yükler Altındaki Davranışı.	42
Şekil 3.1	: Sistem Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Bölgeleri.	49
Şekil 3.2	: Doğrusal Olmayan Statik Analiz ile Belirlenen Tipik Kapasite Eğrisi.	56

Şekil 3.3	: Kapasite Eğrisinin İki Doğru Parçası İle İdealleştirilmesi.	57
Şekil 3.4	: Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi ($T_1 \geq T_B$).	62
Şekil 3.5	: Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi ($T_1 < T_B$).	64
Şekil 3.6	: Elemanların İç Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkisi.	65
Şekil 3.7	: Şematik İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlıntıları.	67
Şekil 3.8	: Performans Seviyelerinin İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlıntısı Üzerinde Gösterimi.	68
Şekil 4.1	: İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlıntılarının İdealleştirilmesi.	72
Şekil 4.2	: Bina-1'in Perspektif Görünüşü.	75
Şekil 4.3	: Bina-1'in Çatı Planı.	76
Şekil 4.4	: Bina-1'in Kısa (X) Doğrultusu.	77
Şekil 4.5	: Bina-1'in Uzun (Y) Doğrultusu.	77
Şekil 4.6	: Bina-1 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	78
Şekil 4.7	: Bina-1 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	79
Şekil 4.8	: Bina-1 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri....	80
Şekil 4.9	: Aerodinamik Yük Katsayıları ve Rüzgar Yükleri.	80
Şekil 4.10	: Bina-1 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	82
Şekil 4.11	: Bina-1 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	83
Şekil 4.12	: Bina-1 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.....	84
Şekil 4.13	: Kiriş Alt ve Üst Başlıklarının Yanal Mesnetlenme Noktaları.	86
Şekil 4.14	: Performans Belirlenmede Göz Önüne Alınan İvme Spektrumları. ..	99
Şekil 4.15	: IPE 360 Kirişi İçin Moment-Dönme Bağlıntısı.	101
Şekil 4.16	: Çapraz Sistemi Kirişi İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi Bağlıntısı.	104
Şekil 4.17	: IPE 360 Kolonu Etkileşim Diyagramı.	104
Şekil 4.18	: Çapraz Sistemi Kolonu İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi Bağlıntısı.	105
Şekil 4.19	: Çapraz Sistemi Merkezi Çaprazı İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi Bağlıntısı.	107
Şekil 4.20	: Bina-1 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi.	108
Şekil 4.21	: Bina-1 Kısa Doğrultu Tahmin Edilen Performans Noktaları.	109
Şekil 4.22	: Bina-1 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	111
Şekil 4.23	: Bina-1 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.....	114
Şekil 4.24	: Bina-1 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	114
Şekil 4.25	: Bina-1 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	115
Şekil 4.26	: Bina-1 Uzun Doğrultu Tahmin Edilen Performans Noktaları.	116
Şekil 4.27	: Bina-1 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	118
Şekil 4.28	: Bina-1 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	120
Şekil 4.29	: Bina-1 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	120
Şekil 4.30	: Bina-1'de Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri.	124
Şekil 4.31	: Bina-1 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	127
Şekil 4.32	: Yanal (Burulmalı) Burkulmayı Önleyen Bağlantılar.	128

Şekil 4.33 : Kolon ve Kirişin Burulmalı Burkulmasını Önlemek İçin Alınan Önlemler.	129
Şekil 4.34 : Bina-2'nin Perspektif Görünüşü.	130
Şekil 4.35 : Bina-2 Kısa Doğrultuda Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.	131
Şekil 4.36 : Bina-2 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	132
Şekil 4.37 : Bina-2 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Hesap Modeli ve Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.	132
Şekil 4.38 : Bina-2 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	134
Şekil 4.39 : Bina-2 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	135
Şekil 4.40 : Bina-2 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	137
Şekil 4.41 : Bina-2 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	138
Şekil 4.42 : Bina-2'de Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafleri.	139
Şekil 4.43 : Bina-2 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	140
Şekil 4.44 : Bina-3'ün Perspektif Görünüşü.	141
Şekil 4.45 : Bina-3 Kısa (X) Doğrultusu ve İdealleştirmesi.	142
Şekil 4.46 : Bina-3 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	143
Şekil 4.47 : Bina-3 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	143
Şekil 4.48 : Bina-3 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.	144
Şekil 4.49 : Bina-3 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	144
Şekil 4.50 : Bina-3 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	145
Şekil 4.51 : Bina-3 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.	146
Şekil 4.52 : Çapraz Elemanlarda Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Burkulma Boyları.	146
Şekil 4.53 : Bina-3 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi.	148
Şekil 4.54 : Bina-3 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	149
Şekil 4.55 : Bina-3 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	151
Şekil 4.56 : Bina-3 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	152
Şekil 4.57 : Bina-3 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	152
Şekil 4.58 : Bina-3 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	153
Şekil 4.59 : Bina-3 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	156
Şekil 4.60 : Bina-3 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	156
Şekil 4.61 : Bina-3'de Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafleri.	157
Şekil 4.62 : Bina-3 Çerçeve Kolonu İçin Etkileşim Diyagramları ($N/N_{CL} < 0.20$).	158
Şekil 4.63 : Bina-3 Çerçeve Kolonu İçin Etkileşim Diyagramları ($N/N_{CL} \geq 0.20$).	158
Şekil 4.64 : Bina-3 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	159

Şekil 4.65 : Bina-4'ün Perspektif Görünüşü.	160
Şekil 4.66 : Bina-4 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	161
Şekil 4.67 : Bina-4 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	161
Şekil 4.68 : Bina-4 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.	162
Şekil 4.69 : Bina-4 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	162
Şekil 4.70 : Bina-4 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	163
Şekil 4.71 : Bina-4 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.	164
Şekil 4.72 : Bina-4 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi.	165
Şekil 4.73 : Bina-4 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	166
Şekil 4.74 : Bina-4 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	168
Şekil 4.75 : Bina-4 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	169
Şekil 4.76 : Bina-4 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	169
Şekil 4.77 : Bina-4 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Performans Noktası (TDY).	170
Şekil 4.78 : Bina-4 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	172
Şekil 4.79 : Bina-4'te Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri.	173
Şekil 4.80 : Bina-4 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	174
Şekil 4.81 : Bina-5'in Perspektif Görünüşü.	175
Şekil 4.82 : Bina-5 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	176
Şekil 4.83 : Bina-5 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	177
Şekil 4.84 : Bina-5 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.	178
Şekil 4.85 : Bina-5 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	178
Şekil 4.86 : Bina-5 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	179
Şekil 4.87 : Bina-5 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.	180
Şekil 4.88 : Bina-5 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi.	181
Şekil 4.89 : Bina-5 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	182
Şekil 4.90 : Bina-5 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	184
Şekil 4.91 : Bina-5 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	185
Şekil 4.92 : Bina-5 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	185
Şekil 4.93 : Bina-5 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	186
Şekil 4.94 : Bina-5 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	188
Şekil 4.95 : Bina-5 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	188
Şekil 4.96 : Bina-5'te Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri.	189
Şekil 4.97 : Bina-5 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	190
Şekil 4.98 : Bina-6'nın Perspektif Görünüşü.	191
Şekil 4.99 : Bina-6 Kısa (X) Doğrultusu ve İdealleştirmesi.	192

Şekil 4.100 : Bina-6 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	193
Şekil 4.101 : Bina-6 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	194
Şekil 4.102 : Bina-6 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri	194
Şekil 4.103 : Bina-6 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları.	194
Şekil 4.104 : Bina-6 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler.	195
Şekil 4.105 : Bina-6 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri.	196
Şekil 4.106 : Bina-6 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi.	197
Şekil 4.107 : Bina-6 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	198
Şekil 4.108 : Bina-6 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	200
Şekil 4.109 : Bina-6 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	201
Şekil 4.110 : Bina-6 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi.	201
Şekil 4.111 : Bina-6 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY).	202
Şekil 4.112 : Bina-6 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Çapraz Eleman Numaraları.	203
Şekil 4.113 : Bina-6 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi.	204
Şekil 4.114 : Bina-6 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı.	205
Şekil 4.115 : Bina-6'da Kiriş ve Kolon İçin Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri.	206
Şekil 4.116 : Bina-6 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi.	207
Şekil 4.117 : Binaların Kısa (X) Doğrultularına Ait Normalleştirilmiş Kapasite Eğrileri.	208
Şekil 4.118 : Binaların Uzun (Y) Doğrultularına Ait Normalleştirilmiş Kapasite Eğrileri.	209
Şekil 4.119 : Binaların Kısa Doğrultularına Ait Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	210
Şekil 4.120 : Binaların Uzun Doğrultularına Ait Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	211

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1	: Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistem Davranışları ve İlgili Teoriler.	11
Tablo 3.1	: Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri ve Bölgeleri.	47
Tablo 3.2	: Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Performans Seviyelerine Karşılık Gelen Hasar Durumları.	50
Tablo 3.3	: Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri.	51
Tablo 3.4	: Bina Yapısal Performans Hedefleri.	52
Tablo 3.5	: C_0 Düzeltme Katsayıları.	58
Tablo 3.6	: Etkin Kütle Çarpanı (C_m) Katsayıları.	59
Tablo 3.7	: Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Eleman Davranış Türleri.	66
Tablo 3.8	: Doğrusal Olmayan Analiz İçin Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri (Eğilme Elemanları).	69
Tablo 3.9	: Doğrusal Olmayan Analiz İçin Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri (Eksenel Kuvvet Elemanları).	70
Tablo 4.1	: İncelenen Binaların Özellikleri.	73
Tablo 4.2	: Bina-1 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistemine Ait Kesit Tesirleri ve Yerdeğiştirmeler.	81
Tablo 4.3	: Bina-1 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sisteme Ait Kesit Tesirleri (Normal Kuvvetler).	84
Tablo 4.4	: Çerçeve Kirişine (IPE 360) Ait Enkesit Özellikleri.	85
Tablo 4.5	: Çapraz Elemanlara (Boru D177.8 x 5) Ait Enkesit Özellikleri.	92
Tablo 4.6	: Uzun Doğrultudaki Kirişlere (K 140x140x8) Ait Enkesit Özellikleri.	94
Tablo 4.7	: Bina-1'e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	97
Tablo 4.8	: Bina-1 Kısa Doğrultu Çerçeve Sistemine Ait Modal Özellikler. .	111
Tablo 4.9	: Bina-1 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	111
Tablo 4.10	: Bina-1 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	112
Tablo 4.11	: Bina-1 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	113
Tablo 4.12	: Bina-1 Uzun Doğrultu Çerçeve Sistemine Ait Modal Özellikler. .	117
Tablo 4.13	: Bina-1 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	118
Tablo 4.14	: Bina-1 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	119
Tablo 4.15	: Çapraz Elemanları (L 50x50x5) İçin Enkesit Özellikleri.	133
Tablo 4.16	: Bina-2'ye Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	133
Tablo 4.17	: Bina-2 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	134
Tablo 4.18	: Bina-2 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	136
Tablo 4.19	: Bina-2 Uzun Doğrultu D2 Deprem İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	136
Tablo 4.20	: Bina-3'e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	147
Tablo 4.21	: Bina-3 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	148

Tablo 4.22 : Bina-3 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	150
Tablo 4.23 : Bina-3 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	150
Tablo 4.24 : Bina-3 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	153
Tablo 4.25 : Bina-3 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	154
Tablo 4.26 : Bina-3 Uzun Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	155
Tablo 4.27 : Bina-4'e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	164
Tablo 4.28 : Bina-4 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	165
Tablo 4.29 : Bina-4 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	167
Tablo 4.30 : Bina-4 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	167
Tablo 4.31 : Bina-4 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	170
Tablo 4.32 : Bina-4 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	171
Tablo 4.33 : Bina-5'in Kafes Kirişi İçin Önboyutlar.	176
Tablo 4.34 : Bina-5'e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	180
Tablo 4.35 : Bina-5 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	181
Tablo 4.36 : Bina-5 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	183
Tablo 4.37 : Bina-5 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	183
Tablo 4.38 : Bina-5 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	186
Tablo 4.39 : Bina-5 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	187
Tablo 4.40 : Bina-6'nın Kafes Kirişi İçin Önboyutlar.	193
Tablo 4.41 : Bina-6'ya Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti.	196
Tablo 4.42 : Bina-6 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	197
Tablo 4.43 : Bina-6 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	199
Tablo 4.44 : Bina-6 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	199
Tablo 4.45 : Bina-6 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri.	202
Tablo 4.46 : Bina-6 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri.	203

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
a	: Zemin sınıflarına göre değişen katsayı
a_1	: Modal ivme
$a_{y,1}$: Eşdeğer akma noktasının ivme değeri
$a_{y,1}^0$: Performans noktasının bulunması sırasında, eşdeğer akma noktasının, ardışık yaklaşımının ilk adımında aldığı ivme değeri
b_f	: Enkesit başlık genişliği
C_0	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayı
C_1	: Doğrusal - elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayı
C_2	: Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının iç kuvvet - şekildeğiştirme bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım kaybı (strength degrading) etkisini temsil eden değişiklik katsayı
C_b	: Elemanlardaki eğilme momenti diyagramına bağlı olarak belirlenen bir katsayı
C_m	: Etkin kütle çarpanı
C_{mx}	: Uç momentlerini y açıklık momentlerini ve yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayı
$C_{R,1}$: Yerdeğiştirme oranı
C_w	: Eğilme sabiti
D	: Enkesit dış çapı
d_1	: Modal yerdeğiştirme
d_i, d_{i-1}	: Binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yerdeğiştirmeleri
\bar{d}	: Akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayı
$\bar{d}(\chi, \epsilon)$: Plastik şekildeğiştirme (akma) vektörü
E	: Deprem Yüğü
E_s	: Çeliğin elastisite modülü
F	: Enkesit alanı
F_b	: Başlık alanı
F_{cr}	: Eğilme burkulmasına ait gerilme
F_e	: Kritik elastik burkulma gerilmesi
$F_1(M, N, T)$: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
f	: Sehim

G	: Sabit yük
G_s	: Kayma modülü
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Yapının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
h	: Enkesit yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
h_o	: Profil başlık ağırlık merkezleri arasındaki mesafe
I	: Yapı önem katsayısı
I_x, I_y	: Kesitin atalet momenti
i_x, i_y	: Kesitin atalet yarıçapı
J	: Burulma sabiti
K	: Eğilme burkulması için burkulma boyu katsayısı
K_e	: Elastik etkin rijitlik
K_i	: Elastik yanal rijitlik
K_s	: Elastik Sonrası Rijitlik
K_z	: Burulmalı burkulma için burkulma boyu katsayısı
K₁(M,N,T)	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
K₂(χ,ε,γ)	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
L	: Eleman boyu
L_a	: Çerçeve açıklığı
L_b	: Kiriş boyu
L_c	: Kolon boyu
L_p	: Akmanın limit durumu için yanal mesnetlenmemiş mesafe sınırı
L_r	: Elastik olmayan (inelastik) yanal (burulmalı) burkulmanın yanal mesnetlenmemiş mesafesi
l_b	: Yanal mesnetlenme mesafesi
l_p	: Plastik mafsal boyu
M	: Eğilme momenti kesit tesiri
M_A	: Elemanın yanal mesnetlenmemiş mesafesinin dörtte birindeki moment değeri
M_B	: Elemanın yanal mesnetlenmemiş mesafesinin orta noktasındaki moment değeri
M_C	: Elemanın yanal mesnetlenmemiş mesafesinin dörtte üçündeki moment değeri
M_{max}	: Elemanın yanal mesnetlenmemiş mesafesindeki maksimum moment değeri
M_n	: n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
M_{nb}	: Yanal (burulmalı) burkulma limit durumunu içeren moment taşıma kapasitesi
M_p	: Kesitin plastik moment taşıma kapasitesi
M_{x1}, M_{y1}	: Etkin kütle
M_y	: Kesitin doğrusal elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momenti (Akma momenti)
m_i	: Binanın kat kütleleri
N	: Normal kuvvet kesit tesiri
N_{CL}	: Kesitin doğrusal elastik olarak taşıyabileceği en büyük basınç normal kuvveti

N_{ye}	: Kesitin doğrusal elastik olarak taşıyabileceği en büyük çekme normal kuvveti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P	: Yük parametresi
P_B	: Doğrusal elastik burkulma yükü
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_i	: İşletme yükü
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yüke ait yük parametresi
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yüke ait yük parametresi
p_i	: Yükler arasındaki sabit oranlar
Q	: Hareketli yük
Q_y	: Akma durumundaki eleman iç kuvveti
q	: Nominal rüzgar basıncı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_0	: Elastik dayanımın akma dayanımına oranı
$R_a(T_1)$: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
R_m	: Kesitte asal eksenlerine göre simetrikliği ifade eden katsayı
$R_{y,1}$: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
r_{ts}	: Etkin dönme yarıçapı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: Eşlenik doğrusal sisteme ait doğrusal elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
$S_{de,1}$: Eşlenik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
$S_{di,1}$: Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
$S(T_1)$: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
S_k	: Burkulma boyu
S_x, S_y	: Kesitin alan momenti
s	: Kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık
T	: Kesme kuvveti kesit tesiri
T_1	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Zemin karakteristik periyotları
T_e	: Efektif periyot
T_i	: Deprem kuvveti yönünde yapının elastik dinamik analizi ile bulunan birinci doğal titreşim periyodu
t_c	: Enkesit et kalınlığı
t_f	: Enkesit başlık kalınlığı
t_w	: Enkesit gövde kalınlığı
u	: Yerdeğiştirme
u_1	: Binanın tepesindeki deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi
u_T	: Yapının hedef yerdeğiştirmesi
u_{Tepe}	: Tepe noktası yerdeğiştirmesi
u_y	: İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesi
V_i	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i 'inci katına etkiyen kat kesme kuvveti

V_t	: Yapının tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, taban kesme kuvveti
V_y	: İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı
W	: Deprem hesabına esas olan yapının toplam ağırlığı
W_e	: Kesitin elastik mukavemet momenti
W_p	: Kesitin plastik mukavemet momenti
W_x, W_y	: Rüzgar yükü
w_j	: Binanın j'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Z	: Zemin sınıfı
α	: Çatı kirişinin yatayla yaptığı açı
α_1	: Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
Δ	: Boy değişimi
Δ_c	: Elastik boy kısalma kapasitesi
Δ_i	: Azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta i)_{ort}$: i'inci kat için azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri
Δl	: Şekildeğiştirme
Δl_1	: Lineer şekildeğiştirmeler
$\Delta l_{p1}, \Delta l_{p2}$: Lineer olmayan şekildeğiştirmeler
Δ_T	: Elastik boy uzama kapasitesi
Δ_t	: Kesite etkiyen farklı farklı sıcaklık değışmesi
δ_i	: Çerçevenin etkin görelî kat ötelemesi
ε	: Birim boy değışmesi
ε_a	: Akma şekildeğiştirmesi
Φ_{x1}	: Binanın tepesindeki x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğı
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusundaki birinci moda ait katkı çarpanı
φ	: Kesitin dönmesi
γ	: Birim kayma
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitte eğilme momentine karşı gelen birim dönme
λ	: Narinlik oranı
μ	: Süneklik oranı
Ω	: Süneklik düzeyine bağı olan deprem yükü büyütme katsayısı
ω	: Açısal frekans
ω_1	: Birinci moda ait özdeğer açısal frakansı
ω_B	: Zemin karakteristik periyodu T_B 'ye ait özdeğer açısal frakansı
σ_a	: Akma gerilmesi
σ_B	: Yanal burkulma emniyet gerilmesi
σ_b	: Yalnız eğilme altında hesaplanan gerilme
σ_{bem}	: Basınç emniyet gerilmesi
σ_{eb}	: Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme
σ_{em}	: Emniyet gerilmesi
σ_k	: Kopma gerilmesi
σ_p	: Orantılı sınır gerilmesi
θ	: Dönme açısı

- θ_i : İkinci mertebe gösterge değeri
 θ_p : Plastik dönme açısı
 θ_y : Kesitin akma gerilmesi değerindeki dönme açısı
maks θ_p : Plastik mafsalin dönme kapasitesi
 τ : Kayma gerilmesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre boyutlandırılmış tek katlı çelik endüstri binalarının deprem performanslarının ve deprem performansını etkileyen stabilite problemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Lisans, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, özellikle tez çalışmam süresince bana göstermiş olduğu sabır, hoşgörü, ilgi ve alakadan dolayı, değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER'e, teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Bugünlere ulaşmamda büyük emekleri olan sevgili aileme, özellikle yüksek lisans eğitimim için beni teşvik eden rahmetli babam Esat AŞÇI'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana verdiği moral, motivasyon ve her türlü destek için müstakbel hayat arkadaşım, sevgili nişanlım Merve GÜNAYDIN'a çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

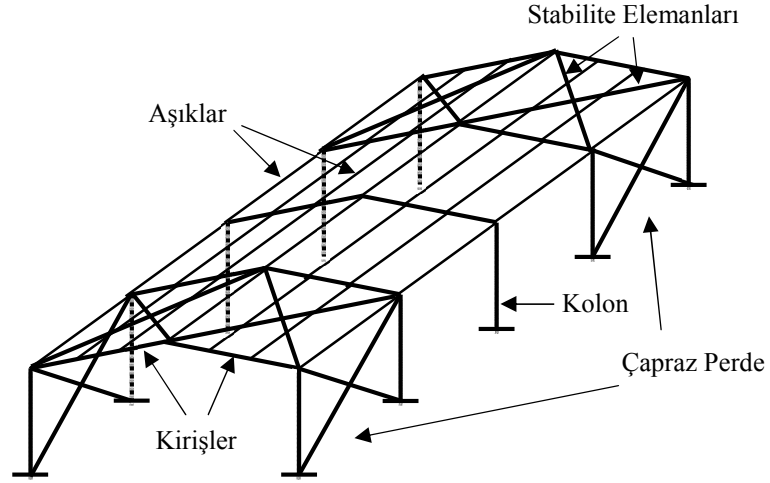
Ülkemizdeki yoğun yerleşim bölgelerinin ve endüstri alanlarının büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde yer almakta ve önemli oranda deprem riski altında bulunmaktadır. Nitekim 1999 Marmara depreminde, çok fazla can kaybı ve konutlarda hasar meydana gelmiş, endüstri tesisleri büyük ölçüde zarar görmüş ve birçoğu kullanılamaz duruma gelmiştir. Özellikle endüstri yapılarında, can kaybının yanında meydana gelen ekonomik kayıplar, gelişmekte olan ülkemizin ekonomisini ve sanayileşme politikasını derinden etkilemektedir. Endüstri yapılarında oluşan büyük ekonomik kayıplar, yapının içindeki makine ve teçhizatların çok değerli ve yüksek maliyetli olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı durumlarda makine ve teçhizatların maliyeti, bina maliyetinin çok üzerinde olmaktadır. Dolayısıyla binanın içinde bulunan ekipmanları koruyabilmek için binanın deprem etkileri altında belirli bir performans seviyesini aşmaması gerekmektedir. Bu bağlamda şekildegıştırme ve yerdegıştirmeye dayalı deprem performanslarının belirlenmesi endüstri binaları için büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde, endüstriyel yapıların taşıyıcı sistemlerinde çelik malzemeli inşaata ağırlık verilmektedir. Bunun nedenleri arasında çelik yapı malzemesinin, dayanım ve elastisite modülünün yüksek olması, buna bağlı olarak küçük kesitli hafif yapıların tasarımına imkan vermesi, inşasının basit ve hızlı olması vb. avantajları sayılabilmektedir.

Dünyadaki diğer birçok ülkedekine benzer olarak ülkemizde de çelik yapıların yaklaşık % 60'ını endüstriyel çelik yapılar oluşturmaktadır [1]. Endüstriyel binaların da büyük bir kısmını atölye ve fabrika amacıyla kullanılan tek katlı veya bir ara katlı binalar oluşturmaktadır. Tek katlı çelik binalar arasında aynı zamanda depo, hangar ve spor salonu kullanım amaçlı binalar yer almaktadır.

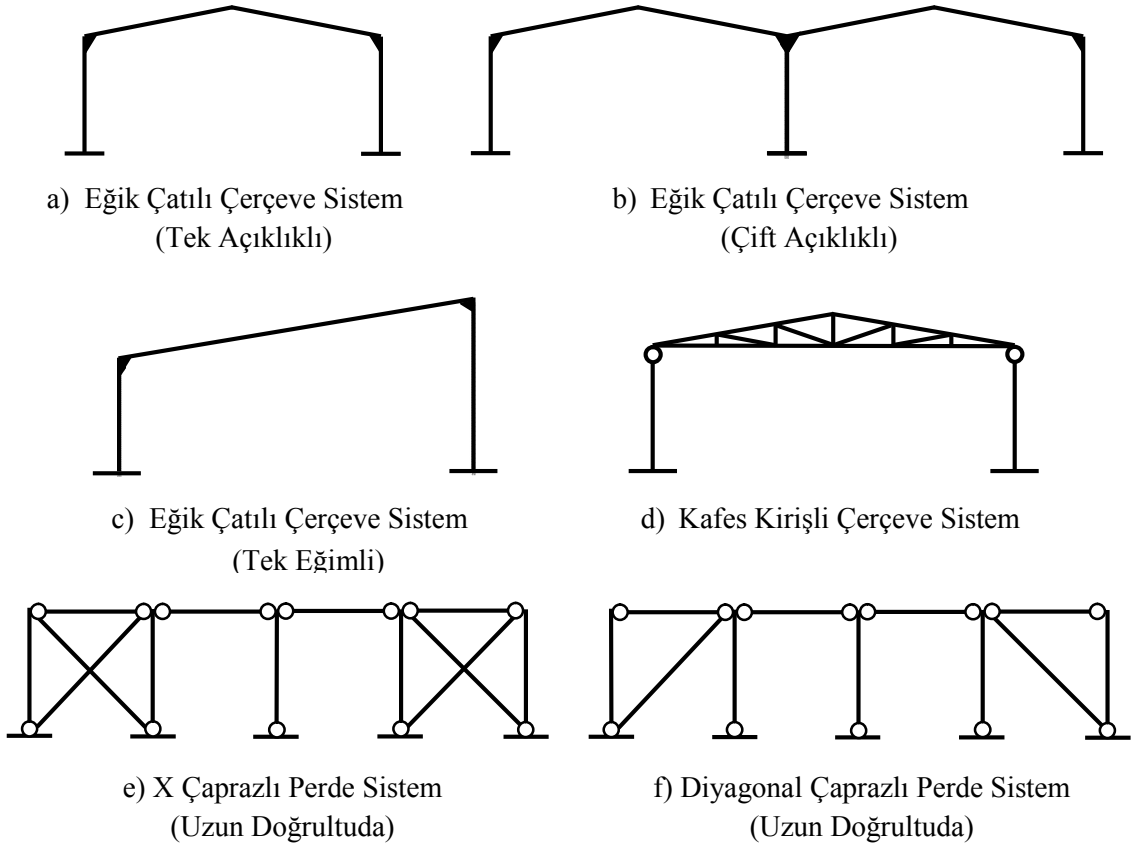
Tek katlı çelik binaların taşıyıcı sistemleri, genellikle kısa doğrultuda eğik kirişli (çatılı) portal çerçeve sistemlerden veya ankastre kolonlara oturan kafes kirişli

sistemlerden, uzun doğrultuda ise çaprazlı perde sistemlerden teşkil edilmektedir. Ayrıca çatı düzleminde aşıklar ve stabilite bağlantıları teşkil edilerek sistemin bütünlüğü sağlanmaktadır. Tipik bir tek katlı çelik binaya ait taşıyıcı sistem Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Tipik Bir Endüstri Yapısı Taşıyıcı Sistemi

Bu tip sistemlerde çatı düzleminin açısı genellikle yağmur sularının damlalıklara aktarılması amacıyla 4° ile 10° arasında seçilmektedir. Kolon yükseklikleri 6-15 m, çerçeve açıklıkları 15-40 m olarak teşkil edilmektedir. Kafes kirişli sistemlerde açıklıklar çok daha büyük değerlere çıkabilmektedir. Çerçeve aralıkları genellikle 6-7.5 m arasında değişmektedir. Bu tür binaların projelendirilmesinde, ekonomik çözümler verdiği için yaygın olarak hadde ürünü I tipi profiller kullanılmaktadır. Bazı durumlarda kutu profiller de tercih edilmektedir. Tek katlı çelik endüstri binalarında yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistem tipleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Kısa doğrultudaki çerçeve sistemlerde mesnetler mafsallı olarak da teşkil edilebilmektedir. Ayrıca açıklıkların büyük olması durumunda değişken kesitli elemanların kullanımı veya kolon kiriş birleşim bölgelerinde geniş guse uygulamaları da tercih edilebilmektedir [2-7].



Şekil 1.2: Tek Katlı Çelik Binalarda Kullanılan Kısa ve Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Örnekleri

Çelik yapı malzemesinin dayanım ve elastisite modülünün yüksek olması diğer yapı malzemelerine göre oldukça küçük kesitler kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak bu durum çeşitli stabilite problemlerini de beraberinde getirmektedir.

Çelik yapı elemanlarında üzerindeki kesit tesirine ve kullanılan profil tiplerine bağlı olarak farklı stabilite limit durumları oluşabilmektedir. Basit eğilmeye maruz kiriş elemanlarında lokal gövde burkulması, lokal başlık burkulması veya yanal (burulmalı) burkulma gibi stabilite limit durumları ile karşılaşılabilir. Bileşik eğilmeye maruz kolonlarda ise kirişlerdeki limit durumlarla birlikte kolonun aksel yük altındaki eğilme burkulması veya eğilmeli-burulmalı burkulma limit durumları ile karşılaşılır. Bileşik eğilmenin bir özel hali olan aksel basınç yüküne maruz elemanlarda da eğilme burkulması, eğilmeli-burulmalı burkulma limit durumları ile karşılaşılabilir. Çelik yapı elemanlarının taşıma kapasitelerinin

ve şekildeğiştirme kapasitelerinin belirlenmesinde bu stabilite durumlarının kontrol edilmesi ve gerekiyorsa ilgili önlemlerin alınması gerekmektedir.

Çelik yapılarda narin kesitler kullanılması nedeniyle oldukça hafif yapı sistemleri oluşturulması mümkün olmaktadır. Özellikle hafif çatı örtüsü ve cephe kaplaması bulunan tek katlı çelik endüstri binalarında bu durumla çok karşılaşmaktadır. Bu gibi durumlarda binaya etkiyen deprem yükleri çok düşük düzeyde kalmakta ve binaya etkiyen rüzgar yükleri deprem yüklerinden daha etkili olarak tasarımda belirleyici olabilmektedir. Ancak bu durumda dahi Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007 'ye göre, depremle ilgili tasarım koşullarının sağlanması gerekmektedir [8]. Bununla birlikte yüksekliği fazla olmayan (tek veya en çok iki katlı) çelik yapılar için TDY 2007'de bazı özel hafifletilmiş koşullara yer verilmiştir. Bu koşullar aşağıda kısaca verilmiştir [8].

- Bina önem katsayısı $I=1.0$, $I=1.2$ ve bina yüksekliği $H_N < 16$ m olan çelik yapılarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi normal çerçeve yapılabilir.
- Tersinir momentleri aktaran tek katlı çelik çerçeve sistemlerde, maksimum görelî kat ötelemesi oranı 0.02 yerine % 50 artırılarak 0.03 alınabilmektedir.
- En çok iki katlı binalarda, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perde olması durumunda, sadece çekme çaprazı kuvveti taşıyan (çok küçük basınç kuvveti altında burkulmasına izin verilen) çaprazlar kullanılabilir. Bu çaprazların narinlik oranı ≤ 250 olacak şekilde azaltılmış deprem yüklerine göre boyutlandırılması veya narinliklerine bakılmaksızın artırılmış deprem yükleri için boyutlandırılması gerekmektedir.
- En çok iki katlı binalarda, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyinin normal olması durumunda, hem çerçeve sistemlerde hem de çaprazlı perde sistemlerde eleman enkesit narinliklerinin yönetmelikte izin verilen sınırları aşmasına izin verilmektedir. Ancak bu durumda gerekli burkulma kontrollerinin yapılması gerekmektedir.
- Yukarıda belirtilen özel koşulların dışında ayrıca, betonarme yapıları da içeren, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun tek katlı binalarda uygulanmasına gerek kalmamaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre boyutlandırılmış tek katlı çelik endüstri binalarının deprem performanslarının ve deprem performansını etkileyen stabilite problemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, taşıyıcı sistem tipi, süneklik düzeyi ve sistem ağırlığı bakımından farklı özelliklerde altı adet bina üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemleri; kısa doğrultuda temelde ankastre kolonlara oturan eğik kirişli çerçevelerden ve kafes kirişli sistemlerden, uzun doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulmuştur. Ayrıca çatı düzleminde aşıklar ve stabilite bağlantıları ile taşıyıcı sistemler birbirine bağlanmıştır.

Çelik binaların deprem performanslarının değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-06'da verilen modelleme parametreleri ve performans kriterleri esas alınmıştır. Çalışmada "*Doğrusal Olmayan Statik Yöntem*" kullanılmıştır. Ayrıca bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altındaki tepe yerdeğiştirmesi talepleri Türk Deprem Yönetmeliği 2007'deki prosedüre göre de belirlenmiş ve sonuçlar ASCE/SEI 41-06 ile karşılaştırılmıştır.

Bina performans değerlendirmeleri iki farklı deprem tehlike seviyesi için yapılmıştır. Birincisi binaların tasarımında esas alınan deprem seviyesidir. İkincisi ise binanın bulunduğu bölgedeki en büyük depremi temsil eden deprem seviyesidir.

1.2 Literatür İncelemesi

Binaların Deprem Performansı Esaslı Değerlendirilmesi İle İlgili Literatürler (Proje ve Standartlar) :

- VISION 2000 (1995)'de, 1994 Northridge depreminden sonra, geçmiş depremlerden edinilen tecrübelerden de yararlanarak performansa dayalı tasarımın ilk adımları atılarak yapılar için performans hedefleri, performans seviyeleri, deprem tehlike seviyelerinin tanımlamaları yapılmıştır. Projede ayrıca performansa dayalı tasarım için doğrusal olmayan analiz yöntemlerine, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek performansa dayalı tasarımın genel çerçevesi çizilmiştir [9].
- ATC 40 (1996)'da, betonarme yapıların deprem yükleri altındaki performansının değerlendirilmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir. Aynı zamanda doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi için performans hedefleri, yapılarda karşılaşılan yapısal eksikliklere ve bunların giderilmesi için onarım ve güçlendirme teknikleri de açıklanmıştır. Ayrıca yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi için modelleme parametreleri ve bu parametrelere ait sınırlar da verilmiştir [10].
- FEMA 273 (1997)'de, betonarme, çelik, ahşap ve hafif metal yapıların deprem yükleri altındaki performansının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi hakkında tanımlamalara ve yaklaşımlara, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine yer verilmiştir. Aynı zamanda deprem tehlike seviyeleri, performans hedefleri bina performans seviyelerinin vb. tanımları yapılmış ve sınır değerleri belirtilmiştir. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametreleri ve davranış sınırlarına ait kriterler önerilmiştir [11].

- Blue Book (1999)'da, betonarme, çelik, ahşap, yığma ve alüminyum yapılar için depreme dayanıklı tasarım ilkeleri, analiz yöntemleri ile ilgili olarak ABD deprem yönetmeliği UBC'de yapılması gereken değişiklik önerileri yer almaktadır. Ayrıca bu dokümanda performans dayalı sismik tasarımın genel çerçevesi tanımlanmış ve bu konuda deneme niteliğinde bir kılavuza yer verilmiştir [12].
- FEMA 350 (2000)'de, moment aktaran çerçevelerden oluşan çelik binaların, deprem etkilerine karşı tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler önerilmiştir. Birleşim bölgelerinin tasarımı detaylı bir şekilde anlatılmış ve birleşim bölgelerinin yapı performansına etkisinin önemli olduğunun altı çizilmiştir [13].
- FEMA 356 (2000)'de, FEMA 273 projesinin 2000 yılında düzenlenmesi ile ön standart olarak ortaya çıkan bu projede, betonarme, çelik, ahşap, hafif metal ve yığma yapıların performans esaslı tasarım ve değerlendirmede yeni yaklaşım ve önerilere yer verilmiştir. Deprem yükleri altındaki yapıların performanslarının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Ayrıca, betonarme ve çelik elemanlara ait yapısal davranış kriterleri revize edilmiştir [14].
- FEMA 440 (2004)'de ATC 40'da açıklanan Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve FEMA 356'da yer alan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY), parametrik olarak değerlendirilmiştir. ATC 55 kapsamında ortaya çıkan bu raporda, yöntemlerde belirlenen eksiklikleri gidermek ve daha güvenilir doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirmek amacıyla yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin geliştirilmesi (güncellenmesi) ile ilgili bilgiler yer almıştır. Ayrıca ATC 40'daki etkin sönümün hesaplanması, eşdeğer doğrusallaştırma ve FEMA 356'daki hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesinde kullanılan katsayılar (C_1 , C_2 , C_3) üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir [15].

- ASCE/SEI 41-06 (2007)'de daha önceki yıllarda yapılan proje ve ön standartlar, ana standart haline getirilmiştir. Bu standartta doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve deplasman katsayıları yöntemi ile yapıların performans noktalarının bulunması anlatılmıştır. Standartta betonarme, çelik, hafif metal ve ahşap yapılar için performans esaslı tasarım değerlendirme kapsamında modelleme parametreleri ve performans kriterleri verilmiştir. Ayrıca standartta taşıyıcı olmayan elemanların performans kriterlerine ve binaların sismik izolasyonu konusuna da yer verilmiştir [16].
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (2008)'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yapılacak olan yüksek binaların depreme karşı tasarımı amacıyla performansa dayalı tasarım ilkeleri anlatılmıştır. Betonarme binalar için tasarım kriterleri, yönetmelikte ayrıntılı olarak tanımlanmış, çelik binaların tasarım kriterleri için ise ASCE/SEI 41-06'ya atıf yapılmıştır [17].

Çelik Endüstri Binalarının Deprem Performansları İle İlgili Çalışmalar :

- Erozan, M. B. (2003)'te, çok açıklıklı, rijit ve yarı rijit birleşim bölgelerinden teşkil edilen endüstriyel çelik binaların deprem yükleri altında doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde verilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır [18].
- Dinçer, T. (2003)'te, birleşim rijitliğinin yapının genel davranışına etkisini incelemek amacıyla, yaygın olarak kullanılan birleşimlerle tasarlanmış mevcut bir çelik endüstri yapısı, doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile çözümlenmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Yarı rijit birleşimlerin yapı davranışına etkisi gözlenmiştir [19].

- Apaydın, Y. (2005)'te, endüstriyel çelik yapı sistemlerini temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, yürürlükte olan yönetmeliklere göre boyutlandırılarak, doğrusal olmayan teori çerçevesinde elastoplastik davranışları incelenmiş, performans noktaları, göçme güvenlikleri ve süneklik oranları belirlenmiştir. Ayrıca zemin sınıflarının yapı performansına etkisi de araştırılmıştır [20].
- Çukur, C. (2006)'da, endüstri yapıları, depolar ve hal yapıları gibi yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılan büyük açıklıklı, kırık çatılı çerçevelerin süneklik oranları ve deprem yükü azaltma katsayıları incelenmiştir [21].
- Koçdağ, S. (2008)'de, mevcut çok katlı bir çelik endüstri yapısının taşıyıcı sistem ve birleşim detaylarının 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre yeniden tasarlanması ve tasarım sonucunda yetersiz kalan kesit ve birleşimlerin ekonomik bir biçimde güçlendirilmesi yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ve uluslararası kabul gören yabancı standartlar göz önünde tutularak yorumlanmıştır [22].
- Uang, C. M. ve Hong, J. K. (2008)'de, sismik bir tasarım prosedürü geliştirmek için çelik bir endüstri yapısı üzerinde, sabit düşey yükler artan deprem yükleri altında deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deney sonucunda yerdeğiştirmeye dayalı bir tasarım prosedürü önerilmiştir. Ayrıca çalışmada kiriş ve kolon elemanların yanal burkulmaları incelenmiştir [23].
- Mungan, Ö. (2009)'da, farklı aks aralığı, çerçeve açıklığı ve yapı yüksekliği parametreleri için tek açıklıklı çelik endüstri yapılarının kafes ve profil kirişli çerçeve sistem çözümleri yapılmış, analizler sonucunda hangi alternatifin en uygun çözüm verdiği belirlenmiştir [24].

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Bu bölümde, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizi ile ilgili teorilere, iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarına, akma (kırılma) koşullarına ve çözüm tekniklerine yer verilmiştir [25,26].

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genel durumun dışında kalan sistemler arasında narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar bulunur. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal elastik alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilememektedir [25,26]

Günümüz yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan doğrusal teoriye göre sistem tasarımı yaklaşımında, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı değişik şekillerde dikkate alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin; ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme katsayıları ve burkulma katsayıları kullanılmaktadır. Ancak mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerini belirlemek, yeni tasarlanacak yapıların daha gerçekçi ve daha ekonomik olarak boyutlandırmak, bunun yanında daha narin ve estetik yapılar ortaya çıkarmak amacıyla ileri analiz yöntemlerine başvurulması gerekli olmaktadır [26].

Doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinde, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki gerçek davranışlarının daha yakından izlenebilmesi, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performanslarının daha gerçekçi olarak belirlemek mümkündür. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi

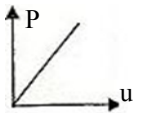
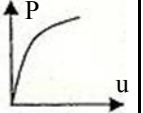
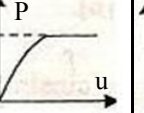
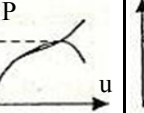
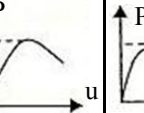
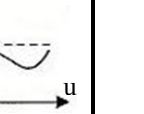
göz önüne alınarak, yapı sistemlerinin dış etkiler altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre incelenmesine gereksinim duyulmaktadır.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri aşağıda verilmiştir.

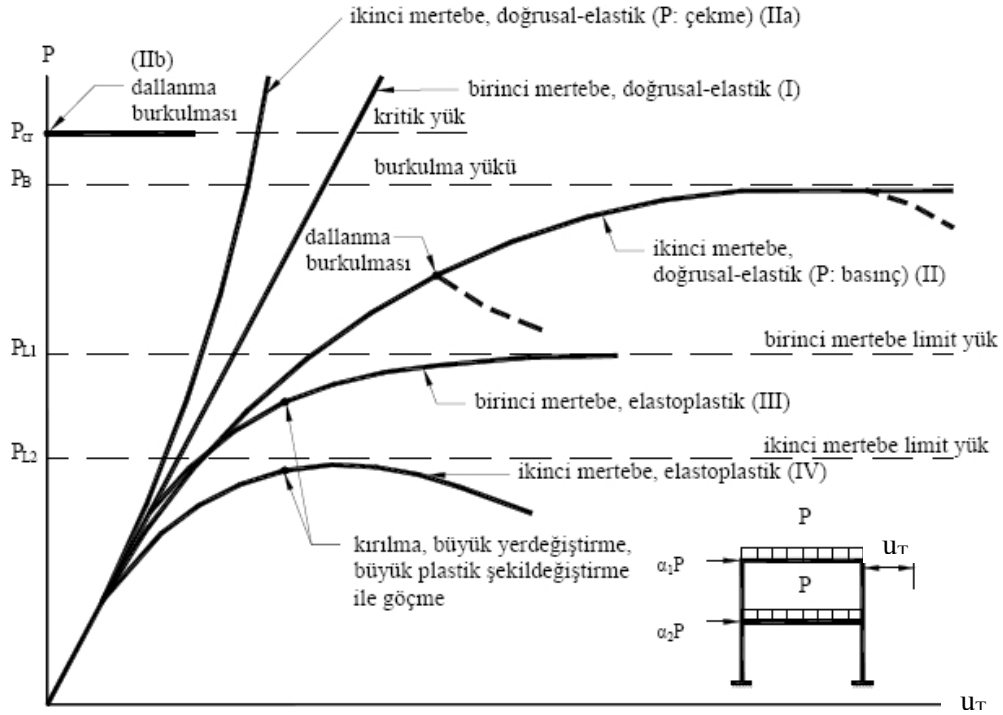
- Malzemenin doğrusal elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Tablo 2.1’de topluca özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistem Davranışları ve İlgili Teoriler [26]

Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları)	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik Değil	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik Değil	Doğrusal Elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil
P – u Bağıntıları						

Düsey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ($P - u_T$) bağıntıları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen $P-u_T$ Bağıntıları [26]

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, aksel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, aksel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin aksel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklerle daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşılık gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak doğrusal-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkulur. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşılık gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi aksel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde

(IIa) ile gösterilen $P-u_T$ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekil değiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi) [26].

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebeye göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük birinci mertebeye limit yük adını alır [26].

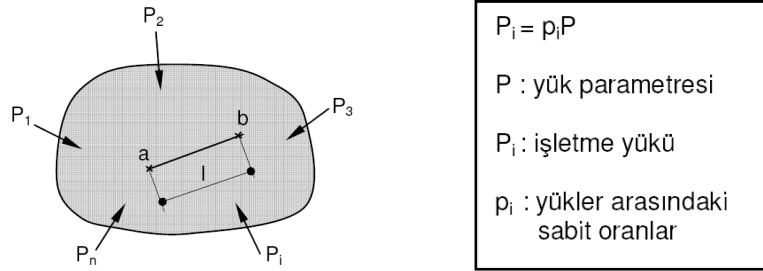
Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebeye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-u_T$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, $P-u_T$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu

yük parametresine ikinci merteye limit yük denilmektedir [26].

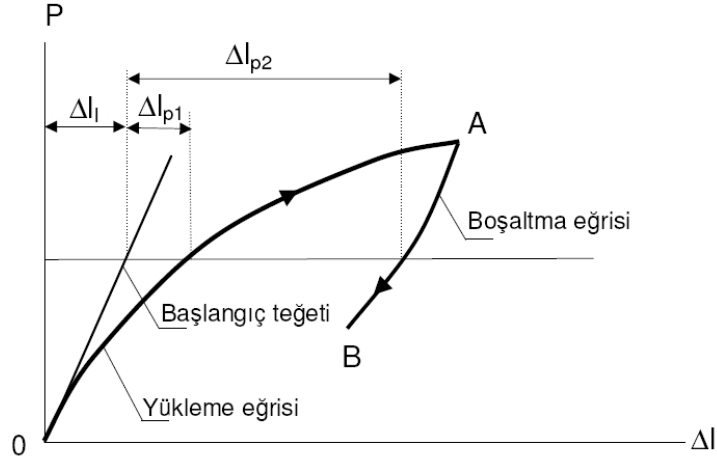
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğişmeler, büyük plastik şekildeşirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir [26].

2.1 İç Kuvvet-Şekildeşirme Bağntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeşirme bağntıları ile düzlem ve uzay çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeşirme bağntıları ve akma (kırılma) koşulları gözden geçirilecektir [25,26]. Katı bir cisme etkiyen dış kuvvetler ile yük parametresi-şekildeşirme diyagramı Şekil 2.2 ve 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim

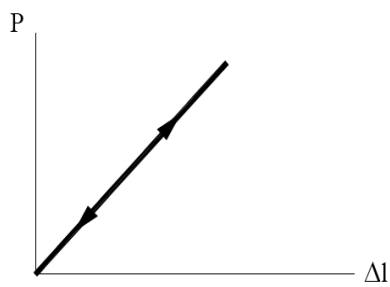


Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi-Şekildeğiştirme Diyagramı

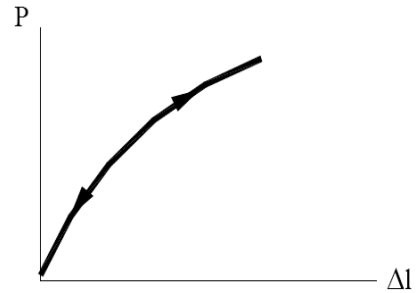
Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne *yüklemeye eğrisi*, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de *boşaltma eğrisi* denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenini arasındaki Δl_1 şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yüklemeye ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır [26].

2.1.1 İdeal Malzemeler

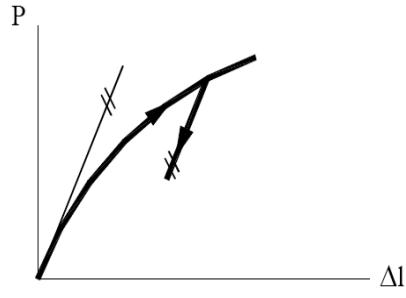
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yapılarak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



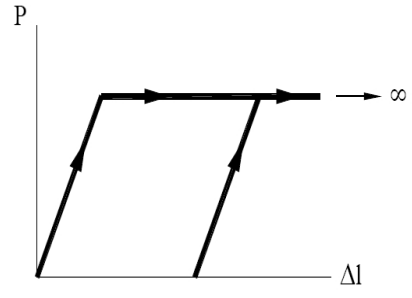
(a) Doğrusal Elastik Malzeme



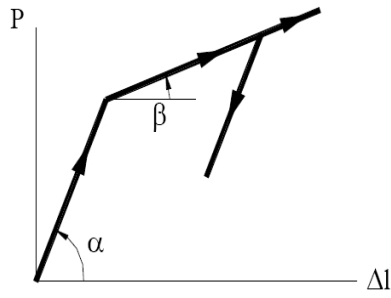
(b) Doğrusal Olmayan Elastik Malzeme



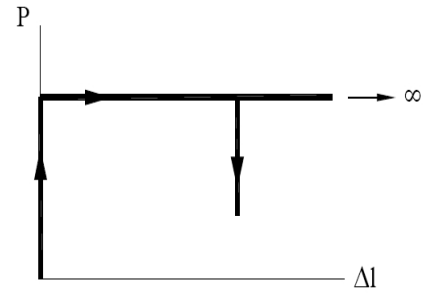
(c) Elastoplastik Malzeme



(d) İdeal Elastoplastik Malzeme



(e) Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme



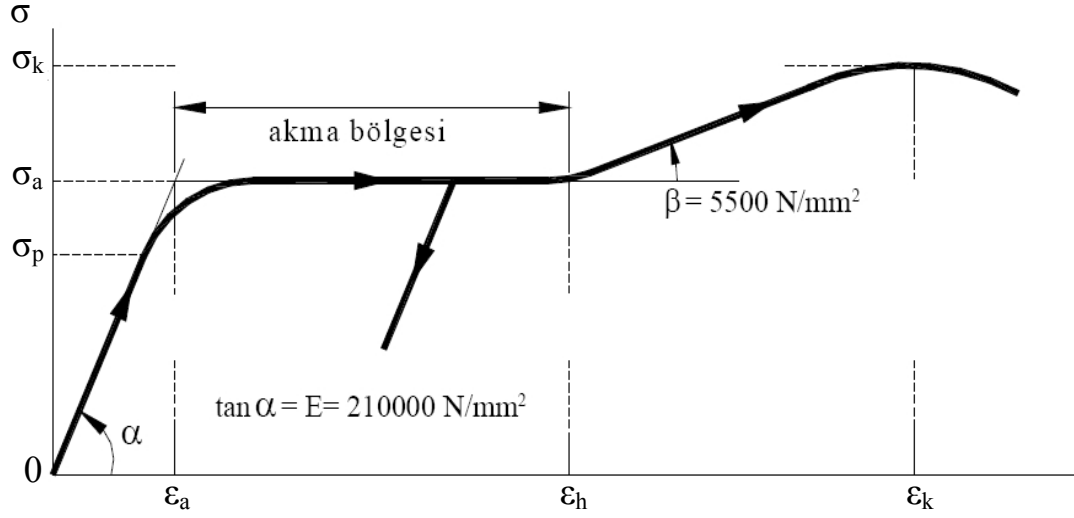
(f) Rijit Plastik Malzeme

Şekil 2.4 : İdeal Malzemeler [25,26]

2.1.2 Yapı Çelikleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlıları

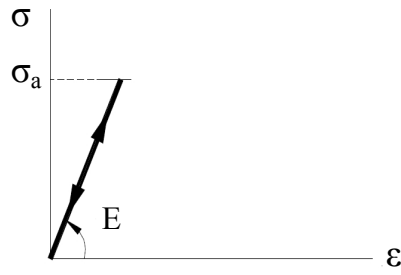
Yapı çelikleri için gerilme (σ) , şekildeğiştirme (ϵ) diyagramı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Bu diyagramda σ_k kopma gerilmesi, σ_a akma gerilmesi, ϵ_a akma şekildeğiştirmesi, ϵ_h pekleşmeye başlamadan önceki şekildeğiştirme ve σ_p orantı sınır gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Fe 37 yapı çeliği için $\sigma_k = 360-490 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_a = 0.0011$, $\sigma_p = 0.8\sigma_a = 188 \text{ N/mm}^2$ değerlerini almaktadır.

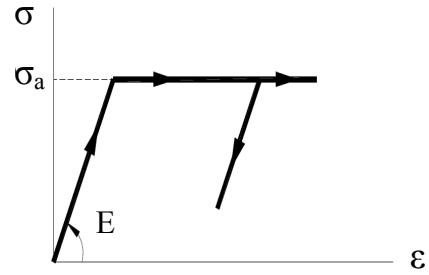


Şekil 2.5 : Yapı Çeliklerinde σ - ϵ Diyagramı

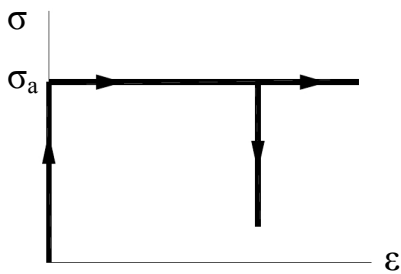
Yapı çeliklerinin σ - ϵ diyagramlarının bir bölümü veya tümü Şekil 2.6'da gösterildiği gibi idealleştirilebilirler.



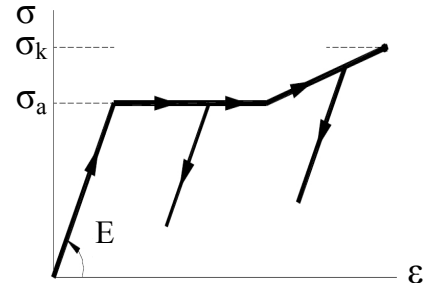
(a) Doğrusal Elastik Malzeme



(b) İdeal Elastoplastik Malzeme



(c) Rijit Plastik Malzeme



(d) Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme

Şekil 2.6 : Yapı Çeliklerinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi [26]

2.1.3 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

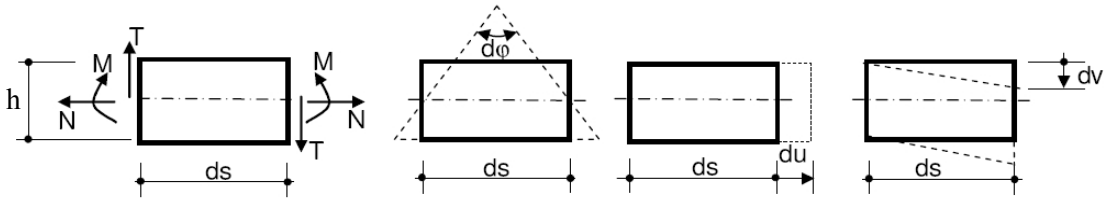
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları), M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre bağıl (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri ds elemanın şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır [25,26]. Bunlar, ϕ kesitin dönmesini, u ve v kesitin çubuk eksenine ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere;

$$\chi = d\phi / ds : \text{ birim dönme (eğrilik)}$$

$$\varepsilon = du / ds : \text{ birim boy değişmesi}$$

$$\gamma = dv / ds : \text{ birim kayma}$$

olarak tanımlanmaktadır. Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet ve şekildeğiştirmeler Şekil 2.7'de gösterilmiştir [26].



Şekil 2.7 : Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvetler ve Şekil Değiştirmeler

Düzlem çubuk sistemlerde iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri) genel olarak 2.1 , 2.2 ve 2.3 bağıntılarıyla ifade edilir.

$$\chi = \frac{d\phi}{ds} = F_1(M,N,T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{h} \quad (2.1)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M,N,T) + \alpha_t t \quad (2.2)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M,N,T) \quad (2.3)$$

Burada F_1 , F_2 , F_3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değişmelerini, α_t ise sıcaklık genleşme katsayısını göstermektedir [26].

İç kuvvetlerin artarak belirli bir sınıra erişmesi halinde kırılma, akma veya büyük şekildeğişiklikler nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük iç kuvvetler taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca *akma* veya *kırılma* olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvet durumuna da *kesitin taşıma gücü* adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğişikliklere bağlı olarak ifade eden 2.4 ve 2.5 bağıntılarına *akma (kırılma) koşulları* denilmektedir [26].

$$K_1 (M, N, T) = 0 \quad (2.4)$$

$$K_2 (\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \quad (2.5)$$

Uygulamada genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğişiklikleri eğilme ve uzama şekildeğişikliklerinin yanında terkedilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkisi ihmal edilirse, iç kuvvet-şekildeğişiklik bağıntıları (bünye denklemleri) 2.6 ve 2.7 bağıntılarındaki, akma (kırılma) koşulları da 2.8 ve 2.9 bağıntılarındaki şeklini alır [26].

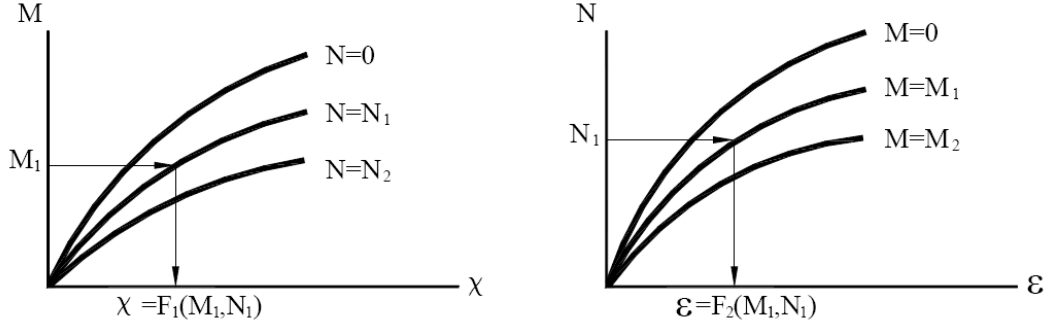
$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t \Delta t}{h} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_t t \quad (2.7)$$

$$K_1 (M, N) = 0 \quad (2.8)$$

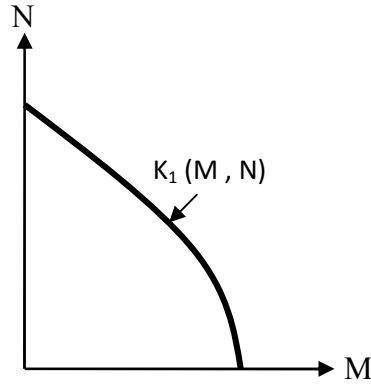
$$K_2 (\chi, \varepsilon) = 0 \quad (2.9)$$

Bünye bağıntılarının belirlendiği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde Şekil 2.8'deki gibi gösterilebilirler.



Şekil 2.8 : Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterimi

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1 (M , N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, *akma (kırılma) eğrisi* veya *karşılıklı etki diyagramı* adını almaktadır. Akma (kırılma) eğrisi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

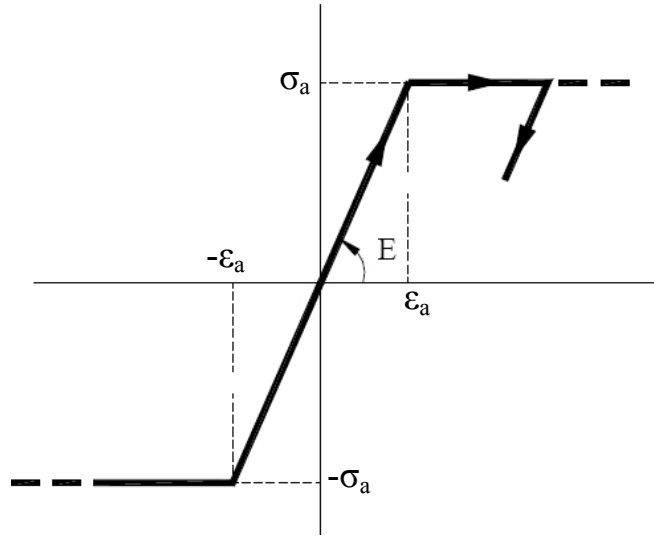


Şekil 2.9 : Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)

2.1.4 İdeal Elastoplastik Malzemeden Yapılmış Çubuklar

Bu bölümde, ideal elastoplastik malzemeden yapılmış çubuklarda kesit zorları ile şekil değiştirmeler arasındaki bağıntılar ve akma koşulları hakkında bilgi verilecektir. Uygulamada, yapı çeliği genellikle ideal elastoplastik malzeme olarak idealleştirilebilmektedir. $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_a$ için $\sigma = E\varepsilon$ ve $\varepsilon_a \leq \varepsilon \leq \infty$ için $\sigma = \sigma_a$ şeklinde iki doğru parçasından oluştuğu, çekme ve basınç yüklemeleri altında malzemenin aynı özellikleri gösterdiği göz önünde tutulacaktır. Örnek olarak ideal elastoplastik olarak idealleştirilen çelik yapı malzemesi için σ - ε diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Burada E_s çeliğin elastisite modülünü, σ_a ise akma gerilmesini göstermektedir [26].

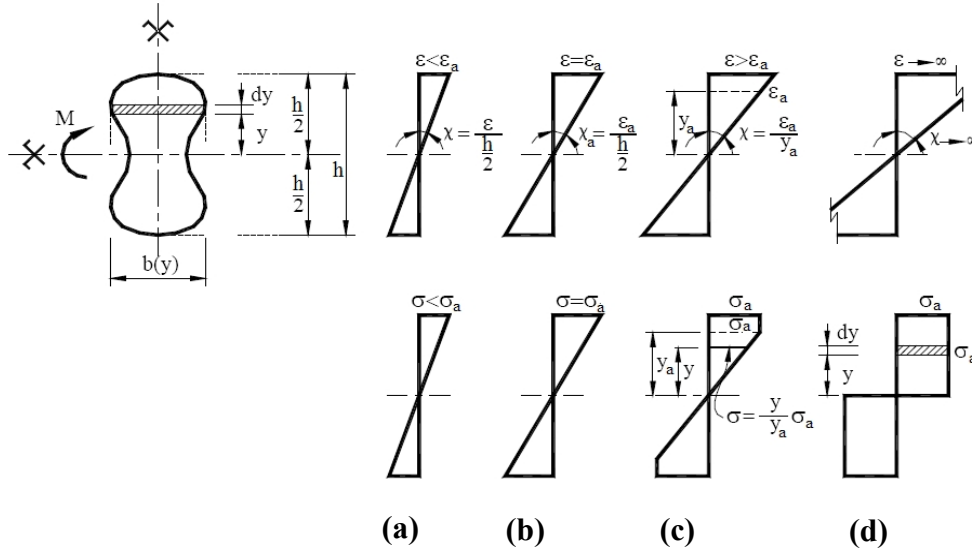
Ayrıca, dik kesitin şekil değiştirdikten sonra da düzlem kaldığı (Bernoulli - Navier hipotezi) ve kesme kuvvetinin eğilme ve uzama şekil değiştirmelerine etkisinin terk edilebileceği varsayımları yapılmaktadır.



Şekil 2.10 : İdeal Elastoplastik Malzemede σ - ε Diyagramı

Eğilme Etkisindeki Çubuklar : Eğilme momenti etkisindeki çubuklarda M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğrilik) arasındaki genel bağıntı elde edilecektir. Basitlik açısından, çubuğun iki simetri düzlemi olduğu ve eğilme momentinin bu düzlemlerden birinde etkideği varsayılacaktır.

M eğilme momenti etkisindeki bir kesitte, eğilme momentinin artan değerleri için oluşan şekildeğiştirme durumları ve bunlara karşı gelen normal gerilme yayılışları Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 : İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları

Eğilme momentinin küçük değerleri için kenar liflerdeki maksimum birim boy değişmesi $\varepsilon \leq \varepsilon_a$ olduğundan gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı doğrusal elastiktir. Bu nedenle, kesitteki gerilme yayılışı doğrusaldır ve eğilme momenti ile eğrilik arasında 2.10 bağıntısı bulunmaktadır (Şekil 2.11.a).

$$M = E_s I_s \chi \quad (2.10)$$

Bu bağıntı, eğilme momentinin artarak 2.11 bağıntısında verilen sınır değere erişmesi halinde sona erer (Şekil 2.11.b). Burada W_e kesitin elastik mukavemet momentini, M_y kesitin doğrusal elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momentini göstermektedir ve elastik moment adını alır [26].

$$M_y = \sigma_a W_e \quad (2.11)$$

Eğilme momentinin daha büyük değerleri için, birim boy değişmesinin de artarak $\varepsilon > \varepsilon_a$ olduğu kenar liflerde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğıştirmeler oluşur (Şekil 2.11.c). Bu durum için, eğilme momenti ile eğrilik arasında 2.12 bağıntısı yazılabilir.

$$M = 2\sigma_a \int_0^{y_a} \frac{y}{y_a} b(y)y \cdot dy + 2\sigma_a \int_{y_a}^{h/2} b(y)y \cdot dy = M(y_a) = M\left(\frac{\varepsilon_a}{\chi}\right) \quad (2.12)$$

Eğilme momenti daha da artarak 2.13 bağıntısında verilen sınır değerine erişince şekildeğıştirmeler sonsuza gider ve kesitin taşıma gücü sona erer (Şekil 2.11.d). Burada M_p kesitin taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir ve plastik moment adını alır.

$$M_p = 2\sigma_a \int_0^{h/2} b(y)y \cdot dy \quad (2.13)$$

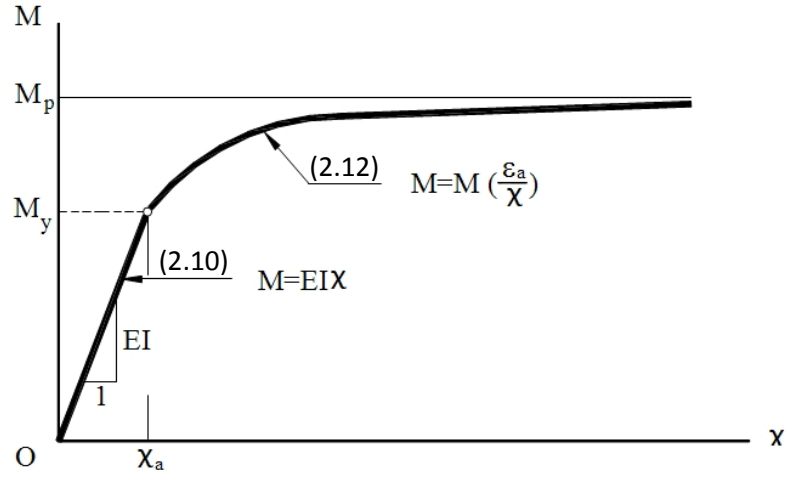
Kesitin plastik mukavemet momenti 2.14 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$W_p = 2 \int_0^{h/2} b(y)y \cdot dy \quad (2.14)$$

Buna göre M_p plastik momenti 2.15 bağıntısında gösterildiği gibi ifade edilebilir. [26]

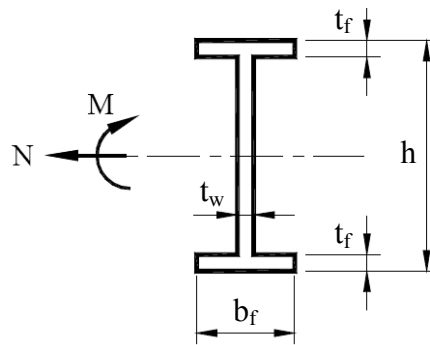
$$M_p = \sigma_a W_p \quad (2.15)$$

Eğilme momenti ile eğrilik arasındaki ilişki Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Kuvvetli eksenini doğrultusunda etkiyen eğilme momenti ile zorlanan I kesitlerinde elastik ve plastik momentler, enkesit geometrisine bağlı olarak 2.16 ve 2.17 bağıntıları ile hesaplanmaktadır. I kesitinin enkesit geometrisi Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : I Kesiti

Burada b_f enkesit başlık genişliğini, h enkesit yüksekliğini, t_w enkesit gövde kalınlığını, t_f enkesit başlık kalınlığını göstermektedir.

$$M_y = \sigma_a W_e \quad W_e = \frac{1}{6} \left[b_f h^2 - \frac{(b_f - t_w)(h - 2t_f)^3}{h} \right] \quad (2.16)$$

$$M_p = \sigma_a W_p \quad W_p = \frac{1}{4} \left[b_f h^2 - (b_f - t_w)(h - 2t_f)^2 \right] \quad (2.17)$$

Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar : Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) ile zorlanan çeşitli enkesit şekilleri için bünye bağıntıları 2.18 ve 2.19 bağıntılarıyla verilmiştir [26].

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) \quad (2.18)$$

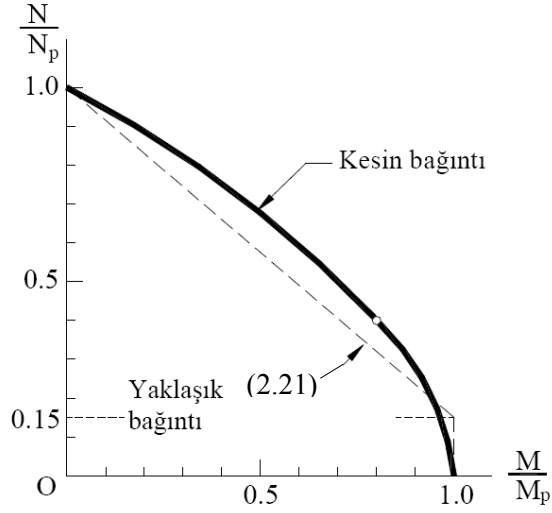
$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) \quad (2.19)$$

Şekil 2.13’de gösterilen kuvvetli eksen etrafında eğilen I kesitlerinde, bileşik eğilme hali için elde edilen kesin akma koşulunun yanında, uygulamada genellikle yaklaşık akma koşulundan yararlanılmaktadır. Yaklaşık akma koşulları ($K_1(M, N)=0$) 2.20 ve 2.21 bağıntıları ile elde edilmektedir [26].

$$\frac{N}{N_p} \leq 0.15 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \quad (2.20)$$

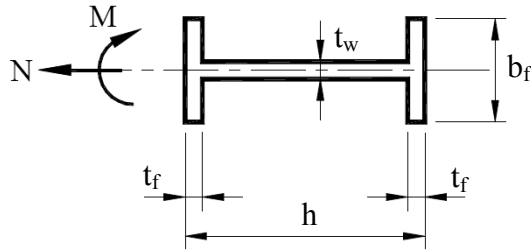
$$\frac{N}{N_p} > 0.15 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} + 1.18 \frac{N}{N_p} - 1.18 = 0 \quad (2.21)$$

Kuvvetli eksen etrafında eğilen I kesitlerinde kesin ve yaklaşık akma eğrileri Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesitlerinde Akma Eğrileri [26]

Zayıf eksen etrafında eğilen I kesitlerindeki yaklaşık akma koşulları ise 2.22 ve 2.23 bağıntılarıyla belirlenmektedir. Zayıf eksen etrafında eğilen I kesitinin enkesit geometrisi Şekil 2.15’de gösterilmiştir.

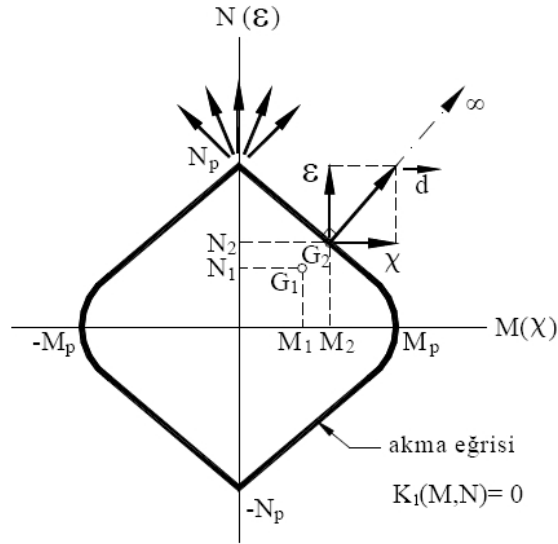


Şekil 2.15 : Zayıf Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti

$$\frac{N}{N_p} \leq 0.40 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{N}{N_p} > 0.40 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} + 1.19 \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 - 1.19 = 0 \quad (2.23)$$

Akma Olayından Sonraki Şekil Değişiklikleri : Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklarda, iç kuvvet ve şekil değiştirme durumlarının geometrik olarak gösterimi için M-N (χ - ϵ) dik koordinat sisteminden yararlanılır. Bu koordinat sisteminde, verilen bir iç kuvvet durumu koordinatları M ve N olan bir G noktası ile temsil edilebilir. G noktasının $K_1(M,N) = 0$ akma koşulunun belirlediği akma eğrisi içinde bulunması, kesitin doğrusal-elastik davrandığı veya kesitte meydana gelen doğrusal olmayan (plastik) şekil değişikliklerinin sınırlı olduğunu ifade eder. Akma eğrisi ve akma vektörleri Şekil 2.16'da gösterilmektedir [26].



Şekil 2.16 : Akma Eğrisi ve Akma Vektörü [26]

G noktasının akma eğrisi üzerinde bulunması halinde kesitin taşıma kapasitesi sona erer ve iç kuvvetler doğrultularında sonsuz plastik şekil değişiklikleri meydana gelebilir. Değişen dış etkiler altında, kesitteki iç kuvvet durumunu ifade eden G noktası akma eğrisi üzerinde hareket eder veya bu eğrinin içine doğru yönelir, fakat akma eğrisinin dışına çıkamaz [26].

Kesitteki plastik şekil değişiklikleri $\vec{d}(\chi, \epsilon)$ plastik şekil değiştirme (akma) vektörü ile tanımlanır.

İdeal elastoplastik malzemedan yapılmış kesitlerde, akma vektörü akma yüzeyine diktir. Diklik özelliği nedeniyle, akma vektörünün χ ve ε bileşenleri 2.24 ve 2.25 bağıntılarıyla $K_1(M,N)$ fonksiyonuna bağlı olarak ifade edilebilirler.

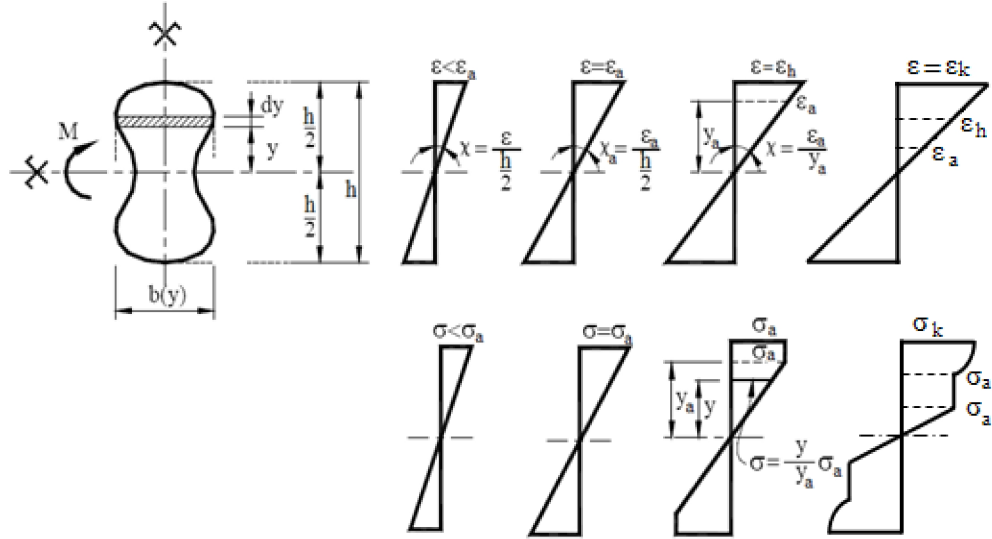
$$\chi = \mu \frac{\partial K_1}{\partial M} \quad (2.24)$$

$$\varepsilon = \mu \frac{\partial K_1}{\partial N} \quad (2.25)$$

Burada μ , \vec{d} akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir. Akma eğrisinin dış normalinin süreksizlik gösterdiği köşe noktalarında, akma vektörü iki dış normalin arasında herhangi bir doğrultuda olabilir [26].

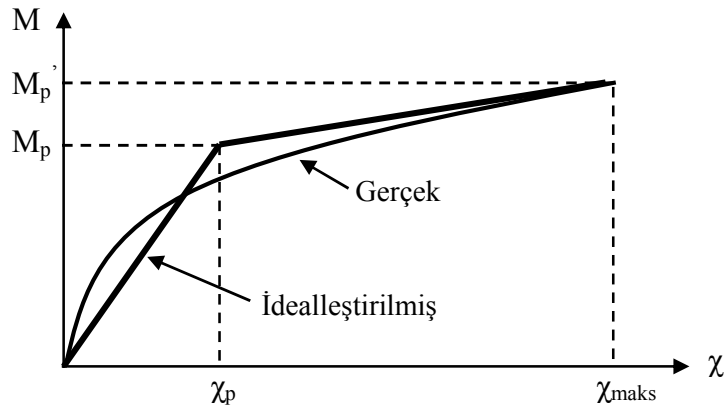
2.1.5 Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzemedan Yapılmış Çubuklar

Özellikle çelik yapı sistemlerinin büyük şekildeğiştirme durumlarını içeren doğrusal olmayan analizlerinde, ideal elastoplastik idealleştirme yerine çeliğin pekleşme bölgesini de gözönüne alan “*pekleşen ideal elastoplastik*” davranışın kullanılması tercih edilmektedir [4]. Pekleşme bölgesinin dikkate alındığı eğilme etkisindeki çelik çubuklarda artan eğilme momentinden oluşan gerilme ve şekildeğiştirme durumları Şekil 2.17’de şematik olarak gösterilmiştir.



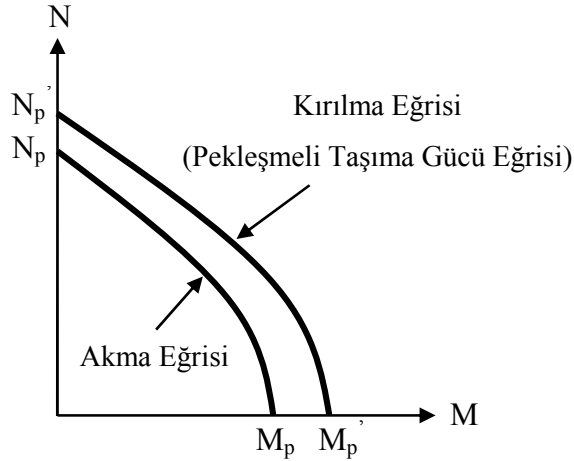
Şekil 2.17 : Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları

Pekleşen ideal elastoplastik malzeme için eğilme momenti ile eğrilik arasındaki ilişki Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Bu eğri alanların eşitliği ilkesi esas alınarak iki doğru parçası ile idealleştirilerek pekleşen ideal elastoplastik davranış elde edilmiştir.



Şekil 2.18 : Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Pekleşen ideal elastoplastik malzemeden yapılmış çubuklarda eğilme momenti ve normal kuvvetin birlikte olması durumunda akma koşulları Şekil 2.19'da şematik olarak gösterilmiştir.

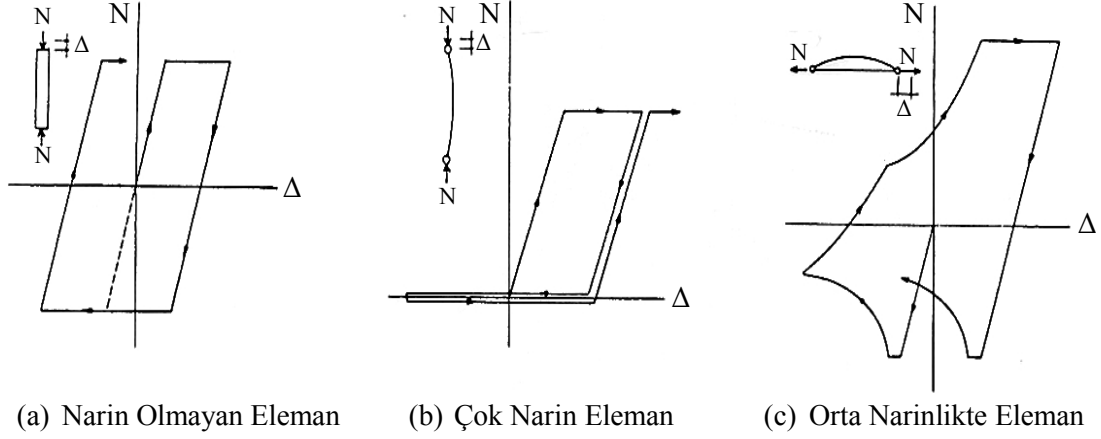


Şekil 2.19 : Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Akma ve Kırılma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Burada M_p' pekleşmeli moment taşıma kapasitesini, N_p' pekleşmeli normal kuvvet taşıma kapasitesini göstermektedir.

2.1.6 Tekrarlı Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanların Davranışı

Çelik yapılarda merkezi çaprazlı perde sistemini oluşturan çapraz elemanlar, deprem etkisi altında tekrarlı olarak basınç ve çekme kuvvetleri etkisi altında kalmaktadır. Bu tür bir etki altındaki çubukların davranışı çubuğun narinliğine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir [3,27]. Narin olmayan, çok narin ve belirli bir narinlikte olan üç farklı çubuğa ait davranış şematik olarak Şekil 2.20'de gösterilmiştir [27].

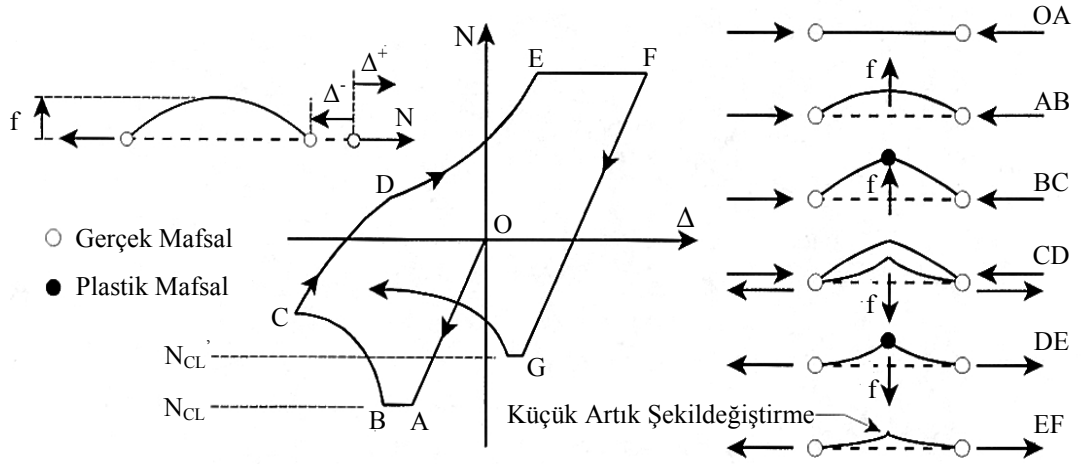


Şekil 2.20 : Farklı Narinliklere Sahip Çubukların Tekrarlı Eksenel Yük Altındaki Davranışları [27]

Narinlik etkisi olmayan çubuklarda çekme ve basınç kuvveti altındaki davranış tamamen aynı olmakta ve yapısal çeliğin davranış karakteristiklerini taşımaktadır (Şekil 2.20.a). Ancak çapraz elemanların narinliklerinin ortadan kaldırılması için çok büyük kesitler kullanılması gerektiğinden boyutlandırmada genellikle tercih edilmemektedir.

Çok narin elemanlar, basınç etkisi altında çok küçük kuvvetler ile burkulduğundan yük taşıma kapasitesi neredeyse tamamen yok olmakta ve bunların sadece çekme kuvveti taşıma kapasitesi kullanılabilir (Şekil 2.20.b). Bu davranış sebebiyle bu elemanlara *sadece çekme kuvveti taşıyan çaprazlar* denilmektedir [8,28]. Bu tip elemanların kullanıldığı çapraz sistemlerde büyük ötelemeler oluşmakta ve bu durum enerji yutma kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bu tip elemanların kullanılmasına sadece süneklik düzeyi normal sistemlerde izin verilmektedir [8,28].

Belirli narinlikteki çaprazlar, çekme kuvveti taşıma kapasitesi yanında belirli bir basınç kuvveti taşıma kapasitesine sahip elemanlardan oluşmaktadır. Böylece tekrarlı deprem etkileri altında oldukça iyi enerji yutma (şekildeğiştirme) kapasitesine sahip sistem elde edilmektedir. Eksenel kuvvet altındaki çapraz elemanın tekrarlı normal kuvvet (N)-boy değişimi (Δ) ilişkisi Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 : Tekrarlı Eksenel Yük Altındaki Çapraz Eleman Davranışı [28]

Yüksüz durumda bulunan çapraz elemana basınç kuvveti uygulanırsa, A noktasına kadar elastik davranış gösterir. Yük değeri A noktasına ulaştığında eleman burkulur. Narin elemanlarda A-B noktaları arasında elastik burkulma gerçekleşir. Bu noktaya kadar çapraz eleman elastik davranır. Bu nedenle yük boşalması BAO hattı boyunca gerçekleşir. Burkulma sırasında, yanıl yerdeğıştirmeye (f) bağılı olarak eleman boyunca eğilme momentleri oluşur. Eleman ortasında maksimum olan eğilme momenti normal kuvvet etkisi ile beraber elemanın taşıyabileceğı değere ulaştığında çapraz elemanın ortasında plastik mafsıl (kesit) oluşur. Plastikleşen kesitte plastik dönmeler ve plastik kısaltmalar meydana gelir. Eksenel kuvvet ve eğilme momentinin etkileşimi sonucu normal kuvvet ile boy değışimi arasındaki ilişki (B-C noktaları arası) doğrusal olmamaktadır. C noktasından başlayarak uygulanan basınç kuvveti kaldırıldığında elemanın ortasında belirli bir artık şekildeğıştirme kalır.

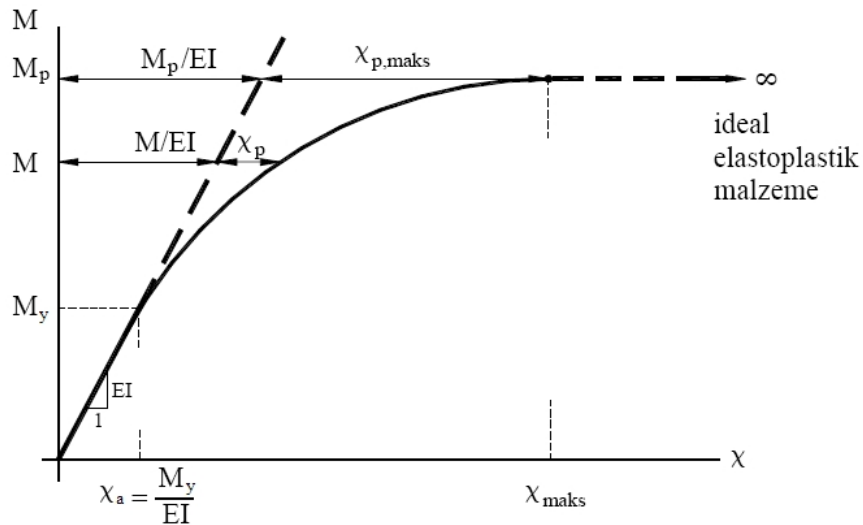
Elemana çekme kuvveti uygulanmaya başlandığında çapraz eleman çekme kuvveti altında D noktasına kadar elastik davranış gösterir. Bu bölümde yanıl yerdeğıştirmelerin azalmasıyla birlikte plastik dönmeler ve kısaltmalar azalır. Ancak çubuk tekrar tam olarak düz konumuna geri dönemez. Bu şekilde çekme kuvveti altında plastik uzamalar oluşur. Çapraz elemana tekrar basınç kuvveti uygulandığında eleman ilk haldeki normal kuvvet taşıma kapasitesi N_{CL} değerine ulaşamaz. Elemanın burkulmuş duruma ait yeni normal kuvvet taşıma kapasitesi N_{CL}' olur. Bu değeri ilk haldeki taşıma kapasitesinden küçük olup aralarında $N_{CL}' = 0.8N_{CL}$ ilişkisi bulunmaktadır. Bu dayanım azalması dışında histeristik eğri OABCDEF hattına benzer şekilde kendisini tekrar eder [3,27].

Basınç çubuklarının ortasında oluşan plastik mafsallarda (kesitlerde) normal kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi ile lokal burkulmalar meydana gelebilmektedir. Bu lokal burkulmaları önlemek amacıyla enkesit narinliklerinin belirli sınır değerlerin üzerine çıkmasına izin verilmemektedir. Bu sınır değerler sistem için öngörülen sünekliğe bağlı olarak yönetmeliklerde tanımlanmaktadır [8,28].

2.2 Plastik Mafsal Hipotezi

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılarda ve bazı koşullar altında betonarme yapılarda), plastik mafsal hipotezi ile sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

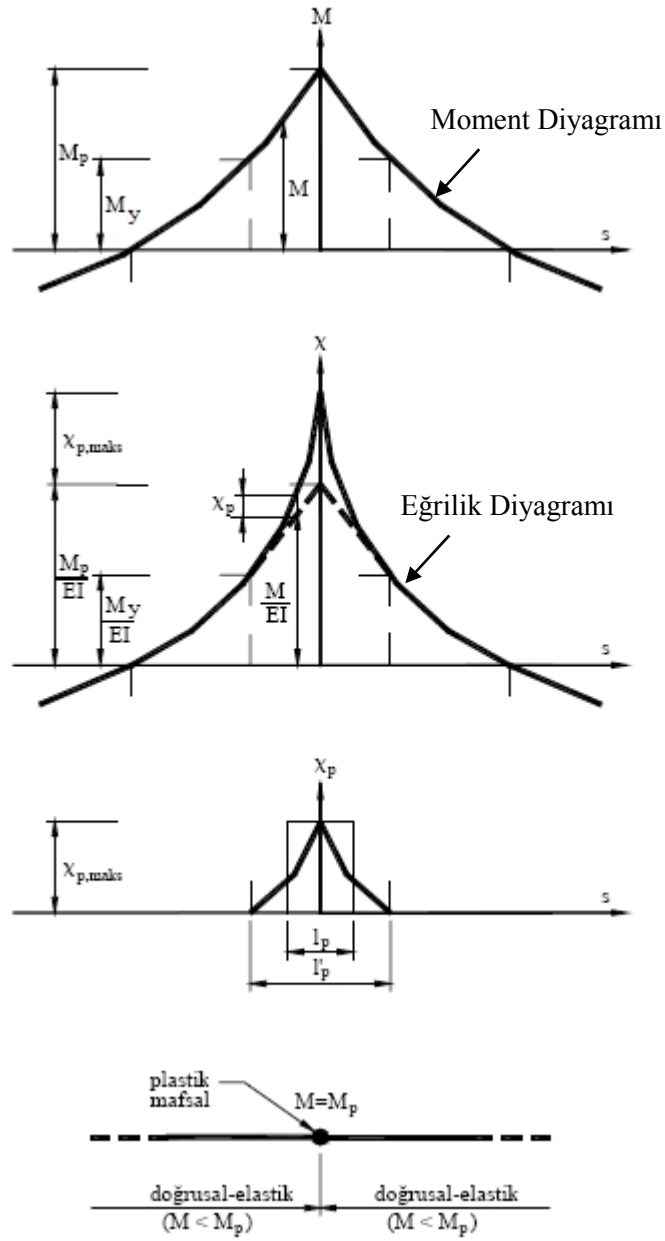
Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze *plastik mafsal hipotezi* adı verilir. Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.22’de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.23’de görülmektedir.



Şekil 2.22 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğişirmelerin 2.26 bağıntısındaki gibi plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada θ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir. Doğrusal olmayan şekildeğişirmeler Şekil 2.23’de gösterilmiştir [26].

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2.26)$$

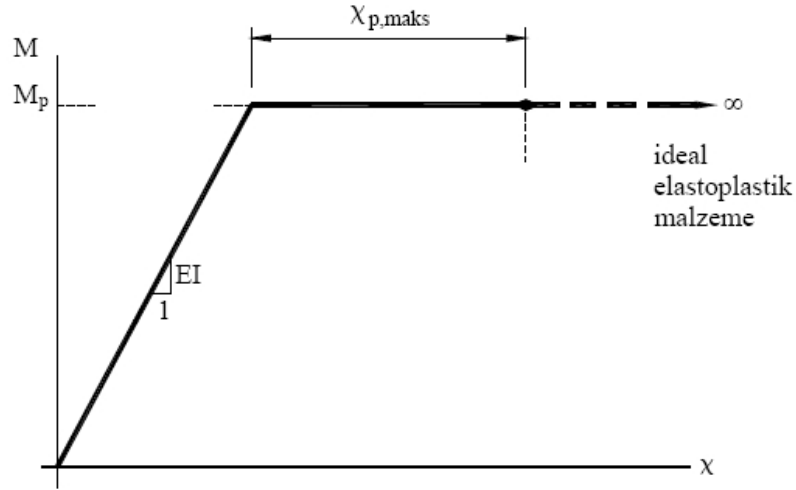


Şekil 2.23 : Doğrusal Olmayan Şekildeğişirmeler [26]

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının 2.27 ve 2.28 bağıntılarındaki gibi iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir. İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik ilişkisi Şekil 2.24’de gösterilmiştir [26].

$$M \leq M_p \quad \text{İçin} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.27)$$

$$M = M_p \quad \text{İçin} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.28)$$



Şekil 2.24 : İdealleştirilmiş Eğilme Momenti-Eğrilik Bağıntısı

Artan dış yükler altında plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere eşit olunca, oluşan büyük plastik şekildeğişiklikler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitesine ulaşması ise, yapının tümünün kullanılamaz hale gelmesine (işletme dışı olmasına), diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır. Dönme kapasitesi 2.29 bağıntısındaki gibi eğilme momenti diyagramının şekline ve $M - \chi$ bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

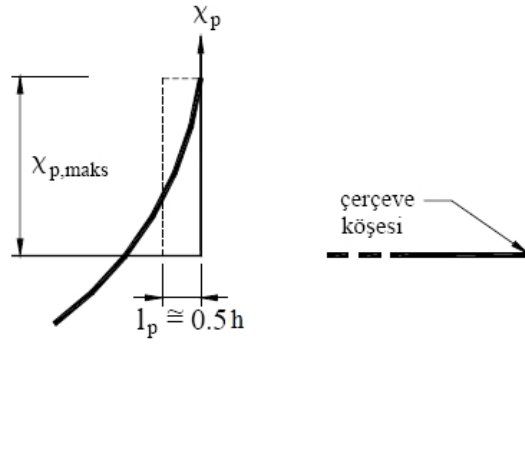
$$\text{maks}\theta_p = \int_{I_p} \chi_p ds \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.29)$$

Plastik mafsalin dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı 2.30 ve 2.31 bağıntılarıyla yapılmaktadır.

$$l_p = 0.5h \quad (2.30)$$

$$\text{maks}\theta_p = l_p \chi_{p,\text{maks}} \quad (2.31)$$

Burada l_p plastik mafsali boyu, h eğilmeye çalışan kesit yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Bir kolon-kiriş birleşiminde kiriş ucu için plastik mafsali boyu Şekil 2.25’de gösterilmiştir.



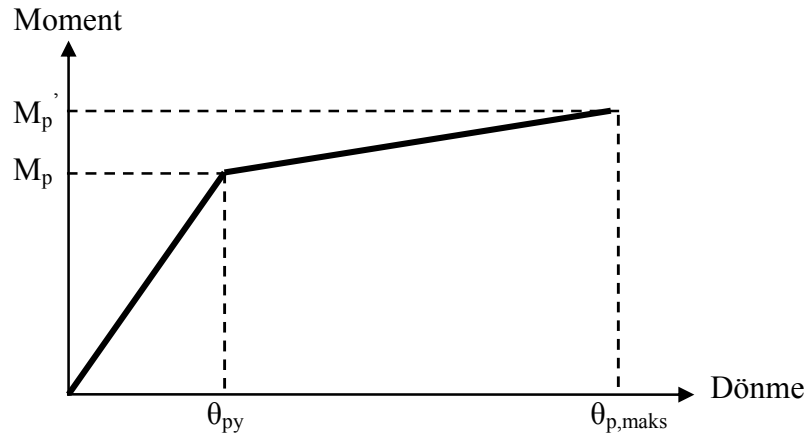
Şekil 2.25 : Plastik Mafsali Boyu

Plastik mafsali hipotezinin esasları aşağıda verilmiştir.

- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsali oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $M = M_p$ sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin $M = M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki θ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine ($\text{maks}\theta_p$) erişince sistem kullanılamaz duruma gelir.

- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal - elastik olarak davranır.
- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment M_{pi} değeri esas alınır.
- Plastik mafsallarda hipotezinin pekleşen ideal elastoplastik davranışı içerecek şekilde genişletilmesi halinde;

Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik momentine eşit olunca o kesitte plastik kesit oluşur. Kesitteki moment pekleşmeli moment taşıma kapasitesine ulaşmaya kadar artmaya devam eder ve kesitte plastik dönmeler meydana gelir. Plastikleşen kesitteki eğilme rijitliği bir dönme redörü (yay) ile ifade edilir. Dönme redörünün (k) değeri 2.32 bağıntısıyla belirlenmektedir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 : Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme İçin Eğilme Momenti-Dönme Diyagramı

$$k = \frac{M_p' - M_p}{\theta_{p,maks} - \theta_{py}} \quad (2.32)$$

2.3 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözüm Yöntemleri

Bu problemin çözümünü veren denklem takımının katsayıları ve / veya sabitleri problemin çözümüne bağlı ise yani problemin bilinmeyenlerini de içeriyorsa bu tür problemlere *doğrusal olmayan problemler* denir [26].

Bir yapı sisteminin hesabında yerdeğiştirme bileşenlerinin bilinmeyenler olarak seçilmesi halinde, bilinmeyenleri veren denklem takımının matris formundaki genel ifadesi 2.33 bağıntısındaki gibi yazılabilir.

$$[S][d] = [p] \quad (2.33)$$

Burada [S] katsayılar matrisi (sistem rijitlik matrisi) , [d] bilinmeyenler matrisi (yerdeğiştirme matrisi) , [p] sabitler matrisi (yükleme matrisi) olarak tanımlanmaktadır.

Doğrusal olmayan yapı mekaniği problemlerinde, problemin türüne ve çözümde uygulanan yönteme bağlı olarak, [S] katsayılar matrisi ve/veya bazı hallerde [p] sabitler matrisi problemin çözümünü, diğer bir deyişle, çözüme ait yerdeğiştirmeleri ve şekildeğiştirmeleri içermektedir.

Örneğin, geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesabında denge denklemlerinin şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerektiğinden, genel olarak denklem takımının katsayıları, yani [S] matrisi bilinmeyen yerdeğiştirmelere bağlıdır. Diğer taraftan, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin fiktif dış yüklerle temsil edilmesi halinde, [p] yüklem matrisinin elemanları sistemin yerdeğiştirmelerine bağlı olarak ifade edilmektedir.

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerde de, bünye denklemlerinin doğrusal olmaması nedeniyle, eleman rijitliklerinin ve bu rijitlikleri içeren [S] matrisinin sistemin şekildeğiştirmelerine, diğer bir deyişle problemin bilinmeyenlere bağlı olarak ifade edilmesi gerekmektedir.

Görüldüğü gibi, özellikle bilinmeyen sayısının fazla olduğu yapı sistemlerinin doğrusal olmayan teoriye göre hesabında, doğrusal olmayan denklem takımının yazılması ve bu denklemin kapalı çözümünün elde edilmesi uzun hesapları gerektirmekte ve çok kere olanaksız olmaktadır [26].

Bu durumda, doğrusal olmayan yapı sistemlerinin etkin bir şekilde hesabı için, her adımda problemin doğrusallaştırılması esasına dayanan sayısal yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması uygun olmaktadır. Doğrusal olmayan yapı sistemlerinin hesabı için uygulanan sayısal yöntemler genel olarak iki bölümde incelenebilirler. Bunlar *Ardışık Yaklaşım Yöntemleri* ve *Yük Artımı Yöntemleridir* [26].

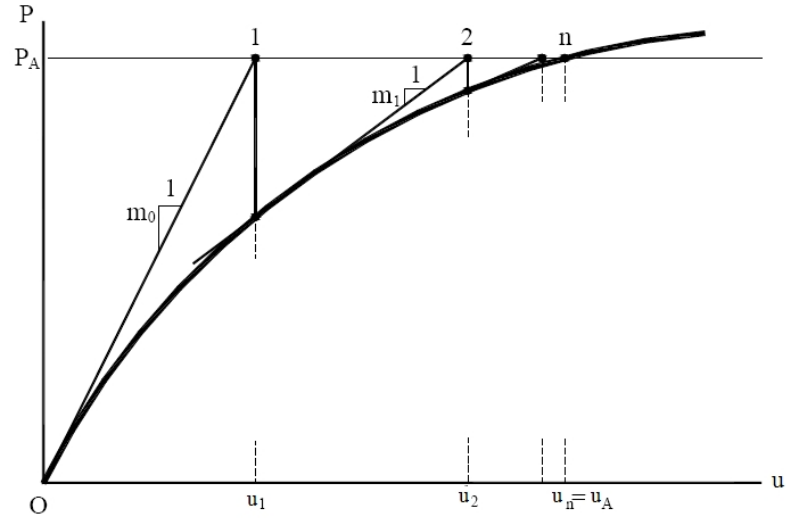
2.3.1 Ardışık Yaklaşım Yöntemleri

Ardışık yaklaşım yöntemleri, bir önceki adımda elde edilen çözüme ait büyüklükler için, örneğin söz konusu adımda bulunan yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme durumu dolaylarında, sistem davranışının doğrusallaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemler, doğrusallaştırmada uygulanan tekniğe bağlı olarak farklılıklar gösterirler. Doğrusallaştırma tekniklerinin başlıcaları; *Başlangıç Kirişi Yöntemi*, *Başlangıç Teğeti Yöntemi*, *Teğet Yöntemi*, *Kiriş Yöntemidir* [7,26].

Örnek olmak üzere teğet yöntemi aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Teğet Yöntemi : Ardışık yaklaşımın her adımında, doğrusallaştırılmış sistemin P-u bağıntısı için Şekil 2.27'de gösterildiği gibi bir önceki adımda bulunan çözüme ait teğet denklemi esas alınır [26].

Bu yöntemde denklem takımının katsayılar ve sabitler matrislerinin her adımda yeniden hesaplanması gerekir. Ayrıca, P-u bağıntısının teğetinin belirlenmesinde pratik bakımdan bazı güçlükler olabilir. Teğet yönteminin yakınsaklık hızı çok yüksektir [26].



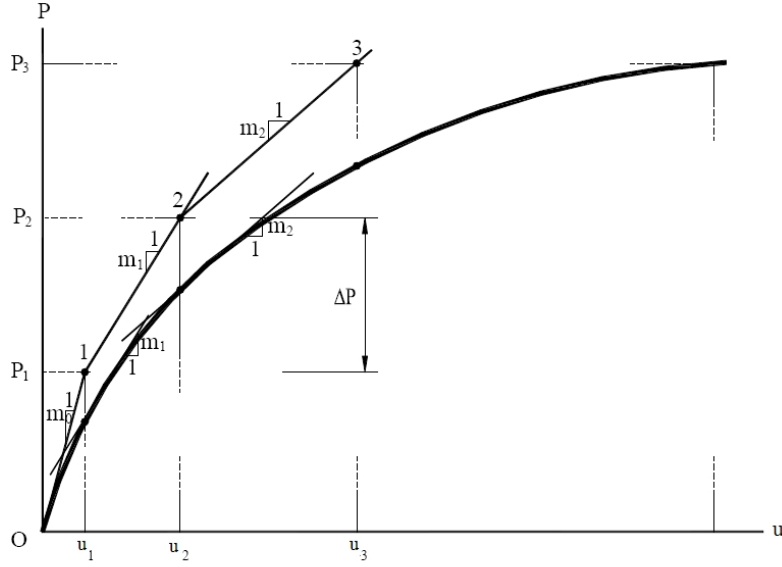
Şekil 2.27 : Teğet Yöntemi

2.3.2 Yük Artımı Yöntemleri

Doğrusal olmayan bir yapı sisteminin belirli bir P_A yük parametresi için hesabı yerine, yük parametresinin çeşitli değerleri için hesabı yapılarak P-u bağıntısının belirlenmesi istenirse, yük artımı yönteminden yararlanılabilir. Yük artımı yöntemi iki farklı şekilde uygulanabilir. *Bunlar Basit Yük Artımı Yöntemi ve Düzeltilmiş Yük Artımı Yöntemidir* [26].

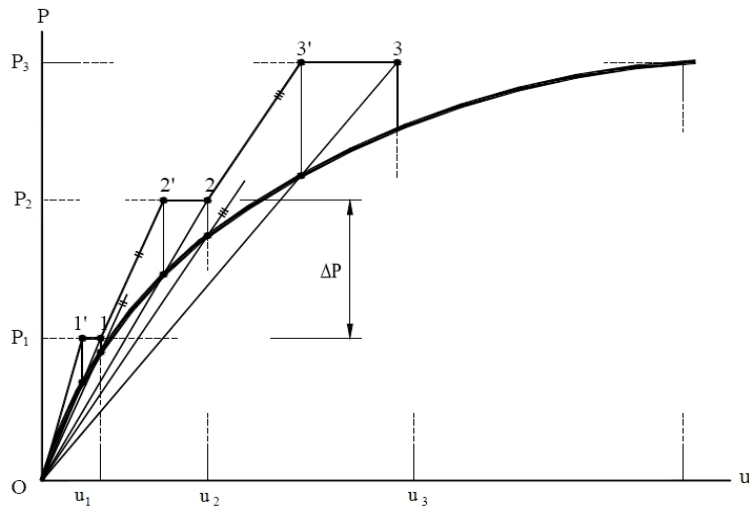
Basit Yük Artımı Yöntemi : Bu yöntemde yük parametresine küçük artımlar verilerek hesap yapılır. Her yük artımında, bir önceki çözüme ait başlangıç teğeti, başlangıç kirişi, teğet veya kiriş rijitliği esas alınarak sistem davranışı doğrusallaştırılır. Her yük artımında teğet tekniğinin uygulandığı bir basit yük artımı yöntemi Şekil 2.28’de şematik olarak gösterilmiştir.

Bu yöntemin en önemli sakıncası, biriken hatalar nedeniyle, elde edilen çözümün her yük artımında gerçek çözümden biraz daha uzaklaşmasıdır. Toplam hata miktarı seçilen yük artımının büyüklüğüne ve her yük artımında uygulanan doğrusallaştırma tekniğine bağlı olarak değişmektedir [26].



Şekil 2.28 : Basit Yük Artımı Yöntemi

Düzeltilmiş Yük Artımı Yöntemi : Yük artımı yönteminde biriken hataları azaltmak amacıyla küçük yük artımları seçmek yerine, her yük artımında elde edilen çözüm ardışık yaklaşım tekniklerinden biri (başlangıç teğeti, başlangıç kirişi, teğet veya kiriş teknikleri) uygulanarak gerçek çözüme yaklaştırılabilir. Bu yöntem *düzeltilmiş yük artımı yöntemi* adı verilir. Örnek olarak, her yük artımında başlangıç kirişi tekniğinin ardışık olarak iki kere uygulandığı bir düzeltilmiş yük artımı yöntemi Şekil 2.29’da şematik olarak gösterilmiştir [26].



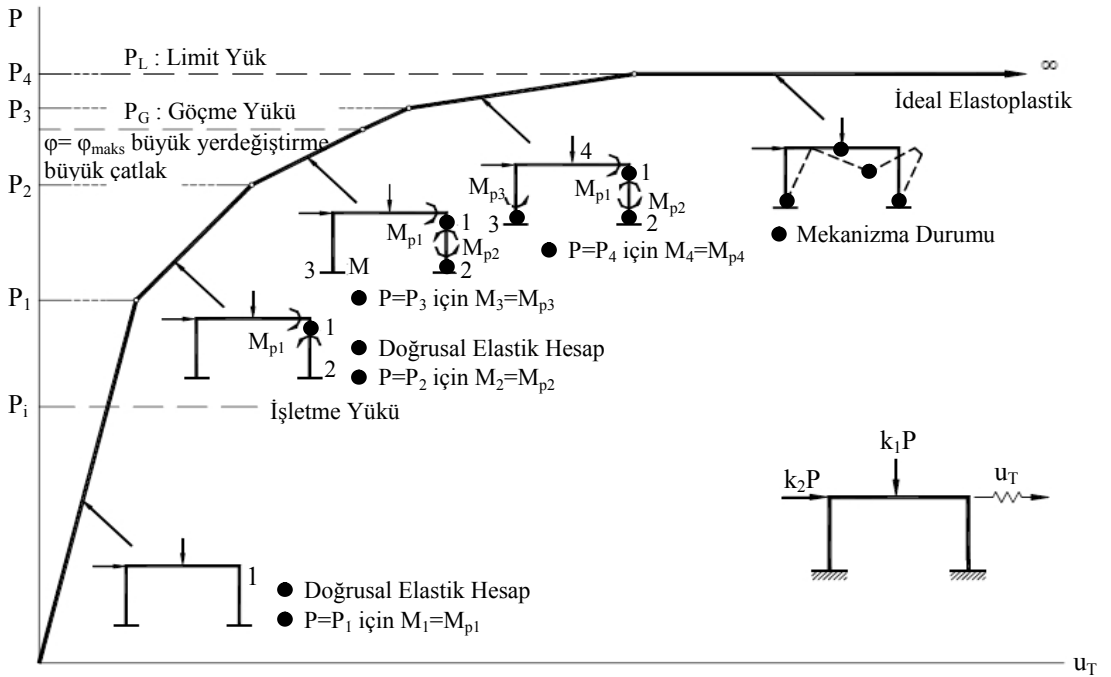
Şekil 2.29 : Düzeltilmiş Yük Artımı Yöntemi

2.3.3 Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Yapının Yük Artımı Yöntemi İle Hesabı

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı aşağıdaki Şekil 2.30 üzerinde açıklanmıştır.

Artan yükler altında, her plastik mafsalın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin doğrusal-elastik teoriye göre hesabı için Kuvvet veya Yerdeğiştirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir [26].

Belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır; diğer bir deyişle stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir. Bu duruma karşı gelen P_{L1} yük parametresi (birinci mertbe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, birinci mertbe limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür. Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi göçme yükü olarak tanımlanır [26].



Şekil 2.30 : Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Sistemin Artan Yükler Altındaki Davranışı [26]

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir [26].

- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.
- Düşey yükler bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkilendikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklerle ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirli olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği söylenebilir.

Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti M_{pi} esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir [26].

2.3.4 Kuvvet ve Yerdeğiştirme Kontrollü Sistem Analizi

Malzeme ve / veya geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin artan dış yükler altındaki davranışlarının belirlenmesi, diğer bir deyişle, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının elde edilerek taşıma güçlerinin hesaplanması istendiğinde, genel olarak iki farklı yoldan biri uygulanabilir [26].

Kuvvet Kontrollü Analiz : Hesabın başlangıcında yük parametresi seçilir ve ardışık yaklaşımın her adımında bu yük parametresi esas alınarak hesap yapılır. Bu durumda elde edilecek çözüm, sistemin başlangıçta seçilen yük parametresi

için çözümdür.

Yerdeğiştirme Kontrollü Analiz : Hesabın başlangıcında sisteme ait herhangi bir büyüklüğün değeri seçilir. Bu büyüklük yerdeğiştirme, şekildeğiştirme veya bir iç kuvvet olabilir. Ardışık yaklaşımın her adımında söz konusu büyüklüğün seçilen değerini veren yük parametresinin hesabı amaçlanır. Bu durumda, ardışık yaklaşımın sonunda bulunan yük parametresi sistemde seçilen büyüklüğü meydana getiren değere eşit olacaktır. Elde edilen iç kuvvet, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeler ise sistemin bu yük parametresi için çözümünü vermektedir.

Tek serbestlik dereceli sistemlerde, seçilen her hangi bir büyüklük sistemin iç kuvvet, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme durumunu tanımlamak için yeterli olduğundan, yerdeğiştirme kontrollü hesap kesindir; yani ilk adımda sistemin gerçek çözümünü vermektedir. Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise, ardışık yaklaşımın birinci adımında elde edilen çözüm, artan yüklerle birlikte sisteme ait büyüklüklerin aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttıkları varsayımı altında problemin yaklaşık çözümünü vermektedir. Diğer adımlarda, bu varsayımın neden olduğu yaklaşıklık etkisi gözönüne alındığından kesin çözüme hızla ulaşılacağı söylenebilir.

Sistemin taşıma gücünü aşan yük parametreleri için, kuvvet kontrollü analizde çözüm elde edilememektedir. Buna karşılık, yerdeğiştirme kontrollü analizde, seçilen her yerdeğiştirme değeri için bir çözüm elde edilebilir [26].

3. BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, ASCE/SEI 41-06 [16] standardı çerçevesinde, binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili temel kavramlar açıklanmış, analiz yöntemleri, modelleme parametreleri ve performans kriterleri anlatılmıştır.

Performansa dayalı değerlendirme (tasarım), günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasındadır. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapılarının deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya koymuştur.

Son on beş yılda Amerika Birleşik Devletleri'ndeki çeşitli kuruluşlar tarafından çok sayıda proje gerçekleştirilmiştir. Bu projeler sonucunda binaların deprem yükleri altındaki performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde kullanılmak üzere ön standart niteliğinde dokümanlar (ATC 40 [10], FEMA 273 [11], FEMA 350 [13], FEMA 356 [14], FEMA 440 [15], Vision 2000 [9]) hazırlanmıştır. Son olarak ASCE tarafından 2007 yılında 'Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06)' [16] standardı yayınlanmıştır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmalar çerçevesinde 2007 deprem yönetmeliği hazırlanmış ve yönetmeliğe yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans değerlendirilmesini içeren yeni bir bölüm eklenmiştir [8].

Performans esaslı değerlendirme yaklaşımının yönetmeliklerdeki kullanım amacı, mevcut betonarme yapıların deprem etkisi altındaki güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi olmakla birlikte yakın gelecekte yeni yapılacak binaların tasarımında da uygulanacak şekilde yönetmeliklerde yer alması beklenmektedir. Bu bağlamda 2008 yılında Performans Esaslı Tasarım amacıyla İstanbul'daki yüksek binalar için "İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği" [17] hazırlanmış ve kullanımına başlanmıştır. Bu yönetmelikte betonarme binalar için hesap esasları verilmiş, çelik binalar için ise ASCE/SEI 41-06'ya atıf yapılmıştır.

3.1 ASCE / SEI 41-06'ya Göre Tanımlar

3.1.1 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri bir yapı için, belirli 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 oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılamamasına 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 kombinasyonu olarak belirlenir [16].

3.1.1.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Düşey ve yatay yüklerin taşınmasında kullanılan kolonlar, kirişler, perdeler (çaprazlar), ve benzeri elemanlar taşıyıcı eleman olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı elemanlar birincil ve ikincil elemanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Taşıyıcı elemanlar için öngörülen performans seviyeleri ve bölgeleri Tablo 3.1’de verilmiş ve her biri tanımlanmıştır [16].

Tablo 3.1 : Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri ve Bölgeleri [16]

Performans Seviyesi	Performans Bölgesi	Kod
Hemen Kullanım		S - 1
	Hasar Kontrol	S - 2
Can Güvenliği		S - 3
	Sınırlı Güvenlik	S - 4
Göçmenin Önlenmesi		S - 5
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye		S - 6

Hemen Kullanım (HK) Performans Seviyesi (S-1) : Deprem sonrasında oluşan taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır. Yapısal hasarlardan kaynaklanan bir yaralanma beklenmemektedir. Yapı deprem sonrasında sınırsız olarak kullanıma açıktır.

Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S-2): Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım (S-1) ile can güvenliği (S-3) performans seviyeleri arasında bulunduğu performans bölgesidir. Hasarın belirli ölçüde sınırlandırılması yanında, can güvenliği sağlanmaktadır.

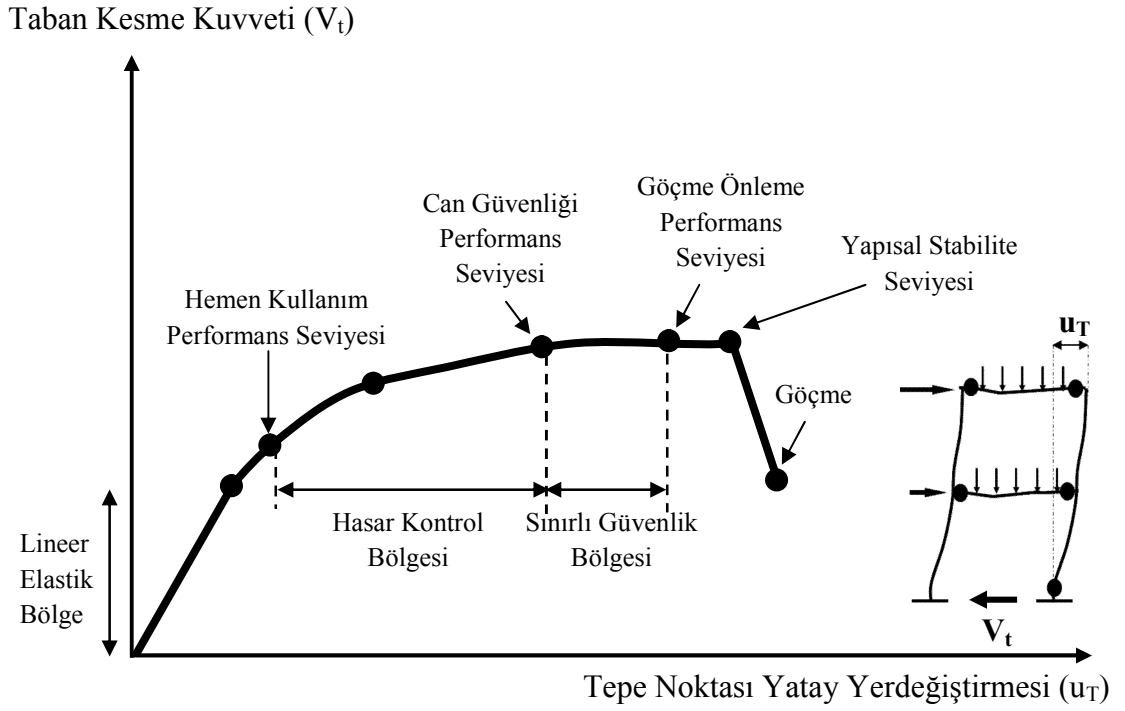
Can Güvenliği (CG) Performans Seviyesi (S-3) : Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toplam göçme söz konusu değildir. Yapının toptan göçmeye karşı hala belirli bir miktar kapasitesi bulunmaktadır. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

Sınırlı Güvenlik Performans Bölgesi (S-4) : Bu bölgede taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği (S-3) koşullarını sağlamayabilir, ancak performans seviyesi göçmenin önlenmesinden daha yüksektir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Seviyesi (S-5) : Bu seviye, taşıyıcı sistemin güç tükenmesi sınırında olduğunu gösterir, 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. Artçı deprem şokları ile birlikte, güç tükenmesi sınırındaki yapı toptan göçme tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (S-6) : Bu seviyede, bazı bina sahipleri rehabilitasyon programında yapının kendi performansını değil de yapısal olmayan zayıflıkları göstermek isteyebilir. (Örneğin parapetler veya tehlikeli madde konteynırlarını sabitlemek gibi ...). Bu tür rehabilitasyon programları bazen etkili olur. Çünkü bir sismik tehlikeyi önlemek maliyette önemli bir düşüş sağlar.

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, *kapasite eğrisi* olarak isimlendirilen toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi (V_t-u_T) diyagramı üzerinde şematik olarak işaretlenmiştir (şekil 3.1).



şekil 3.1 : Sistem Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Bölgeleri

Çelik taşıyıcı sistemlerde üç temel performans seviyesi (HK, CG, GÖ) için öngörülen deprem sonrası hasarlar Tablo 3.2’de verilmiştir [16].

Tablo 3.2 : Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Performans Seviyelerine Karşılık Gelen Hasar Durumları [16]

Taşıyıcı Sistem	Hemen Kullanım Performans Seviyesi	Can Güvenliği Performans Seviyesi	Göçme Önleme Performans Seviyesi
Moment Aktaran Çelik Çerçeve Sistemler	Birkaç yerde küçük lokal akmalar oluşabilir. Bazı lokal burkulmalar veya gözle görülür kalıcı çarpılmalar olabilir. % 0.7 geçici ve ihmal edilebilir kalıcı ötelemeler olabilir.	Mafsal durumudur. Bazı kirişlerde burkulmalar olabilir. Ağır ek yeri çarpılmaları oluşabilir. Moment birleşimlerinde kırılmalar olabilir, kesme birleşimleri sağlamdır. Bazı elemanlarda kısmi kırılmalar olabilir. %2.5 geçici ve % 1 kalıcı ötelemeler olabilir.	Kolon ve kiriş panellerinde büyük çarpılmalar oluşabilir. Birçok moment birleşiminde kırılmalar olabilir. Kesme birleşimleri sağlamdır. % 5 geçici yada kalıcı ötelemeler olabilir.
Çelik Çaprazlı Perde Sistemler	Çapraz elemanlarda küçük akmalar veya bazı lokal burkulmalar olabilir. % 0.5 geçici ve ihmal edilebilir kalıcı ötelemeler olabilir.	Birçok çapraz eleman akabilir veya burkulabilir. Birçok birleşim kırılabilir. Fakat toptan göçme olmaz. % 1.5 geçici ve % 0.5 kalıcı ötelemeler olabilir.	Çapraz elemanlarda büyük akmalar ve burkulmalar olabilir. Birçok çapraz eleman ve birleşimleri kırılabilir. % 2 geçici yada kalıcı ötelemeler olabilir.

3.1.1.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri

Yapı sistemlerinde bulunan bölme duvarlar, merdivenler, kaplamalar, camekanlar, parapet duvarlar, gölgelik ve tenteler, merdivenler, kapılar, asansörler, boru tesisatları, aydınlatma sistemleri ve benzeri elemanlar taşıyıcı olmayan eleman olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanlar için öngörülen performans seviyeleri Tablo 3.3’de verilmiş ve her biri tanımlanmıştır [16].

Tablo 3.3 : Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri [16]

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam	N-A
Hemen Kullanım	N-B
Can Güvenliği	N-C
Azaltılmış Hasar	N-D
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	N-E

Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A) : Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanlarda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanların kullanımını engellemez.

Hemen Kullanım (HK) Performans Seviyesi (N-B) : Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipmanlar ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve / veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.

Can Güvenliği (CG) Performans Seviyesi (N-C) : Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipmanlar ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içindeki veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanların onarımı gerekebilir.

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D) : Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasarlar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarında neden olabilecek hasar oluşmaz.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E) : Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınması gerek olmayabilir.

3.1.1.3 Binalar İçin Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bina için yapısal performans hedefi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin değişik kombinasyonları gözönüne alınarak belirlenir. Çeşitli kombinasyonları içeren bina performans hedefleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir [16].

Tablo 3.4 : Bina Yapısal Performans Hedefleri [16]

Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri	Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A	2-A	KÖ	KÖ	KÖ	KÖ
N-B	1-B	2-B	3-B	KÖ	KÖ	KÖ
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	6-C
N-D	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	KÖ	KÖ	KÖ	4-E	5-E	KE

KÖ : Kullanılması Önerilmez **KE** : Kabul Edilmez

Tabloda koyu çerçeve içine alınan performans hedefleri, yaygın olarak karşılaşılan kombinasyonlardır. Bu kombinasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

(1-A) *Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (S-1 + N-A)* : Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina kullanıma devam edilebilecek durumdadır.

(1-B) *Hemen Kullanım (HK) Performans Seviyesi (S-1 + N-B)* : 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.

(3-C) *Can Güvenliği (CG) Performans Seviyesi (S-3 + N-C)* : Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

(5-E) *Göçmenin Önlenmesi (CG) Performans Seviyesi (S-5 + N-E)* : Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik ve ekonomik bakımdan uygun değildir.

3.1.2 Deprem Tehlike Seviyeleri

Performansa dayalı değerlendirme kapsamında farklı düzeyde deprem seviyeleri tanımlanmıştır. Bu deprem seviyeleri genel olarak, 50 yıllık süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

1 – *Servis (kullanım) Depremi (SE)* : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan ve dönüş periyodu 72 yıl olan depremdir. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin yaklaşık yarısı kadardır [16].

2 – *Tasarım Depremi (DE)* : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan ve dönüş periyodu 474 yıl olan depremdir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde de esas alınan

bu deprem ASCE 41-06 'da *Temel Güvenlik Depremi-1* (BSE-1) olarak isimlendirilir [16].

3 – *En Büyük Deprem (ME)* : Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde, meydana gelebilecek en büyük depremdir. 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan ve dönüş periyodu 2475 yıl olan depremdir. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin 1.50 katıdır. Bu deprem ASCE 41-06'da *Temel Güvenlik Depremi-2* (BSE-2) olarak isimlendirilir [16].

3.2 ASCE / SEI 41-06'daki Analiz Yöntemleri

Performans esaslı değerlendirme amacıyla ASCE/SEI 41-06'da verilen yöntemler, iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar doğrusal (lineer) yöntemler ve doğrusal olmayan (non-lineer) yöntemlerdir [16].

3.2.1 Doğrusal (Lineer) Yöntemler

Doğrusal yöntemler, geleneksel doğrusal gerilme-şekildeğiştirme bağıntısını esas almaktadır. Bununla birlikte yapı şekildeğiştirmeleri, elemanların şekildeğiştirme kapasiteleri ve sismik hareketin doğrusal elastik olmayan karakteristikleri yöntemin içine dahil edilmeye çalışılmıştır. Doğrusal yöntemler, yapısal düzensizliği olmayan yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca doğrusal yöntemlerin tasarım depremi etkisinde büyük plastikleşmeler oluşmayan yapılarda uygulanması daha uygun sonuçlar vermektedir. Doğrusal yöntemler kendi içinde statik ve dinamik esaslı yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal statik yöntemler, birinci (hakim) modun yapı davranışında etkili olduğu binalarda

kullanılmaktadır. Doğrusal dinamik yöntemler ise yüksek modların da etkili olduğu binalarda kullanılmaktadır [16].

3.2.2 Doğrusal Olmayan (Non-Linear) Yöntemler

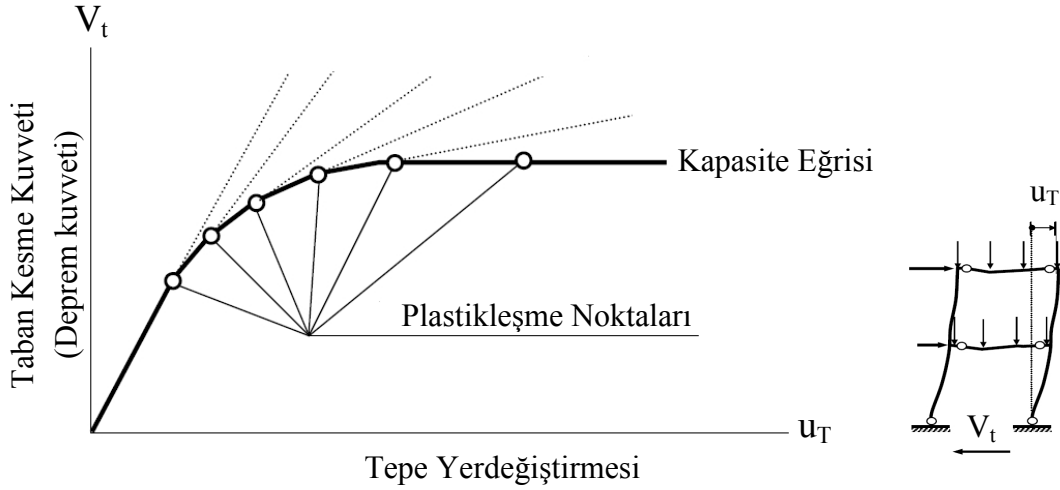
Doğrusal olmayan yöntemler, yapı elemanlarının geometri değişimi ve malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışlarını gözönüne almaktadır. Bu yöntemler şekil değiştirme esaslı yöntemler olduğundan doğrusal yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemler, doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan dinamik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Doğrusal olmayan statik yöntemler, birinci modun yapı davranışında hakim olduğu binalarda kullanılan basitleştirilmiş yöntemlerdir. Doğrusal olmayan dinamik yöntemler ise yüksek mod etkilerini, yapıdaki sönüm etkisini ve yer hareketinin karakteristiklerini gözönüne alan yöntemlerdir. Bu yöntemler oldukça karmaşık, zaman alıcı ve çok fazla sayıda yerel deprem kaydı gerektirdiğinden, pratikte mühendislerin günlük kullanımları için uygun olmamaktadır. Bu nedenle daha uygulanabilir olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır [16].

3.3 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem

Doğrusal olmayan statik yöntemi belirli bir deprem yer hareketi için binaya yüklenen yerdeğiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde yerdeğiştirme talebi, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem benzeşmesine dayanan sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bunun için taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu ve histeristik davranışını temsil eden katsayılar kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, öncelikle taban kesme kuvveti (V_t) ile yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi (u_T) arasındaki ilişkiyi ifade eden kapasite eğrisi elde edilir.

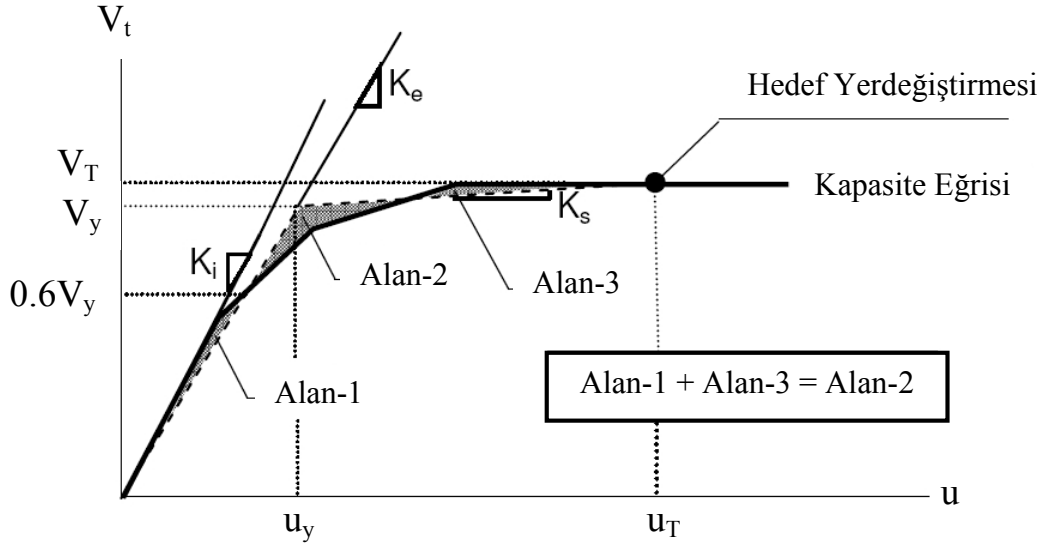
Depremi temsil eden yatay yük olarak, yapının birinci doğal titreşim genliklerine uygun bir eşdeğer deprem yükü dağılımı seçilir. Bunun için sabit düşey yükler altında ve monotonik artan deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre analiz yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Tipik bir kapasite eğrisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir [16].



Şekil 3.2 : Doğrusal Olmayan Statik Analiz ile Belirlenen Tipik Kapasite Eğrisi

Kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, elastik rijitliği ifade eden (K_e) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden (K_s) doğru parçaları ile idealleştirilir. Bu idealleştirme yapılırken K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kesim noktasının ordinatı için verilen %60 ($0.60V_y$) koşulunun gerçekleşmesi sağlanır (Şekil 3.3). İki doğru parçasının kesişim noktası başlangıçta bilinmediğinden bir deneme yanılma yöntemi uygulanarak ilgili koşul sağlatılır.

Buna göre, kapasite eğrisi üzerinde bir hedef yerdeğiştirmesi (performans noktası) (u_T) tahmin edilerek (öngörülerek) K_e doğrusu seçilir ve buna bağlı olarak V_y değeri belirlenir. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilir. Eğer bu değer $0.60V_y$ ‘ye eşit değilse K_e için yeni bir değer öngörülerek işlem tekrarlanır. İlgili koşulu sağlayan idealleştirme gerçekleştirildikten sonra 3.1 bağıntısı ile T_e etkin periyot değeri hesaplanır [16].



Şekil 3.3 : Kapasite Eğrisinin İki Doğru Parçası İle İdealleştirilmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.1)$$

Burada; T_i elemanların gerçek (çatlamış) rijitlikleri kullanılarak deprem kuvveti doğrultusunda yapının serbest titreşim analizi ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu, K_i yapının elastik yanal rijitliği, K_e yapının elastik etkin rijitliği, u_y iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesi, V_y iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı olarak tanımlanmaktadır [16].

Doğrusal olmayan statik analiz yönteminde, binanın performans seviyesi kontrolünün yapılacağı u_T hedef yerdeğiştirmesi 3.2 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$u_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3.2)$$

Burada; C_0 eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır.

Bu katsayı için aşağıda belirtilen değerlerden herhangi biri kullanılabilir [16].

- a) Yerdeğiştirme kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri,
- b) Hedef yerdeğiştirmesine ulaşmış binanın deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri,
- c) Bina taşıyıcı sistemi özelliğine ve kat adedine bağlı olarak Tablo 3.5'den belirlenen değer [16].

Tablo 3.5 : C_0 Düzeltme Katsayıları [16]

Kat	Kayma Binaları		DİĞER Binalar
	Üçgen Yük	Üniform Yük	Herhangi Bir Yük
1	1.00	1.00	1.00
2	1.20	1.15	1.20
3	1.20	1.20	1.30
5	1.30	1.20	1.40
> 10	1.30	1.20	1.50

Kayma Binaları : Tüm katlarında yükseklik arttıkça katlar arasında öteleme miktarı azalan binalardır.

C_1 : Doğrusal-elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır ve 3.3 bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Birinci titreşim periyodu 1.00 sn'den büyük binalarda $C_1 = 1.00$ alınır.

$$C_1 = 1 + \frac{R_0 - 1}{aT_e^2} \quad (3.3)$$

Burada, R_0 ; elastik dayanımın akma dayanımına oranı, a ; zemin sınıflarına göre değişen katsayıdır. ASCE/SEI 41-06'da verilen A ve sınıfı zeminler için

$a = 130$, C sınıfı zeminler için $a = 90$, D,E,F sınıfı zeminler için $a = 60$ alınmaktadır. R_0 değeri 3.4 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$R_0 = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (3.4)$$

Burada; S_a yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme, W etkin sismik kütle, C_m etkin kütle çarpanı olarak tanımlanmaktadır. Etkin kütle çarpanı katsayıları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.[16]

Tablo 3.6 : Etkin Kütle Çarpanı (C_m) Katsayıları [16]

Kat Sayısı	Betonarme Çerçeve	Betonarme Perde	Betonarme Destek - Payanda	Çelik Çerçeve	Çelik Merkezi Çaprazlı Çerçeve	Çelik Eksantrik Çaprazlı Çerçeve	Diğer
1 - 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥ 3	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	1.00

Not : Doğal titreşim periyodu 1.00 sn'den büyük binalarda $C_m = 1.00$ alınır.

C_2 : Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması ve dayanım kaybı etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır ve 3.5 bağıntısıyla hesaplanır. Birinci titreşim periyodu 0.7 sn'den büyük binalarda $C_2 = 1.00$ alınır. Periyodun 0.2 sn'den küçük olduğu durumlarda, C_2 katsayısının değeri için periyodun 0.2 sn'ye eşit olduğu andaki değeri alınır.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R_0 - 1}{T_e} \right)^2 \quad (3.5)$$

3.4 Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye Göre Sistemin Tepe Yerdeğiştirmesi (Hedef Yerdeğiştirme) Talebinin Belirlenmesi

Türk deprem yönetmeliği 2007'de yapı davranışında birinci (hakim) modun etkili olduğu binaların doğrusal olmayan performans değerlendirmeleri için ASCE/SEI 41-06'daki yöntemle benzer olan "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" önerilmektedir. Bu yöntemde, sistemin kapasite eğrisinden yararlanarak çok serbestlik dereceli sistem, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürölmekte ve yerdeğiştirme talebi belirlenmektedir [8].

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde kapasite eğrisi 3.6 ve 3.7 bağıntıları kullanılarak modal kapasite diyagramına dönüştürölmektedir.

$$a_1 = \frac{V_{(x,y)1}}{M_{(x,y)1}} \quad (3.6)$$

$$d_1 = \frac{u_{T(x,y)1}}{\phi_{(x,y)1} \Gamma_{(x,y)1}} \quad (3.7)$$

Bu bağıntılarda a_1 birinci moda ait modal ivmeyi, $M_{(x,y)1}$ göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın birinci doğal titreşim modundaki etkin kütle, $V_{(x,y)1}$ göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci moda ait taban kesme kuvvetini, d_1 birinci moda ait modal yerdeğiştirmeyi, $u_{T(x,y)1}$ binanın tepesindeki göz önüne alınan deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemini, $\Phi_{(x,y)1}$ binanın tepesindeki göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci moda ait mod şekli genliğini, $\Gamma_{(x,y)1}$ ise göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci moda ait katkı çarpanını göstermektedir [8].

Talep spektrumu ise 3.8 bağıntısı kullanılarak spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürölmektedir.

$$S_d = \frac{S_a}{\omega_1^2} \quad (3.8)$$

Bu bağıntıda S_d birinci moda ait elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeyi, S_a birinci moda ait elastik spektral ivmeyi ve ω ise açısai frekansı göstermektedir.

Daha sonra eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin tepe yerdeğiştirmesi 3.9 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$S_{di,1} = C_{R,1} S_{de,1} \quad (3.9)$$

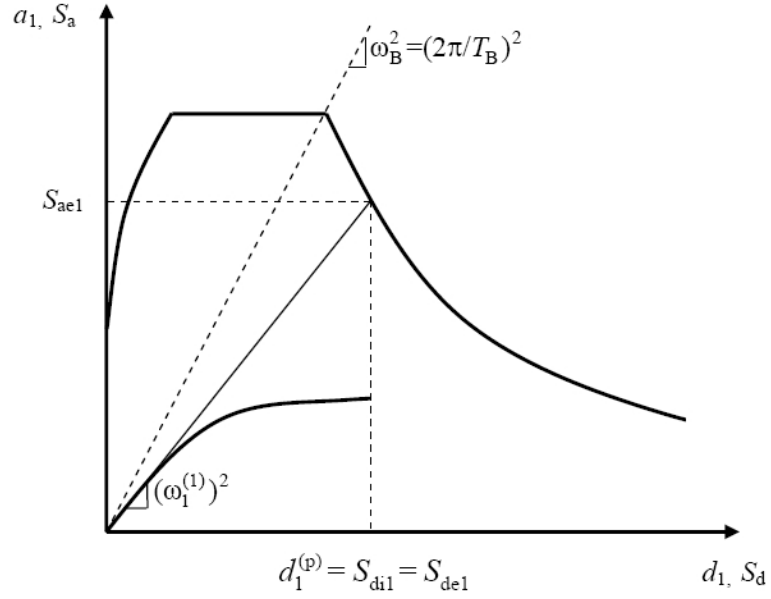
Burada $S_{di,1}$ doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeyi, $S_{de,1}$ eşdeğer doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeyi, $C_{R,1}$ ise yerdeğiştirme oranını göstermektedir.

Yerdeğiştirme oranı $C_{R,1}$ binanın birinci (hakim) periyodu T_1 ve talep ivme spektrumunun karakteristik periyodu T_B 'ye bağıli olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [8].

$T_1 \geq T_B$ durumu : Bu durumda “Eşit Yerdeğiştirme Kuralının” geçerli olduğı varsayılmakta ve $C_{R,1} = 1.00$ alınmaktadır. Buna göre çok serbestlik dereceli bir sistemin doğrusal elastik olmayan tepe yerdeğiştirmesi, bu sisteme eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin elastik tepe yerdeğiştirmesine eşit olmaktadır.

$$S_{di,1} = S_{de,1} \quad (3.10)$$

Bu durumun grafik gösterimi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi ($T_1 \geq T_B$)

$T_1 < T_B$ durumu : Bu durumda $C_{R,1}$ aşağıda anlatılan bir ardışık yaklaşım yolu ile belirlenir.

a) Modal kapasite diyagramı, Şekil 3.5'te gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır.

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R,1} = 1.00$ kabulü yapılarak, diğer bir deyişle 3.10 bağıntısı kullanılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.5 (a)'da görülen $\alpha_{y,1}^0$ esas alınarak $C_{R,1}$ 3.11 bağıntısıyla tanımlanır.

$$C_{R,1} = \frac{1 + (R_{y,1} - 1)T_B/T_1}{R_{y,1}} \geq 1 \quad (3.11)$$

Bu bağıntıda $R_{y,1}$ birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermekte ve 3.12 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$R_{y,1} = \frac{S_{ae,1}}{a_{y,1}} \quad (3.12)$$

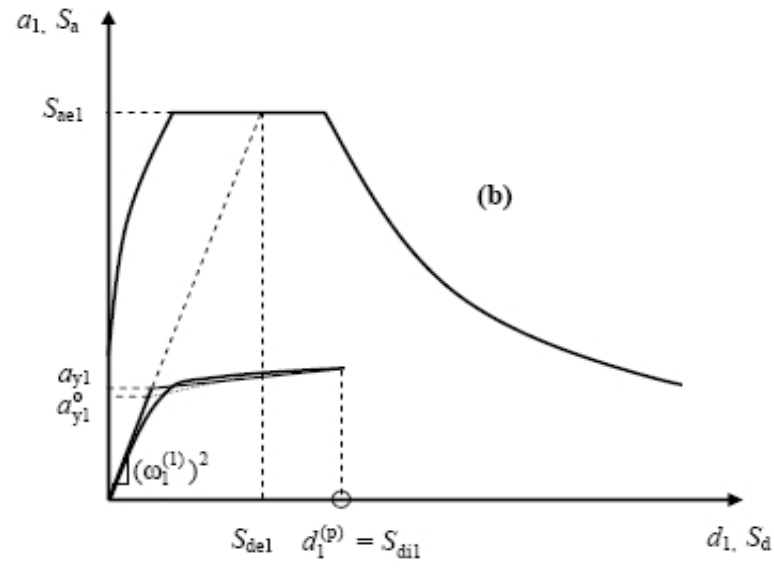
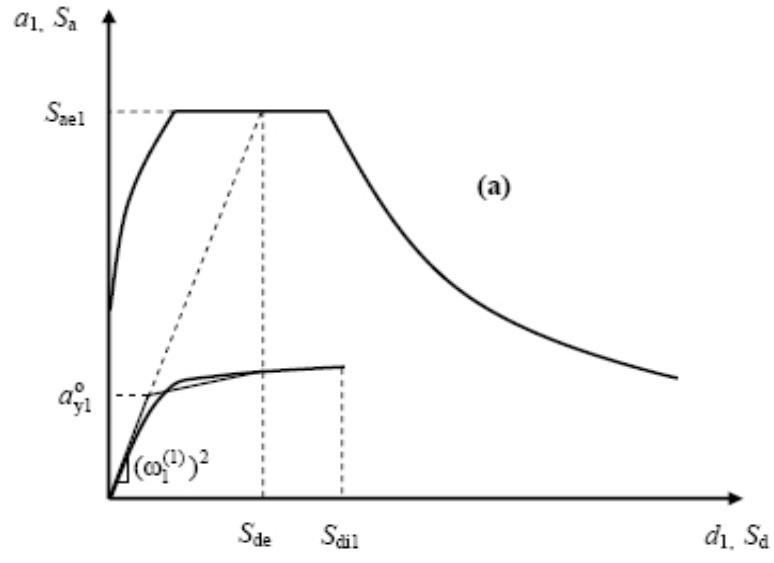
Burada $S_{ae,1}$ eşdeğer doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral ivmeyi göstermektedir.

c) 3.11 bağıntısı ile bulunan $C_{R,1}$ 3.9 bağıntısında yerine konularak hesaplanan $S_{di,1}$ değeri esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.5 (b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre $a_{y,1}$, $R_{y,1}$ ve $C_{R,1}$ tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi belirlendikten sonra 3.13 bağıntısı ile bu yerdeğiştirme değeri çok serbestlik dereceli sistemin tepe yerdeğiştirmesine geri dönüştürülür [8].

$$u_{T(x,y)l} = \phi_{(x,y)l} \Gamma_{(x,y)l} d_1 \quad (3.13)$$

Böylece gözönüne alınan deprem için taşıyıcı sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi talebi elde edilir.



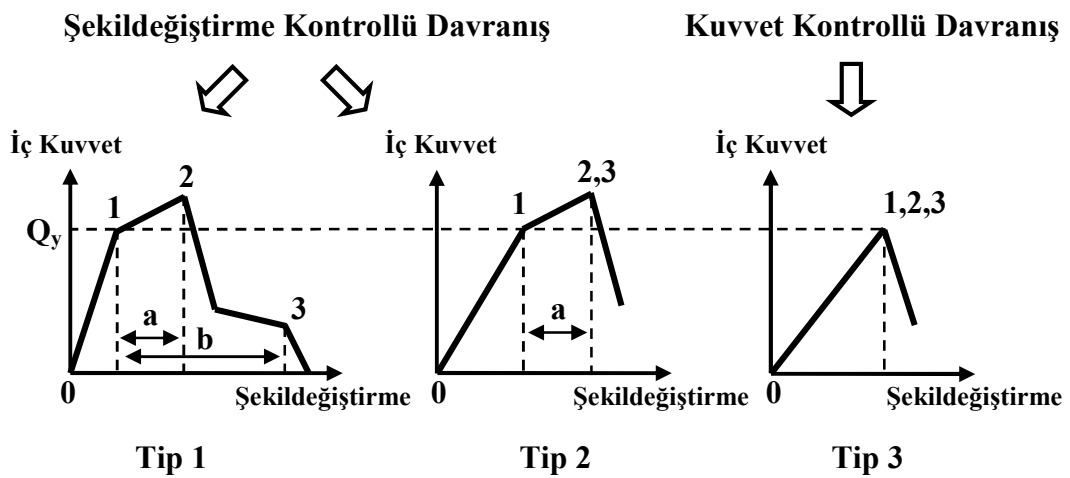
Şekil 3.5 : Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi ($T_1 < T_B$)

3.5 Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri

Yapı sistemindeki elemanların davranışları, kuvvet kontrollü ya da şekildeğiştirme kontrollü olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.6'da gösterilen Tip 1 eğrisi sünek davranışa bir örnektir. Burada 0 ile 1 noktaları arası elastik bölgedir. Bu bölgeyi 1 ile 3 noktaları arasında plastik bölge izler. Plastik bölgede ihmal edilemeyen bir dayanım mevcuttur. 3 noktasında yapı üzerindeki sabit yükleri halen taşıyabilir. 1 ile 2 noktaları arasındaki plastik bölge pekleşmeyi, 2 ile 3 noktaları arasındaki bölge ise dayanım azalmasını içerir. Tip 1 eğrisi ile gösterilen davranış şekildeğiştirme kontrollü olarak tanımlanmaktadır [16].

Şekil 3.6'da gösterilen Tip 2 eğrisi de sünek davranışa bir örnektir. Burada 0 ile 1 noktaları arası elastik bölge, 1 ile 2 noktaları arası ise plastik bölgedir. Plastik bölgeyi 2 noktasının ardında, dayanım azalması ve yapı üzerindeki sabit yükleri taşıma kabiliyetinin azalması izler. Tip 2 eğrisi ile gösterilen davranış şekildeğiştirme kontrollü olarak tanımlanmaktadır [16].

Şekil 3.6'da gösterilen Tip 3 eğrisi sünek olmayan (gevrek) davranışa bir örnektir. 0 ile 1 noktaları arası elastik bölgedir. Bu bölgeyi 1 noktasının ardında dayanım azalması ve yapı üzerindeki sabit yükleri taşıma kabiliyetinin azalması izler. Tip 3 eğrisi ile gösterilen davranış kuvvet kontrollü olarak tanımlanmaktadır [16].



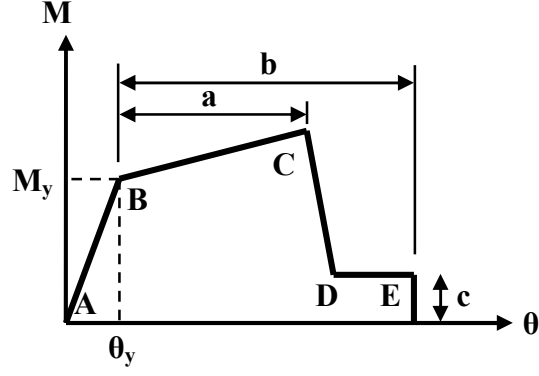
Şekil 3.6 : Elemanların İç Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkisi

Çelik taşıyıcı sistemlerde bulunan çeşitli elemanlar için kabul edilen davranış türleri Tablo 3.7’de verilmiştir [16].

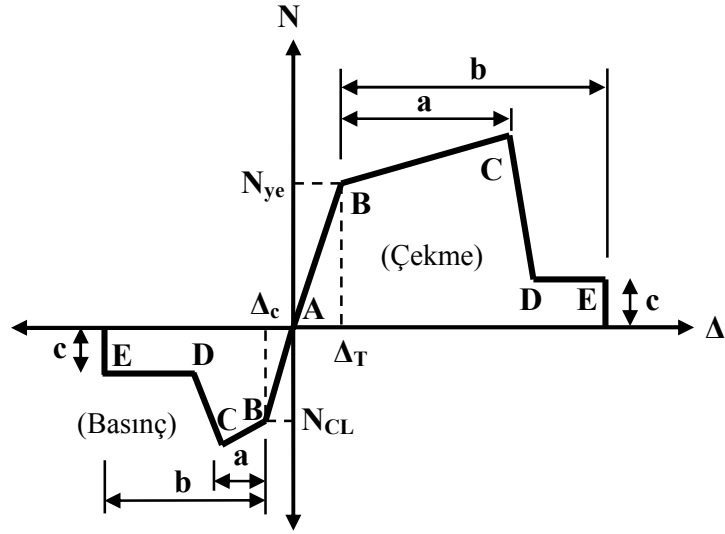
Tablo 3.7 : Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Eleman Davranış Türleri

Sistem	Eleman	Şekildeğiştirme Kontrollü	Kuvvet Kontrollü
Moment Aktaran Çelik Çerçeve Sistemler	Kirişler	M	T
	Kolonlar	M , N(Küçük)	T , N(Büyük)
	Düğüm Noktaları	----	T
Çelik Çaprazlı Perde Sistemler	Çaprazlar	N	----
	Kirişler	N (Çekme)	N (Basınç)
	Kolonlar	N (Çekme)	N (Basınç)
	Bağ Kirişleri	M , T	----
Diğer	Birleşimler	M , N , T	M , N , T
M : Eğilme Momenti N : Normal Kuvvet T : Kesme Kuvveti			

Herhangi bir malzeme için eleman modellemesi ve performans kriterleri ile ilgili geliştirilmiş iç kuvvet-şekildeğiştirme diyagramları Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Şekil 3.7.a’da Moment (M)-Dönme (θ) ilişkisi ve Şekil 3.7.b’de ise Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) ilişkisi ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



(a) Eğilme Etkisindeki Elemanlar

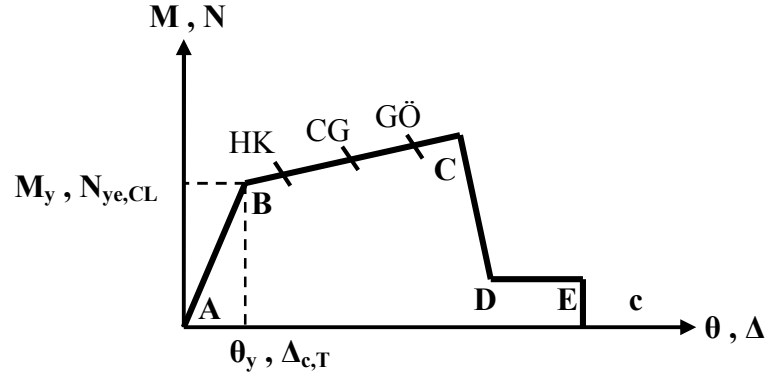


(b) Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanlar

Şekil 3.7 : Şematik İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlıları

Performans seviyeleri, Şekil 3.8 ile iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısı üzerinde gösterilmiştir. A noktası ile B noktası arası lineer bölgedir. A noktasında eleman üzerinde herhangi bir yükleme yapılmamıştır. B, elemanın akma noktasını göstermektedir. B noktası ile C noktası arasında genellikle küçük oranda bir elastik eğim bulunur ayrıca bu bölge pekleşmeyi de içerir. C noktası elemanın dayanma gücünü göstermektedir. C ile D noktaları arasında şekildeğiştirme çok fazla artmamasına karşın önemli bir dayanım azalması görülür. D noktasının ardında E

noktasına kadar elemanda oldukça büyük dayanım azalması görülür. Şekildeğiştirmeler E noktasını geçtikten sonra eleman dayanımı sıfıra eşit olur [16].



Şekil 3.8 : Performans Seviyelerinin İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntısı Üzerinde Gösterimi

Doğrusal olmayan analizde, yapısal çelik elemanlara ait modelleme parametreleri (a,b,c) ve performans kriterleri Tablo 3.8 ve 3.9 'da gösterilmiştir [16].

Tablo 3.8: Doğrusal Olmayan Analiz İçin Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri (Eğilme Elemanları)

Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Performans Kriterleri				
	Plastik Dönme Açısı θ_p (rad)		Artık Gerilme Oranı	Plastik Dönme Açısı (Radyan)				
	a	b		HK	Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
			CG		GÖ	CG	GÖ	
Kiriş - Eğilme								
a) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{\sigma_a}}$	9* θ_y	11* θ_y	0.6	1* θ_y	6* θ_y	8* θ_y	9* θ_y	11* θ_y
b) $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{\sigma_a}}$	4* θ_y	6* θ_y	0.2	0.25* θ_y	2* θ_y	3* θ_y	3* θ_y	4* θ_y
c) Diğer	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.							
Kolon - Eğilme								
$N / N_{CL} < 0.2$								
a) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{\sigma_a}}$	9* θ_y	11* θ_y	0.6	1* θ_y	6* θ_y	8* θ_y	9* θ_y	11* θ_y
b) $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{\sigma_a}}$	4* θ_y	6* θ_y	0.2	0.25* θ_y	2* θ_y	3* θ_y	3* θ_y	4* θ_y
c) Diğer	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.							
Kolon - Eğilme								
$0.2 \leq N / N_{CL} \leq 0.5$								
a) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{260}{\sqrt{\sigma_a}}$	*1	*2	0.2	0.25* θ_y	*3	*1	*4	*2
b) $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{\sigma_a}}$	1* θ_y	1.5* θ_y	0.2	0.25* θ_y	0.5* θ_y	0.8* θ_y	1.2* θ_y	1.2* θ_y
c) Diğer	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.							
¹ ; Plastik Dönme = $11(1 - 5/3N/N_{CL})\theta_y$ ² ; Plastik Dönme = $17(1 - 5/3N/N_{CL})\theta_y$ ³ ; Plastik Dönme = $8(1 - 5/3N/N_{CL})\theta_y$ ⁴ ; Plastik Dönme = $14(1 - 5/3N/N_{CL})\theta_y$								

Tablo 3.9 : Doğrusal Olmayan Analiz İçin Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri (Eksenel Kuvvet Elemanları)

Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Edilen Kriterler				
	Plastik Şekildeğiştirme		Artık Gerilme Oranı	HK	Plastik Şekildeğiştirme			
	a	b			Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
			CG		GÖ	CG	GÖ	
Basınca Çalışan Çaprazlar (Eksantrik Çaprazlar Hariç)								
a) Narin Elemanlar								
$\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$								
1) W, I, 2L(planda), 2C (planda)	0.5* Δ_c	10* Δ_c	0.3	0.25* Δ_c	6* Δ_c	8* Δ_c	8* Δ_c	10* Δ_c
2) 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	0.5* Δ_c	9* Δ_c	0.3	0.25* Δ_c	5* Δ_c	7* Δ_c	7* Δ_c	9* Δ_c
3) HSS, Borular, Kutular	0.5* Δ_c	9* Δ_c	0.3	0.25* Δ_c	5* Δ_c	7* Δ_c	7* Δ_c	9* Δ_c
b) Narin Olmayan Elemanlar								
$\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E_s/\sigma_a}$								
1) W, I, 2L(planda), 2C (planda)	1* Δ_c	8* Δ_c	0.5	0.25* Δ_c	5* Δ_c	7* Δ_c	7* Δ_c	8* Δ_c
2) 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	1* Δ_c	7* Δ_c	0.5	0.25* Δ_c	4* Δ_c	6* Δ_c	6* Δ_c	7* Δ_c
3) HSS, Borular, Kutular	1* Δ_c	7* Δ_c	0.5	0.25* Δ_c	4* Δ_c	6* Δ_c	6* Δ_c	7* Δ_c
c) Ara Değerler	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.							
Çekmeye Çalışan Çaprazlar (Eksantrik Çaprazlar Hariç)	11* Δ_T	14* Δ_T	0.8	0.25* Δ_T	7* Δ_T	9* Δ_T	11* Δ_T	13* Δ_T
Çekmeye Çalışan Kiriş ve Kolonlar	5* Δ_T	7* Δ_T	1.0	0.25* Δ_T	3* Δ_T	5* Δ_T	6* Δ_T	7* Δ_T

4. ÇELİK ENDÜSTRİ BİNALARI ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER

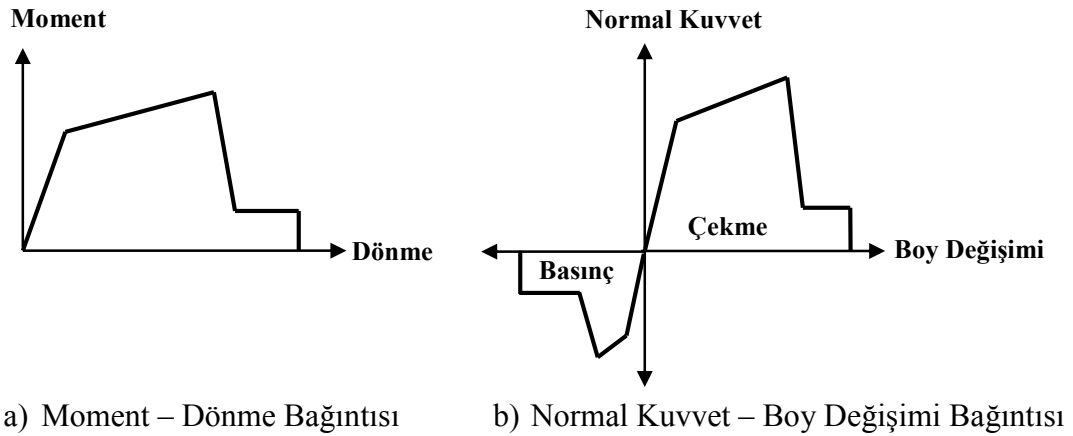
Bu bölümde, taşıyıcı sistem tipi, süneklik düzeyi ve sistem ağırlığı bakımından farklı özellikleri bulunan altı adet tek katlı çelik bina üzerinde yapılan sayısal incelemeler yer almaktadır. Binalar öncelikle TS 648 [29] ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [8] göre tasarlanmış ve daha sonra bu binaların deprem performansları belirlenmiştir. Binalar ayrıca stabilite yönünden de kontrol edilmiştir. İncelenen binaların kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemleri ve süneklik düzeyleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemler, çatı düzleminde bulunan aşıklar ve stabilite bağlantıları ile birbirine bağlanmaktadır.

Analizlerde Yapılan Genel Kabuller : Çalışma kapsamındaki analizlerde yapılan genel kabuller aşağıda verilmiştir.

- Kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemin birleşimlerinin ve mesnetlerinin tam rijit (ankastre) olduğu, uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem birleşimlerinin ve mesnetlerinin mafsalı olduğu varsayılmıştır.
- Kısa ve uzun doğrultulardaki taşıyıcı sistemler birbirinden bağımsız olarak ve düzlem taşıyıcı sistemler şeklinde analiz edilmiştir. Kısa doğrultudaki hesaplar için bir orta aks çerçevesi göz önüne alınmıştır. Uzun doğrultudaki hesaplar için iki aks herhangisi birisi göz önüne alınmıştır.
- Kütlelerin kolon üst kotunda toplandıkları varsayılmış ve eşdeğer deprem kuvvetleri bu noktalara etkiyen tekil kuvvetler şeklinde idealleştirilmiştir. Arakatlı sistemlerde ise döşeme seviyelerinde de kütleler idealleştirilmiştir.

Sistemlerin doğrusal olmayan analizlerinde;

- Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkilerinin göz önüne alındığı 2. mertebe teorisi esas alınmıştır. Çubukların asal düzlemleri içindeki yerdeğiştirmeleri göz önüne alınmış, burulma yerdeğiştirmelerinden oluşan 2. mertebe etkiler terkedilmiştir.
- Plastik şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde davranışın elastik olduğu kabulüne dayanan yığılı plastisite yaklaşımı (plastik mafsal veya genel anlamda plastik kesit) esas alınmıştır.
- Elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının doğru parçaları ile idealleştirilebileceği kabul edilmiştir (Şekil 4.1).

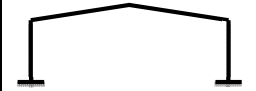
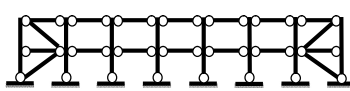

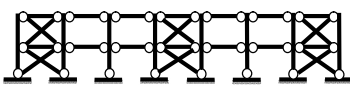
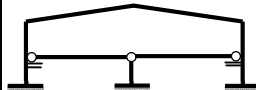
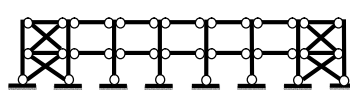
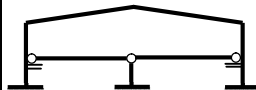
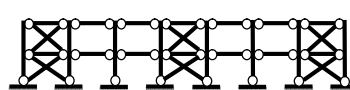

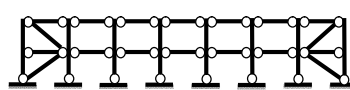
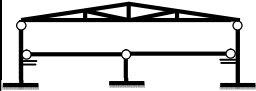
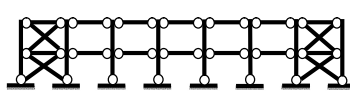


Şekil 4.1 : İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntılarının İdealleştirilmesi

- Elemanlardaki kesme kuvvetlerinin, moment ve normal kuvvet taşıma kapasitelerine etkileri terkedilmiştir.
- Birleşimlerinin taşıma kapasitelerinin birleştirilen elemanlardan daha fazla olduğu, bu nedenle plastikleşmelerin eleman uçlarında meydana geldiği ve birleşimlerin elastik davrandığı kabul edilmiştir.
- Taşıyıcı olmayan elemanlar, performans değerlendirmesinde göz önüne alınmamıştır

İncelenen binaların özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 : İncelenen Binaların Özellikleri

Bina Adı	Kısa (X) Doğrultu	Uzun (Y) Doğrultu	Çatı Örtüsü ve Cephe Kaplaması	Süneklik Düzeyi
Bina - 1			Hafif	Yüksek
Bina - 2				Normal
Bina - 3			Ağır	Yüksek
Bina - 4				Normal
Bina - 5			Hafif	Yüksek
Bina - 6			Ağır	

Binaların Malzeme Özellikleri : Kullanılan yapı çeliğinin sınıfı Fe 37’dir.

Akma Dayanımı : $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$ Çekme Dayanımı : $\sigma_k = 363 \text{ N/mm}^2$

Elastisite Modülü : $E_s = 206182 \text{ N/mm}^2$

Binaların Deprem Karakteristikleri : Boyutlandırılması yapılacak olan tek katlı çelik endüstri binalarının birinci derece deprem bölgesinde, Z2 zemin sınıfı üzerinde inşa edileceği ve kullanım amaçlarının fabrika olduğu kabul edilmiştir. Bina taşıyıcı sistemlerinin kısa (X) doğrultuda moment aktaran çerçeve sistemlerden, uzun (Y) doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulması öngörülmüştür. Buna göre kullanılan boyutlandırma parametreleri aşağıda verilmiştir.

Yapı Önem Katsayısı : $I = 1.00$ Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0 = 0.40$

Hareketli Yük Katılım Katsayısı : $n = 0.30$ (Çatı kar yükü için)

Hareketli Yük Katılım Katsayısı : $n = 0.80$ (Arakat için)

Spektrum Karakteristik Periyotları : Z2 Zemini Sınıfı için $T_A = 0.15$ sn , $T_B = 0.40$ sn

Binaların Boyutlandırmasında Uygulanan Yük Birleşimleri : Yapı sistemlerinin düşey yükler, yatay deprem ve rüzgar yükleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler için Deprem Yönetmeliğine [8] ve TS648 [29] Çelik Yapılar Standardı'na uygun olarak, aşağıda verilen birleşimler uygulanmıştır.

Düşey yük birleşimleri : $G + Q$

Düşey yük + deprem birleşimleri : $G + Q \pm E_x \pm 0.3E_y$, $G + Q \pm E_y \pm 0.3E_x$
 $0.9G \pm E_x \pm 0.3E_y$, $0.9G \pm E_y \pm 0.3E_x$

Düşey yük + rüzgar birleşimleri : $G + Q \pm W_x$, $G + Q \pm W_y$
 $0.9G \pm W_x$, $0.9G \pm W_y$

Kapasite kontrol birleşimleri : $G + Q \pm \Omega E_x$, $G + Q \pm \Omega E_y$
 $0.9G \pm \Omega E_x$, $0.9G \pm \Omega E_y$

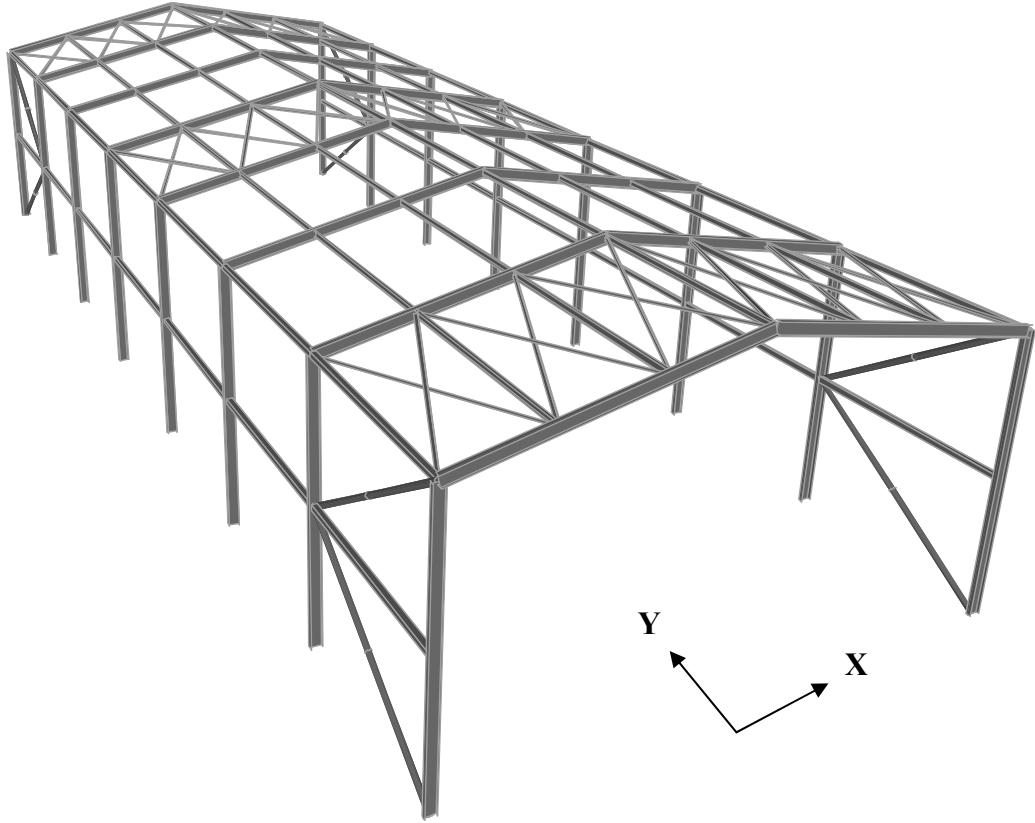
Bu birleşim ifadelerinde G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, E deprem yüklerini, W_x , W_y rüzgar yüklerini ve Ω süneklik düzeyine bağlı olan deprem yükü büyütme katsayısını göstermektedir.

4.1 Bina-1'e Ait Sayısal İncelemeler

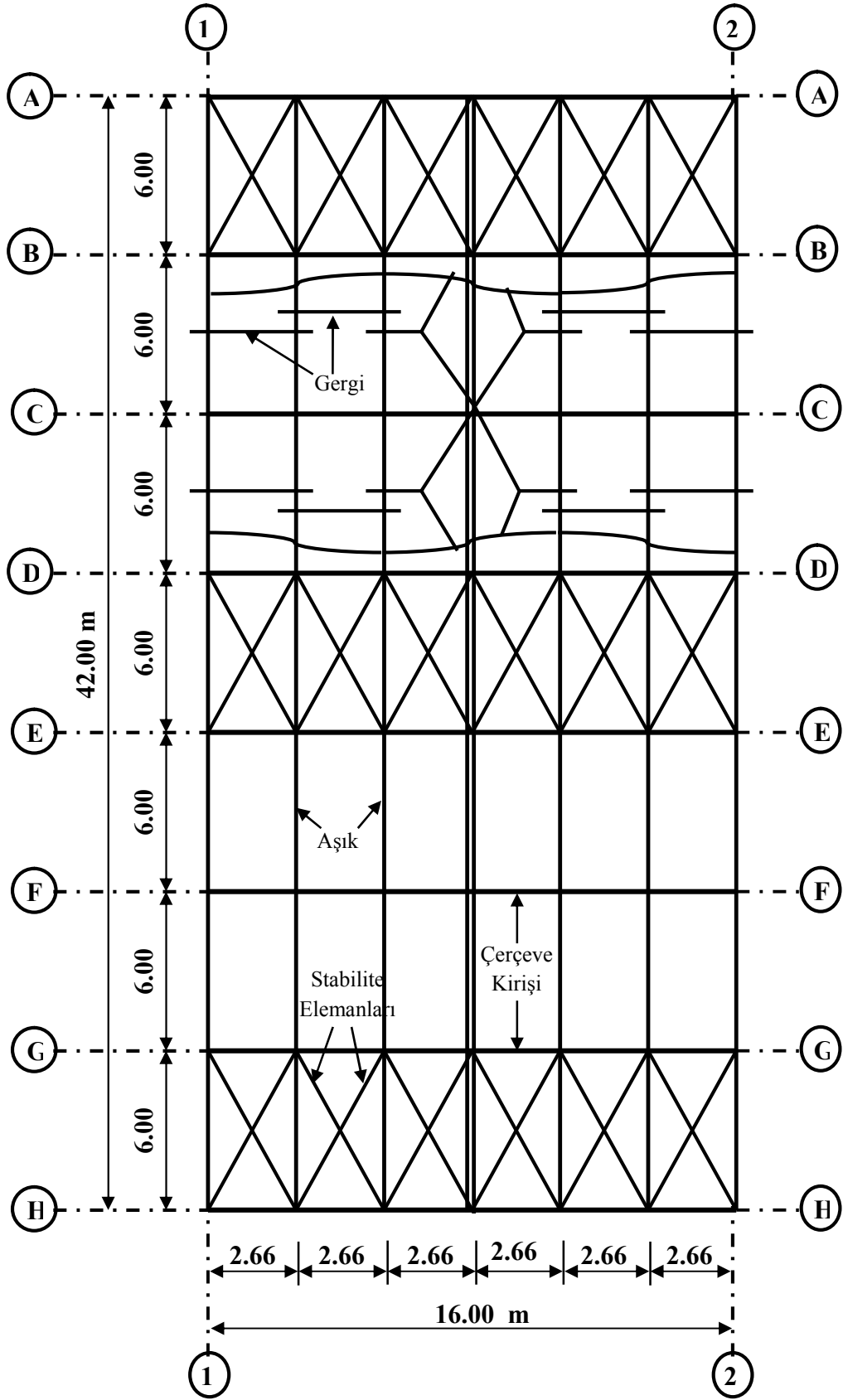
Bu bölümde, Bina-1'in boyutlandırılması, deprem performansının belirlenmesi ayrıntılı olarak açıklanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca bina stabilite yönünden de kontrol edilmiştir. Bina-1'e ait perspektif görünüş, çatı planı, kısa (X) ve uzun (Y) doğrultulardaki düşey kesitleri Şekil 4.1-4.4'te gösterilmiştir. Binanın kenar aks çerçevelerinde ayrıca y doğrultusundaki cephe rüzgar yüklerini karşılamak amacıyla rüzgar kolonları da teşkil edilebilmektedir. Bu çalışmada orta aks çerçeveleri incelendiği için kenar aks çerçevelerindeki rüzgar kolonları göz önüne alınmamıştır.

DüŖey taŖıyıcı elemanların planda düzenli olarak yerleŖmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir. Binanın tek katlı olması nedeniyle düŖeyde düzensizlik durumu mevcut değildir.

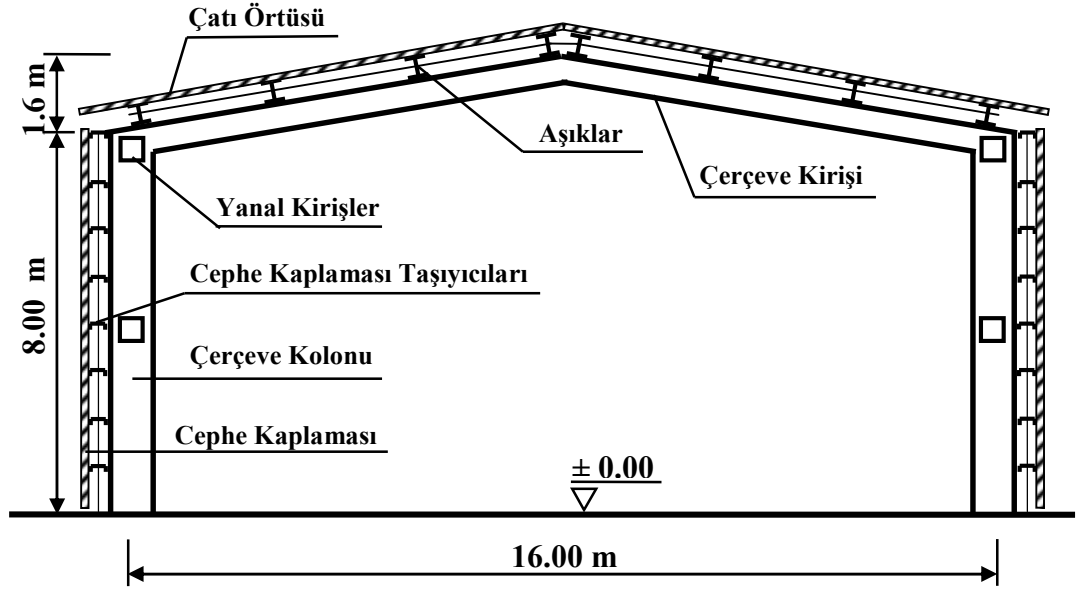
TaŖıyıcı elemanların boyutları ve uzun doğrultudaki merkezi aprazlı perde sistemlerinin çapraz düzeni için eŖitli alternatifler araŖtırılmıŖ ve en ekonomik duruma ait sonuçlar sunulmuŖtur. Bina-1'e ait perspektif görünüŖ, çatı planı ve kesitler Ŗekil 4.2-4.6'da gösterilmiŖtir.



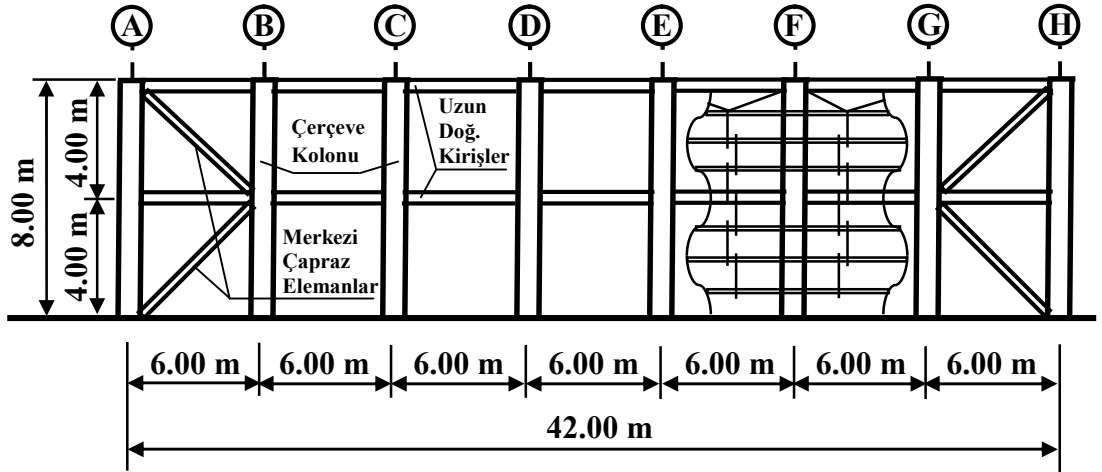
Ŗekil 4.2 : Bina-1'in Perspektif GörünüŖü



Şekil 4.3 : Bina-1'in Çatı Planı



Şekil 4.4 : Bina-1'in Kısa (X) Doğrultusu



Şekil 4.5 : Bina-1'in Uzun (Y) Doğrultusu

4.1.1 Bina-1'in Boyutlandırılması

Bina-1'in boyutlandırılmasında göz önüne alınan yükler aşağıda verilmiştir.

Sabit Yükler (G): Çatı Yükleri

Çatı Kaplaması : 0.049 kN/m²

Aşıklar : 0.105 kN/m² (Tek gergili IPN 160 profili seçilmiştir.)

Çelik Konstrüksiyon : 0.196 kN/m²

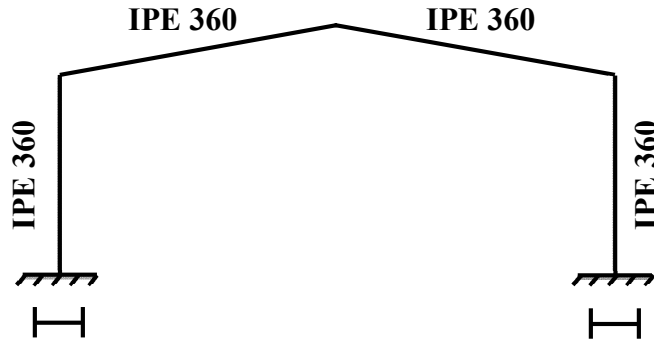
Cephe Yükleri

Çatı Kaplaması : 0.049 kN/m² , Cephe Elemanları : 0.15 kN/m²

Çelik Konstrüksiyon : 0.588 kN/m

Hareketli Yükler (Q): Kar Yüğü : 0,75 kN/m²

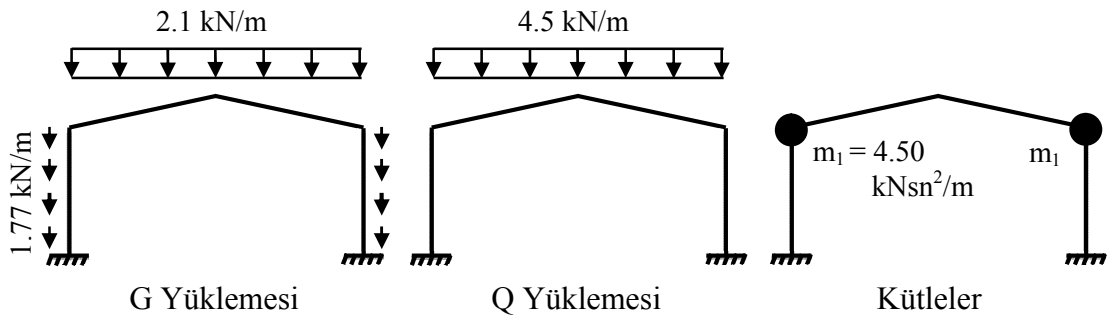
Binanın kısa (X) doğrultudaki taşıyıcı sisteminin boyutlandırılması için en elverişsiz durumda olan herhangi bir orta aks çerçevesi göz önüne alınmış ve çerçevenin düşey yükler, deprem etkileri ve rüzgar yükleri altında analizi yapılmıştır. Çerçeve elemanları için ön boyutlar Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Bina-1 Kısa (X) Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler Şekil 4.7’de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Bu yükler esas alınarak $G + 0.3Q$ yük birleşimi için kütleler hesaplanmıştır.

Deprem hesabına esas olan toplam bina ağırlığı $W = 609$ kN, orta çerçevelere $1/7$, dış çerçevelere $1/14$ oranında paylaştırılmıştır. Buna göre bir orta çerçeveye etkiyen yük 87 kN olarak hesaplanmıştır. Bu yük iki kolona eşit paylaştırılarak kütleler belirlenmiştir.



Şekil 4.7 : Bina-1 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Deprem Yüklerinin Hesabı : Sisteme etkiyen deprem yüklerinin hesabı için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanmıştır. Modal analiz sonucu binanın kısa (X) doğrultusundaki hakim (birinci) moda ait periyodu $T_{1x} = 0.69$ sn bulunmuştur.

Deprem Yönetmeliğine [8] göre elastik spektral ivme $S(T_1)$ 4.1 bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$T_{1x} > T_B \quad \text{için} \quad S(T_1) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T_1} \right)^{0.8} = 2.5 \left(\frac{0.40}{0.69} \right)^{0.8} = 1.616 \quad (4.1)$$

Deprem Yönetmeliğine [8] göre spektral ivme katsayısı $A(T_1)$ 4.2 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

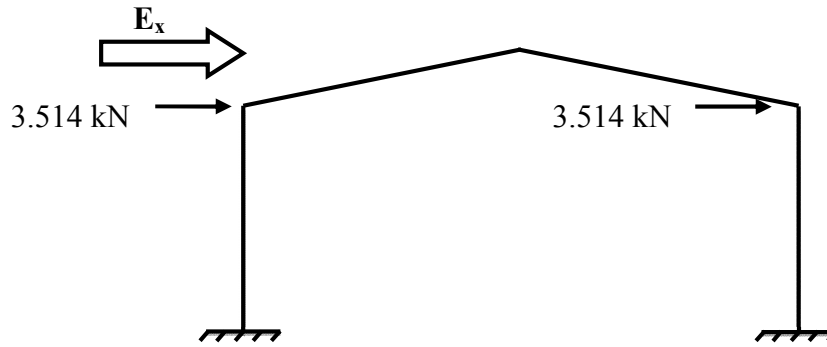
$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) = 0.40 * 1.00 * 1.616 = 0.646 \quad (4.2)$$

Deprem Yönetmeliğine [8] göre süneklik düzeyi yüksek sistem için $R = 8$ alınmıştır.

$$T_{1x} > T_A \quad \text{için} \quad R_a(T_1) = R = 8 \quad (4.3)$$

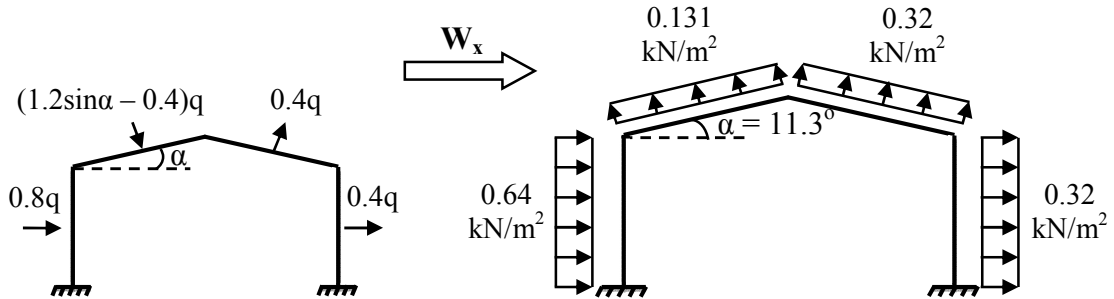
Deprem Yönetmeliğine göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda çerçevenin tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_t 4.4 bağıntısı ile belirlenmiştir [8]. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} = \frac{87 \cdot 0.646}{8} = 7.027 \text{ kN} \geq 0.10A_0IW = 3.481 \text{ kN} \quad (4.4)$$



Şekil 4.8 : Bina-1 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

TS 498'de [30] verilen aerodinamik yük katsayıları ile + x yönünde binaya etkiyen rüzgar yükleri belirlenmiştir. Belirlenen rüzgar yükleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.9'da q ; nominal rüzgar basıncını göstermektedir ve bina yüksekliğine bağlı olarak $8.0 < H < 20.0 \text{ m}$ için $q = 0.8 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır.



Şekil 4.9 : Aerodinamik Yük Katsayıları ve Rüzgar Yükleri (W_x)

Çerçeve sistemin, yukarıdaki bölümlerde hesaplanan düşey yükler ile deprem ve rüzgar yükleri altında analizi yapılmış, eleman iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri elde edilmiştir. Elde edilen kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeler Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Sistem analizleri SAP2000 bilgisayar yazılımından yararlanarak gerçekleştirilmiştir [31].

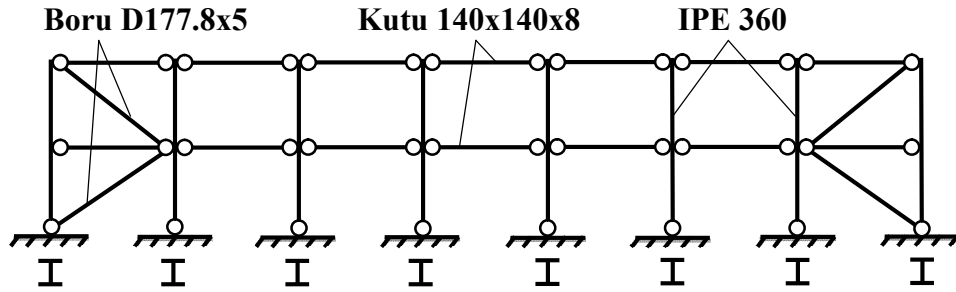
Tablo 4.2 : Bina-1 Kısa Doğru Taşıyıcı Sistemine Ait Kesit Tesirleri ve Yerdeğiştirmeler

Kesit Tesiri	Yükleme	Kesit No							
		1	2	3	4	5	6	7	8
M_x [kN.m]	G	21.02	-33.33	-33.33	23.00	23.00	-33.33	-33.33	21.02
	Q	41.13	-69.99	-69.99	48.31	48.31	-69.99	-69.99	41.13
	E_x	-17.64	10.47	10.47	0.00	0.00	-10.47	-10.47	17.64
	W_x	-91.16	43.71	43.71	-18.11	-18.11	1.10	1.10	47.00
N [kN]	G	-30.91	-16.80	-9.96	-6.66	-6.66	-9.96	-16.80	-30.91
	Q	-35.28	-35.28	-20.91	-13.98	-13.98	-20.91	-35.28	-35.28
	E_x	1.31	1.31	0.26	0.26	-0.26	-0.26	-1.31	-1.31
	W_x	11.25	11.25	3.96	2.73	0.79	3.81	10.44	10.44
T_y [kN]	G	6.79	6.79	15.14	-1.33	1.33	-15.14	-6.79	-6.79
	Q	14.26	14.26	31.79	-2.80	2.80	-31.79	-14.26	-14.26
	E_x	-3.51	-3.51	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-3.51	-3.51
	W_x	-31.92	-1.80	-10.68	-4.47	-5.17	9.88	-13.27	1.80
Yükleme	Kiriş için Maksimum Açıklık Momenti [kN.m]			Yükleme	Yerdeğiştirme				
					Bileşeni	Değeri [m]			
G	11.59			G + Q + E_x	u_x	0.01787			
Q	24.34			G + Q	u_z	0.0491			

Binanın uzun (Y) doğrultudaki taşıyıcı sisteminin boyutlandırılması için iki akstan herhangi birisi göz önüne alınmış ve merkezi çaprazlı perde sistemin düşey yükler ve deprem etkileri altında analizi yapılmıştır. Elde edilen kesit tesirleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

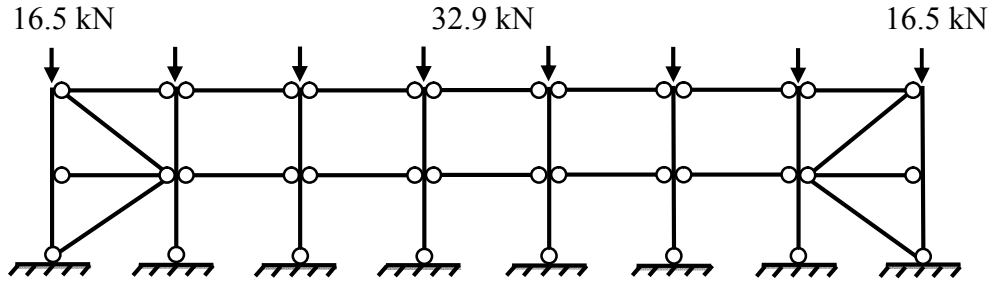
Binanın uzun doğrultusunda rüzgar yüklerinin (W_y) büyük bir kısmını rüzgar kolonları taşıdığından, merkezi çaprazlı perde sisteme etkileyen rüzgar yüklerinin etkisi ihmal edilmiştir.

Çerçeve elemanları için ön boyutlar Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

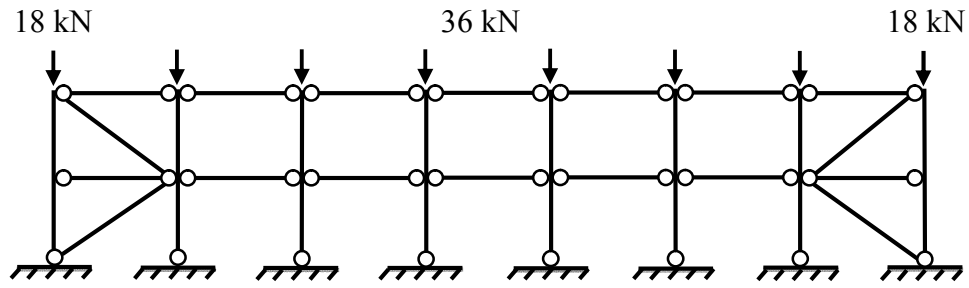


Şekil 4.10 : Bina-1 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

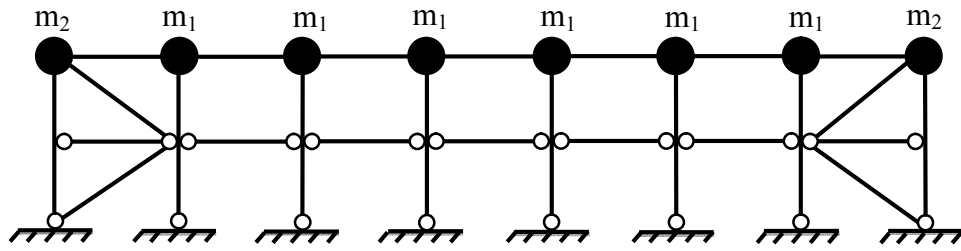
Sisteme etkileyen sabit ve hareketli yükler Şekil 4.11'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Bu yükler esas alınarak $G + 0.3Q$ yük birleşimi için kütleler hesaplanmıştır. Deprem hesabına esas olan toplam merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistem ağırlığı $W = 304.50$ kN orta kolonlara 1/7, dış kolonlara 1/14 oranında paylaştırılmıştır.



G Yüklemesi



Q Yüklemesi



$$m_1 = 4.50 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_2 = 2.25 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Kütleler

Şekil 4.11 : Bina-1 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Modal analiz sonucu binanın uzun (Y) doğrultudaki hakim (birinci) moduna ait periyodu $T_{1y} = 0.188$ sn bulunmuştur. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

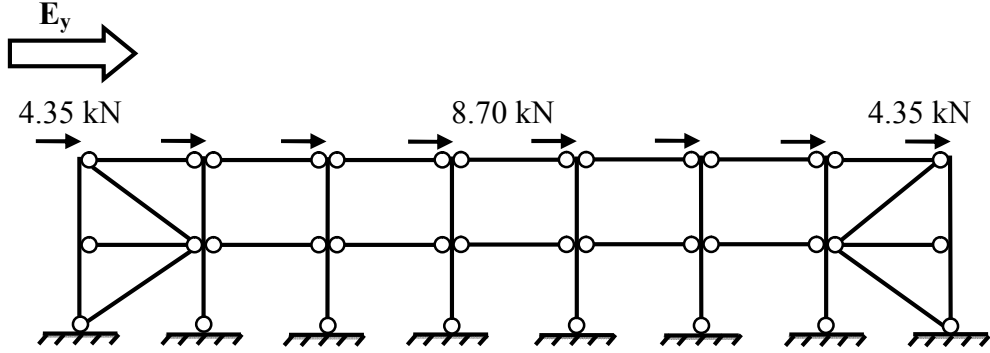
$$T_A < T_{1y} \leq T_B \quad \text{için} \quad S(T_1) = 2.50$$

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) = 0.40 * 1.00 * 2.50 = 1.00$$

$$R_a(T_1) = 5 \quad (\text{Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem})$$

$$V_t = \frac{304.5 * 1.00}{5} = 60.9 \text{ kN} \geq 12.183 \text{ kN}$$

60.9 / 7 = 8.7 kN / orta kolon , 8.7 / 2 = 4.35 kN / dış kolon



Şekil 4.12 : Bina-1 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Tablo 4.3 : Bina-1 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sisteme Ait Kesit Tesirleri
(Normal Kuvvetler)

Eleman Türü	Eleman No	Yüklemeye			Eleman Türü	Eleman No	Yüklemeye		
		G [kN]	Q [kN]	E _y [kN]			G [kN]	Q [kN]	E _y [kN]
Perde Kolonu	1	-16.76	-17.97	20.27	Perde Kirişi	14	-0.46	-0.49	-17.37
	2	-31.41	-33.65	-40.61		15	-0.46	-0.49	-26.05
	3	-32.93	-35.28	0.00		16	0.00	0.00	0.00
	4	-32.93	-35.28	0.00		17	-1.36	-1.46	0.08
	5	-32.93	-35.28	0.00		18	-1.36	-1.46	0.04
	6	-32.93	-35.28	0.00		19	-1.36	-1.46	0.00
	7	-31.41	-33.65	40.61		20	-1.36	-1.46	-0.04
	8	-16.76	-17.97	-20.27		21	-1.36	-1.46	-0.08
Perde Kirişi	9	-0.46	-0.49	26.05	Perde Çaprazı	22	0.00	0.00	0.00
	10	-0.46	-0.49	17.37		23	-2.20	-2.36	36.67
	11	-0.46	-0.49	8.68		24	0.55	0.59	-36.54
	12	-0.46	-0.49	0.00		25	-2.20	-2.36	-36.67
	13	-0.46	-0.49	-8.68		26	0.55	0.59	36.54

4.1.1.1 Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Boyutlandırma yöntemi olarak Emniyet Gerilmeleri Yöntemi kullanılmıştır. Bunun için TS648 [29] Çelik Yapılar Standardı'na ve Deprem Yönetmeliğine [8] 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 arttırılmıştır.

Yapılan analizlerde çerçeve kirişleri için elverişsiz yüklemelerden biri olan $(G + Q + E_x)$ yüklemesine ait boyutlandırma hesapları örnek olarak gösterilmiştir. Bu yüklemeye ait iç kuvvetler aşağıda verilmiştir. Kirişler için ön boyut olarak IPE360 seçilmiştir.

$$M_{G+Q+E_x} = 113.788 \text{ kN m}$$

$$N_{G+Q+E_x} = 31.120 \text{ kN}$$

$$T_{G+Q+E_x} = 48.222 \text{ kN}$$

Tablo 4.4 : Çerçeve Kirişine (IPE 360) Ait Enkesit Özellikleri

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Başlık Genişliği	b_f	0.17	m	
Başlık Kalınlığı	t_f	0.0127	m	
Profil Yüksekliği	h	0.36	m	
Gövde Kalınlığı	t_w	8×10^{-3}	m	
Mukavemet Momenti	W_{ex}	9.036×10^{-4}	m^3	
Plastik Mukavemet Momenti (x-x)	W_{px}	1.019×10^{-3}	m^3	
Atalet Momenti	I_x	1.627×10^{-4}	m^4	
Profil Alanı	F	7.273×10^{-3}	m^2	
Başlık Alanı	F_b	2.159×10^{-3}	m^2	
Atalet Yarıçapı (x-x)	i_x	0.1495	m	
Atalet Yarıçapı (y-y)	i_y	0.0379	m	
Alan Momenti	S_x	5.1×10^{-4}	m^3	

Enkesit Narinlik Tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 4.5 ve 4.6 bağıntıları ile kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [8].

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{0.17}{2*0.0127} = 6.693 \leq 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} = 0.3*\sqrt{206182 / 235} = 8.886 \quad (4.5)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.36}{8*10^{-3}} = 45 \leq 3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} = 3.2*\sqrt{206182 / 235} = 94.785 \quad (4.6)$$

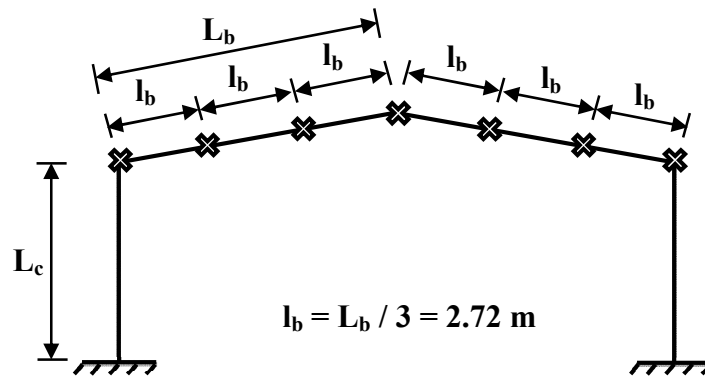
Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi Tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre yatay yük taşıyıcı sistemin kirişlerinin üst ve alt başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi ve mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın 4.7 bağıntısında belirtilen l_b uzunluğundan daha az olması gerekmektedir [8].

$$l_b = 0.086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0.086 * \frac{4.53 * 206182}{235} = 3.41 \text{ m} \quad (4.7)$$

Burada r_y kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümünün $1/3$ 'ünün yanal doğrultudaki atalet yarıçapıdır.

Kiriş üst başlıkları çatı düzleminde oluşturulan stabilite bağlantıları ile kiriş boyunun $1/3$ (2.72 m) noktalarından Şekil 4.13'de gösterildiği gibi tutulmuştur.

Alt başlıkların yanal doğrultudaki hareketinin de oluşturulacak bir bağlantı sistemiyle engellendiği kabul edilmiştir (Şekil 4.13). Buna göre kiriş yanal mesnetlenme mesafesi 2.72 m olmakta ve 4.7 bağıntısı sağlanmaktadır.



Şekil 4.13 : Kiriş Alt ve Üst Başlıklarının Yanal Mesnetlenme Noktaları

Normal Gerilme Tahkiki : Normal gerilme tahkiki için öncelikle eksenel kuvvetten ve eğilmeden oluşan gerilme oranları ayrı ayrı belirlenmektedir. Daha sonra bunlar birleştirilmektedir.

Kiriş için yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme σ_{eb} 4.8 bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{F} = \frac{31.120}{7.273 \cdot 10^{-3}} = 4.278 \text{ N / mm}^2 \quad (4.8)$$

Çatı düzleminde, kiriş boyunca 2.72 m aralıklarla oluşturulan yanal doğrultuda mesnetlere bağlı olarak kirişinin narinliği;

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{8.15}{0.1495} \approx 55, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} = \frac{2.72}{0.0379} \approx 72 \quad (4.9)$$

$\lambda_{max} = \lambda_y = 72$ olarak bulunur. TS 648'e göre eksenel basınç emniyet gerilmesi $\sigma_{bem} = 94.967 \text{ N / mm}^2$ olarak belirlenmiştir.[29]

Yalnız eğilme altında hesaplanan gerilme σ_{bx} 4.10 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_{ex}} = \frac{113.788}{9.036 \cdot 10^{-4}} = 125.927 \text{ N / mm}^2 \quad (4.10)$$

Yanal burkulma emniyet gerilmesi σ_{Bx} 4.11 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000C_b}{sh/F_b} = \frac{840000 \cdot 1.00}{272 \cdot 36 / 21.59} = 1852.083 \text{ kg/cm}^2 = 181.627 \text{ N / mm}^2 \quad (4.11)$$

Burada; s kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığı göstermektedir. Deprem yönetmeliği gereğince yapılan bağlantılar nedeniyle kirişin 1/3 noktalarından tutulu olduğu kabul edilerek

$s = 2.72$ m alınmıştır. C_b elemanlardaki eğilme momenti diyagramına bağlı olarak belirlenen bir katsayıyı göstermektedir. Kiriş için bu değer emniyetli tarafta kalınarak (en olumsuz durum için) 1.00 alınmıştır.

$\sigma_{Bx} = 181.62 \text{ N / mm}^2 > 0.6\sigma_a = 0.6*235 = 141 \text{ N / mm}^2$ olduğundan $\sigma_{Bx} = \sigma_{em} = 141 \text{ N / mm}^2$ alınmıştır.

Normal gerilme oranı $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}}$;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{4.278}{94.967} = 0.045 < 0.15 \quad (4.12)$$

olduğundan normal gerilme tahkiki 4.13 bağıntısıyla yapılmış ve kesitin uygun olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{4.278}{94.967} + \frac{125.927}{141} = 0.938 \leq 1.33 \quad (4.13)$$

Kayma gerilmesi tahkiki: Kayma gerilmesi τ 4.14 bağıntısıyla hesaplanmış ve kesitin yeterli olduğu belirlenmiştir.

$$\tau = \frac{TS_x}{I_x t_w} = \frac{48.222*5.1*10^{-4}}{1.627*10^{-4}*8*10^{-3}} = 18.894 \text{ N / mm}^2 < \tau_{em} = 109.06 \text{ N / mm}^2 \quad (4.14)$$

Sehim tahkiki: Analiz sonuçlarına göre tepe noktasının maksimum düşey yerdeğiştirmesi (G + Q yüklemesi için) $f_{max} = 0.0491$ m olarak elde edilmiş, 4.15 bağıntısıyla kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir.

$$\frac{f_{max}}{L_a} = \frac{0.0491}{16.00} = \frac{1}{325} < \frac{1}{300} \quad (4.15)$$

Diğer yükleme durumları için de benzer hesaplar yapılarak çerçeve kirişi için **IPE 360** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

4.1.1.2 Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması

Yapılan analizlerde çerçeve kolonları için elverişsiz yüklemelerden biri olan (G + Q + E_x) yüklemesine ait boyutlandırma hesapları örnek olarak gösterilmiştir. Bu yüklemeye ait iç kuvvetler aşağıda verilmiştir. Ön boyut olarak IPE 360 profili seçilmiştir (Tablo 4.4).

$$M_{G+Q+E_x} = 113.788 \text{ kN m (Üst Uç)}$$

$$N_{G+Q+E_x} = 67.501 \text{ kN} , \quad N_{E_y} = 40.609 \text{ kN}$$

$$T_{G+Q+E_x} = 24.572 \text{ kN}$$

$$M_{G+Q+E_x} = 82.791 \text{ kN m (Alt Uç)}$$

$$N_{G+Q+E_x+0.3E_y} = 67.501 + 0.3*40.609 = 79.684 \text{ kN}$$

Enkesit Narinlik Tahkiki : Yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 4.5 ve 4.16 bağıntıları ile kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [8].

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{0.17}{2*0.0127} = 6.693 \leq 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} = 0.3*\sqrt{206182/235} = 8.886$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a F} \right| = \left| \frac{79.684}{235000*7.273*10^{-3}} \right| = 0.047 \leq 0.10$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a F} \right| \right) \quad (4.16)$$

$$\frac{0.36}{8*10^{-3}} = 45 \leq 3.2*29.62*(1 - 1.7*0.047) = 87.273$$

Normal Gerilme Tahkiki: Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme σ_{eb} 4.8 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{F} = \frac{79.684}{7.273 \cdot 10^{-3}} = 10.956 \text{ N / mm}^2$$

Çerçeve kolonunun kuvvetli eksenini doğrultusunda yanal ötelemesinin önlenmemiş olduğu, zayıf eksenini doğrultusunda ise, yanal ötelemesinin düşey düzlem çapraz sistemi tarafından önlendiği gözönünde tutulmuştur. Buna göre, çerçeve kolonunun eğilme rijitliği ile bu kolona bağlanan çerçeve kirişinin eğilme rijitliğine bağlı olarak, TS648'deki nomogramdan bulunan K_x katsayısı ve yanal ötelemenin önlendiği doğrultudaki K_y katsayısı kullanılarak S_{kx} ve S_{ky} burkulma boyları 4.17 bağıntısıyla, ilgili narinlikler 4.9 bağıntısı ile hesaplanmıştır [29].

$$S_{kx} = K_x L_c = 1.45 \cdot 8.00 = 11.60 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$S_{ky} = K_y \frac{L_c}{2} = 1.00 \cdot \frac{8.00}{2} = 4.00 \text{ m}$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{11.60}{0.1495} \approx 78$$

$$\lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} = \frac{4.00}{0.0379} \approx 106$$

TS 648'e göre $\lambda_{max} = 106$ için $\sigma_{bem} = 74.027 \text{ N / mm}^2$ olarak belirlenmiştir [29].

Yalnız eğilme altında hesaplanan gerilme σ_{bx} 4.10 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_{ex}} = \frac{113.788}{9.036 \cdot 10^{-4}} = 125.927 \text{ N / mm}^2$$

C_b katsayısı kolon uç momentlerinin oranına bağlı olarak olmak üzere 4.18

bağıntısıyla hesaplanmış ve $C_b = 2.672 > 2.3$ olduğundan $C_b = 2.30$ alınmıştır.

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 = 1.75 + 1.05 * 0.727 + 0.3 * (0.727)^2 = 2.672 \quad (4.18)$$

Yanal burkulma emniyet gerilmesi σ_{Bx} 4.11 bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıda profilin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlenmediği gözönünde bulundurularak s, çubuk boyuna eşit alınmıştır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 C_b}{sh/F_b} = \frac{840000 * 2.30}{800 * 36 / 21.59} = 1448.329 \text{ kg / cm}^2 = 142.032 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = 142.032 \text{ N / mm}^2 > 0.6 * 235 = 141 \text{ N / mm}^2 \text{ olduğundan}$$
$$\sigma_{Bx} = \sigma_{em} = 141 \text{ N / mm}^2 \text{ alınmıştır.}$$

Uç momentlerini y açıklık momentlerini ve yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayı olan C_{mx} , yanal ötelenmesi önlenmemiş sistemlerde $C_{mx} \approx 0.85$ alınmıştır.

$$\text{Normal gerilme oranı } \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} ;$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{10.956}{74.027} = 0.148$$

olduğundan normal gerilme oranı tahkiki 4.13 bağıntısıyla yapılmıştır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{10.956}{74.027} + \frac{125.927}{141} = 1.041 \leq 1.33$$

Kayma gerilmesi tahkiki: Kayma gerilmesi τ 4.14 bağıntısıyla hesaplanmış ve kesitin yeterli olduğu belirlenmiştir.

$$\tau = \frac{TS_x}{I_x t_w} = \frac{24.572 * 5.1 * 10^{-4}}{1.627 * 10^{-4} * 8 * 10^{-3}} = 9.627 \text{ N / mm}^2 < \tau_{em} = 108.255 \text{ N / mm}^2$$

Diğer yükleme durumları için de benzer hesaplar yapılarak çerçeve kolonu için **IPE 360** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

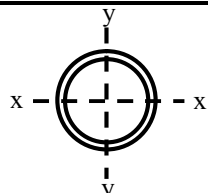
4.1.1.3 Uzun Doğrultudaki Merkezi Çapraz Elemanlarının Boyutlandırılması

Uzun doğrultudaki merkezi çapraz elemanlarının en elverişsiz çubuk kuvvetleri aşağıda verilmiştir.

$$N_{max} = -41.225 \text{ kN (Basınç) (G + Q + E}_y \text{ yüklemesi)}$$

$$N_{max} = 37.675 \text{ kN (Çekme) (G + Q + E}_y \text{ yüklemesi)}$$

Tablo 4.5 : Çapraz Elemanlara (Boru D177.8 x 5) Ait Enkesit Özellikleri

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	I_x	$10.14 * 10^{-6}$	m^4	
Profil Alanı	F	$2.71 * 10^{-3}$	m^2	
Eleman Dış Çapı	D	0.1778	m	
Et Kalınlığı	t	$5 * 10^{-3}$	m	
Atalet Yarıçapı (x-x)	i_x	0.0611	m	

Enkesit Narinlik Tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 4.19 bağıntısıyla kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [8].

$$\frac{D}{t} = \frac{0.1778}{5 * 10^{-3}} = 35.56 \leq 0.05 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.05 * \frac{206182}{235} = 43.87 \quad (4.19)$$

Eleman Narinlik Tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre, basınca çalışan elemanların narinlik oranı 4.20 bağıntısı ile verilen sınır değeri aşmaması gerekmektedir [8].

$$4.0\sqrt{E_s/\sigma_a} = 4.0*\sqrt{206182/235} = 118 \quad (4.20)$$

Eleman narinliği λ 4.9 bağıntısıyla elde edilmiş ve kaşulun sağladığı belirlenmiştir.

$$\lambda = \frac{7.21}{0.0611} = 118 \leq 118$$

TS 648'e göre $\lambda = 118$ için $\sigma_{bem} = 57.751 \text{ N / mm}^2$ olarak belirlenmiştir [29].

Normal Gerilme Tahkiki : Elemanda normal kuvveti altında hesaplanan gerilme σ_{eb} 4.8 bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{F} = \frac{41.225}{2.71*10^{-3}} = 15.212 \text{ N / mm}^2$$

Normal gerilme oranı 4.12 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{15.212}{57.751} = 0.263 \leq 1.33$$

Diğer yükleme durumları için de benzer hesaplar yapılarak uzun doğrultudaki çapraz eleman için **BORU D177.8 x 5** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Boyutlandırmada narinlik parametresi etkili olmuştur.

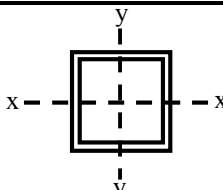
4.1.1.4 Uzun (Y) Doğrultudaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Uzun (Y) doğrultudaki kirişlerin en elverişsiz çubuk kuvvetleri aşağıda verilmiştir.

$$N_{\max} = -27.004 \text{ kN (Basınç)} \quad (G + Q + E_y \text{ yüklemesi})$$

$$N_{\max} = 25.642 \text{ kN (Çekme)} \quad (0.9G + E_y \text{ yüklemesi})$$

Tablo 4.6 : Uzun Doğrultudaki Kirişlere (K 140x140x8) Ait Enkesit Özellikleri

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	I_x	$1.1268 \cdot 10^{-5}$	m^4	
Profil Alanı	F	$4.004 \cdot 10^{-3}$	m^2	
Profil Yüksekliği	h	0.140	m	
Gövde Kalınlığı	t_w	$8 \cdot 10^{-3}$	m	
Atalet Yarıçapı (x-x)	i_x	0.053	m	

Enkesit Narinlik tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 4.21 bağıntısıyla kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [8].

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.140}{8 \cdot 10^{-3}} = 17.50 \leq 0.7 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 0.7 \cdot \sqrt{206182 / 235} = 20.734 \quad (4.21)$$

Eleman Narinlik Tahkiki : Deprem Yönetmeliğine göre, basınca çalışan elemanların narinlik oranı 4.20 bağıntısı ile verilen sınır değeri aşmaması gerekmektedir [8].

Eleman narinliği λ 4.9 bağıntısıyla elde edilmiş ve kaşulun sağladığı belirlenmiştir.

$$\lambda = \frac{6.00}{0.053} = 113 \leq 118$$

TS 648'e göre $\lambda = 113$ için $\sigma_{bem} = 61.693 \text{ N / mm}^2$ olarak belirlenmiştir [29].

Normal Gerilme Tahkiki : Elemanda normal kuvveti altında hesaplanan gerilme σ_{eb} 4.8 bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{F} = \frac{27.004}{4.004 \cdot 10^{-3}} = 6.744 \text{ kN / m}^2$$

Normal gerilme oranı 4.12 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{6.744}{61.693} = 0.109 \leq 1.33$$

Diğer yükleme durumları için de benzer hesaplar yapılarak uzun doğrultudaki kirişler için **K 140x140x8** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Boyutlandırmada narinlik parametresi etkili olmuştur.

4.1.1.5 Yatay Yerdeğiştirmelerin Kontrolü

Deprem Yönetmeliğine göre yatay yerdeğiştirmelerin kontrolü yapılmıştır Buna göre, $G + Q + E_x$ yüklemesine ait azaltılmış görelî kat ötelemesi, Δ_i 4.22 bağıntısıyla hesaplanmıştır. [8]

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} = 1.787 - 0 = 1.787 \text{ m} \quad (4.22)$$

Bu bağıntıda d_i ve d_{i-1} , binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Çerçevenin etkin görelî kat ötelemesi δ_i ise 4.23 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\delta_i = R \Delta_i = 8 * 1.787 = 14.296 \text{ cm} \quad (4.23)$$

Görelî kat öteleme oranı (δ_i / H) oranı 4.24 bağıntısına göre kontrol edilmiş ve sağladığı görülmüştür.[8]

$$\delta_i / H = 14.296 / 800.0 = 0.0178 < 0.03 \quad (4.24)$$

4.1.1.6 İkinci Mertebe Etkilerinin Kontrolü

Deprem Yönetmeliğine göre ikinci mertebe etkilerinin düzeyi kontrol edilmiştir. İkinci mertebe gösterge değeri θ_i 4.25 bağıntısıyla hesaplanmıştır [8].

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i H_i} = \frac{1.787 * 87.024}{7.027 * 800} = 0.027 \leq 0.12 \quad (4.25)$$

Bu bağıntıda; V_i gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i 'inci katına etkiyen kat kesme kuvvetini, $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ i 'inci kat için yukarıdaki bölümde tanımlanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini, h_i binanın i 'inci katının kat yüksekliğini, w_j binanın j 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir.

Koşul sağladığı için ikinci mertebe etkilerinin TS648 Çelik Yapılar Standardı'na göre değerlendirilmesinin yeterli olduğu görülmüştür [29].

Kritik yüklemeler için tüm elemanlara ait boyutlandırma sonuçları Tablo 4.7'de özetlenmiştir.

Tablo 4.7: Bina-1'e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

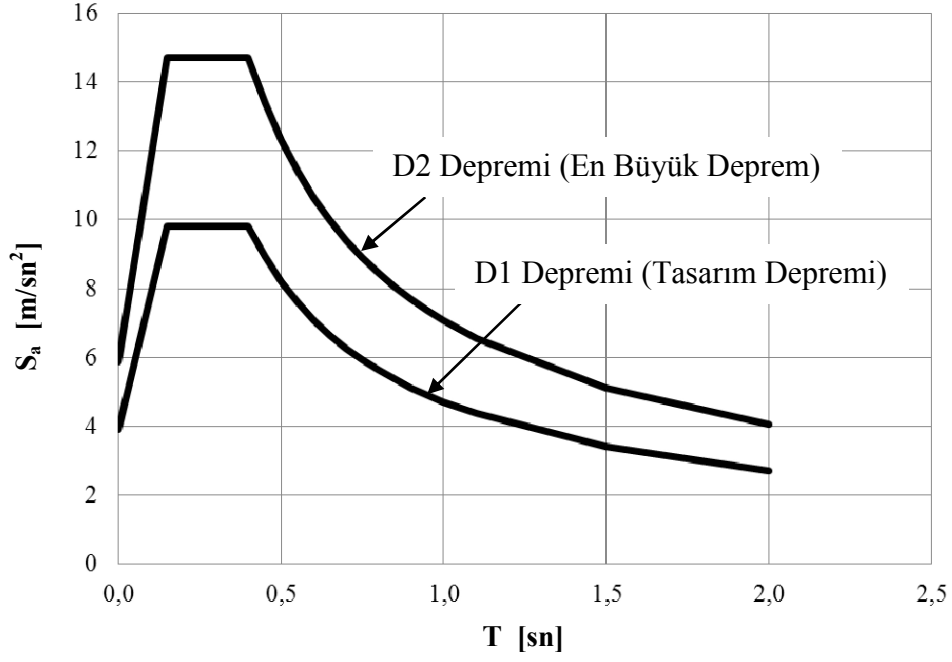
Boyutlandırma Parametresi		Kolon (IPE 360)	Çerçeve Kirişi (IPE 360)	Çaprazlar (Boru D177,8x5)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	$b_f/2t_f$	6.69 / 8.88	6.69 / 8.88	----	----
	h/t_w D/t	45.00 / 87.27	45.00/94.78	35.56 / 43.87	17.50 / 20.73
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		106 / 250	72 / 250	118 / 118	113 / 118
Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi / Sınır Mesafe (l_b) [m]		----	2.72 / 3.41	----	----
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		8.00 / 8.00	2.72 / 8.15	----	----
Maksimum Göreli Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.0178 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.004 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehim / Sınır Sehim		----	$\frac{L}{325} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	1.04 / 1.33	0.94 / 1.33	0.26 / 1.33	0.11 / 1.33
	G+Q+W	0.94 / 1.15	0.86 / 1.15	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.12 / 1.33	0.23 / 1.33	----	----
	G+Q+W	0.16 / 1.15	0.18 / 1.15	----	----

4.1.2 Bina-1'in Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde Bina-1'in kısa ve uzun doğrultulardaki taşıyıcı sistemlerinin deprem performansları belirlenmiştir. Bunun için aşağıda belirtilen aşamalar sırasıyla gerçekleştirilmiştir.

- Taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve performans düzeylerine ait şekildeğiştirme sınırlarının belirlenmesi
- Sistemlerin doğrusal olmayan statik analizi ile kapasite eğrisinin, kesit tesiri ve plastik şekildeğiştirme taleplerinin belirlenmesi
- Kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınmış depremler için sistemin tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin belirlenmesi
- Tepe yerdeğiştirmesine ulaşmış binadaki şekildeğiştirme talepleri ile performans düzeylerine ait sınır değerlerinin karşılaştırılması ve performans düzeylerine karar verilmesi

Taşıyıcı sistemlerin performansları iki ayrı deprem tehlike seviyesi için belirlenmiştir. Bunlardan birincisi, binanın tasarımında esas alınan 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan Tasarım Depremi (D1), diğeri ise binanın yapıldığı bölgedeki en büyük depremi temsil eden 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan Büyük Deprem (D2)'dir. Büyük depreme ait ivme spektrumu, tasarım ivme spektrumunun 1.5 katı olarak belirlenmiştir. Göz önüne alınan % 5 sönümlü elastik ivme spektrumları Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 : Performans Belirlenmede Göz Önüne Alınan İvme Spektrumları

4.1.2.1 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılarının ve Performans Seviyelerine Ait Sınır Şekildeğiştirme Değerlerinin Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarına ait iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantılarının ve performans seviyelerine ait sınır şekildeğiştirme değerleri ASCE/SEI 41-06'dan [16] yararlanılarak Bölüm 3.3'de ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi belirlenmiştir.

Kısa doğrultudaki deprem etkisinde kirişler ve kolonlar eğilme elemanı olarak, uzun doğrultudaki deprem etkisinde kolonlar, kirişler ve çaprazlar aksel yüklü eleman olarak göz önüne alınmıştır. Buna göre eğilme elemanlarında Moment-Dönme bağlantıları, aksel kuvvet elemanlarında Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağlantıları belirlenmiştir. Eğilme ve bileşik eğilme etkisindeki elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantıları ve M-N karşılıklı etki diyagramları belirlenirken sistemde gerekli stabilite önlemlerinin (lokal, eleman ve sistem bazında) alındığı ve elemanların herhangi bir stabilite problemi olmadan plastik taşıma kapasitelerine

ulaşabildikleri kabul edilmiştir. İncelenen sistemler için alınması gereken stabilite önlemleri Bölüm 4.1.3’de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Eksenel kuvvet etkisindeki basınç çaprazlarında elemanların narinlikleri göz önüne alınarak belirlenen basınç kuvveti taşıma kapasiteleri, çekme çaprazlarında ise plastik eksenel kuvvet taşıma kapasiteleri gözönüne alınmıştır.

Kısa Doğrultudaki Çerçeve Kirişi İçin Moment-Dönme Bağıntısı : IPE 360 profilinden teşkil edilen kirişe ait plastikleşme momenti M_p , plastikleşme momentine karşılık gelen dönme θ_{py} sırasıyla 4.26 ve 4.27 bağıntıları ile belirlenmiştir [16].

$$M_p = W_p \sigma_a = 1.019 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 = 239.465 \text{ kNm} \quad (4.26)$$

$$\theta_{py} = \frac{W_p \sigma_a L_b}{6 E_s I_x} = \frac{1.019 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 \cdot 8.15}{6 \cdot 206182000 \cdot 1.627 \cdot 10^{-4}} = 0.00972 \text{ rad} \quad (4.27)$$

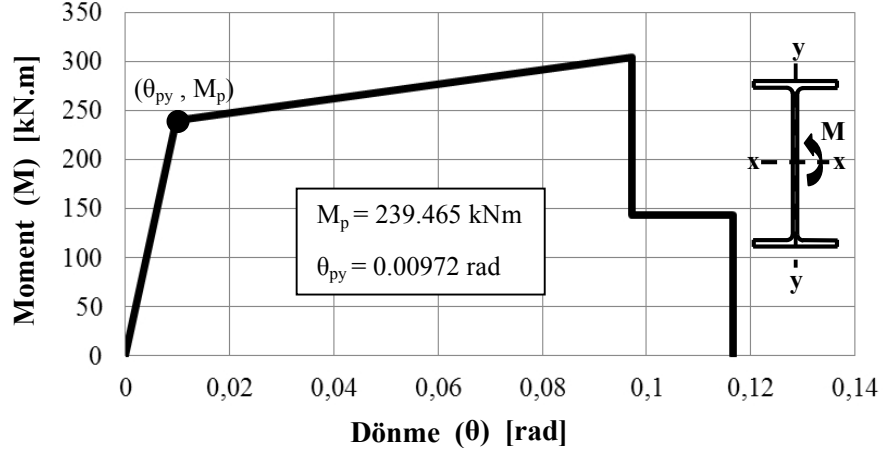
Kiriş için Tablo 3.8’de verilen ve aşağıda belirtilen enkesit koşulları (kip-inch biriminde) esas alınarak;

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{6.693}{2 \cdot 0.50} = 6.693 \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}} = \frac{52}{\sqrt{34.135}} = 8.900$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{14.173}{0.315} = 45.000 \leq \frac{418}{\sqrt{\sigma_a}} = \frac{418}{\sqrt{34.135}} = 71.544$$

İç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısını tanımlayan karakteristik değerler (a, b, c) ve performans düzeylerine ait sınır değerler (θ_{HK} , θ_{CG} , $\theta_{GÖ}$) belirlenmiştir. Buna göre a = 0.0875 rad , b = 0.1069 rad , c = 0.60 , θ_{HK} = 0.0097 rad , θ_{CG} = 0.0583 rad , $\theta_{GÖ}$ = 0.0778 rad olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Moment-Dönme bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3’ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi

tanımlanmıştır. Buna göre kiriş için elde edilen Moment (M)-Dönme (θ) bağıntısı Şekil 4.15’de gösterilmiştir [16].



Şekil 4.15: IPE 360 Kirişi İçin Moment-Dönme Bağıntısı

Kısa Doğrultudaki Çerçeve Kolonu İçin Moment-Dönme Bağıntısı : ASCE/SEI 41-06'ya [16] göre bir elemanın kolon olarak değerlendirilmesi için $N/N_{CL} \geq 0.10$ şartının sağlanması gerekmektedir. Burada N; elemandaki normal kuvvet, N_{CL} ise elemanın basınç dayanımıdır. Elemandaki normal kuvvet değeri başlangıçta (G+0.3Q) yüklemesinden alınmıştır. Daha sonra bu değer kontrol edilmiştir.

Basınç Kuvveti Altında Eğilme Burkulması İçin N_{CL} hesabı : IPE 360 profilinden teşkil edilen kolon için N_{CL} , ANSI/AISC 360-05'e göre 4.56-4.59 bağıntılarıyla hesaplanmıştır [32]. (4.28) bağıntısında maksimum narinlik gözönüne alınmıştır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{KL_c}{i_y}\right)^2} = \frac{3.14^2 * 206182000}{\left(\frac{0.50 * 8.00}{0.0379}\right)^2} = 182.502 \text{ N/mm}^2 \quad (4.28)$$

$$\frac{KL_c}{i_y} = \frac{0.50*8.00}{0.0379} = 106 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 140 \quad (4.29)$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{\sigma_a}{F_e} \right) \sigma_a = \left(0.658 \frac{235000}{182502} \right) * 235000 = 136.447 \text{ N/mm}^2 \quad (4.30)$$

$$N_{CL} = F_{cr} F = 136447 * 0.007273 = 992.381 \text{ kN} \quad (4.31)$$

Yukarıdaki bağıntılarda F_e kritik elastik burkulma gerilmesini, F_{cr} eğilme burkulmasına ait gerilmeyi, K eğilme burkulması için burkulma boyu çarpanını göstermektedir.

Elemandaki normal kuvvet $N = 41.496 \text{ kN}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre $N/N_{CL} = 41.496 / 992.381 = 0.042 < 0.10$ olduğundan kolon, kiriş eleman gibi gözönüne alınmış ve normal kuvvet etkisi ihmal edilmiştir. Buna göre kolonun Moment-Dönme bağıntısı kiriş ile aynı olmaktadır (Şekil 4.15).

Çapraz Sistemi Kirişleri İçin Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) Bağıntısı:

Çapraz sistemi kirişlerinin çekme kuvveti altında şekildeğiştirme kontrollü, basınç kuvveti altında kuvvet kontrollü olarak davrandığı kabul edilmiştir. Buna göre çapraz sistemi kirişleri için basınç kuvveti taşıma kapasitesi ve çekme kuvveti-boy değişimi bağıntısı belirlenmiştir. Profil özellikleri nedeniyle kutu profillerde yanıl burulmalı burkulma oluşmamaktadır. Bu nedenle basınç kuvveti altında eğilme burkulması için 4.31 bağıntısı ile N_{CL} hesabı yapılmıştır.

$$F_e = \frac{3.14^2 * 206182000}{\left(\frac{1.00*6.00}{0.053} \right)^2} = 158.620 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{KL}{i} = \frac{1.00*6.00}{0.053} = 113 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 140$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{235000}{158620}} \right) * 235000 = 125.308 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{CL} = F_{cr}F = 125308 * 0.004004 = 501.733 \text{ kN}$$

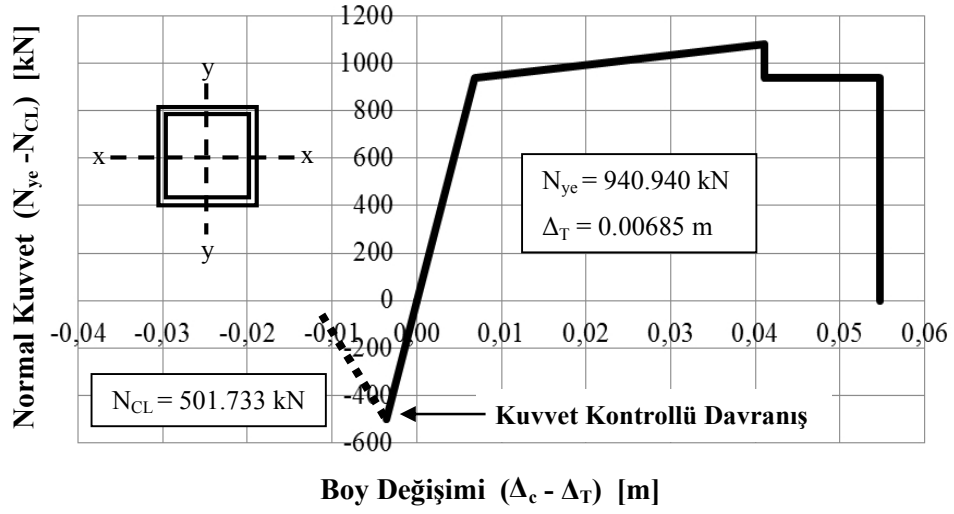
$$\Delta_c = \frac{N_{CL}L}{E_s F} = \frac{501.733 * 6.00}{206182000 * 4.004 * 10^{-3}} = 0.00365 \text{ m} \quad (4.32)$$

Çekme Kuvveti Altında : Elemanın akma kuvveti N_{ye} ve elastik uzama kapasitesi Δ_T , 4.33 ve 4.34 bağıntıları ile belirlenmiştir.

$$N_{ye} = \sigma_a F = 235000 * 4.004 * 10^{-3} = 940.940 \text{ kN} \quad (4.33)$$

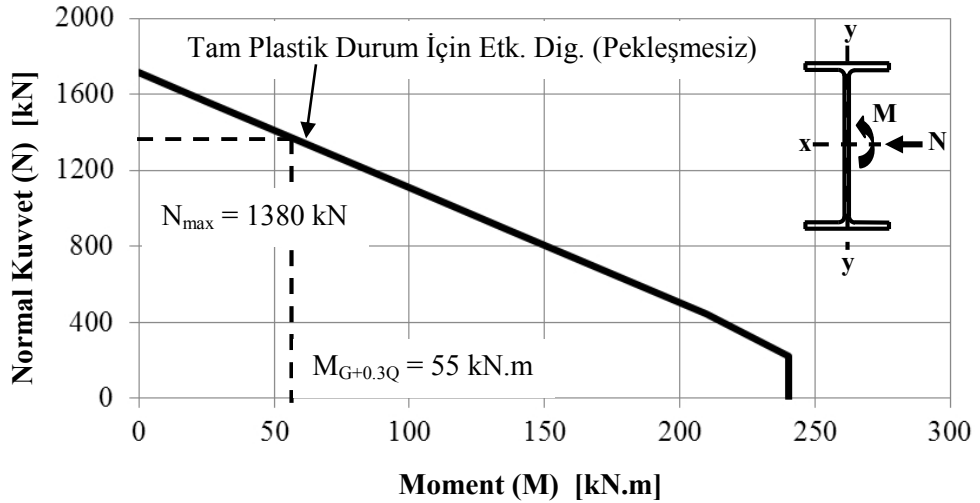
$$\Delta_T = \frac{N_{ye}L}{E_s F} = \frac{940.940 * 6.00}{206182000 * 4.004 * 10^{-3}} = 0.00685 \text{ m} \quad (4.34)$$

Tablo 3.9’da verilen karakteristik değerler $a = 0.0343 \text{ m}$, $b = 0.0480 \text{ m}$, $c = 1.00$, $\Delta_{HK} = 0.0017 \text{ m}$, $\Delta_{CG} = 0.0206 \text{ m}$, $\Delta_{GÖ} = 0.0343 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3’ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır. [16] Çapraz sistemi kirişi için elde edilen Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) bağıntısı Şekil 4.16’da gösterilmiştir [16].



Şekil 4.16: Çapraz Sistemi Kirişi İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi Bağıntısı

Çapraz Sistemi Kolonları İçin Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) Bağıntısı: Çapraz sisteminde kolonlar üzerinde bulunan düşey yük momenti ($M_{G+0.3Q}$) ve bu değere karşılık gelen düşey yük normal kuvvet taşıma kapasitesi (N_{max}), IPE 360 kolonuna ait etkileşim diyagramı üzerine işlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: IPE 360 Kolonu Etkileşim Diyagramı

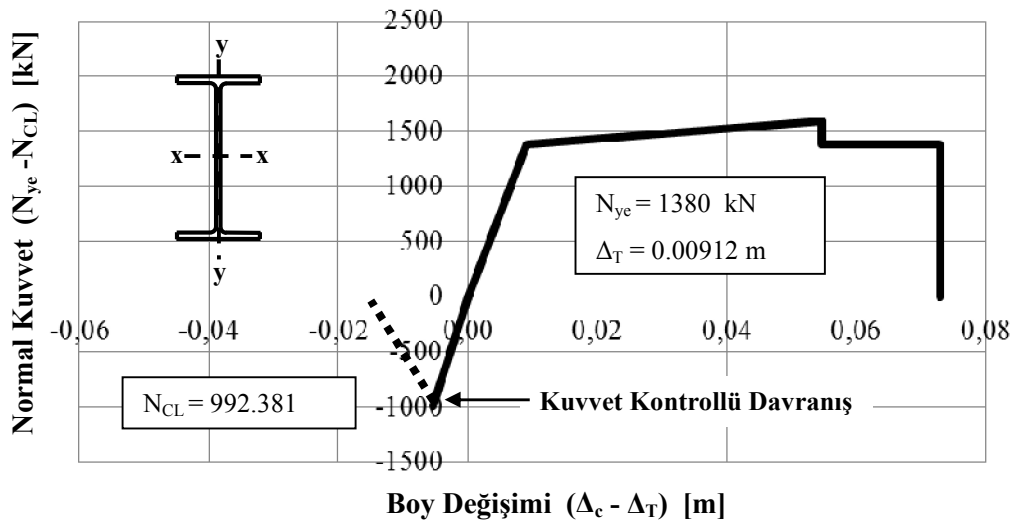
Uzun doğrultudaki çapraz sistemin özelliği nedeniyle kolonlardaki moment değeri sabit kalmakta, normal kuvvet değeri ise çekme ve basınç olarak artmaktadır.

Bu nedenle çapraz sistemi kolonlarının çekme kuvveti altında şekildeğiştirme kontrollü, basınç kuvveti altında kuvvet kontrollü olarak davrandığı kabul edilmiştir. Buna göre çapraz sistemi kolonları için basınç kuvveti taşıma kapasitesi ve çekme kuvveti-boy değişimi bağıntısı belirlenmiştir. IPE 360 kolonu için $N_{CL} = 992.381$ kN olarak belirlenmiştir. Çekme kuvveti altında elemanın akma kuvveti N_{ye} ve elastik uzama kapasitesi Δ_T 4.33 v3 4.34 bağıntıları ile belirlenmiştir.

$$N_{ye} = \sigma_a F = 235000 * 0.007273 = 1709.155 \text{ kN}$$

$$\Delta_T = \frac{N_{ye} L}{E_s F} = \frac{1709.155 * 8.00}{206182000 * 0.007273} = 0.00912 \text{ m}$$

Tablo 3.9’da verilen karakteristik değerler $a = 0.0034$ m , $b = 0.0498$ m , $c = 0.3592$, $\Delta_{HK} = 0.0013$ m , $\Delta_{CG} = 0.0302$ m , $\Delta_{GÖ} = 0.0408$ m olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3’ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır [16]. Çapraz sistemi kolonu için elde edilen Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) bağıntısı Şekil 4.18’de gösterilmiştir [16].



Şekil 4.18: Çapraz Sistemi Kolonu İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi Bağıntısı

Çapraz Sistemi Merkezi Çapraz Elemanları İçin Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) Bağıntısı : Profil özellikleri nedeniyle boru profillerde yanıl burulmalı burkulma oluşmamaktadır. Bu nedenle basınç kuvveti altında eğilme burkulması için N_{CL} hesabı yapılmıştır. Minimum burkulma yükü N_{CL} ve elastik boy kısıalma kapasitesi Δ_c 4.31 ve 4.32 bağıntıları ile belirlenmiştir.

$$F_e = \frac{3.14^2 * 206182000}{\left(\frac{1.00*7.21}{0.0611}\right)^2} = 145.989 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{235000}{145989}}\right) * 235000 = 118.440 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{CL} = F_{cr}F = 118440*0.00271 = 320.975 \text{ kN}$$

$$\Delta_c = \frac{N_{CL}L}{E_s F} = \frac{320.975*7.21}{206182000*2.71*10^{-3}} = 0.00414 \text{ m}$$

Çapraz sistemi merkezi çaprazı için Tablo 3.9'a göre narinlik oranı λ 4.35 bağıntısıyla hesaplanmış, 4.36 ve 4.37'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Narinlik oranının ikisi arasında kalması nedeniyle iki koşul için verilen modelleme parametreleri ve hasar sınırları arasında lineer interpolasyon uygulanmıştır.

$$\lambda = \frac{KL}{i} = \frac{1.00*7.21}{0.0611} = 118 \quad (4.35)$$

$$\lambda < 4.2\sqrt{E_s/\sigma_a} = 4.2*\sqrt{206182000/235000} = 124 \quad (4.36)$$

$$\lambda > 2.1\sqrt{E_s/\sigma_a} = 2.1*\sqrt{206182000/235000} = 62 \quad (4.37)$$

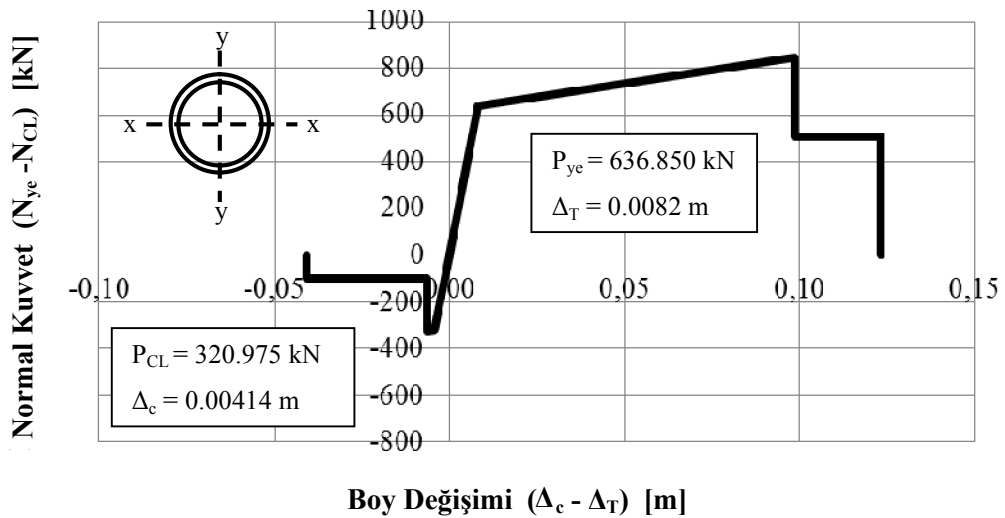
Buna göre $a = 0.0023$ m , $b = 0.0366$ m , $c = 0.317$, $\Delta_{HK} = 0.0010$ m , $\Delta_{CG} = 0.0203$ m , $\Delta_{GÖ} = 0.0286$ m elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır [16].

Çekme Kuvveti Altında : Elemanın akma kuvveti N_{ye} ve elastik boy uzama kapasitesi Δ_T , 4.33 ve 4.34 bağıntıları ile belirlenmiştir.

$$N_{ye} = \sigma_a F = 235000 * 2.71 * 10^{-3} = 636.850 \text{ kN}$$

$$\Delta_T = \frac{N_{ye} L}{E_s F} = \frac{636.850 * 7.21}{206182000 * 2.71 * 10^{-3}} = 0.0082 \text{ m}$$

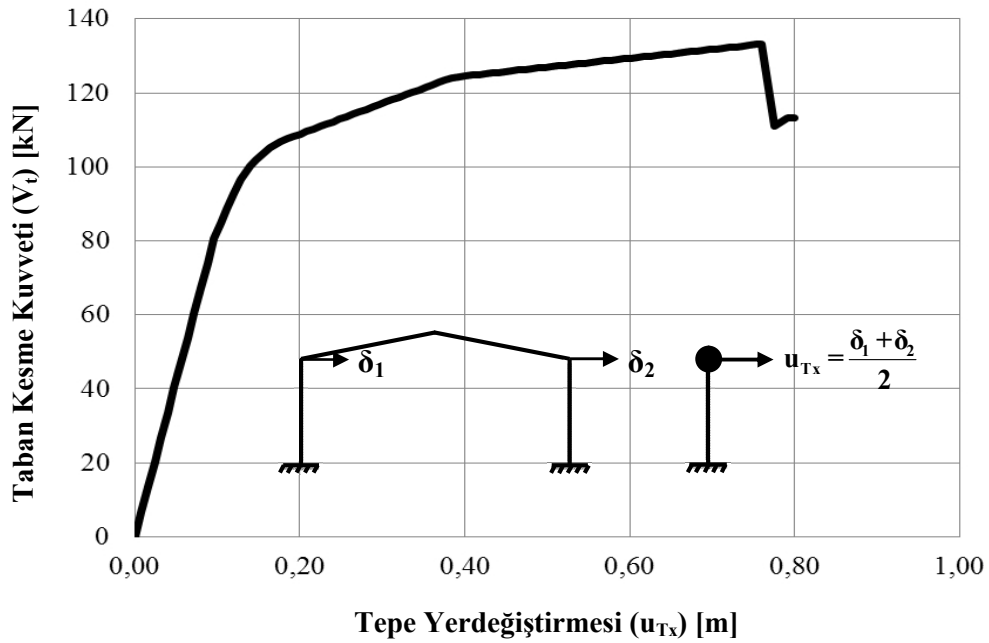
Tablo 3.9'da verilen karakteristik değerler $a = 0.0906$ m , $b = 0.1154$ m , $c = 0.80$, $\Delta_{HK} = 0.0021$ m , $\Delta_{CG} = 0.0577$ m , $\Delta_{GÖ} = 0.0742$ m olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır. [16] Çapraz sistemi merkezi çaprazı için elde edilen Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) bağıntısı Şekil 4.19'da gösterilmiştir [16].



Şekil 4.19: Çapraz Sistemi Merkezi Çaprazı İçin Normal Kuvvet-Boy Değişimi

4.1.2.2 Kısa (X) Doğrultudaki Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi

Öncelikle kısa doğrultudaki çerçeve taşıyıcı sistemin kapasite eğrisini elde etmek amacıyla $G + 0.3Q$ düşey yükleri altında monoton artan yatay yükler için doğrusal olmayan statik analizi yapılmıştır. Sistemdeki elemanların tam plastik taşıma kapasitelerine ulaşabilmeleri için gerekli stabilite önlemlerinin alındığı kabul edilmiştir. Analizde deprem etkilerini temsil eden yatay yük olarak 1.mod şekli ile uyumlu yükler kullanılmıştır. Tepe yerdeğiştirmesi (u_{Tx}) olarak kolon üst uçlarının yatay yerdeğiştirmelerinin (δ) ortalaması esas alınmıştır. Analiz sonucunda elde edilen tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti değişimi (kapasite eğrisi) Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 : Bina-1 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi

Sistemin gözönüne alınan depremler (D1 ve D2) için tepe yerdeğiştirmesi talebi (performans noktası) ASCE/SEI 41-06 [16] ve Türk Deprem Yönetmeliğine [8] göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

ASCE/SEI 41-06'ya göre tepe yerdeğiştirmesi talebinin (performans noktası) belirlenmesi: Bölüm 3.3'de belirtildiği gibi kapasite eğrisinden yararlanarak hedef yerdeğiştirmenin (u_{Tx}) belirlenmesi için gerekli katsayılar ve diğer büyüklükler aşağıda elde edilmiştir (şekil 4.21) [16].

$$K_i = K_e = 840 \text{ kN/m} \quad T_i = T_e = 0.69 \text{ sn}$$

$$C_o = 1.00 \quad (\text{Kat adedi : 1}) \quad C_m = 1.00 \quad (\text{Kat adedi : 1})$$

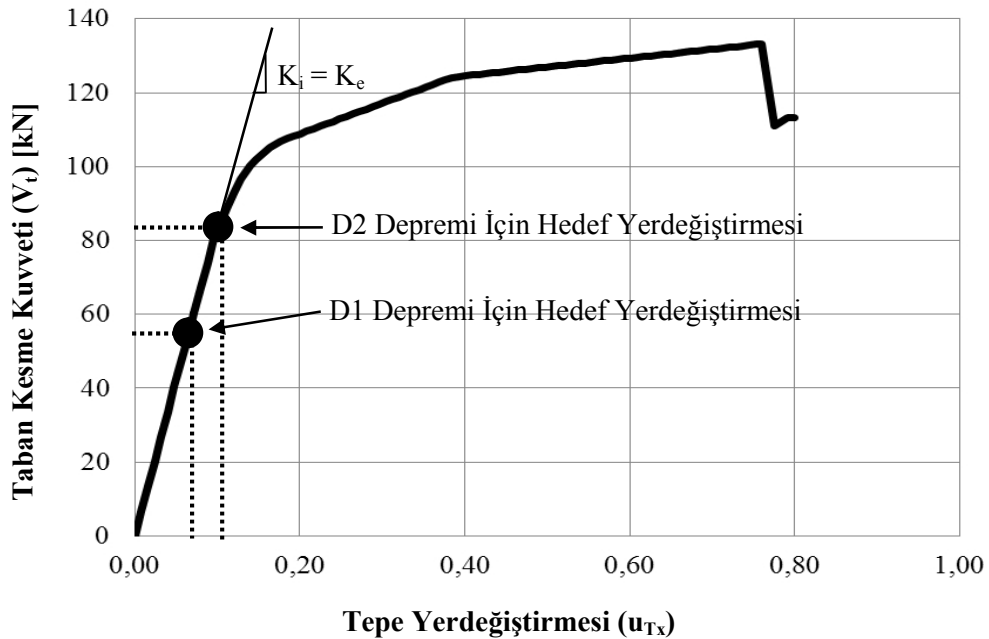
$$R_o = 1.00 \quad C_1 = 1.00 \quad C_2 = 1.00$$

$$S_a = 0.6465 \quad (\text{D1 Depremi}) \quad S_a = 0.9697 \quad (\text{D2 Depremi})$$

Buna göre D1 depremi için hedef yerdeğiştirmesi (u_{Tx}) 3.2 bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$u_{Tx} = 1.00 * 1.00 * 1.00 * 0.6465 * \frac{0.69^2}{4 * 3.14^2} * 9.81 = 0.0766 \text{ m}$$

D2 depremi için de benzer şekilde $u_{Tx} = 0.1149 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir.



şekil 4.21 : Bina-1 Kısa Doğrultu Tahmin Edilen Performans Noktaları

Türk deprem yönetmeliği 2007'ye göre tepe yerdeğiştirmesi talebinin belirlenmesi : Çerçevenin periyodu $T_1 > T_B = 0.40$ sn olduğundan Türk Deprem Yönetmeliğine göre tepe yerdeğiştirmesi talebi “Eşit Yerdeğiştirme Kuralı” ile belirlenmiştir [8].

Buna göre D1 depremi için T_1 'e bağlı olarak spektral ivme S_a 4.1 bağıntısıyla, spektral yerdeğiştirme S_d 3.8 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$S_a = 2.5 * \left(\frac{0.40}{0.69004} \right)^{0.8} * 9.81 * 0.40 = 6.3419 \text{ m/sn}^2$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{2 * 3.14}{0.69004} = 9.101 \text{ 1/sn}$$

$$S_d = \frac{S_a}{\omega_1^2} = \frac{6.3419}{9.101^2} = 0.0766 \text{ m}$$

Bu bağıntıda S_d birinci moda ait elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeyi, S_a birinci moda ait elastik spektral ivmeyi ve ω ise açısıl frekansı göstermektedir.

Sisteminde iki ayrı toplu kütle bulunmasına rağmen, sistem özelliği nedeniyle tek serbestlik dereceli sistem gibi davranmaktadır. Bu nedenle spektral yerdeğiştirme çerçeve yerdeğiştirmesine eşit olmakta ve $u_{Tx} = S_d = 0.0766$ m değerini almaktadır.

D2 depremi için de benzer işlemler yapılarak $u_{Tx} = 0.1149$ m olarak elde edilmiştir.

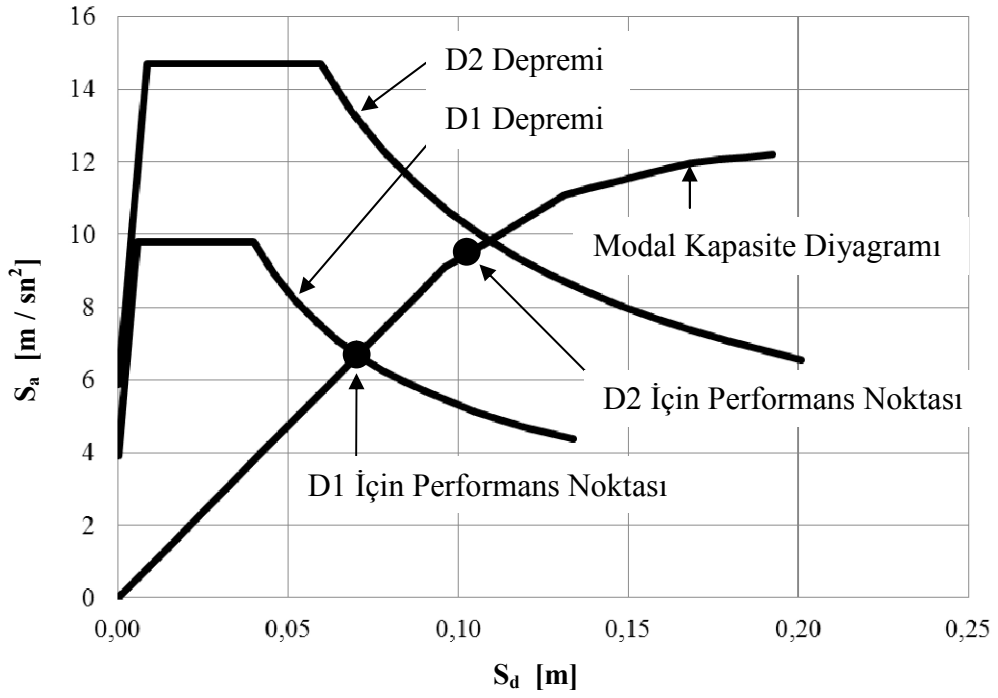
Kapasite eğrisinin her bir itme adımı için elde edilen koordinatları 3.6 ve 3.7 bağıntıları kullanılarak modal kapasite diyagramına, deprem spektrumları da 3.8 bağıntısı kullanılarak spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüştür.

Çerçeve sisteme ait modal özellikler Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 : Bina-1 Kısa Doğrultu Çerçeve Sistemine Ait Modal Özellikler

Φ_{x1} [m]	Γ_{x1}	M_{x1} [kNsn ² /m]
0.10495	9.5283	8.870

İki diyagram üst üste çizilerek deprem talepleri ve kapasiteler grafik olarak Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : Bina-1 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

Kısa doğrultudaki çerçevede, ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre D1 ve D2 depremleri için elde edilen tepe yerdeğiştirme talepleri Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 : Bina-1 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirme Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirme Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0766	0.0766
D2	0.1149	0.1149

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler (kriterler) ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.10-4.11).

Tablo 4.10 : Bina-1 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

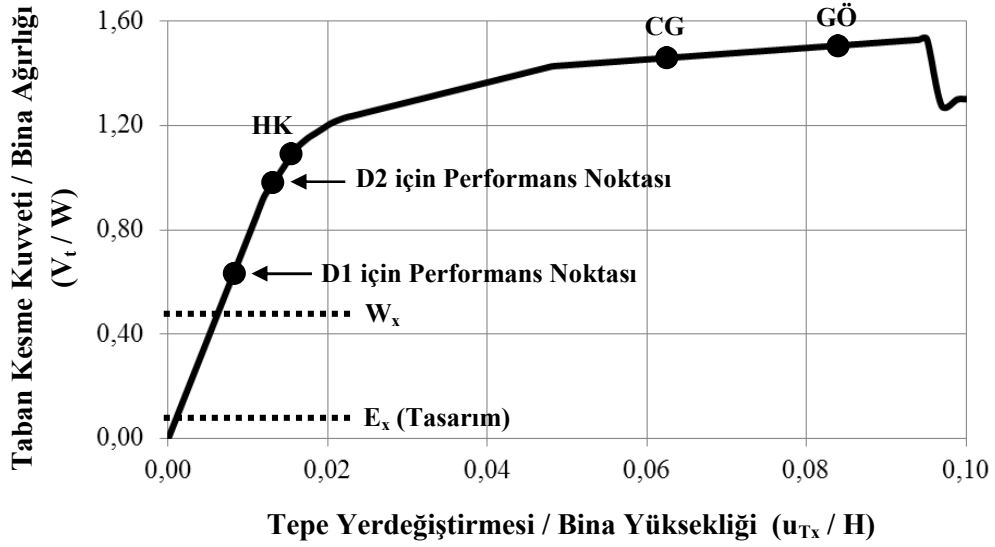
Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	Tümü	0.0097	0.0583	0.0778	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kiriş	Tümü	0.0097	0.0583	0.0778	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	

Tablo 4.11 : Bina-1 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	12	0.0097	0.0583	0.0778	0.00291		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	Diğer				Elastik			
Kiriş	Tümü	0.0097	0.0583	0.0778	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-1'in kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür.

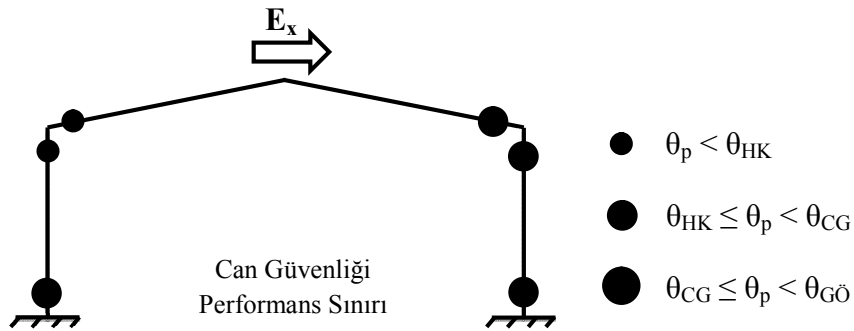
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.23). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.23 : Bina-1 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Şekil 4.23'den görüldüğü üzere taşıyıcı sistemin tasarım depremi (D1) altında elastik davrandığı için yönetmelikte (R) ile öngörülen deprem yükü azalımı gerçekleşmemiştir. Aksine deprem yükleri artmıştır. Buna karşılık sistemin dayanım fazlalığı olduğundan deprem yükleri plastik şekildeğiştirme oluşmadan karşılanabilmiştir.

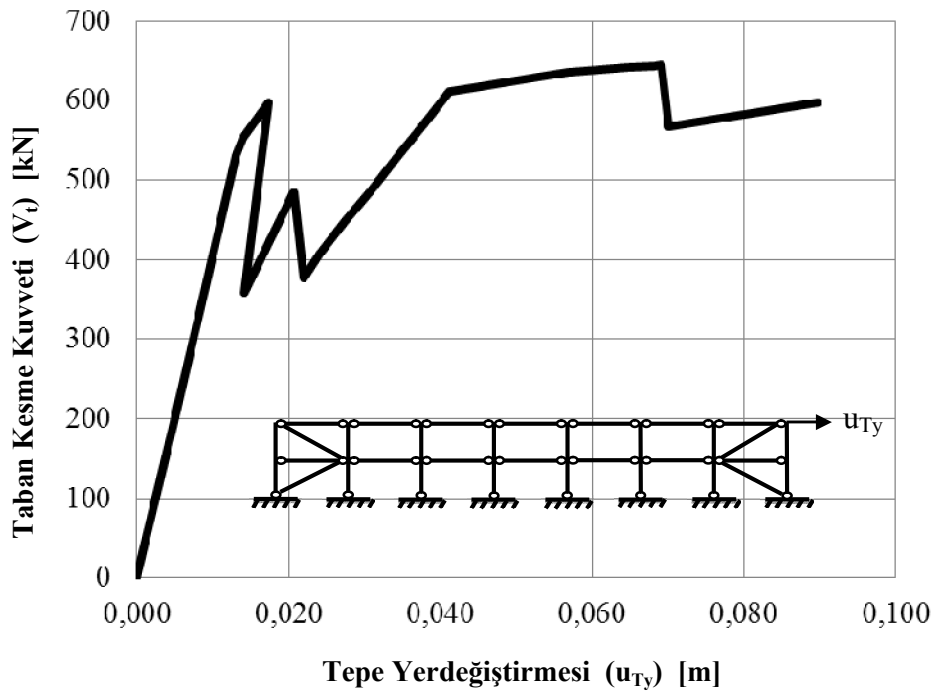
Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış çerçeve için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman uçlarında meydana gelmiştir.



Şekil 4.24 : Bina-1 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.1.2.3 Uzun (Y) Doğrultudaki Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi

Uzun doğrultudaki merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemin $G + 0.3Q$ düşey yükleri altında monoton artan yatay yükler için doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analizde deprem etkilerini temsil eden yatay yük olarak 1.mod şekli ile uyumlu yükler kullanılmıştır. Tepe yerdeğiştirmesi (u_{Ty}) olarak kolon üst uçlarının yatay yerdeğiştirmelerinin ortalaması esas alınmıştır. Analiz sonucunda elde edilen tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti değişimi (kapasite eğrisi) Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25 : Bina-1 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi

Sistemin gözönüne alınan depremler (D1 ve D2) için tepe yerdeğiştirmesi talebinin (performans noktası) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

ASCE/SEI 41-06'ya göre tepe yerdeğiştirmesi talebinin (performans noktası) belirlenmesi: Bölüm 3.3'de belirtildiği gibi kapasite eğrisinden yararlanarak hedef yerdeğiştirmenin (u_{Ty}) belirlenmesi için gerekli katsayılar ve diğer büyüklükler aşağıda elde edilmiştir (şekil 4.26) [16].

$$K_i = K_e = 40404 \text{ kN/m} \quad T_i = T_e = 0.188 \text{ sn}$$

$$C_o = 1.00 \quad (\text{Kat adedi : 1}) \quad C_m = 1.00 \quad (\text{Kat adedi : 1})$$

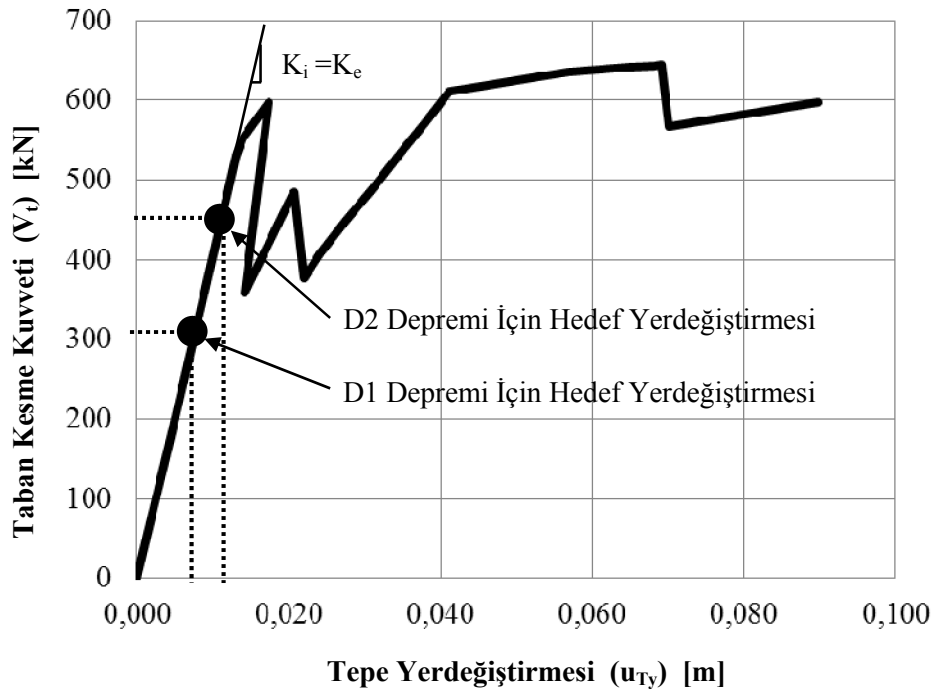
$$R_0 = 1.00 \quad C_1 = 1.00 \quad C_2 = 1.00$$

$$S_a = 1.00 \quad (\text{D1 Depremi}) \quad S_a = 1.50 \quad (\text{D2 Depremi})$$

Buna göre D1 depremi için hedef yerdeğiştirmesi (u_{Ty}) 3.2 bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$u_{Tx} = 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * \frac{0.188^2}{4 * 3.14^2} * 9.81 = 0.0088 \text{ m}$$

D2 depremi için de benzer şekilde $u_{Ty} = 0.0132 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir.



şekil 4.26: Bina-1 Uzun Doğrultu Tahmin Edilen Performans Noktaları

Türk deprem yönetmeliği 2007'ye göre tepe yerdeğiştirmesi talebinin belirlenmesi : D1 depremi için T_1 'e bağlı olarak spektral ivme S_a 4.1 bağıntısıyla, spektral yerdeğiştirme S_d 3.8 bağıntısıyla hesaplanmıştır [8].

$$S_a = 2.5 * 9.81 * 0.40 = 9.81 \text{ m/sn}^2$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{2 * 3.14}{0.188} = 33.404 \text{ 1/sn}$$

$$S_d = \frac{S_a}{\omega_1^2} = \frac{9.81}{33.404^2} = 0.0088 \text{ m}$$

(3.13) bağıntısından $u_{Ty} = 0.0086 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir.

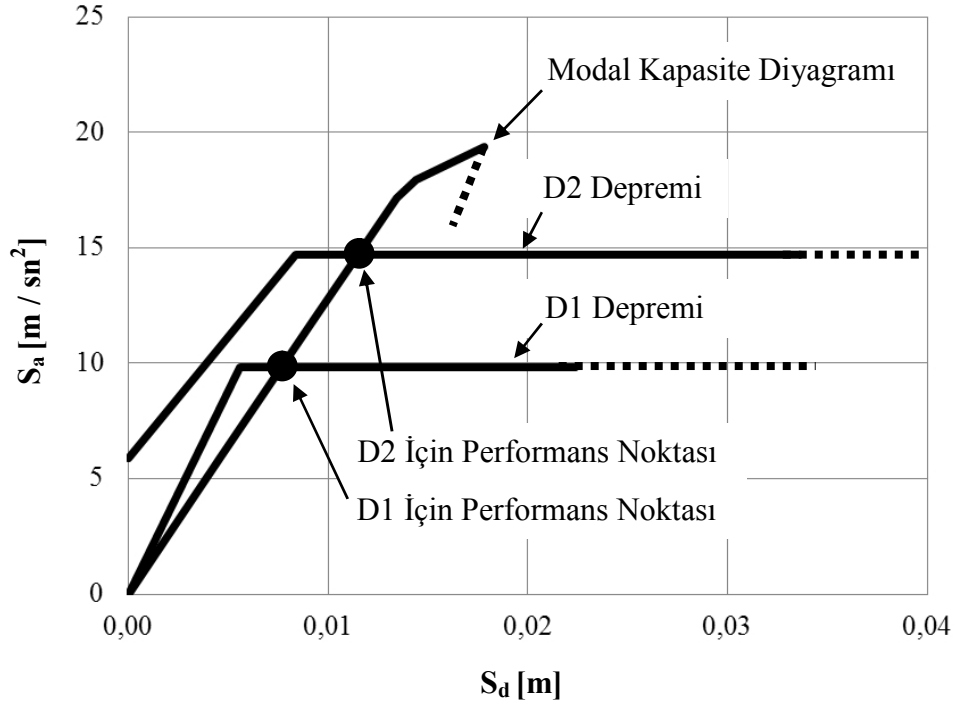
D2 depremi için de benzer işlemler yapılarak $u_{Ty} = 0.0129 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir.

Kapasite eğrisi 3.6 ve 3.7 bağıntıları kullanılarak modal kapasite diyagramına, deprem spektrumları da 3.8 bağıntısı kullanılarak spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dđnüşürülmüřtür. Merkezi çaprazlı perde sisteme ait modal özellikler Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 : Bina-1 Uzun Doğrultu Çerçeve Sistemine Ait Modal Özellikler

Φ_{y1} [m]	Γ_{y1}	M_{y1} [kNsn ² /m]
0.05647	17.3053	30.8646

İki diyagram üst üste çizilerek deprem talepleri ve kapasiteler grafik olarak Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27: Bina-1 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

Uzun doğrultudaki merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemde, ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre D1 ve D2 depremleri için elde edilen tepe yerdeğiştirme talepleri Tablo 4.13’de gösterilmiştir.

Tablo 4.13 : Bina-1 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirme Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirme Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0086	0.0086
D2	0.0129	0.0129

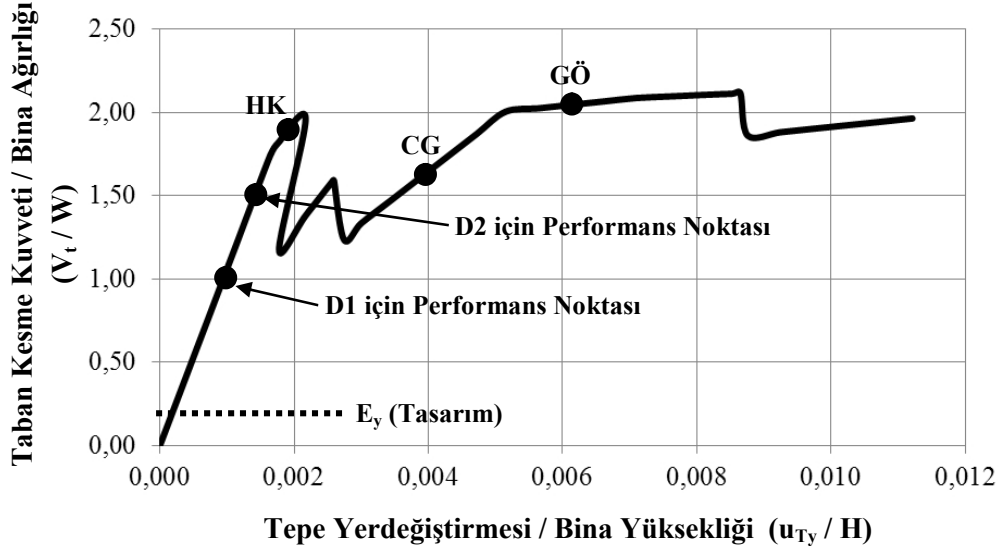
D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.14).

Tablo 4.14 : Bina-1 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	-0.0013	-0.0302	-0.0408				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343				
Kiriş (Basınç)	Tümü	-0.0009	-0.0176	-0.0249				
Çapraz (Çekme)	Tümü	0.0021	0.0577	0.0742				
Çapraz (Basınç)	Tümü	-0.0010	-0.0203	-0.0286				

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-1'in uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür.

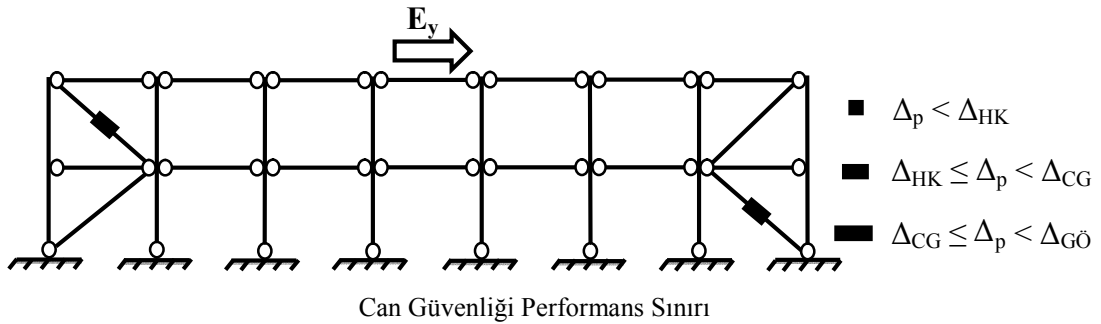
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.28). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.28 : Bina-1 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Şekil 4.28’den görüldüğü üzere taşıyıcı sistemin tasarım depremi (D1) altında elastik davrandığı için yönetmelikte (R) ile öngörülen deprem yükü azalımı gerçekleşmemiştir. Aksine deprem yükleri artmıştır. Buna karşılık sistemin dayanım fazlalığı olduğundan deprem yükleri plastik şekildeğiştirme oluşmadan karşılanabilmiştir.

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış taşıyıcı sistem için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Plastik kesitleri temsilen çapraz elemanların ortasında eleman boyunca oluşan boy değişimlerinin toplamı olarak tek bir plastik kesit gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, öncelikle bir basınç diyagonali burkulmuş daha sonra bir çekme diyagonali çekme kuvveti taşıma kapasitesi aşarak yükünü boşaltmıştır.



Şekil 4.29 : Bina-1 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.1.3 Bina-1'de Stabilité Kontrolleri

Bölüm 4.1.2'de taşıyıcı sistemlerin deprem performansları belirlenirken, eğilme ve bileşik eğilme elemanlarında gerekli stabilite önlemlerinin alındığı ve elemanların tam plastik taşıma kapasitelerine ulaşabildikleri kabul edilmiştir. Bu bölümde alınması gereken stabilite önlemlerinin neler olduğu ve bunların deprem performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Basit eğilmeye maruz kiriş elemanlarında lokal gövde burkulması, lokal başlık burkulması veya yanal (burulmalı) burkulma gibi stabilite limit durumları ile karşılaşılabilir. Bileşik eğilmeye maruz kolonlarda ise kirişlerdeki limit durumlara ek olarak kolonun aksel yük altındaki eğilme burkulması veya eğilmeli-burulmalı burkulma limit durumları ile karşılaşılabilir. Aksel basınç kuvvetine maruz elemanlarda lokal burkulma, eğilme burkulması veya eğilmeli-burulmalı burkulma limit durumları ile karşılaşılabilir.

ASCE/SEI 41-06'ya [16] göre tüm çelik yapı elemanlarında stabilite limit durumlarının LRFD (Load and Resistance Factor Design Specification) [33] ve ANSI/AISC 360-05 (Specification for Structural Steel Buildings) [32] esas alınarak kontrol edilmesi öngörülmektedir.

Çelik yapı elemanlarında lokal burkulma durumları enkesit narinlikleri için öngörülen koşullar ile kontrol edilmektedir. Bu koşullar sistem için öngörülen süneklik düzeyine bağlı olarak değişmektedir [8,28].

Bina-1'in tasarımında esas alınan enkesit narinlik koşulları LRFD'de [33] verilen şartları sağlamaktadır. Bu nedenle deprem etkisi altında elemanlarda lokal burkulma oluşması beklenmemektedir.

Binanın uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminde aksel basınç yüküne maruz elemanlarda deprem etkisi altında eğilme burkulması limit durumu oluşmaktadır. Bu stabilite limit durumu, doğrusal olmayan analizde elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları vasıtasıyla gözönüne alınmaktadır.

Binanın kısa doğrultu taşıyıcı sisteminde, kirişlerde ve kolonlardaki aksel kuvvet değerleri çok düşük düzeylerde kaldığı için deprem etkisi altında eğilme

davranışı etkin olmakta ve yanal (burulmalı) burkulma durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda kirişler ve kolonlarda yanal (burulmalı) burkulmaya karşı alt ve üst başlık için uygulanan mesnetleme durumu, bu doğrultudaki deprem performansını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bunu belirlemek amacıyla kiriş ve kolonlar için yanal mesnetlenme mesafelerine bağlı olarak yanal burkulmalı moment taşıma kapasitelerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Yanal Burkulmalı Moment Taşıma Kapasitelerinin (M_{nb}) Hesabı :

ANSI/AISC 360-05'e [32] göre yanal burkulma limit durumunu içeren moment taşıma kapasitesi (M_{nb}) elemanın alt ve üst başlık yanal mesnetlenme mesafesine (kiriş için l_b , kolon için l_c) bağlı olarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$(l_b , l_c) \leq L_p$ ise elemanda yanal burkulma olmaksızın plastik moment taşıma kapasitesine ulaşılmaktadır. Tam plastik durum olarak ifade edilen bu durumda moment taşıma kapasitesi M_{nb} elemanın plastik moment taşıma kapasitesine eşit olmaktadır (4.38).

$$M_{nb} = M_p \quad (4.38)$$

$L_p < (l_b , l_c) \leq L_r$ ise elemanda elastik olmayan (plastik) yanal burkulma durumu oluşmaktadır. Bu durumda moment taşıma kapasitesi M_{nb} 4.39 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$M_{nb} = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7\sigma_a S_x) \left(\frac{l_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] < M_p \quad (4.39)$$

$(l_b , l_c) > L_r$ ise elemanda elastik yanal burkulma durumu oluşmaktadır. Bu durumda moment taşıma kapasitesi M_{nb} 4.40 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$M_{nb} = F_{cr} S_x < M_p \quad (4.40)$$

Eğilme burkulmasına ait gerilme F_{cr} 4.41 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E_s}{\left(\frac{l_{b,c}}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_x h_o} \left(\frac{l_{b,c}}{r_{ts}}\right)^2} \quad (4.41)$$

Yukarıdaki ifadelerde L_p yanal burkulma oluşmadan elemanın tam plastik eğilme momenti taşıma kapasitesine ulaşması için gerekli olan yanal mesnetlenme mesafesini göstermekte ve 4.42 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \quad (4.42)$$

L_r elemandaki plastik yanal burkulma durumunun başladığı yanal mesnetlenme mesafesini göstermekte ve 4.43 bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda r_{ts} 4.44 ifadesiyle hesaplanan etkin dönme yarıçapını göstermektedir.

$$L_r = \pi r_{ts} \sqrt{\frac{E_s}{0.7 \sigma_a}} \quad (4.43)$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2 S_x}} \quad (4.44)$$

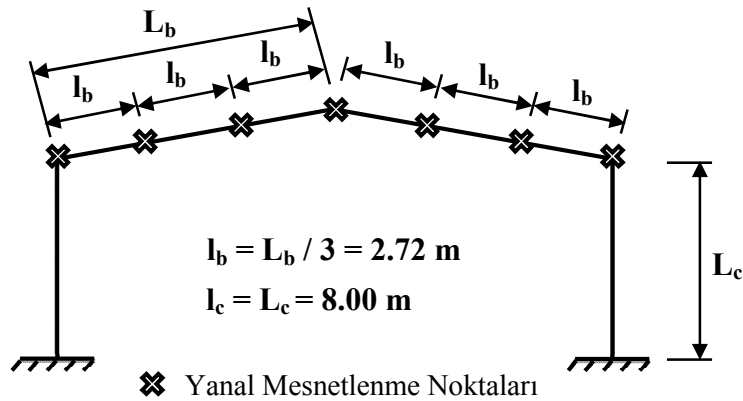
(4.44) bağıntısında h_o profil başlık ağırlık merkezleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.

(4.39) bağıntısındaki C_b eleman üzerindeki moment dağılımının yanıl burkulmaya olan etkisini ifade eden bir katsayıdır ve ANSI /AISC 360-05'e [32] göre 4.45 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.0 \quad (4.45)$$

Burada M_{\max} elemanın yanıl mesnetlenmemiş mesafesindeki maksimum momenti, M_A mesnetlenmemiş mesafenin dörtte birindeki momenti, M_B mesnetlenmemiş mesafenin orta noktasındaki momenti, M_C mesnetlenmemiş mesafenin dörtte üçündeki momenti, R_m ise asal eksenlerine göre simetrik kesitlerde 1.0 alınan katsayıyı göstermektedir.

Bina-1'de mevcut yanıl mesnetlenme durumu Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bina-1 süneklik düzeyi yüksek sistem olduğu için boyutlandırma aşamasında deprem yönetmeliğine göre kiriş 1/3 aralıklarla tutulmuştur [8]. Mesnetlerin ve düğüm noktalarının da yanıl olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir. Kolonlarda ise yanıl (burulmalı) burkulmaya karşı herhangi bir önlem alınmadığı için yanıl mesnetlenme mesafesi (l_c) kolon boyuna eşit olmaktadır. Uzun doğrultuda kolon ağırlık merkezine bağlanan çapraz elemanlar yanıl burulmalı burkulmayı önlemede tam olarak etkili olmadığı (başlıkları tutmadığı için) için gözönüne alınmamıştır.



Şekil 4.30 : Bina-1'de Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanıl Mesnetlenme Mesafeleri

Yanal burkulmayı içeren moment taşıma kapasitesi (M_{nb}), elemanın yanal mesnetlenme mesafesine ve üzerindeki moment dağılımına bağlı olarak hesaplandığından, sabit düşey yükler altında artan deprem yükleri için her bir elemanın moment taşıma kapasitesi sürekli değişmektedir. Bu nedenle elemanlarda söz konusu stabilite durumunu kontrol edebilmek için C_b değerinin tahmin edildiği ve sonra da kontrol edildiği bir ardışık yaklaşım yolu izlenmiştir.

ASCE/SEI 41-06'ya göre Bina-1'deki kolonlar, aksel kuvvetleri düşük düzeyde olduğundan kiriş eleman olarak göz önüne alınmıştır. Buna göre hem kirişlerde hem de kolonlarda sadece yanal burkulmayı içeren moment taşıma kapasitelerinin belirlenmesi yeterli olmaktadır. Kolonlardaki aksel yükü fazla olan diğer ağır binalarda (Bina-3,4,6) kolonlar için etkileşim diyagramlarının kullanılması gerekmektedir.

Aşağıda örnek olmak üzere, bir kiriş ve kolon için M_{nb} hesabı gösterilmiştir. Hesaplar D1 depremine ait performans noktasına ulaşmış sistemdeki moment değerleri için yapılmıştır.

Kiriş ve kolon boyutları aynı (IPE 360) olduğundan her ikisi için de L_p ve L_r değerleri 4.42 ve 4.43 bağıntılarıyla hesaplanmıştır.

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 1.76 * 0.0453 * \sqrt{\frac{206182000}{235000}} = 2.36 \text{ m}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2S_x}} = \sqrt{\frac{1.043 * 10^{-5} * 0.3473}{2 * 5.1 * 10^{-4}}} = 0.060 \text{ m}$$

$$L_r = \pi r_{ts} \sqrt{\frac{E_s}{0.7\sigma_a}} = 3.14 * 0.060 * \sqrt{\frac{206182000}{0.7 * 235000}} = 6.62 \text{ m}$$

Kiriş İçin M_{nb} Hesabı : Burkulma bakımından kritik olan sol kiriş için hesap gösterilmiştir. Kiriş için öncelikle yanal mesnetlenme noktaları arasındaki en elverişsiz moment dağılımına bağlı olarak C_b katsayısı 4.45 bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$C_b = \frac{12.5*67.499}{2.5*67.499+ 3*54.979+ 4*67.474+ 3*52.663} * 1.00 = 1.11$$

Kiriş için $L_r < l_b \leq L_p$ olduğundan moment taşıma kapasitesi M_{nb} 4.39 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$M_{nb} = 1.11 * \left[239.465 - (239.465 - 0.7*235000*5.1*10^{-4}) \left(\frac{2.72 - 2.36}{6.62 - 2.36} \right) \right]$$

$$M_{nb} = 251.214 \text{ kN.m}$$

$M_{nb} \leq M_p$ olması gerektiğinden $M_{nb} = M_p = 239.465 \text{ kN.m}$ alınmıştır.

Buna göre çerçeve kirişi burkulmadan plastikleşme momentine ulaşabilecektir.

Kolon İçin M_{nb} Hesabı : Kiriş benzer şekilde sağ kolon için $C_b = 2.23$ elde edilmiştir. Mevcut durumda kolon için $l_c > L_r$ olduğundan moment taşıma kapasitesi M_{nb} 4.40 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$F_{cr} = \frac{2.23*3.14^2 * 206182000}{\left(\frac{8.00}{0.060} \right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 \frac{3.73*10^{-7}}{5.1*10^{-4} * 0.3473} * \left(\frac{8.00}{0.060} \right)^2}$$

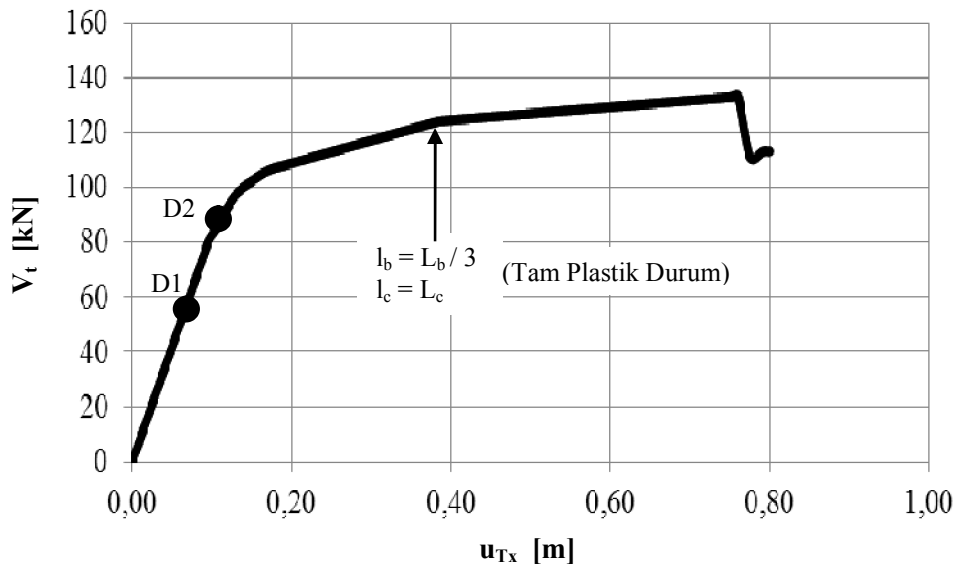
$$F_{cr} = 504881.060 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb} = 504881.060 * 5.1 * 10^{-4} = 257.489 \text{ kN.m}$$

$M_{nb} \leq M_p$ olması gerektiğinden $M_{nb} = M_p = 239.465 \text{ kN.m}$ alınmıştır.

Buna göre çerçeve kolonu burkulmadan plastikleşme momentine ulaşabilecektir.

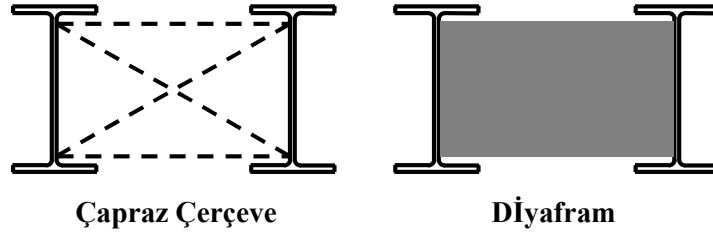
Sonuç olarak, kirişleri 1/3 aralıklarla yanal olarak tutulmuş, kolonlarında ise herhangi bir yanal mesnetlenme bulunmayan Bina-1'in tüm elemanlarının plastik taşıma kapasitelerini ve şekildeğiştirme kapasitelerini tam olarak kullanabildikleri belirlenmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 : Bina-1 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

Yanal (Burulmalı) Burkulma İçin Alınacak Önlemler :

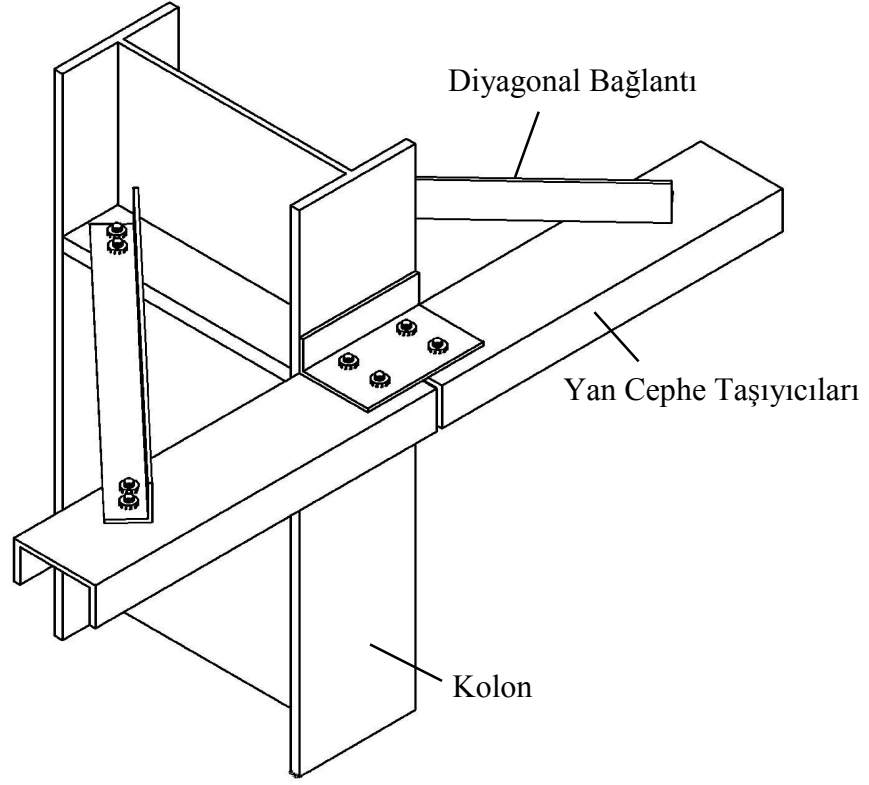
Yanal (burulmalı) burkulmanın önlenmesi amacıyla elemanların eksenleri etrafında dönmelerini engelleyen özel bağlantılar yapılması gerekmektedir. Bu amaçla Şekil 4.32’de gösterildiği gibi, yanal burkulmaya maruz elemanların başlıklarını birleştiren çapraz bağlantılar veya diyafram elemanlar kullanılabilir [2].



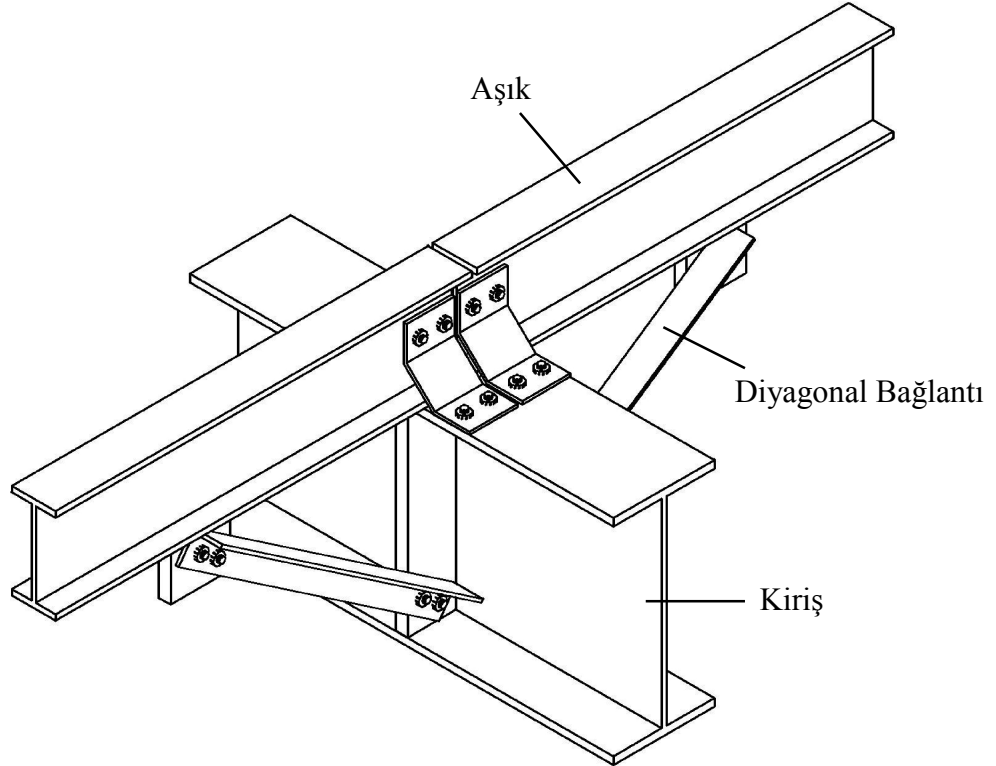
Şekil 4.32 : Yanal (Burulmalı) Burkulmayı Engelleyen Bağlantılar

Yanal mesnetlenme uygulanacak elemanlar arasındaki açıklıkların büyük olması veya sistemde çok sayıda tutulması gerekli eleman olması durumunda yukarıda gösterilen bağlantıların uygulanması oldukça maliyetli olabilmektedir.

Tek katlı endüstri yapılarının kiriş ve kolonlarında çoğunlukla aşıklar ve cephe taşıyıcıları bulunması nedeniyle bu elemanlardan yararlanarak yanal burkulmanın önlenmesi daha ekonomik olmaktadır. Şekil 4.33’te, kirişlerde aşıklardan, kolonlarda ise cephe taşıyıcı elemanlarından yararlanarak yanal (burulmalı) burkulmanın önlenmesini sağlayan bağlantı örnekleri gösterilmiştir [23,34-40].



a) Kolon Burulma Burkulmasını Önleyen Bağlantı Detayı

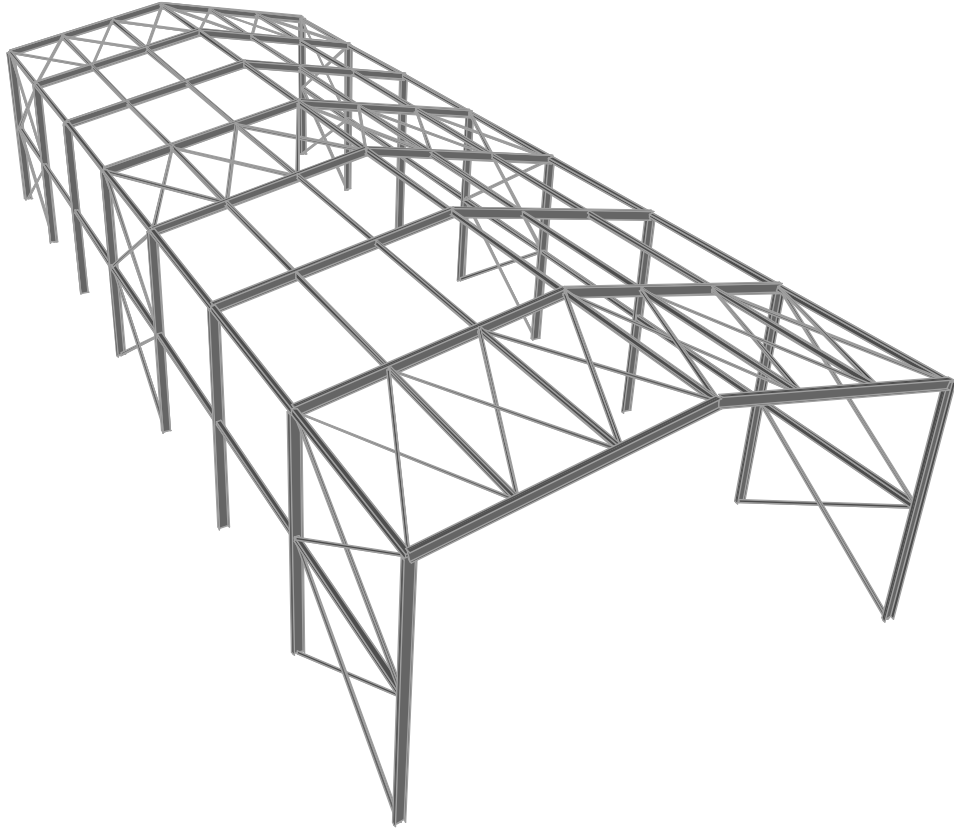


b) Kiriş Burulma Burkulmasını Önleyen Bağlantı Detayı

Şekil 4.33 : Kolon ve Kirişin Burulmalı Burkulmasını Önlemek İçin Alınan Önlemler

4.2 Bina-2 'ye Ait Sayısal İncelemeler

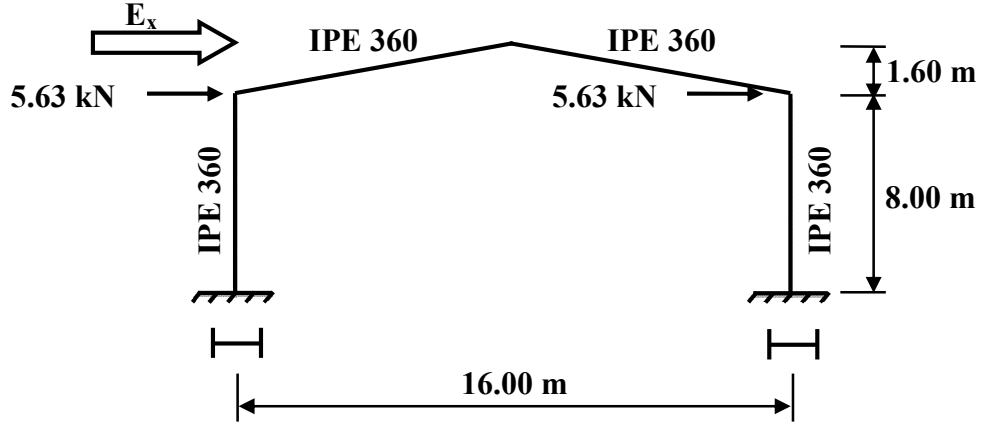
Bu bölümde, Bina-2'nin boyutlandırılması, deprem performansının belirlenmesi anlatılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bina-2'nin süneklik düzeyi dışındaki tüm özellikleri Bina-1 ile aynıdır. Bina-2 süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılmıştır. Bina-2'ye ait perspektif görünüşü Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34: Bina-2'nin Perspektif Görünüşü

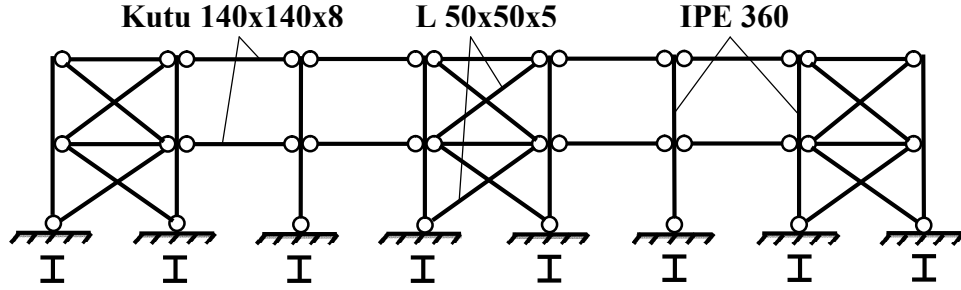
4.2.1 Bina-2'nin Boyutlandırılması

Bina-2'nin kısa doğrultudaki kiriş ve kolon ön boyutları IPE 360 seçilmiştir. Buna göre kısa doğrultudaki düşey yükler ve rüzgar yükleri altında oluşan kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeler Bina-1 ile aynı olmaktadır. Süneklik düzeyi normal sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 11.25$ kN olarak belirlenmiştir. Çerçeveye etkiyen deprem yükleri Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



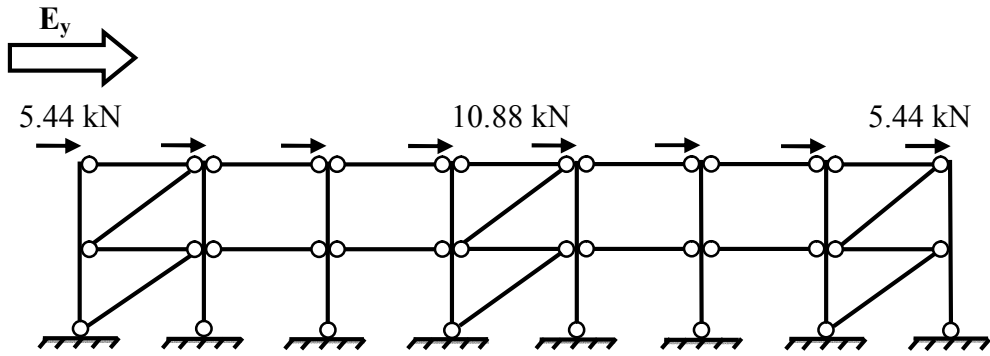
Şekil 4.35: Bina-2 Kısa Doğrultuda Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Uzun doğrultuda Bina-1'den farklı olarak, sadece çekme kuvveti taşıyan çapraz elemanlardan oluşan taşıyıcı sistem seçilmiştir. Deprem yönetmeliğine göre süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı perde sistemlerde, deprem yönüne bağlı olarak basınç çaprazlarının burkulmasına ve sadece çekme çaprazlarının deprem kuvvetini aktarmasına izin verilmektedir. Bu durumda çekme çaprazlarında narinlik koşulu aranmamakta, ancak artırılmış deprem yüklerine göre boyutlandırma yapılmaktadır [8]. Uzun doğrultudaki kirişler ve çapraz elemanlar için seçilen ön boyutlar Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 : Bina-2 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Deprem yönüne bağlı olarak sadece çekme çaprazları gözönüne alınarak hesap modeli hazırlanmıştır. Bu sisteme ait hakim periyot $T_{1y} = 0.318$ sn olarak elde edilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 4$ alınarak hesaplanan eşdeğer deprem yükü $V_t = 76.15$ kN olarak hesaplanmış ve kolon üst uçlarına paylaştırılmıştır. Sisteme etkiyen deprem yükleri ve oluşturulan hesap modeli Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37 : Bina-2 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Hesap Modeli ve Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Düşey yüklemeler ve uzun doğrultudaki rüzgar yüklemesi özellikleri Bina-1 ile aynıdır. Bina-2’de uzun doğrultudaki çaprazlar sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde tasarlandığından L profil kullanılması uygun görülmüştür (Tablo 4.15).

Bina-1’den farklı olan çapraz elemanların boyutlandırılması aşağıda verilmiştir. Uzun doğrultudaki merkezi çapraz elemanlarda en elverişsiz çubuk kuvveti, E_y yüklemesi altında $N_{max} = 30.815$ kN (Çekme) olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.15 : Çapraz Elemanları (L 50x50x5) İçin Enkesit Özellikleri

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	I_{min}	$4.51 \cdot 10^{-8}$	m^4	
Profil Alanı	F	$4.80 \cdot 10^{-4}$	m^2	
Profil Net Alanı	F_{net}	$3.75 \cdot 10^{-4}$	m^2	
Et Kalınlığı	t_w	$5 \cdot 10^{-3}$	m	
Atalet Yarıçapı	i_{min}	0.0097	m	

Artırılmış deprem yüklemesi için çapraz elemandaki normal gerilme oranı 4.46 bağıntısıyla hesaplanmış ve kesitin yeterli olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{\sigma}{\sigma_{em}} = \left(\frac{N_{max} \Omega}{F_{net}} \right) / \sigma_{em} = \left(\frac{30.815 \cdot 2.00}{3.75 \cdot 10^{-4}} \right) / 141000 = 1.16 < 1.33 \quad (4.46)$$

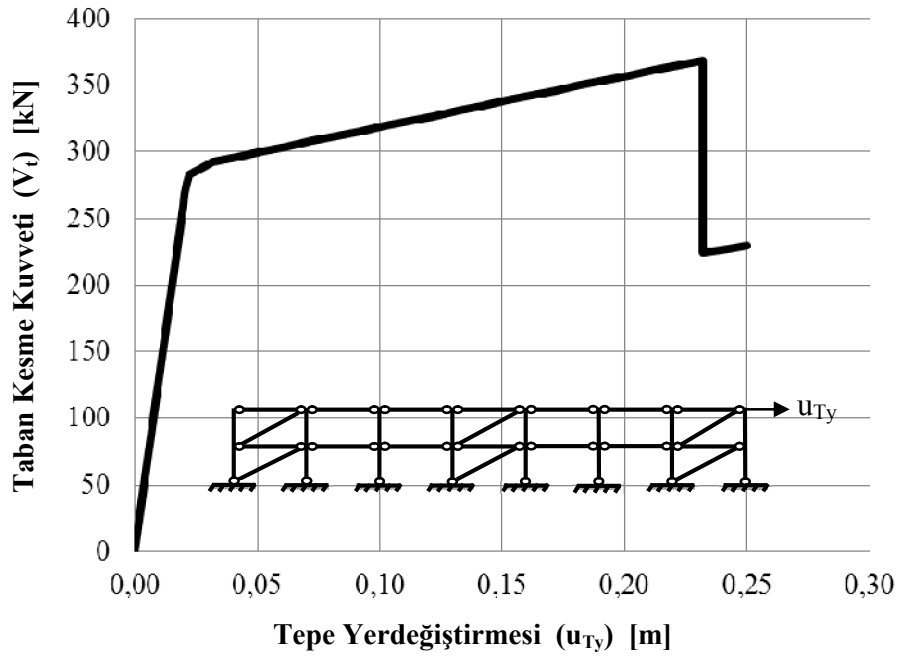
Diğer elemanlara ait boyutlandırmalar Bina-1'dekine benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.16'da özetlenmiştir.

Tablo 4.16 : Bina-2'ye Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

Tasarım Parametresi		Kolon (IPE 360)	Çerçeve Kirişi (IPE 360)	Çaprazlar (L 50x50x5)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	$b_f/2t_f$	6.69 / 14.81	6.69 / 14.81	----	----
	h/t_w D/t	45.00/ 137.20	45.00/148.1	10.00 / 14.81	17.50 / 35.496
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		106 / 250	144 / 250	743 / ----	113 / 118
Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi / Sınır Mesafe (l_b) [m]		----	8.15 / ----	----	----
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		8.00 / 8.00	5.44 / 8.15	----	----
Maksimum Görelî Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.0143 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.004 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehîm / Sınır Sehîm		----	$\frac{L}{325} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	1.12 / 1.33	1.32 / 1.33	1.16 / 1.33	0.10 / 1.33
	G+Q+W	0.94 / 1.15	0.86 / 1.15	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.13 / 1.33	0.24 / 1.33	----	----
	G+Q+W	0.16 / 1.15	0.18 / 1.15	----	----

4.2.2 Bina-2'nin Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina-2'nin kısa doğrultudaki taşıyıcı sistem özellikleri Bina-1 ile aynı olduğu için deprem performanslarının da aynı olduğu söylenebilmektedir. Uzun doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



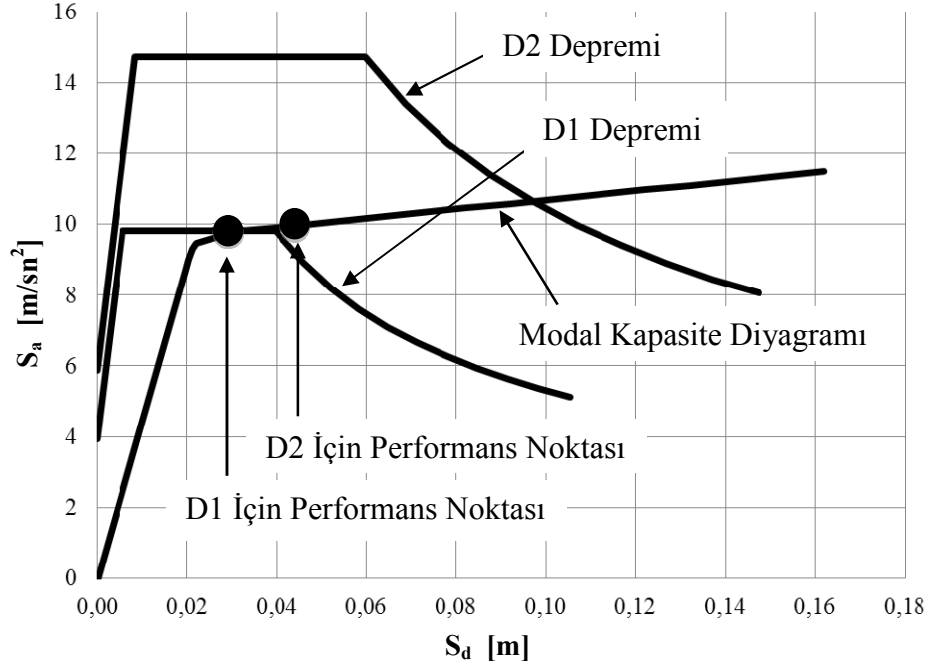
Şekil 4.38 : Bina-2 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17 : Bina-2 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0255	0.0255
D2	0.0403	0.0412

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.39’da gösterilmiştir.



Şekil 4.39 : Bina-2 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.18-4.19).

Tablo 4.18 : Bina-2 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

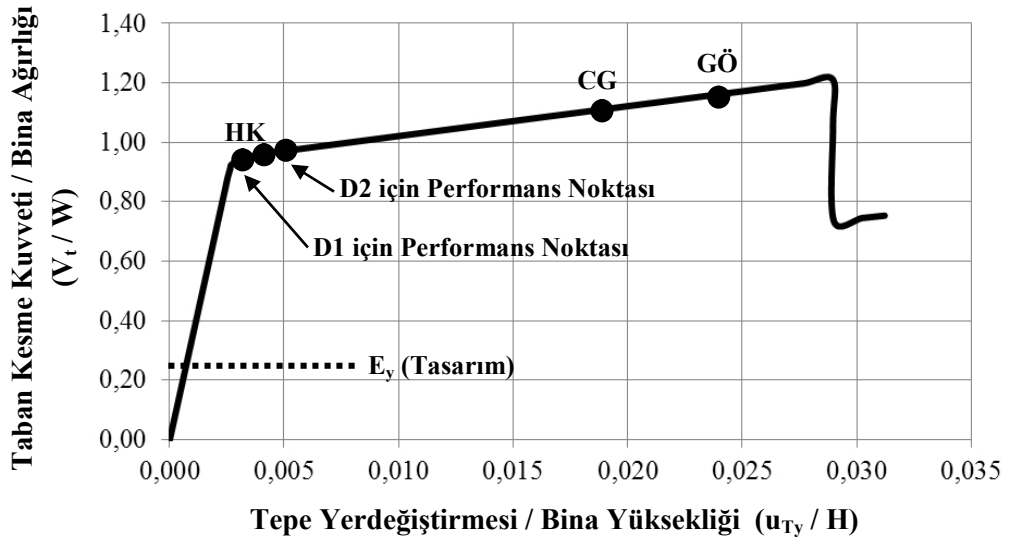
Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0013	- 0.0302	- 0.0408	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0021	0.0577	0.0742	0.00174		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	2				0.00126			
	3				0.00077			
	Diğer				Elastik			

Tablo 4.19 : Bina-2 Uzun Doğrultu D2 Deprem İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0013	- 0.0302	- 0.0408	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0021	0.0577	0.0742	0.00936	0.00941	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	2				0.00884	0.00888		
	3				0.00832	0.00837		
	4				0.00129	0.00131	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	5				0.00177	0.00178		
	6				0.00169	0.00171		

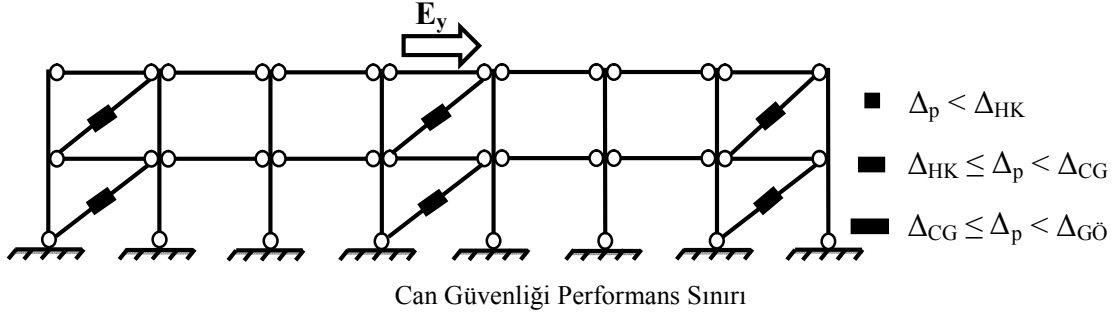
Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-2'nin uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 depremi için performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin D2 depremi için performansı Hasar Kontrol performans seviyesi olarak belirlenmiştir.

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekil değiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.40). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.40 : Bina-2 Uzun Doğrultu Normleştirilmiş Kapasite Eğrisi

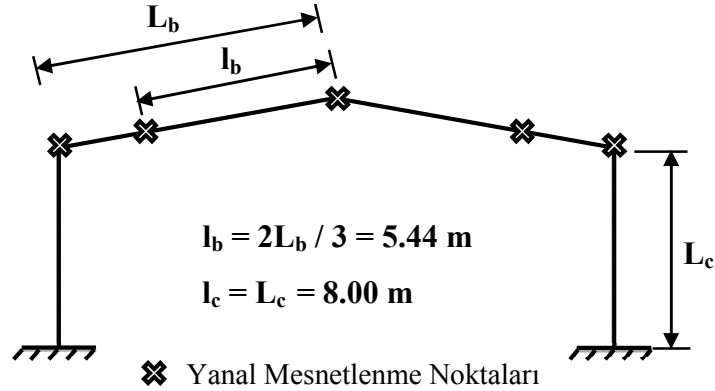
Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış taşıyıcı sistem için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman boyunca meydana gelmiştir. Bu plastik kesitleri temsilen çapraz elemanların ortasında eleman boyunca oluşan boy değişimlerinin toplamı olarak tek bir plastik kesit gösterilmiştir.



Şekil 4.41 : Bina-2 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.2.3 Bina-2'de Stabilit e Kontrolleri

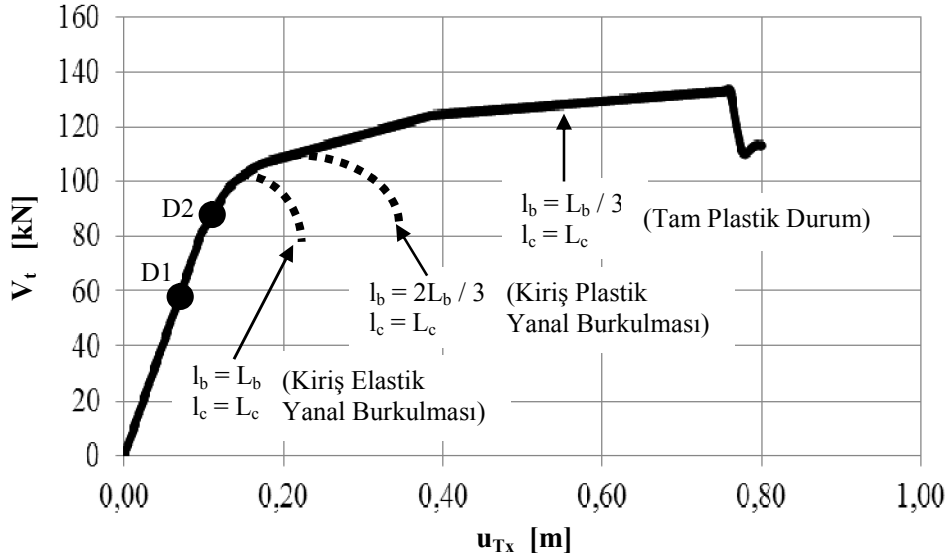
Bina-2'de mevcut yanal mesnetlenme durumu Şekil 4.42'de gösterilmiştir. Bina-2 süneklik düzeyi normal sistem olduğu için kirişlerde yanal mesnetlenme koşulu bulunmamaktadır. Ancak boyutlandırma aşamasında TS 648 gereğince kiriş basıncı başlığını tutmak amacıyla kolon-kiriş birleşiminden itibaren açıklığın üçte birinde yanal olarak mesnetlenmişlerdir. Bu durumda yanal olarak mesnetlenmemiş mesafe $l_b = 5.44$ m olmaktadır. Kolonlar için yanal mesnetlenme mesafesi herhangi bir önlem alınmadığı için kolon boyuna eşit olmaktadır. Mesnetlerin ve düğüm noktalarının da yanal olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir. Uzun doğrultuda kolon ağırlık merkezine bağlanan çapraz elemanlar yanal burulmalı burkulmayı önlemede tam olarak etkili olmadığı (başlıkları tutmadığı için) için gözönüne alınmamıştır.



Şekil 4.42 : Bina-2'de Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri

Bina-2'de kiriş ve kolonlar için mevcut yanal mesnetlenme durumlarına ait moment taşıma kapasiteleri (M_{nb}), Bina-1'dekine benzer Şekilde hesaplanmıştır. Bu moment taşıma kapasiteleri esas alınarak yapılan kontroller sonucunda kolonların ve sağ kirişin burkulmadan plastikleşme momentlerine ulaşabildikleri, sol kirişte ise plastik yanal burkulma durumu oluştuğu belirlenmiştir. Kirişte yanal plastik burkulmanın oluştuğu yer tam plastik duruma ait kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir

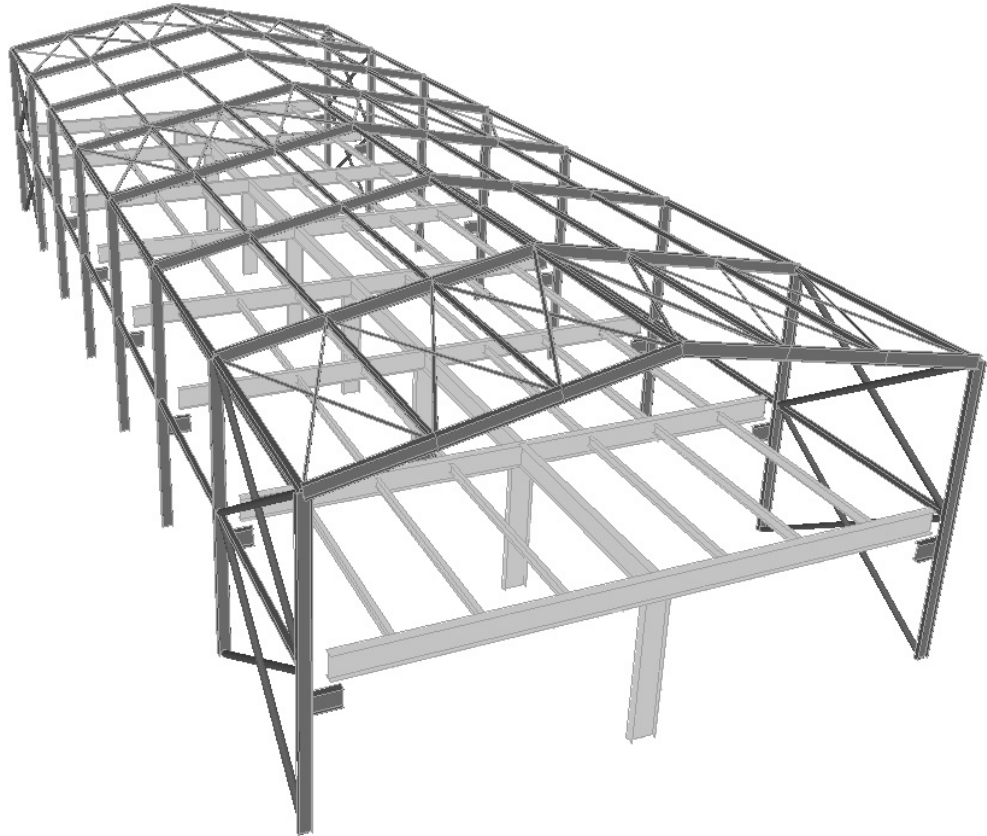
(Şekil 4.43). Ayrıca sistemdeki tüm elemanların plastik taşıma ve şekildeğiştirme kapasitelerine tam olarak ulaşabilmeleri için kirişte uygulanması gereken yanal mesnetlenme mesafesi araştırılmıştır. Kirişin 1/3 aralıklarla yanal olarak mesnetlenmesi gerektiği belirlenmiştir (Şekil 4.43). Ancak binanın mevcut durumunda D1 ve D2 depremlerini stabilite problemi olmadan karşılayabildiği görülmektedir. Ayrıca taşıyıcı sistemde kirişin herhangi bir noktasından yanal olarak mesnetlenmemesi durumu da incelenmiştir. Bu durumda D1 ve D2 depremleri altında, kirişte herhangi bir stabilite problemi oluşmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.43).



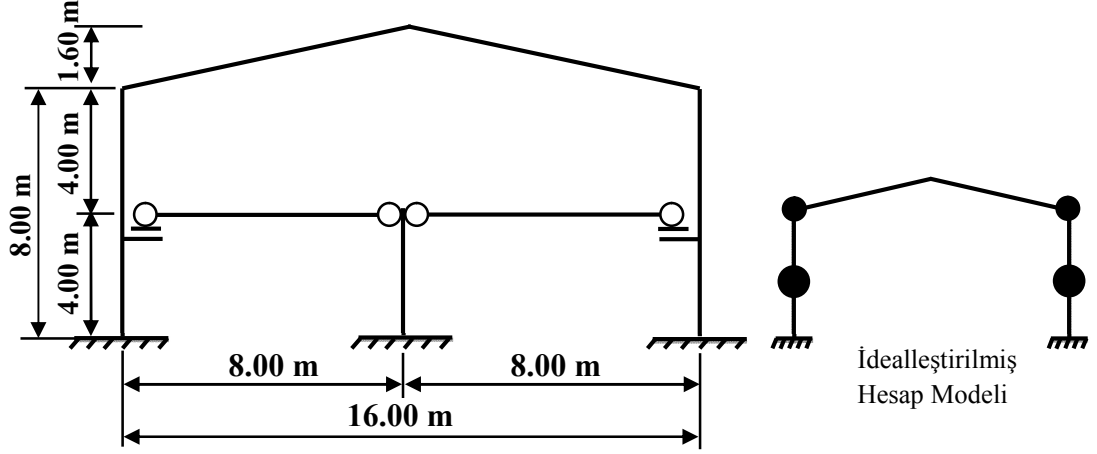
Şekil 4.43 : Bina-2 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

4.3 Bina-3'e Ait Sayısal İncelemeler

Bu bölümde, Bina-3'ün boyutlandırılması ve deprem performansının belirlenmesine yer verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bina-3'te Bina-1 ve Bina-2'den farklı olarak çatı örtüsü ve cephe elemanları için ağır malzeme (gazbeton panel) seçilmiştir. Ayrıca binanın deprem ağırlığını artırmak amacıyla sistemde bir arakat bulunduğu kabul edilmiştir. Ancak arakatın iki doğrultuda da bağımsız çalıştığı ve sisteme sadece (açıklıklarla orantılı olarak belirlenen) düşey yükleri aktardığı kabul edilmiştir. Binanın deprem performansının belirlenmesinde arakat taşıyıcı elemanları gözönüne alınmamıştır. Bina-3'e ait perspektif görünüş ve kısa doğrultu hesap modeli Şekil 4.44-4.45'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44 : Bina-3'ün Perspektif Görünüşü



Şekil 4.45 : Bina-3 Kısa (X) Doğrultusu ve İdealleştirmesi

Bina-3'ün boyutlandırılmasında gözönüne alınan düşey yükler aşağıda verilmiştir.

Sabit Yükler (G): Çatı Yükleri :

Çatı Kaplaması : 0.75 kN/m² (Gazbeton Panel)
Aşıklar : 0.161 kN/m² (Tek gergili IPN 180 profili seçilmiştir.)
Çelik Konstrüksiyon : 0.260 kN/m²

Cephe Yükleri:

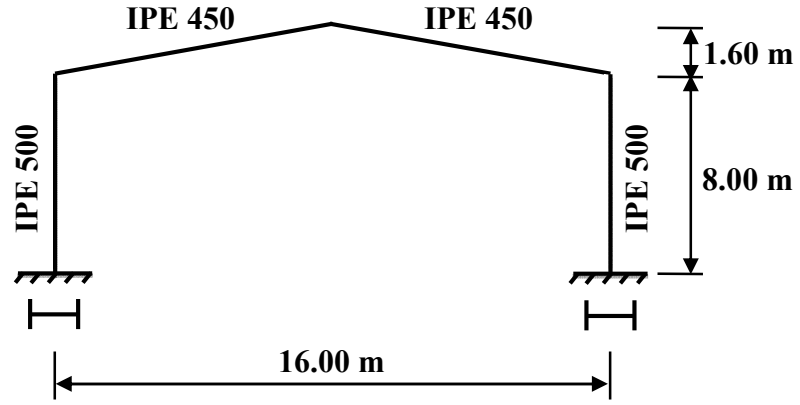
Çatı Kaplaması : 0.75 kN/m² , Cephe Elemanları : 0.15 kN/m²
Çelik Konstrüksiyon : 0.888 kN/m

Hareketli Yükler (Q): Kar Yüğü : 0,75 kN/m²

Arakat Yükleri : Sabit Yükler : 3,822 kN/m² , Hareketli Yükler : 5,00 kN/m²

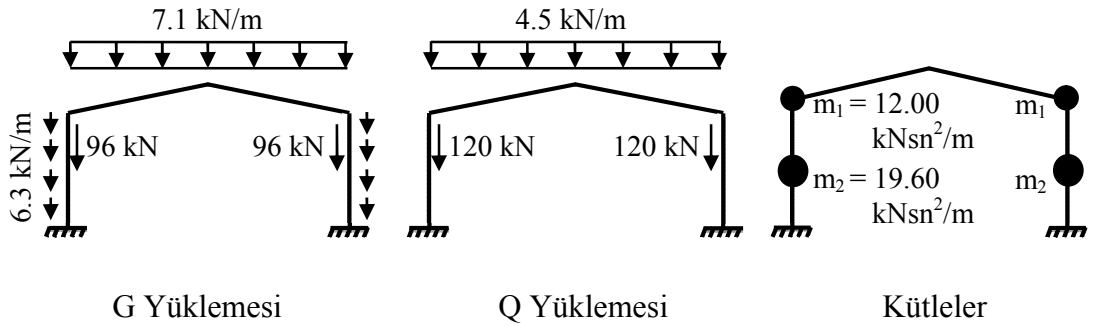
4.3.1 Bina-3'ün Boyutlandırılması

Bina-3'ün kısa doğrultudaki kiriş ön boyutu IPE 450, kolon ön boyutu IPE 500 seçilmiştir. Seçilen ön boyutlar Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



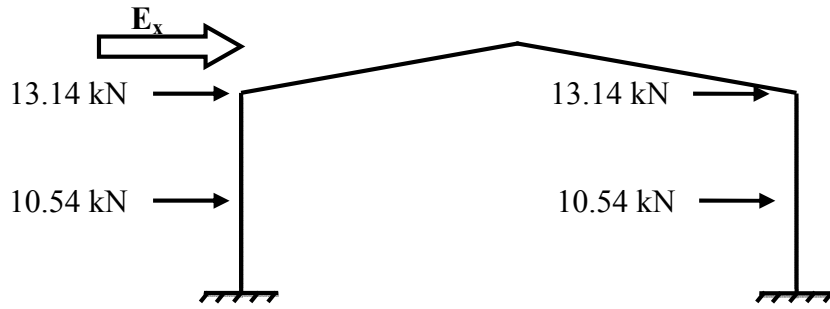
Şekil 4.46 : Bina-3 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.47'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan çerçeve toplam ağırlığı $W = 622$ kN olarak elde edilmiştir.



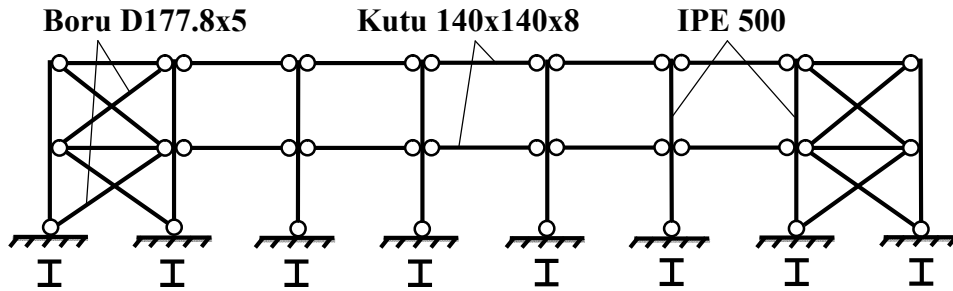
Şekil 4.47 : Bina-3 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Bina-3'ün kısa doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1x} = 0.74$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 47.36$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.48'de gösterilmiştir.



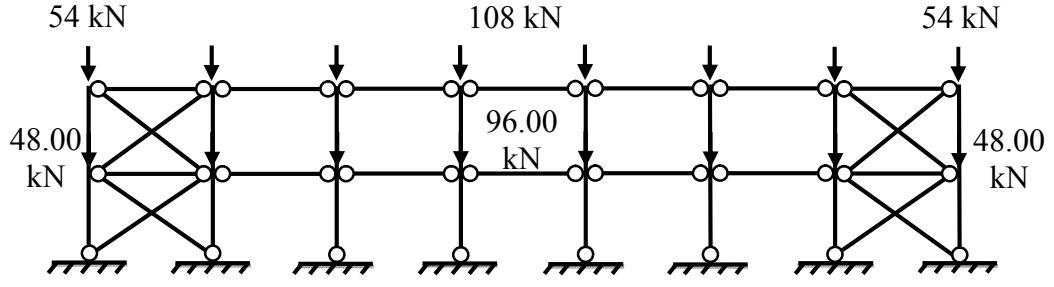
Şekil 4.48 : Bina-3 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Uzun doğrultudaki kirişler ve çapraz elemanlar için seçilen ön boyutlar Şekil 4.49'da gösterilmiştir.

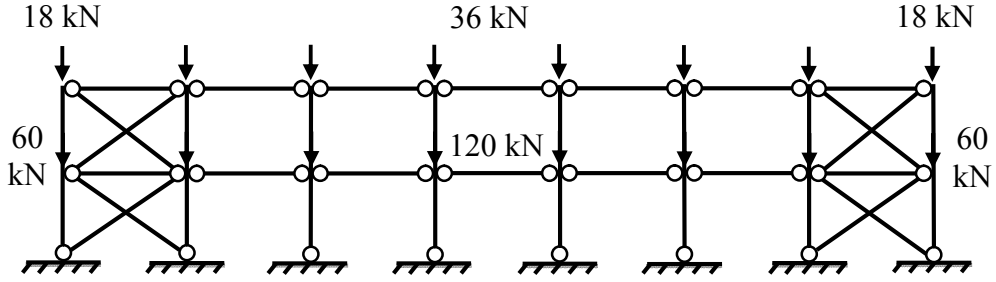


Şekil 4.49 : Bina-3 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

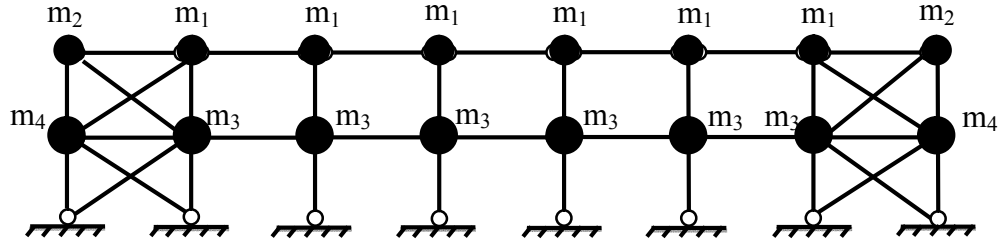
Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.50'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı $W = 2177$ kN olarak elde edilmiştir.



G Yüklemesi



Q Yüklemesi

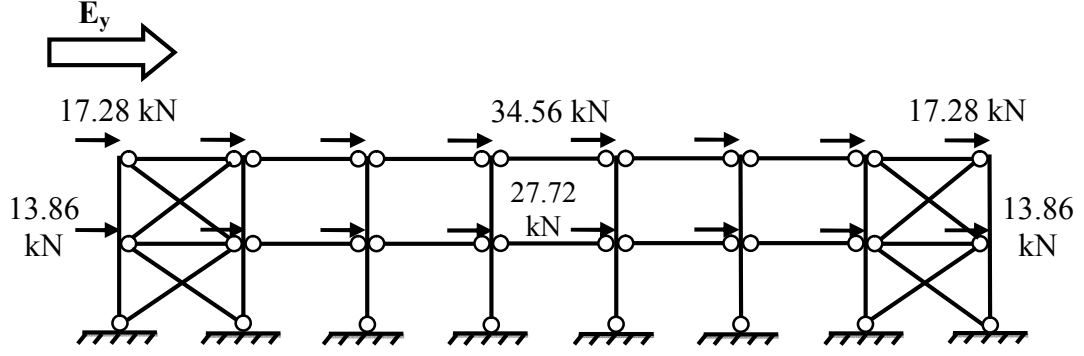


$$m_1 = 12.00 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_2 = 6.00 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_3 = 19.60 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_4 = 9.80 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Küteller

Şekil 4.50 : Bina-3 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Küteller

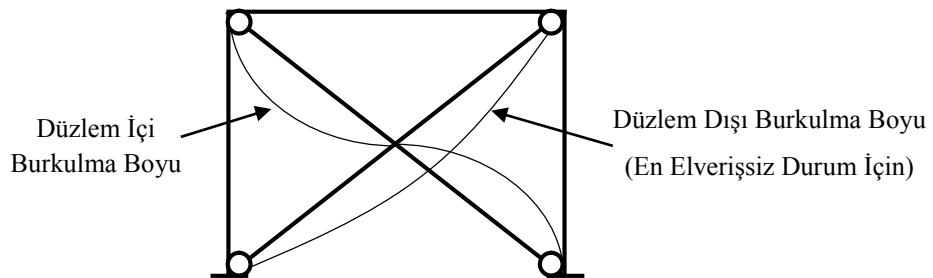
Bina-3'ün uzun doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1y} = 0.255$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınarak merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sisteme etkiyen deprem yükü $V_t = 435.40$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51 : Bina-3 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Binanın uzun doğrultusunda rüzgar yüklerinin büyük bir kısmını rüzgar kolonları taşıdığından, merkezi çaprazlı perde sisteme etkileyen rüzgar yüklerinin etkisi ihmal edilmiştir.

X tipi çapraz perdelerde çaprazların düzlem içi burkulma boyları büyük ölçüde azaldığından, her iki asal eksene göre simetrik kesitler kullanılması durumunda düzlem dışı burkulma boyları tasarımda kritik olmaktadır. Bu tip çaprazlarda, çaprazların uç ve orta noktalarındaki bağlantı detayları ve çaprazların eğilme rijitlikleri düzlem dışı burkulma boylarını önemli ölçüde etkilemektedir [41-43]. Düzlem içi ve düzlem dışı burkulma Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



Şekil 4.52 : Çapraz Elemanlarda Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Burkulma Boyları

Bina-3’ün uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminde çaprazların düzlem dışı burkulma boyu olarak en elverişsiz durum olan çubuk boyu esas alınmıştır.

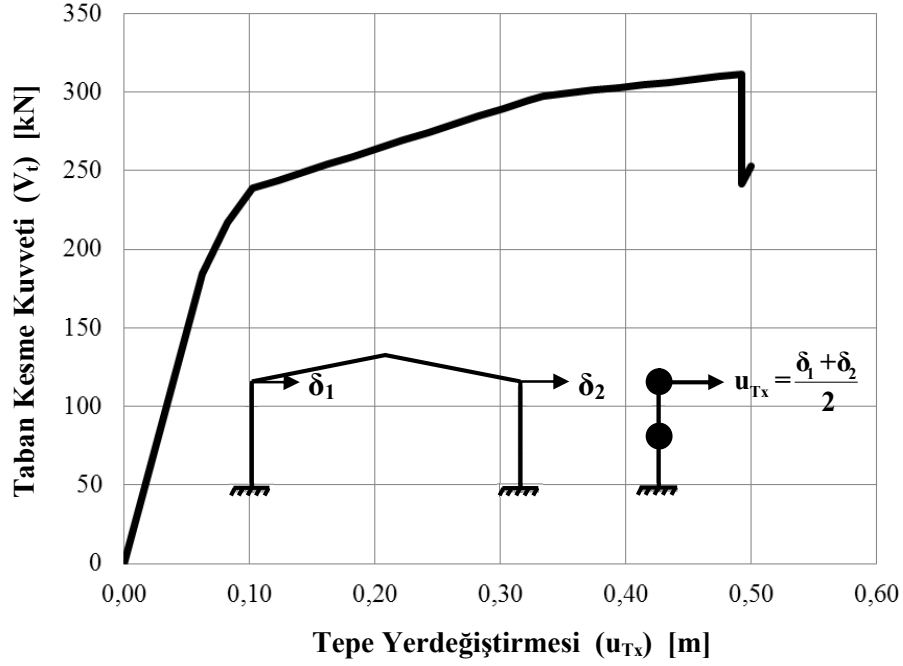
Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyutlandırmalar diğer binalardakine benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.20’de özetlenmiştir.

Tablo 4.20 : Bina-3’e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

Tasarım Parametresi		Kolon (IPE 500)	Çerçeve Kirişi (IPE 450)	Çaprazlar (Boru D177.8x5)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	b/2t	6.25 / 8.88	6.51 / 8.88	----	----
	h/tw D/t	49.02 / 77.24	47.8 / 94.78	35.56 / 43.87	17.50 / 20.73
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		93 / 250	66 / 250	118 / 118	113 / 118
Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi / Sınır Mesafe (lb) [m]		----	2.72 / 3.76	----	----
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		4.00 / 8.00	2.72 / 8.15	----	----
Maksimum Görelî Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.022 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.0018 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehim / Sınır Sehim		----	$\frac{L}{454} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	1.27 / 1.33	1.16 / 1.33	0.98 / 1.33	0.31 / 1.33
	G+Q+W	1.04 / 1.15	0.93 / 1.15	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.17 / 1.33	0.28 / 1.33	----	----
	G+Q+W	0.14 / 1.15	0.23 / 1.15	----	----

4.3.2 Bina-3'ün Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina-3'ün kısa doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.53'te gösterilmiştir.



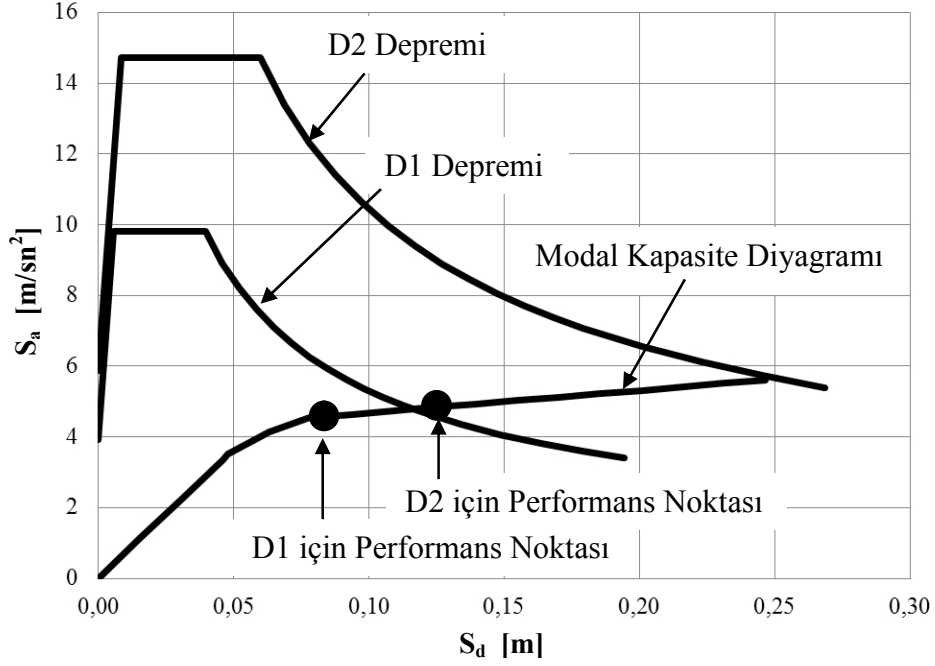
Şekil 4.53 : Bina-3 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.21'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21 : Bina-3 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.1114	0.1095
D2	0.1694	0.1643

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54 : Bina-3 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.22-4.23).

Tablo 4.22 : Bina-3 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

● $\theta_p < \theta_{HK}$
● $\theta_{HK} \leq \theta_p < \theta_{CG}$
● $\theta_{CG} \leq \theta_p < \theta_{GÖ}$
● $\theta_p \geq \theta_{GÖ}$

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0061	0.0364	0.0485	0.00265	0.00241	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	Diğer				Elastik			
	14				0.00747	0.00720	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
Kiriş	11	0.0078	0.0469	0.0625	-0.0017	-0.0014	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	Diğer				Elastik			

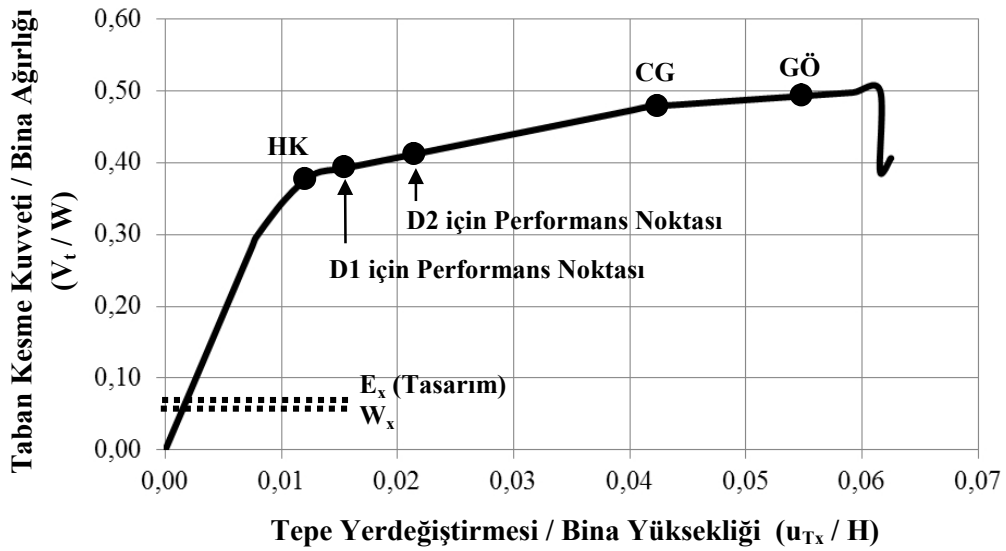
Tablo 4.23 : Bina-3 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

● $\theta_p < \theta_{HK}$
● $\theta_{HK} \leq \theta_p < \theta_{CG}$
● $\theta_{CG} \leq \theta_p < \theta_{GÖ}$
● $\theta_p \geq \theta_{GÖ}$

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0061	0.0364	0.0485	0.01009	0.00945	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	14				0.01492	0.01429		
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	
Kiriş	11	0.0078	0.0469	0.0625	-0.0108	-0.0099	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	Diğer				Elastik			

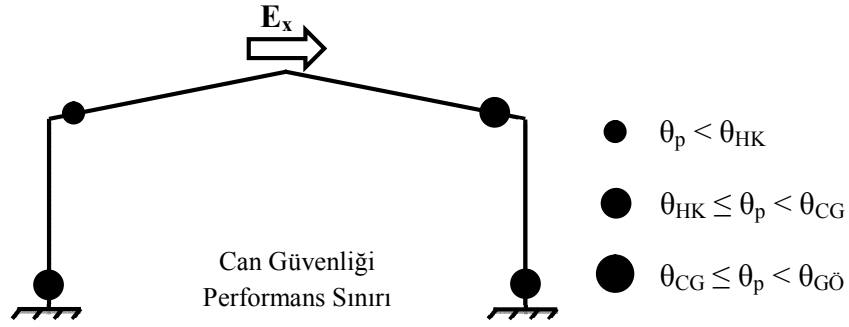
Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-3'ün kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için performansı Hasar Kontrol performans bölgesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin üzerinde olduğu görülmüştür.

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekilgeçiş kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.55). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



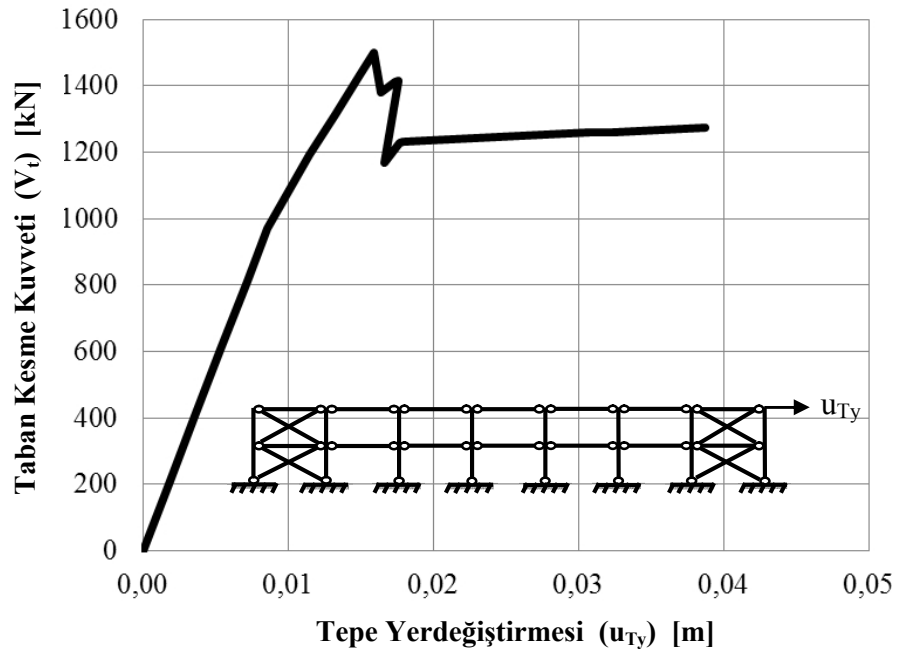
Şekil 4.55 : Bina-3 Kısa Doğrultu Normleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış çerçeve için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman uçlarında meydana gelmiştir.



Şekil 4.56 : Bina-3 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

Bina-3'ün uzun doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.57'de gösterilmiştir.



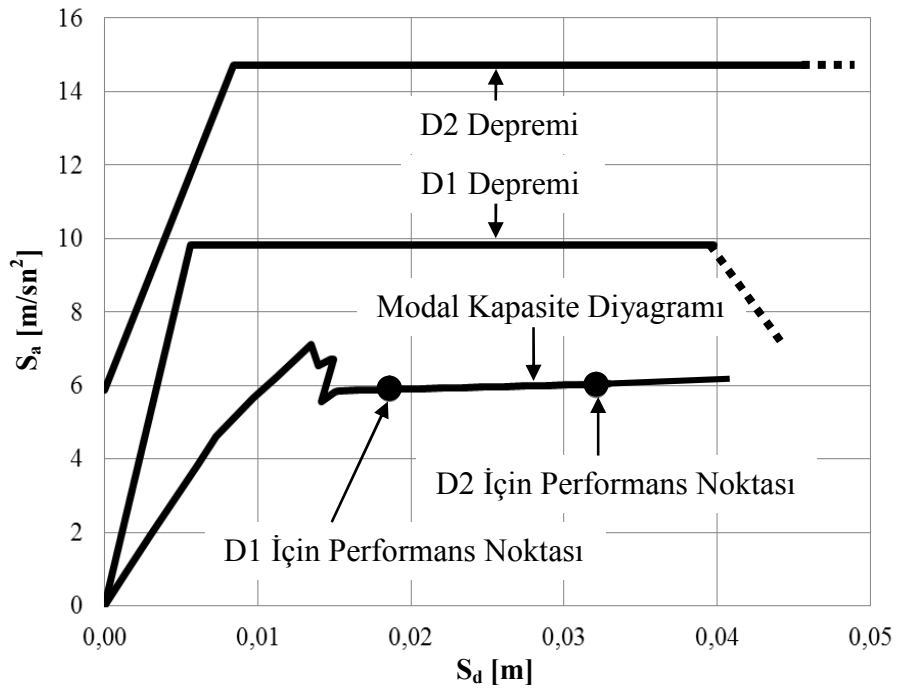
Şekil 4.57 : Bina-3 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.24 : Bina-3 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirme Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirme Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0210	0.0226
D2	0.0379	0.0381

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirme talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



Şekil 4.58 : Bina-3 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.25-4.26).

Tablo 4.25 : Bina-3 Uzun Doğruğu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0015	- 0.0330	- 0.0450	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0021	0.0575	0.0740	0.00450	0.00547	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	5				0.00364	0.00470		
	Diğer				Elastik			
Çapraz (Basınç)	2	- 0.0010	- 0.0203	- 0.0286	-0.0126	-0.0136	Hemen Kullanım Performans Bölgesi (S - 2)	
	6				-0.0127	-0.0137		
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	

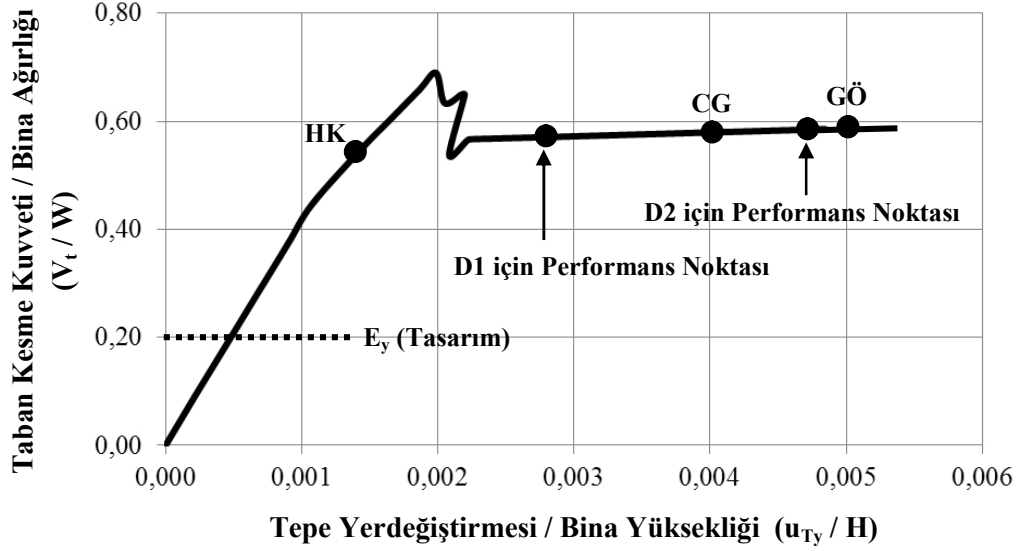
Tablo 4.26 : Bina-3 Uzun Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0015	- 0.0330	- 0.0450	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	- 0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0021	0.0575	0.0740	0.01795		Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	5				0.01705			
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	
Çapraz (Basınç)	2	- 0.0010	- 0.0203	- 0.0286	-0.0263		Sınırlı Güvenlik Performans Bölgesi (S - 4)	
	6				-0.0264			
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-3'ün uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 depremi için performansı Hasar Kontrol performans bölgesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin üzerinde olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin D2 depremi için performansı Sınırlı Güvenlik performans bölgesi olarak belirlenmiştir.

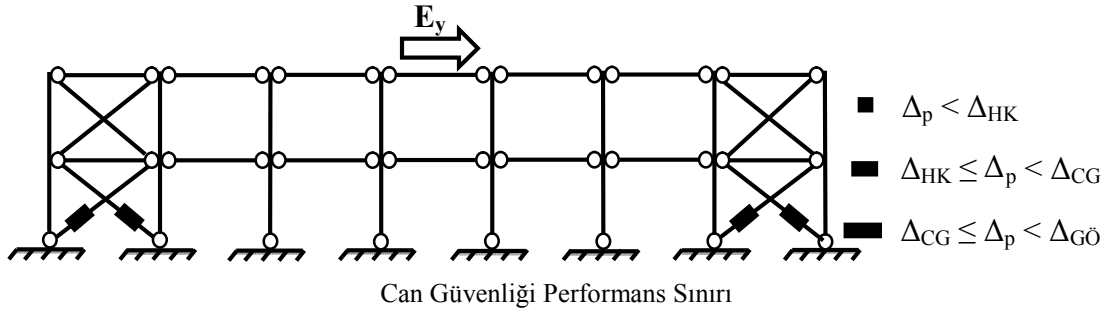
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekil değiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları

belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.59). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.59 : Bina-3 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

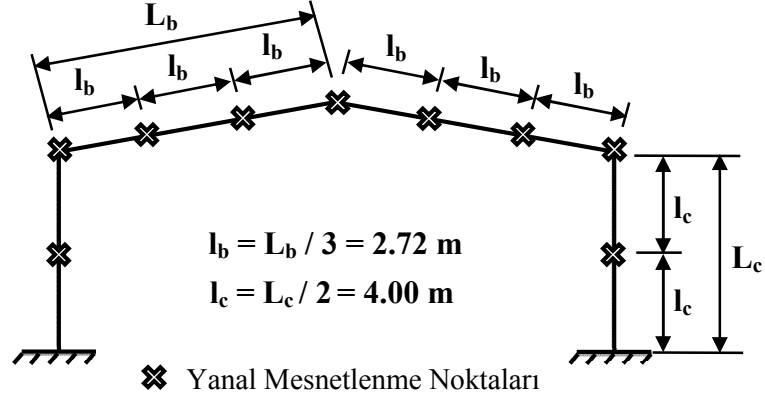
Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış taşıyıcı sistem için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.60'ta gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman boyunca meydana gelmiştir. Bu plastik kesitleri temsilen çapraz elemanların ortasında eleman boyunca oluşan boy değişimlerinin toplamı olarak tek bir plastik kesit gösterilmiştir.



Şekil 4.60 : Bina-3 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.3.3 Bina-3'te Stabilite Kontrolleri

Bina-3'te mevcut yanal mesnetlenme durumu Şekil 4.61'de gösterilmiştir. Bina-3 süneklik düzeyi yüksek sistem olduğu için boyutlandırma aşamasında deprem yönetmeliğine göre kiriş 1/3 aralıklarla tutulmuştur [8]. Kolonlarda ise arakatın yanal (burulmalı) burkulmayı engellediği ve bu nedenle yanal mesnetlenme mesafesinin (l_c) kolon boyunun yarısına eşit olduğu kabul edilmiştir. Mesnetlerin ve düğüm noktalarının da yanal olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir.



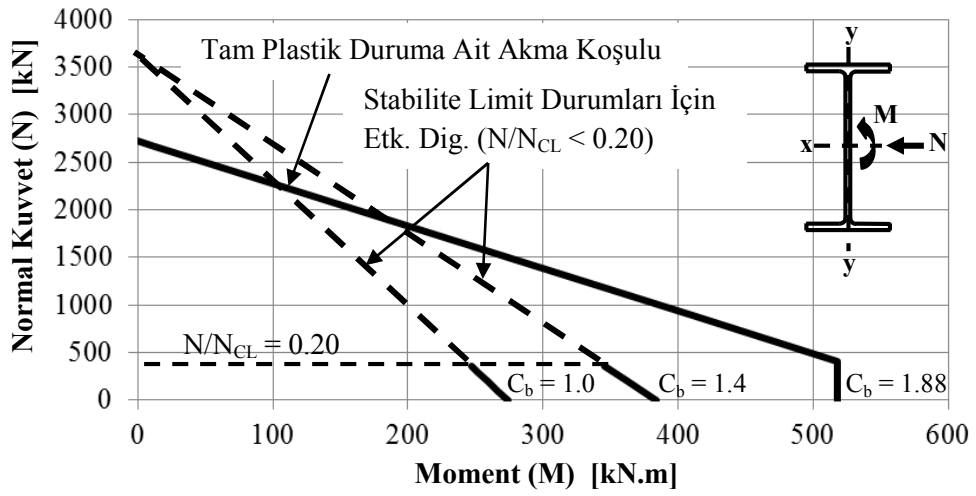
Şekil 4.61 : Bina-3'de Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri

Bina-3 ağır bina olduğu için Bina-1 ve Bina-2'den farklı olarak kolonlarda, stabilite limit durumlarını içeren etkileşim bağıntılarının kullanılması gerekmektedir. Bunun için normal kuvvet düzeyine bağlı olarak LRFD'de [33] verilen etkileşim bağıntıları esas alınmıştır (4.47-4.48). Bu bağıntılarda normal kuvvet taşıma kapasitesi olarak eğilme burkulmasına göre belirlenen değer (N_{CL}), moment taşıma kapasitesi olarak ise yanal (burulmalı) burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb}) esas alınmıştır.

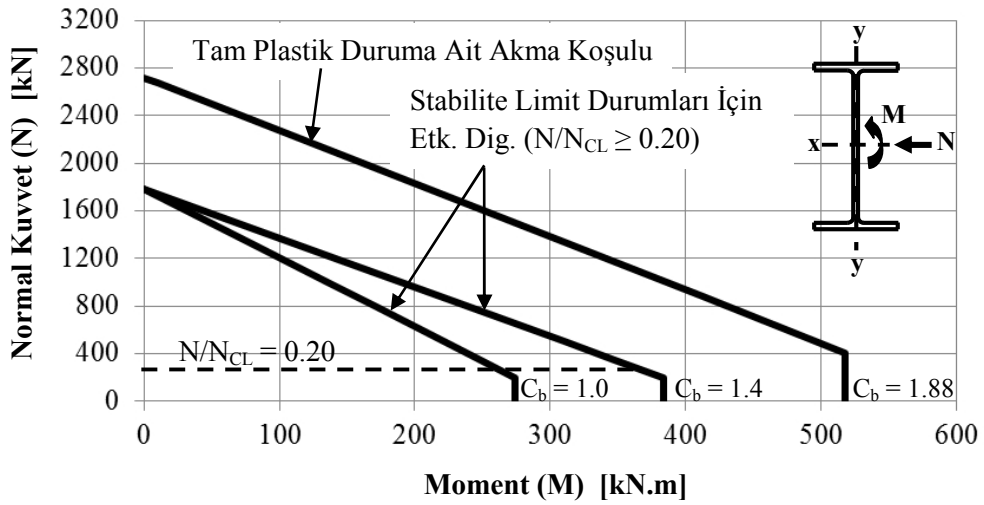
$$N/N_{CL} \geq 0.2 \text{ için } \frac{N}{N_{CL}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M}{M_{nb}} \right) \leq 1.0 \quad (4.47)$$

$$N/N_{CL} < 0.2 \text{ için } \frac{N}{2N_{CL}} + \frac{M}{M_{nb}} \leq 1.0 \quad (4.48)$$

Çerçeve kolonu için stabilite limit durumlarını içeren etkileşim bağıntıları (4.47-4.48) ve tam plastik duruma ait etkileşim bağıntısı Şekil 4.62 ve 4.63'te üst üste çizilerek gösterilmiştir. Elemanın yanal (burulmalı) burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb}), üzerindeki moment dağılımına (C_b) göre değiştiği için etkileşim diyagramında C_b 'ye göre değişim göstermektedir.

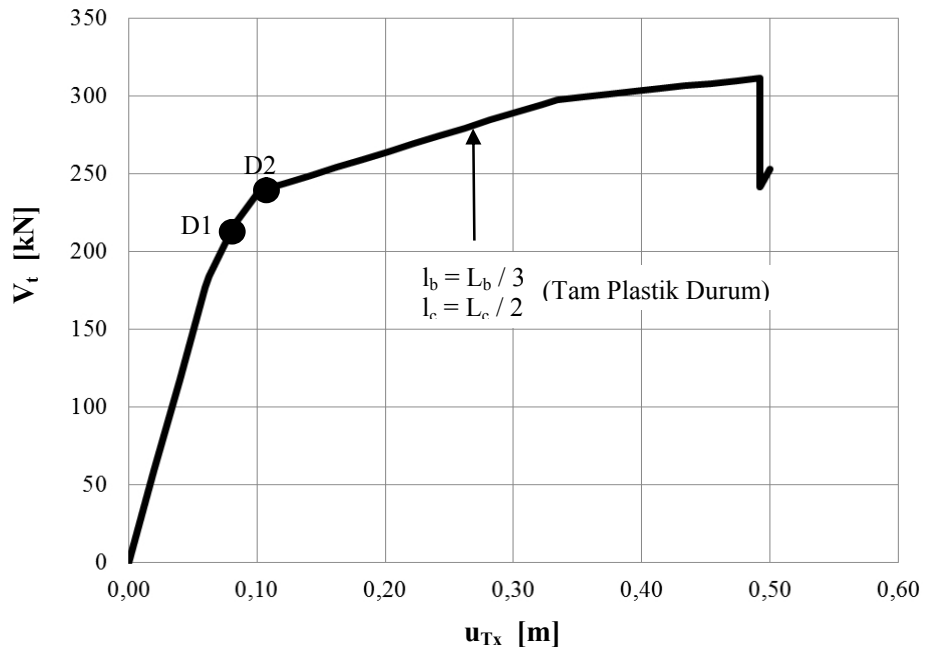


Şekil 4.62 : Bina-3 Çerçeve Kolonu İçin Etkileşim Diyagramları ($N/N_{CL} < 0.20$)



Şekil 4.63 : Bina-3 Çerçeve Kolonu İçin Etkileşim Diyagramları ($N/N_{CL} \ge 0.20$)

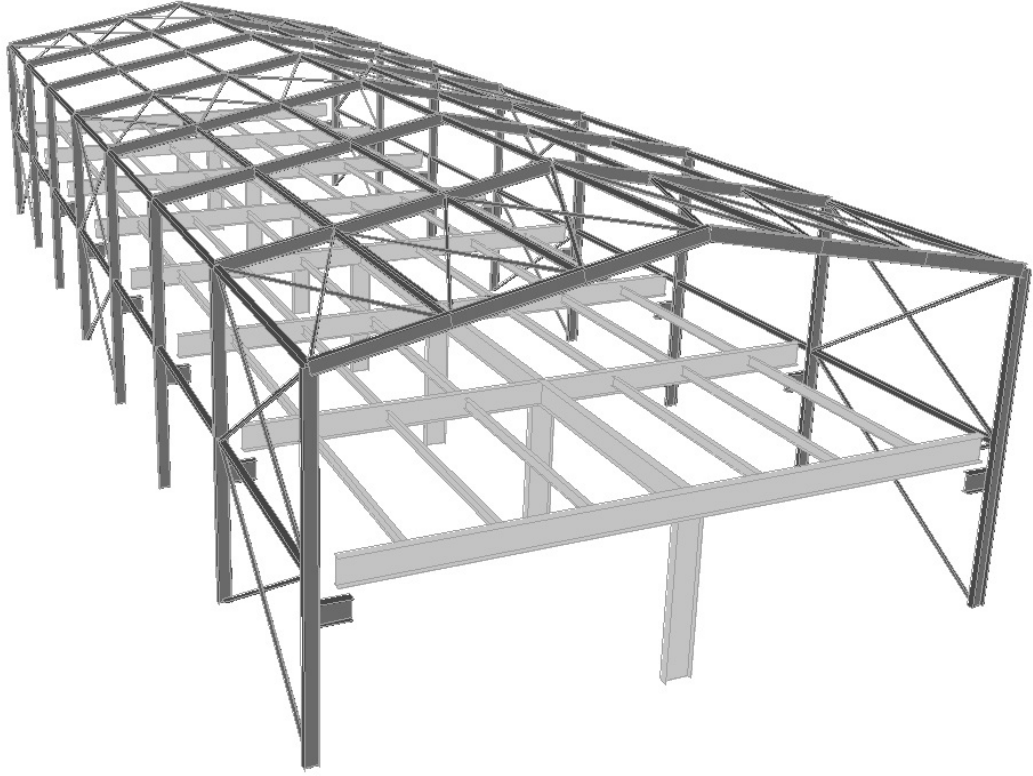
Sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri için yapılan doğrusal olmayan analizde, kolonlar için stabilite limit durumlarını içeren etkileşim diyagramları, kirişler için yanal burkulmalı moment taşıma kapasiteleri kontrol edilmiştir. Sonuç olarak kirişleri boyunun üçte biri aralıklarla tutulan, kolonları ise orta noktalarından tutulan Bina-3’te, tüm elemanların plastik taşıma kapasitelerini ve şekildeğiştirme kapasitelerini herhangi bir stabilite problemi olmadan kullanabildikleri belirlenmiştir (Şekil 4.64).



Şekil 4.64 : Bina-3 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

4.4 Bina-4 'e Ait Sayısal İncelemeler

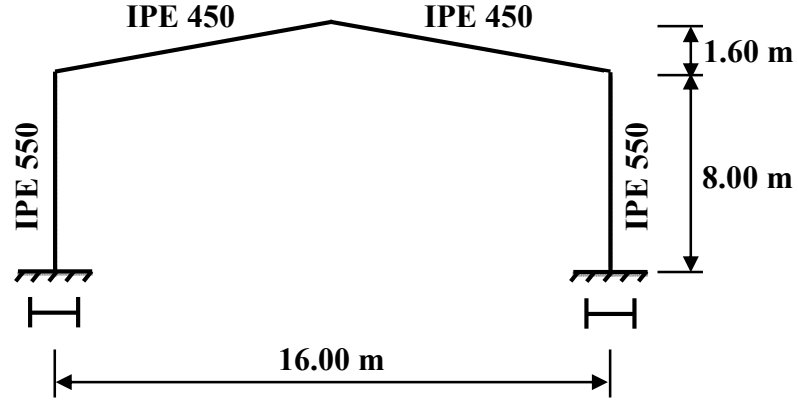
Bu bölümde, Bina-4'ün boyutlandırılması, deprem performansının belirlenmesi anlatılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bina-4'ün düşey yükleri ve arakat özellikleri, Bina-3 ile aynı olup sadece süneklik düzeyi normal olarak seçilmiştir. Bina-4'e ait perspektif görünüşü Şekil 4.65'de verilmiştir.



Şekil 4.65 : Bina-4'ün Perspektif Görünüşü

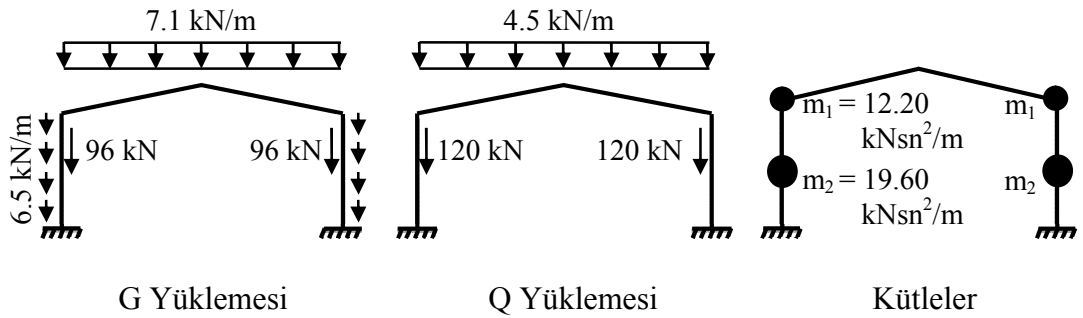
4.4.1 Bina-4'ün Boyutlandırılması

Bina-4'ün kısa doğrultudaki kiriş önboyutu IPE 450, kolon önboyutu IPE 550 seçilmiştir. Seçilen önboyutlar Şekil 4.66'da gösterilmiştir.



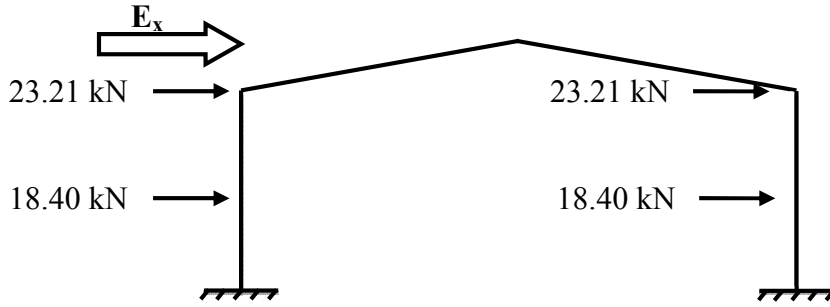
Şekil 4.66 : Bina-4 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.67'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan çerçeve toplam ağırlığı $W = 624$ kN olarak elde edilmiştir.



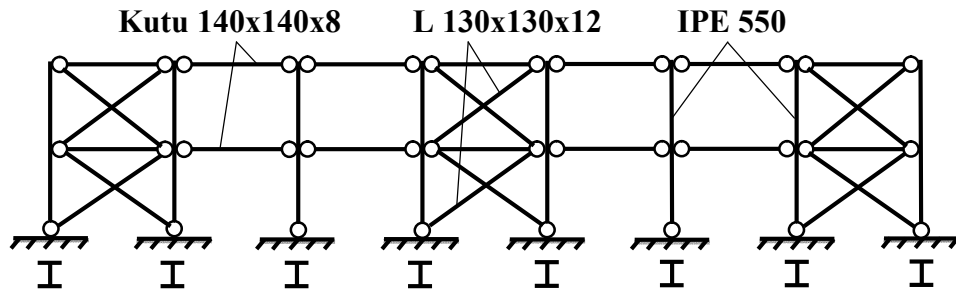
Şekil 4.67 : Bina-4 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Bina-4'ün kısa doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1x} = 0.66$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi normal sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 83$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.68'de gösterilmiştir.



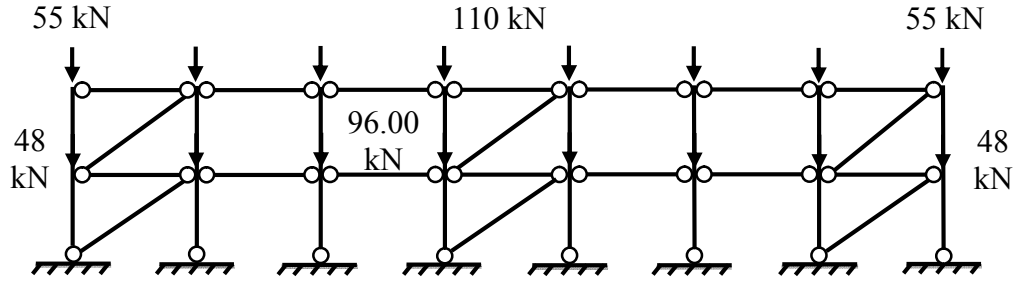
Şekil 4.68 : Bina-4 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Uzun doğrultudaki kirişler ve çapraz elemanlar için seçilen ön boyutlar Şekil 4.69'da gösterilmiştir.

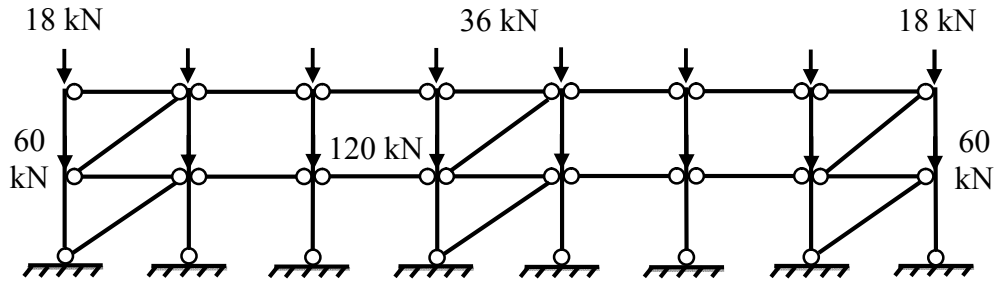


Şekil 4.69 : Bina-4 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

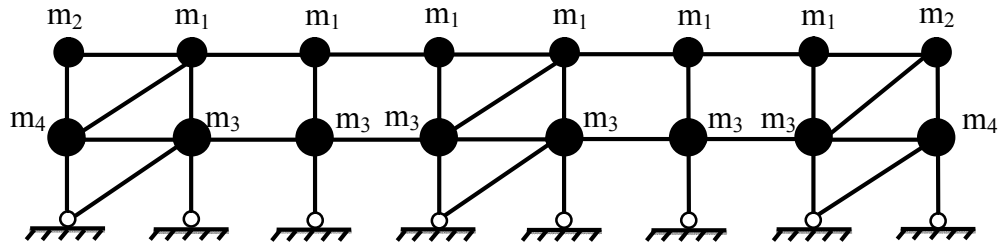
Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.70'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı $W = 2185$ kN olarak elde edilmiştir.



G Yüklemesi



Q Yüklemesi

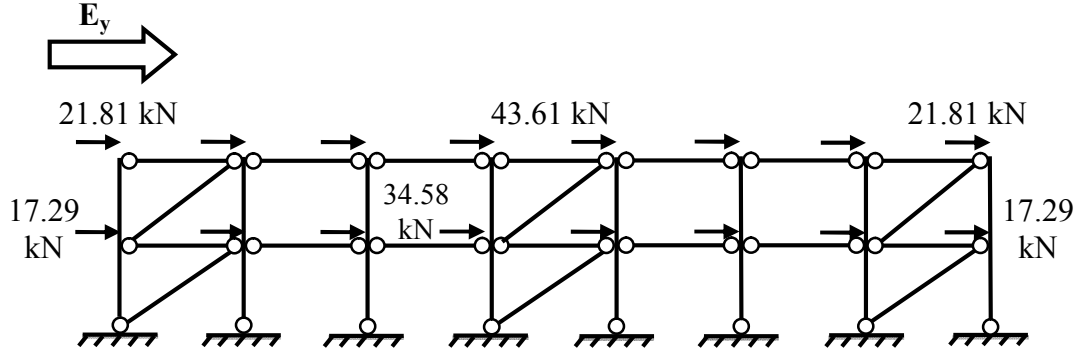


$$m_1 = 12.20 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_2 = 6.10 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_3 = 19.60 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_4 = 9.80 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Kütleler

Şekil 4.70 : Bina-4 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükleler ve Kütleler

Bina-4'ün uzun doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1y} = 0.28$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi normal sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 4$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 547$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.71'de gösterilmiştir.



Şekil 4.71 : Bina-4 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Binanın uzun doğrultusunda rüzgar yüklerinin büyük bir kısmını rüzgar kolonları taşıdığından, merkezi çaprazlı perde sisteme etkiyen rüzgar yüklerinin etkisi ihmal edilmiştir.

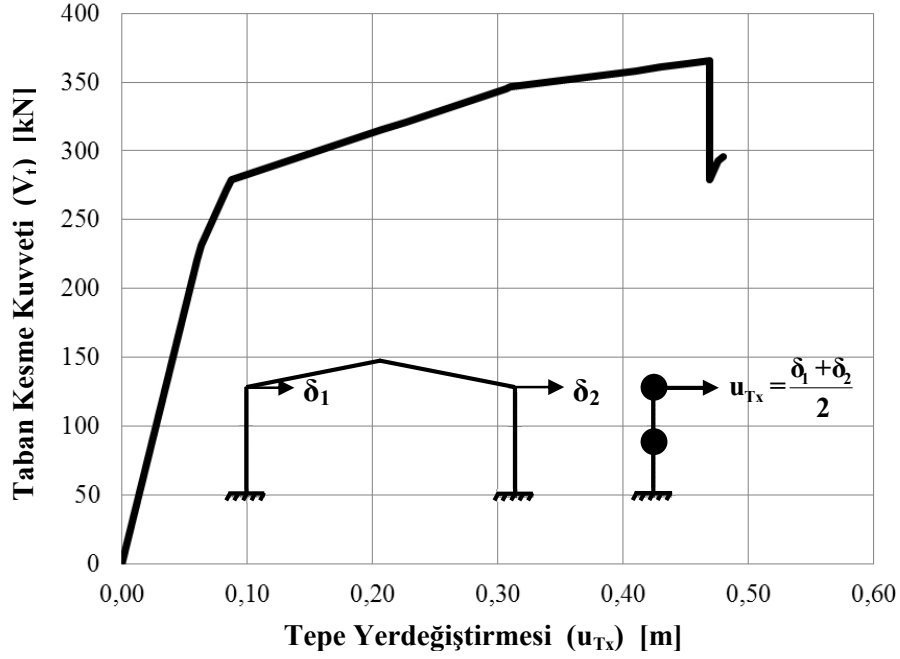
Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyutlandırmalar diğer binalardakine benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.27’de özetlenmiştir.

Tablo 4.27 : Bina-4’e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

Tasarım Parametresi		Kolon (IPE 550)	Çerçeve Kirişi (IPE 450)	Çaprazlar (L 130x130x12)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	$b_f/2t_f$	6.11 / 14.81	6.51 / 14.81	----	----
	h/t_w D/t	49.55 / 121.4	47.8 / 148.1	10.83 / 14.81	17.50 / 35.49
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		90 / 250	132 / 250	284 / ---	113 / 118
Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi / Sınır Mesafe (l_b) [m]		----	8.15 / ----	----	----
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		4.00 / 8.00	544 / 8.15	----	----
Maksimum Göreli Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.017 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.0015 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehim / Sınır Sehim		----	$\frac{L}{507} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	1.12 / 1.33	1.20 / 1.33	1.28 / 1.33	0.59 / 1.33
	G+Q+W	0.84 / 1.15	0.98 / 1.15	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.19 / 1.33	0.29 / 1.33	----	----
	G+Q+W	0.12 / 1.15	0.23 / 1.15	----	----

4.4.2 Bina-4'ün Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina-4'ün kısa doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.72'de gösterilmiştir.



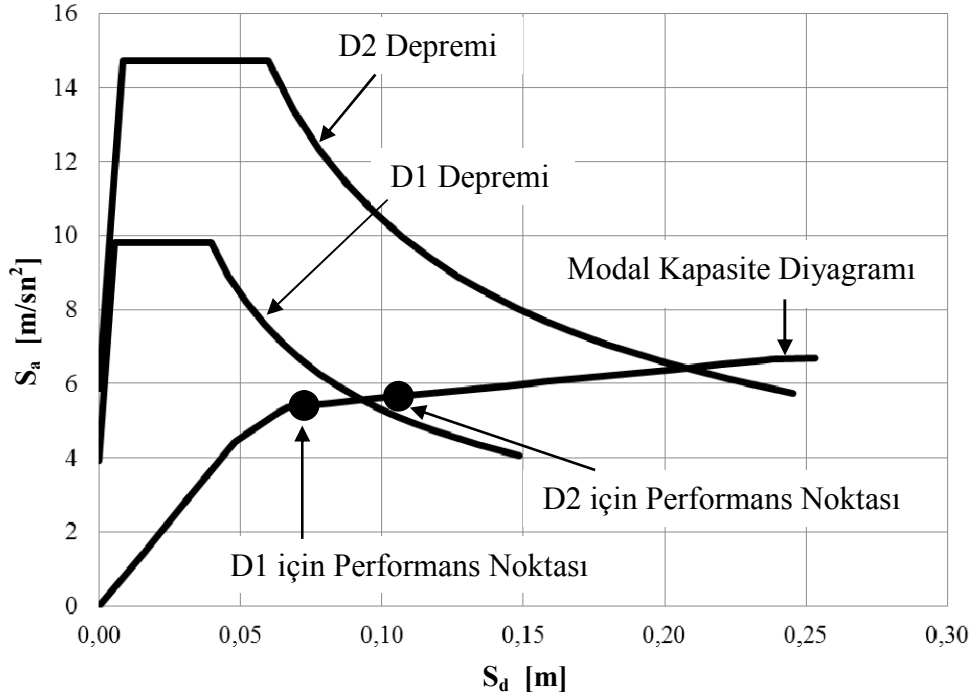
Şekil 4.72 : Bina-4 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.28'de gösterilmiştir.

Tablo 4.28 : Bina-4 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0974	0.0957
D2	0.1490	0.1435

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.73’de gösterilmiştir.



Şekil 4.73 : Bina-4 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.29-4.30).

Tablo 4.29 : Bina-4 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

● $\theta_p < \theta_{HK}$
● $\theta_{HK} \leq \theta_p < \theta_{CG}$
● $\theta_{CG} \leq \theta_p < \theta_{GÖ}$
● $\theta_p \geq \theta_{GÖ}$

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0057	0.0342	0.0456	0.00128	0.00108	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	14				0.00515	0.00487		
	Diğer				Elastik			
Kiriş	11	0.0078	0.0469	0.0625	-0.0022	-0.0017	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	Diğer				Elastik			

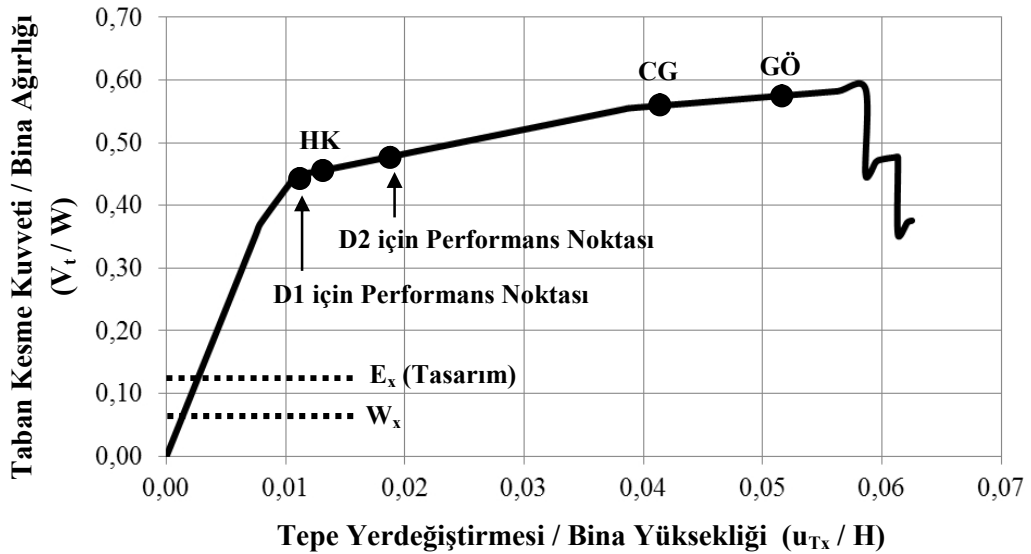
Tablo 4.30 : Bina-4 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

● $\theta_p < \theta_{HK}$
● $\theta_{HK} \leq \theta_p < \theta_{CG}$
● $\theta_{CG} \leq \theta_p < \theta_{GÖ}$
● $\theta_p \geq \theta_{GÖ}$

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi		
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY	
Kolon	1	0.0057	0.0342	0.0456	0.00769	0.00701	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)		
	14				0.01174	0.01099			
	Diğer				Elastik				Hemen Kullanım
Kiriş	11	0.0078	0.0469	0.0625	-0.0105	-0.0095	Hasar Kontrol		
	Diğer				Elastik				Hemen Kullanım

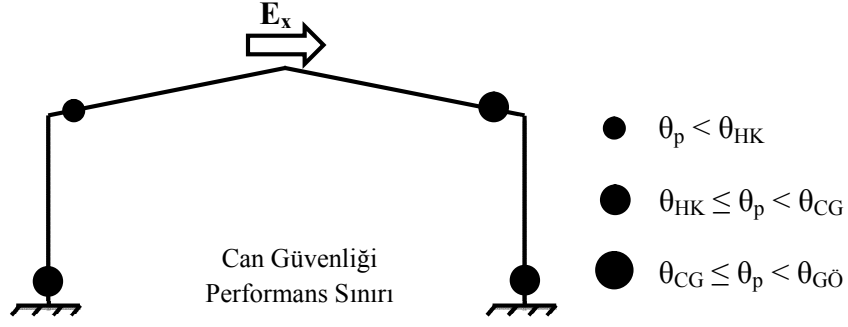
Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-4'ün kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 depremi için performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin D2 depremi için performansı Hasar Kontrol performans bölgesi olarak belirlenmiştir.

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekil değiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.74). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



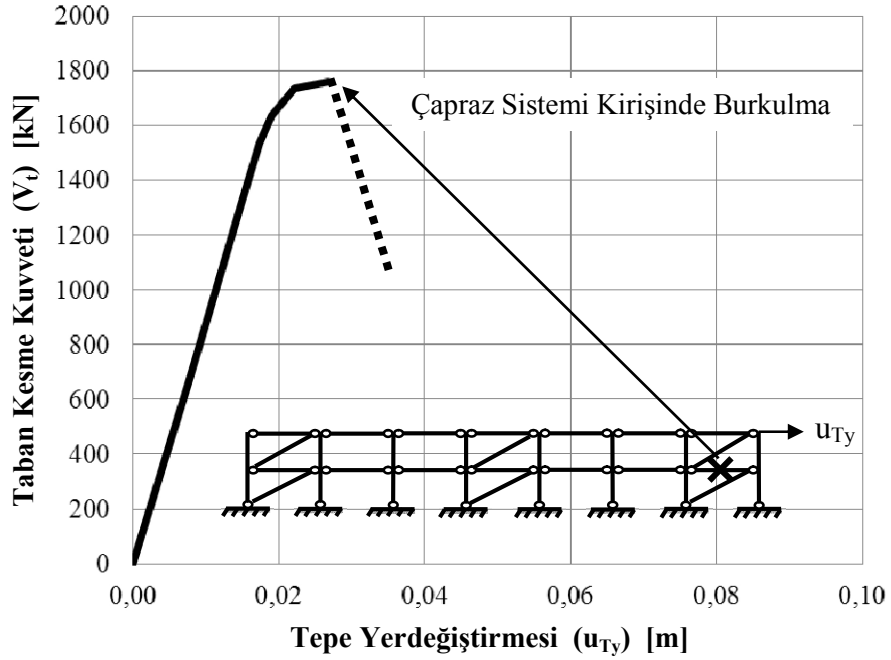
Şekil 4.74 : Bina-4 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış çerçeve için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.75'te gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman uçlarında meydana gelmiştir.



Şekil 4.75 : Bina-4 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

Bina-4'ün uzun doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.76'da gösterilmiştir. ASCE/SEI 41-06'ya göre merkezi basınca maruz kiriş ve kolonların kuvvet kontrollü olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna göre , bu sistemin doğrusal olmayan analizinde, çapraz sistemi kirişlerinden birinde meydana gelen burkulma nedeniyle analiz sonlandırılmıştır.



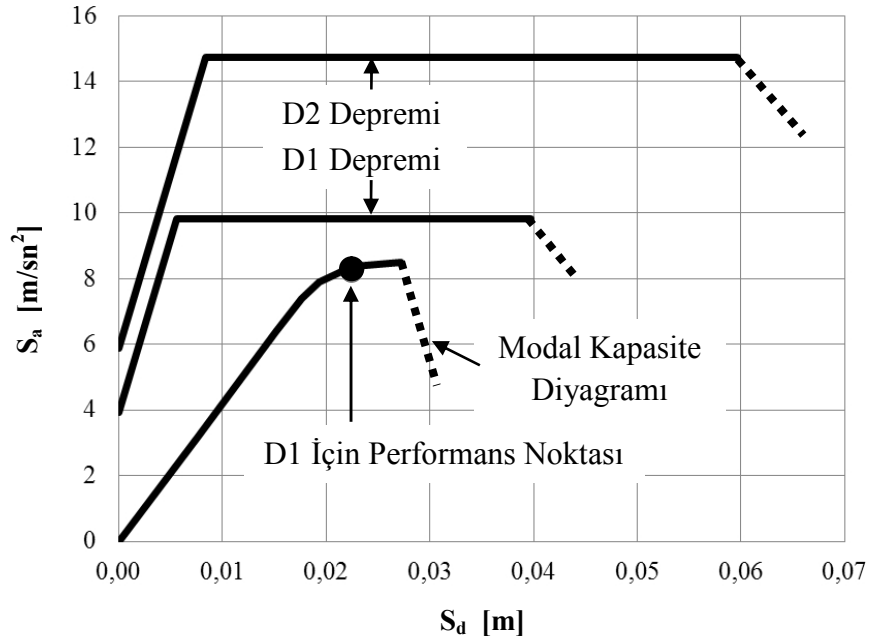
Şekil 4.76 : Bina-4 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 depremi için yerdeğiştirme talebi (performans noktası) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.31’de gösterilmiştir. D2 depremi için ise kapasite eğrisinin sonlanması nedeniyle yerdeğiştirme talebi belirlenememiştir.

Tablo 4.31 : Bina-4 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirme Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirme Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0254	0.0262
D2	----	----

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen D1 depremi için tepe yerdeğiştirme talebi ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77 : Bina-4 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Performans Noktası (TDY)

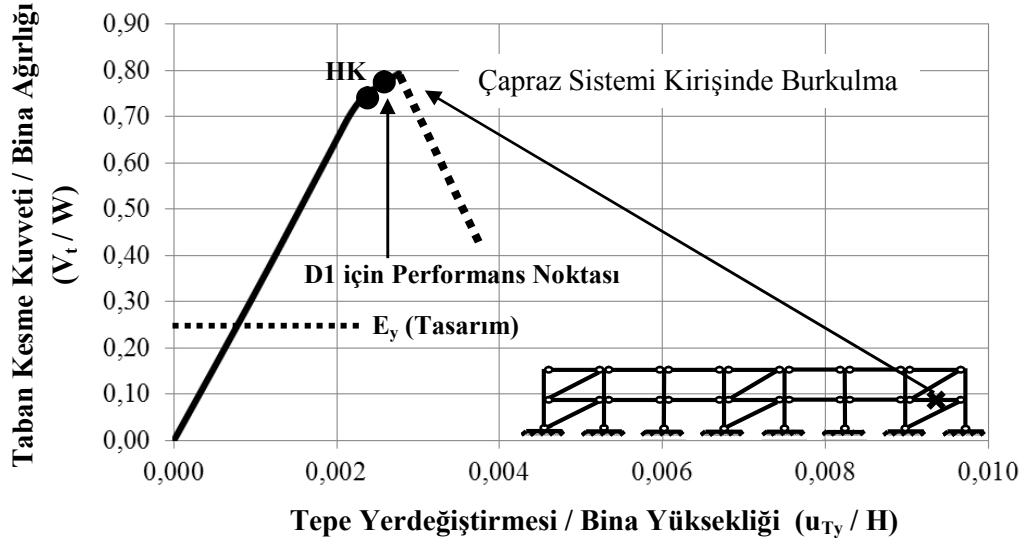
D1 depremi için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.32).

Tablo 4.32 : Bina-4 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0015	- 0.0336	- 0.0459	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0021	0.0575	0.0740	0.00243	0.00289	Hasar Kontrol	
	2				0.00118	0.00132	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	Diğer	Elastik						

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-4'ün uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 depremi için performansı Hasar Kontrol performans bölgesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin üzerinde olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin D2 depremi için performansı Göçme olarak belirlenmiştir.

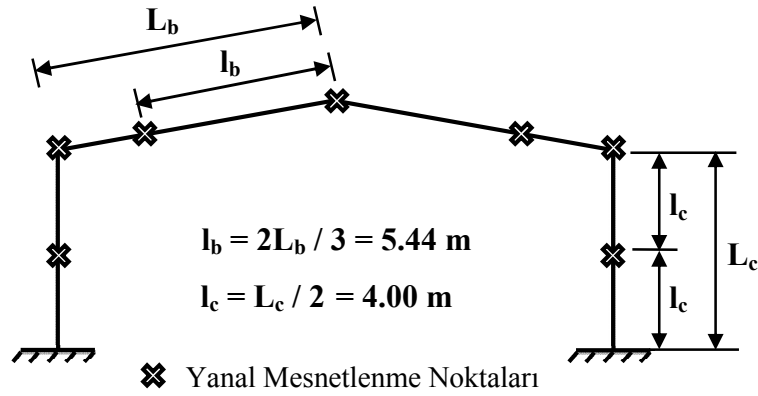
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.78). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.78 : Bina-4 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

4.4.3 Bina-4'te Stabilite Kontrolleri

Bina-4'te mevcut yanal mesnetlenme durumu Şekil 4.79'da gösterilmiştir. Bina-4 süneklik düzeyi normal sistem olduğu için kirişlerde yanal mesnetlenme koşulu bulunmamaktadır. Ancak boyutlandırma aşamasında TS 648 gereğince kiriş basınç başlığını tutmak amacıyla kolon-kiriş birleşiminden itibaren açıklığın üçte birinde yanal olarak mesnetlenmişlerdir. Bu durumda yanal olarak mesnetlenmemiş mesafe $l_b = 5.44$ m olmaktadır. Kolonlarda ise arakatın yanal burulmalı burkulmayı engellediği ve bu nedenle yanal mesnetlenme mesafesinin (l_c) kolon boyunun yarısına eşit olduğu kabul edilmiştir. Mesnetlerin ve düğüm noktalarının da yanal olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir.

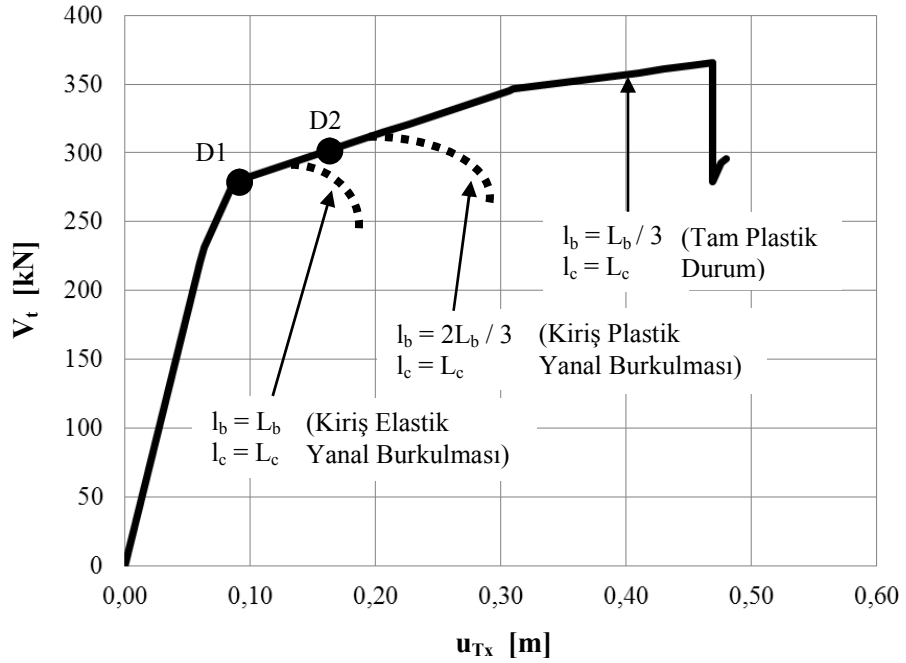


Şekil 4.79 : Bina-4'te Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri

Bina-4'te, kirişler için yanal burkulmalı moment taşıma kapasitesi ve kolonlar için stabilite limit durumlarını içeren etkileşim bağıntıları Bina-3'tekine benzer şekilde hesaplanmıştır.

Sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri için yapılan doğrusal olmayan analizde, kolonlar için stabilite limit durumlarını içeren etkileşim diyagramları, kirişler için yanal burkulmalı moment taşıma kapasiteleri kontrol edilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda kolonların ve sağ kirişin burkulmadan plastikleşme momentlerine ulaşabildikleri, sol kirişte ise plastik yanal burkulma

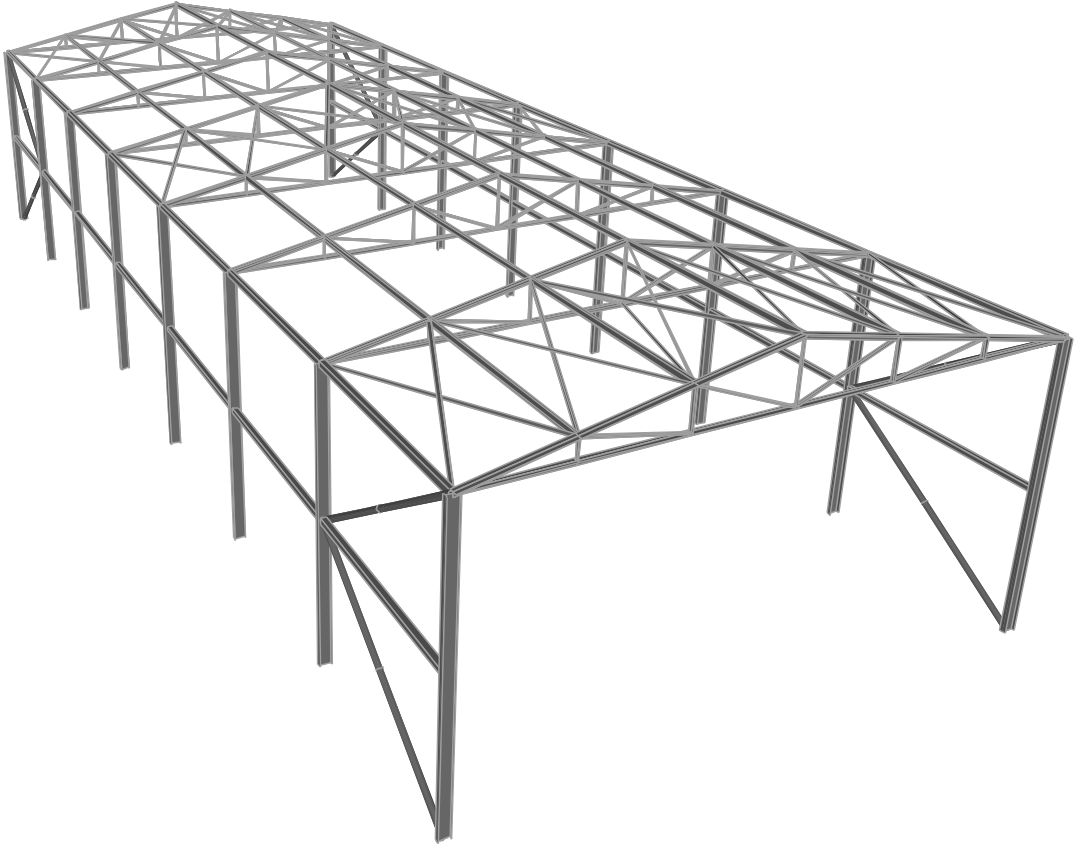
durumu olduğu belirlenmiştir. Kirişte yanal plastik burkulmanın olduğu yer tam plastik duruma ait kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir (Şekil 4.80). Ayrıca sistemdeki tüm elemanların plastik taşıma ve şekilgeçirme kapasitelerine tam olarak ulaşabilmeleri için kirişte uygulanması gereken yanal mesnetlenme mesafesi araştırılmıştır. Kirişin 1/3 aralıklarla yanal olarak mesnetlenmesi gerektiği belirlenmiştir (Şekil 4.80). Ancak binanın mevcut durumunda D1 ve D2 depremlerini stabilite problemi olmadan karşılayabildiği görülmektedir. Ayrıca taşıyıcı sistemde kirişin herhangi bir noktasından yanal olarak mesnetlenmemesi durumu da incelenmiştir. Bu durumda D1 tasarım depremi altında, kirişte herhangi bir stabilite problemi oluşmadığı, D2 depremi altında ise kirişte, elastik yanal burkulma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.80).



Şekil 4.80 : Bina-4 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

4.5 Bina-5 'e Ait Sayısal İncelemeler

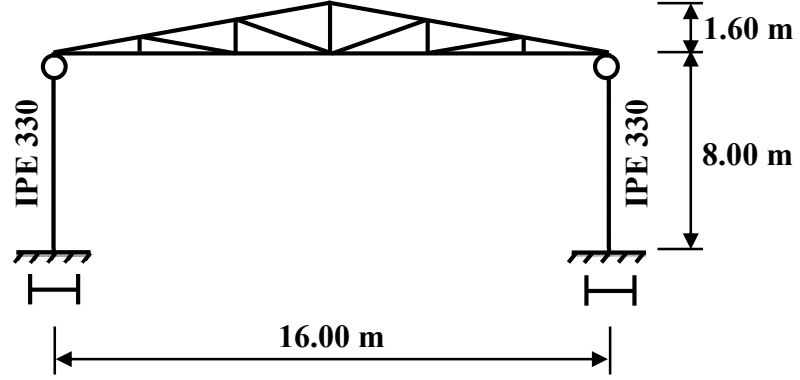
Bu bölümde, Bina-5'in boyutlandırılması, deprem performansının belirlenmesi anlatılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bina-5'e ait perspektif görünüşü Şekil 4.81'de verilmiştir.



Şekil 4.81 : Bina-5'in Perspektif Görünüşü

4.5.1 Bina-5'in Boyutlandırılması

Bina-5'in kısa doğrultudaki kirişi kafes kiriş, kolon önboyutu ise IPE 330 seçilmiştir. Seçilen önboyutlar Şekil 4.82'de gösterilmiştir.



Şekil 4.82 : Bina-5 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Bina-5 için teşkil edilen kafes kiriş elemanlarının ön boyutları Tablo 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.33 : Bina-5'in Kafes Kirişi İçin Önboyutlar

Eleman Adı	Ön Boyut
Alt Başlık Çubuğu	2L 70x70x7
Üst Başlık Çubuğu	2L 90x90x9
Dikme Çubukları	2L 50x50x5
Diyagonal Çubukları	2L 60x60x6

Bina-5'in boyutlandırılmasında gözönüne alınan düşey yükler aşağıda verilmiştir.

Sabit Yükleme (G): Çatı Yükleri :

Çatı Kaplaması : 0.049 kN/m²

Aşıklar : 0.105 kN/m² (Tek gergili IPN 160 profili seçilmiştir.)

Çelik Konstrüksiyon : 0.15 kN/m²

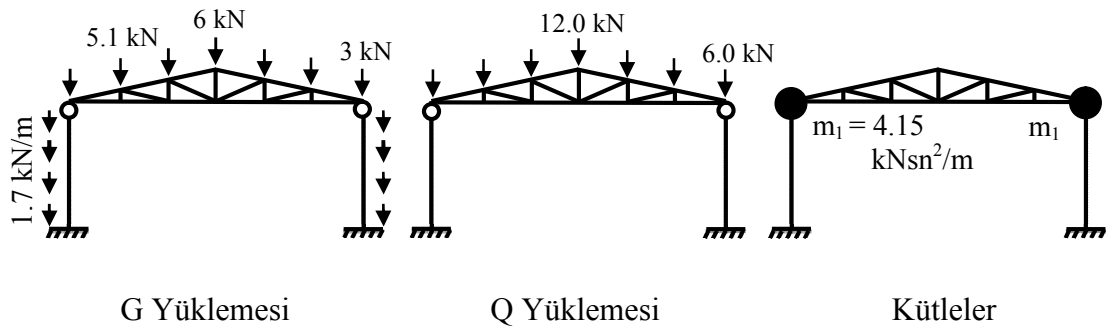
Cephe Yükleri:

Çatı Kaplaması : 0.049 kN/m² , Cephe Elemanları : 0.15 kN/m²

Çelik Konstrüksiyon : 0.491 kN/m

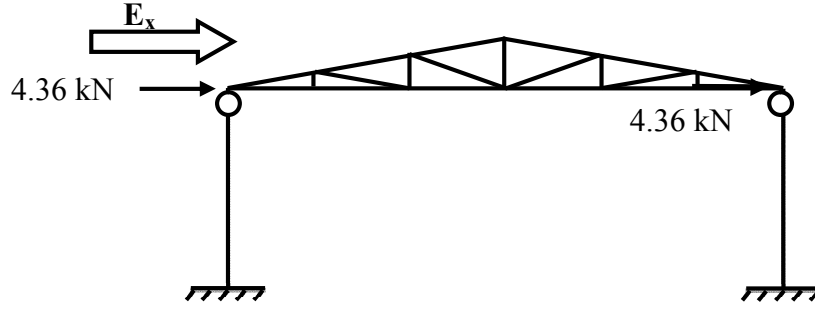
Hareketli Yükleme (Q): Kar Yüğü : 0,75 kN/m²

Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.83’de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan çerçeve toplam ağırlığı $W = 81.2$ kN olarak elde edilmiştir.



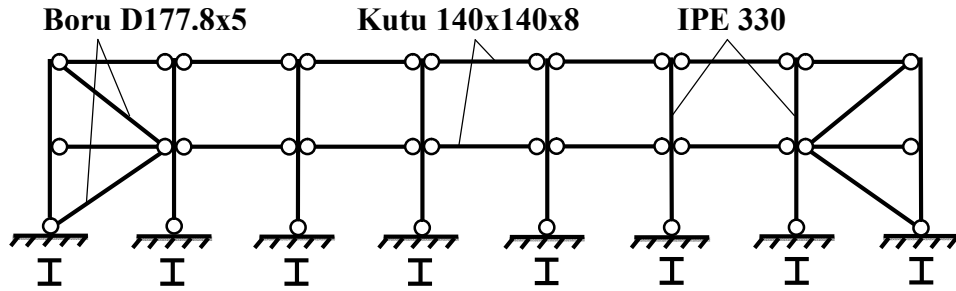
Şekil 4.83 : Bina-5 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Bina-5'in kısa doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1x} = 1.15$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 4$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 8.72$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.84'te gösterilmiştir.



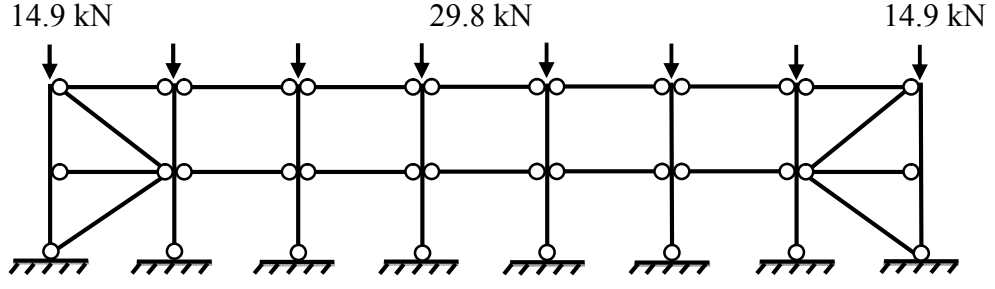
Şekil 4.84 : Bina-5 Kısa Doğrultu Sisteme Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Uzun doğrultudaki kirişler ve çapraz elemanlar için seçilen ön boyutlar Şekil 4.85'te gösterilmiştir.

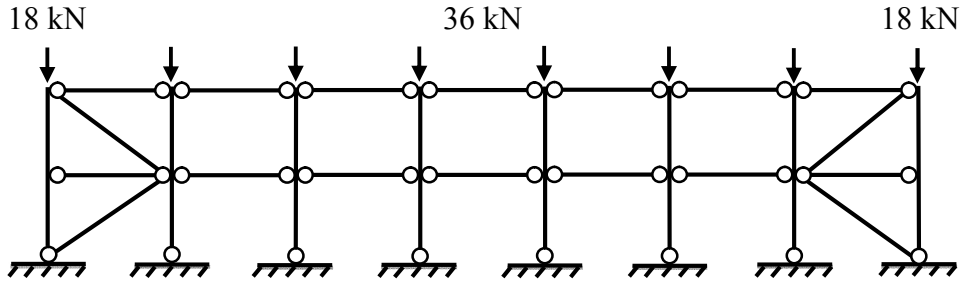


Şekil 4.85 : Bina-5 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

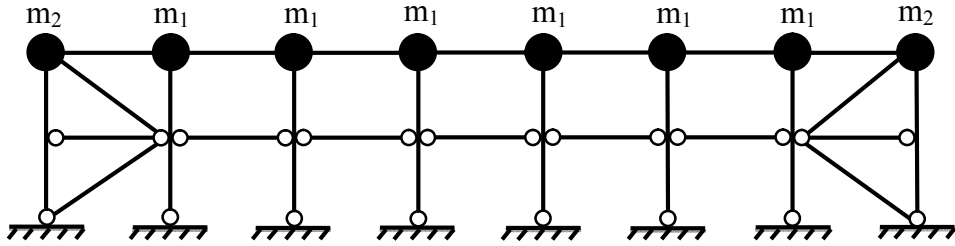
Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.86'da gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı $W = 284.2$ kN olarak elde edilmiştir.



G Yükleme



Q Yükleme

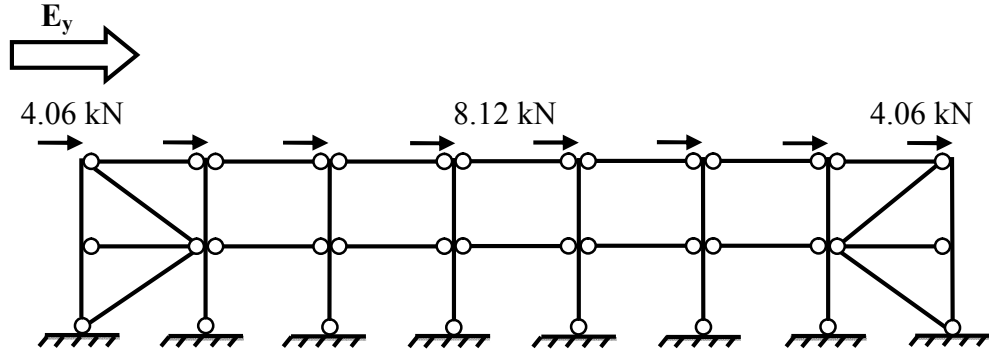


$$m_1 = 4.15 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_2 = 2.08 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Küteller

Şekil 4.86 : Bina-5 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Küteller

Bina-5'in uzun doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1y} = 0.184$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 56.84$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.87'de gösterilmiştir.



Şekil 4.87 : Bina-5 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Binanın uzun doğrultusunda rüzgar yüklerinin büyük bir kısmını rüzgar kolonları taşıdığından, merkezi çaprazlı perde sisteme etkileyen rüzgar yüklerinin etkisi ihmal edilmiştir.

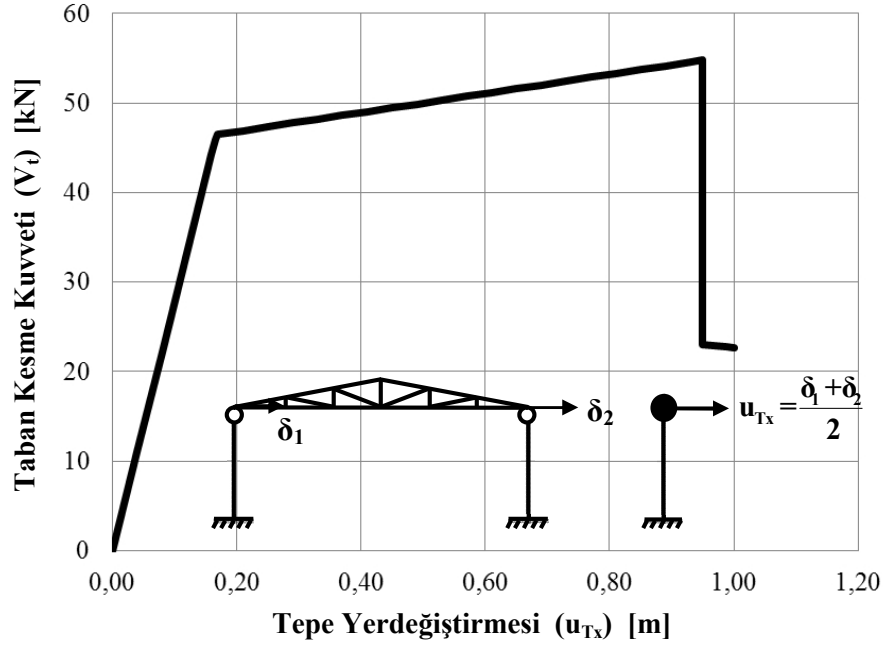
Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyutlandırmalar diğer binalardakine benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.34’te özetlenmiştir.

Tablo 4.34 : Bina-5’e Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

Tasarım Parametresi		Kolon (IPE 330)	Kafes Kiriş	Çaprazlar (Boru D177.8x5)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	$b_f/2t_f$	6.95 / 8.88	----	----	----
	h/t_w D/t	44.0 / 87.32	----	35.56 / 43.87	17.50 / 20.73
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		113 / 250	----	118 / 118	113 / 118
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		8.00 / 8.00	----	----	----
Maksimum Görelî Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.017 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.008 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehim / Sınır Sehim		----	$\frac{L}{483} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.59 / 1.33	----	0.25 / 1.33	0.08 / 1.33
	G+Q+W	1.14 / 1.15	----	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.03 / 1.33	----	----	----
	G+Q+W	0.16 / 1.15	----	----	----

4.5.2 Bina-5'in Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina-5'in kısa doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.88'de gösterilmiştir.



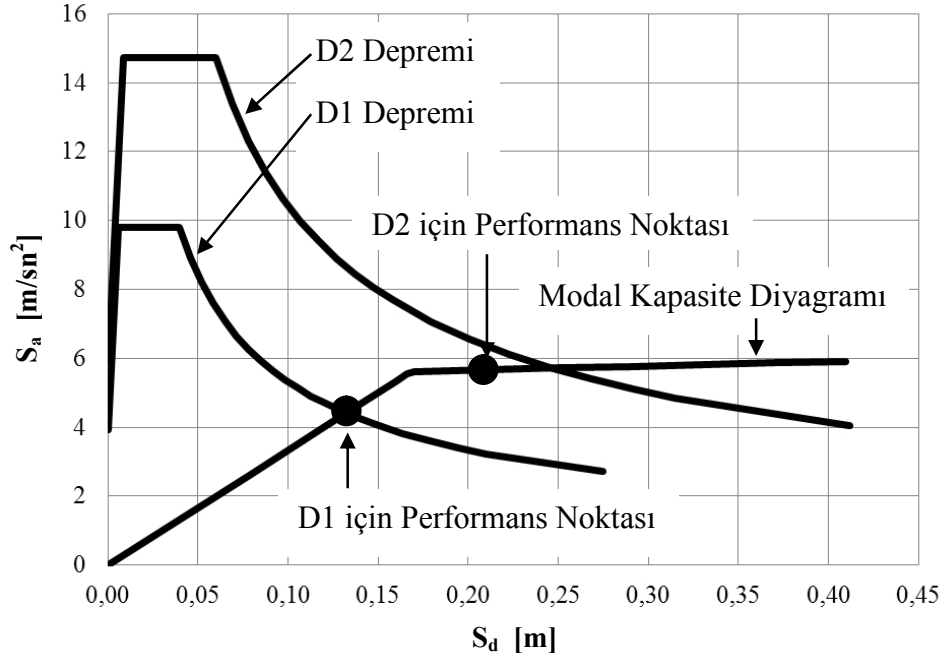
Şekil 4.88 : Bina-5 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.35'te gösterilmiştir.

Tablo 4.35 : Bina-5 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.1413	0.1413
D2	0.2120	0.2120

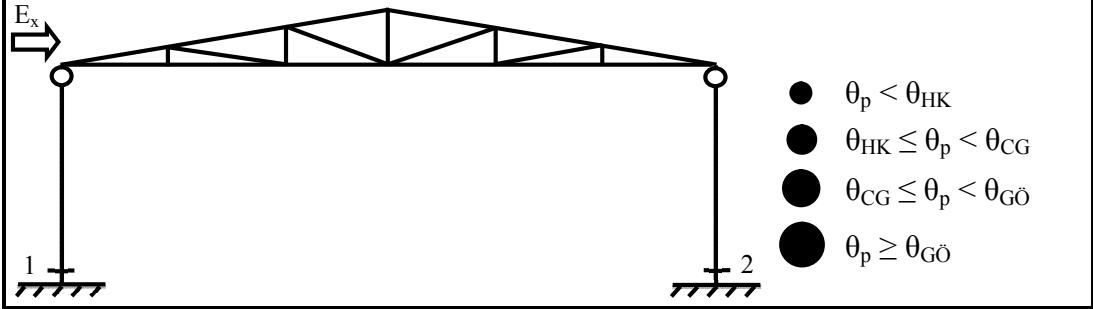
Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.89’da gösterilmiştir.



Şekil 4.89 : Bina-5 Kısa Doğru D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

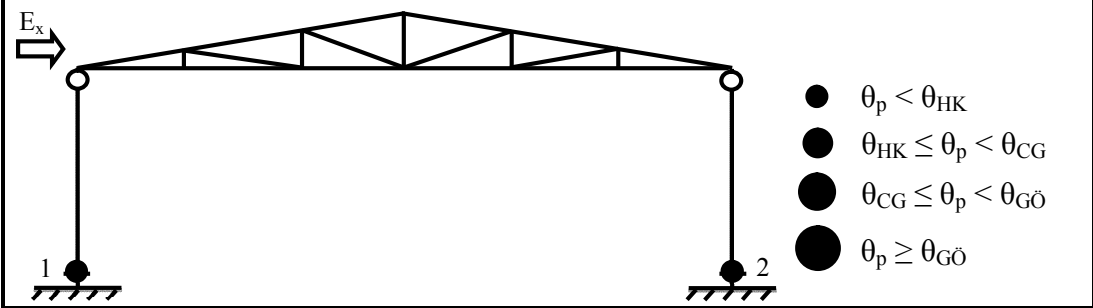
D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.36-4.37).

Tablo 4.36 : Bina-5 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri



Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	Tümü	0.0101	0.0608	0.0810	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	

Tablo 4.37 : Bina-5 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

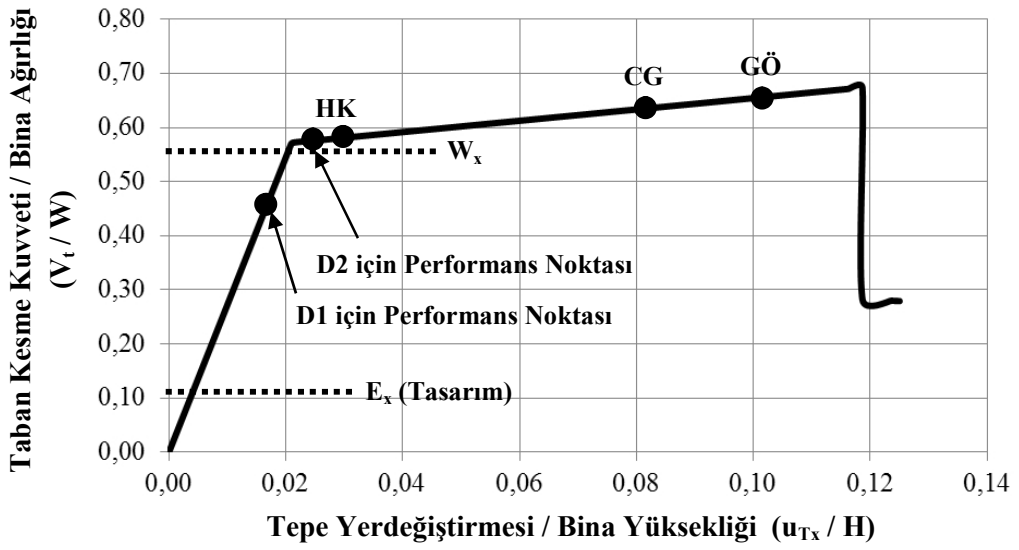


Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0101	0.0608	0.0810	0.0054		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
	2				0.0054			

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-5'in kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için

performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür.

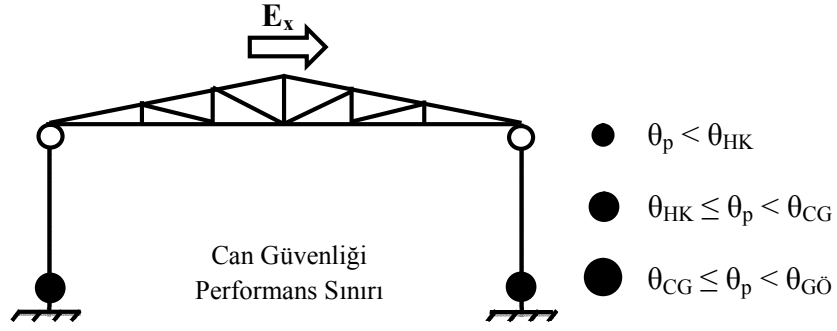
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.90). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.90 : Bina-5 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

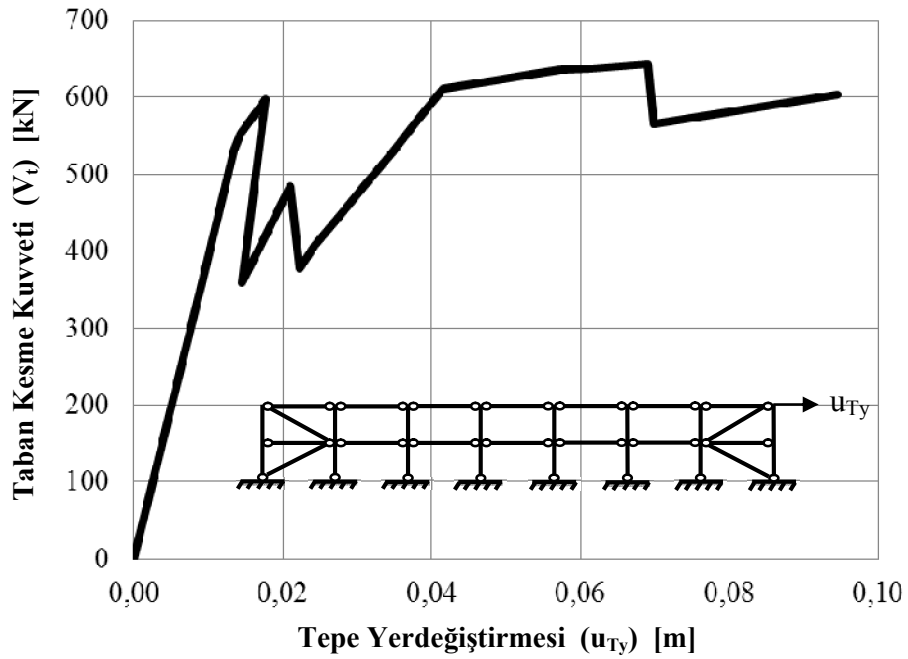
Şekil 4.90'dan görüldüğü üzere taşıyıcı sistemin tasarım depremi (D1) altında elastik davrandığı için yönetmelikte (R) ile öngörülen deprem yükü azalımı gerçekleşmemiştir. Aksine deprem yükleri artmıştır. Buna karşılık sistemin dayanım fazlalığı olduğundan deprem yükleri plastik şekildeğiştirme oluşmadan karşılanabilmiştir.

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış çerçeve için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.91'de gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman uçlarında meydana gelmiştir.



Şekil 4.91 : Bina-5 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

Bina-5'in uzun doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.92'de gösterilmiştir.



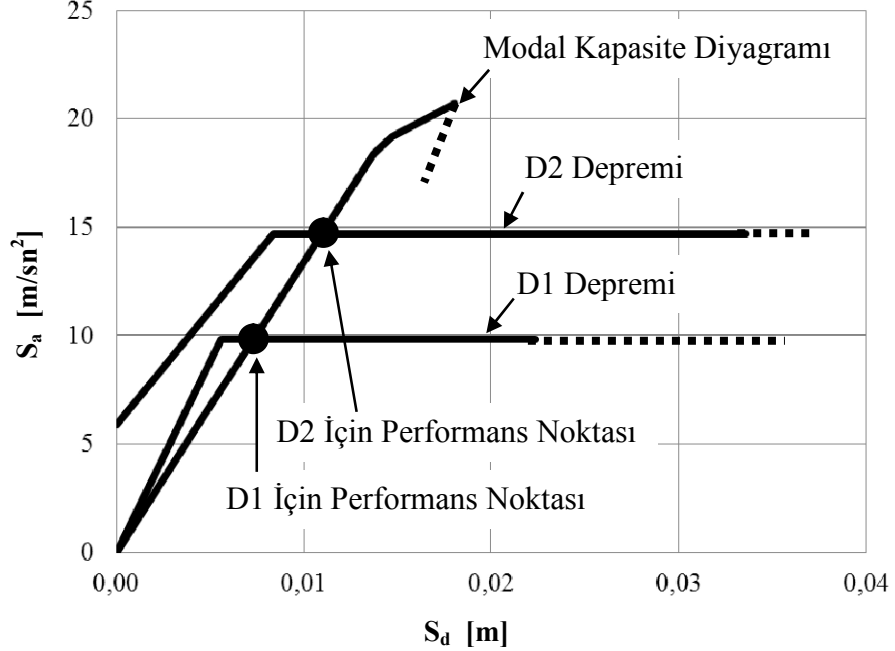
Şekil 4.92 : Bina-5 Uzun Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.38’de gösterilmiştir.

Tablo 4.38 : Bina-5 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirme Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirme Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0082	0.0082
D2	0.0123	0.0123

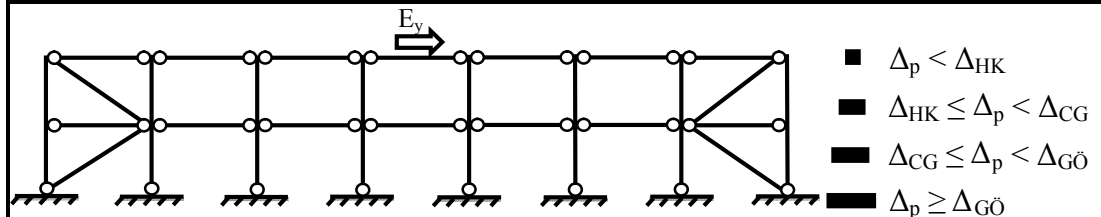
Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirme talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.93’de gösterilmiştir.



Şekil 4.93 : Bina-5 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.39).

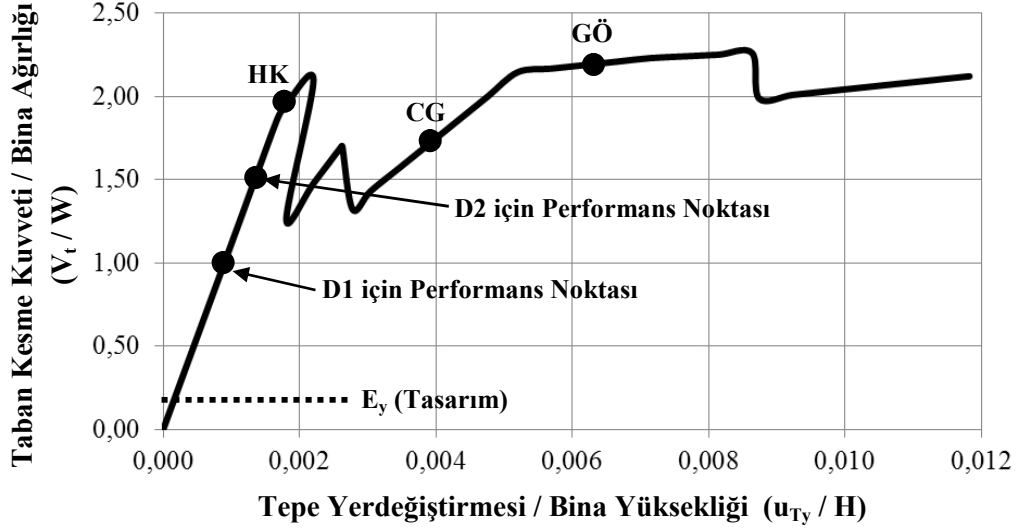
Tablo 4.39 : Bina-5 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri



Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		ASCE	TDY
Kolon (Basınç)	Tümü	-0.0012	-0.0286	-0.0384				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	0.0343				
Kiriş (Basınç)	Tümü	-0.0009	-0.0176	-0.0249				
Çapraz (Çekme)	Tümü	0.0021	0.0577	0.0742				
Çapraz (Basınç)	Tümü	-0.0010	-0.0203	-0.0286				

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-5'in uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için performansı Hemen Kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin çok üzerinde olduğu görülmüştür.

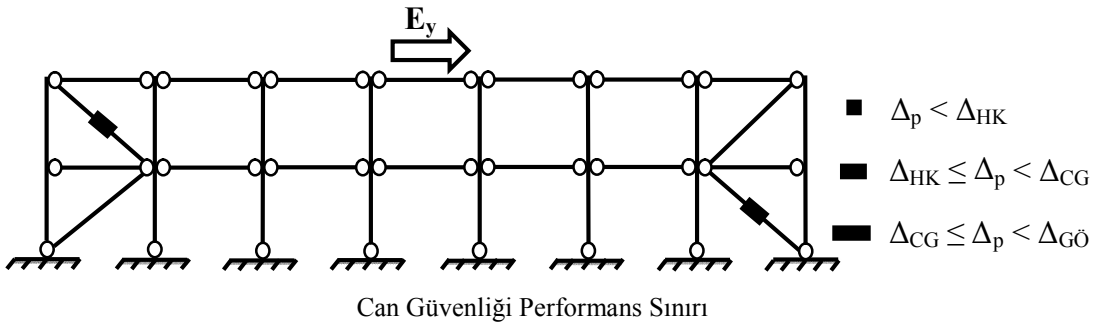
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.94). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.94 : Bina-5 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Şekil 4.94'ten görüldüğü üzere taşıyıcı sistemin tasarım depremi (D1) altında elastik davrandığı için yönetmelikte (R) ile öngörülen deprem yükü azalımı gerçekleşmemiştir. Aksine deprem yükleri artmıştır. Buna karşılık sistemin dayanım fazlalığı olduğundan deprem yükleri plastik şekildeğiştirme oluşmadan karşılanabilmiştir.

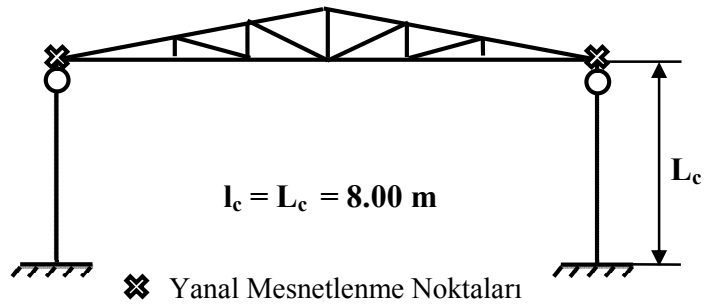
Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış taşıyıcı sistem için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.95'te gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman boyunca meydana gelmiştir. Bu plastik kesitleri temsilen çapraz elemanların ortasında eleman boyunca oluşan boy değişimlerinin toplamı olarak tek bir plastik kesit gösterilmiştir.



Şekil 4.95 : Bina-5 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.5.3 Bina-5'te Stabilite Kontrolleri

Bina-5'te mevcut yanal mesnetlenme durumu Şekil 4.96'da gösterilmiştir. Bina-5'teki kafes kiriş kolonlara mafsallı bağlı olduğu için deprem yükleri altında yanal burkulma etkisi incelenmemiştir. Kolonlarda ise yanal (burulmalı) burkulmaya karşı herhangi bir önlem alınmadığı, bu nedenle kolon yanal mesnetlenme mesafesinin (l_c) eleman boyuna eşit olduğu kabul edilmiştir. Uzun doğrultuda kolon ağırlık merkezine bağlanan çapraz elemanlar yanal burulmalı burkulmayı önlemede tam olarak etkili olmadığı (başlıkları tutmadığı için) için gözönüne alınmamıştır. Mesnetlerin ve kolon-kiriş birleşimlerinin de yanal olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir.



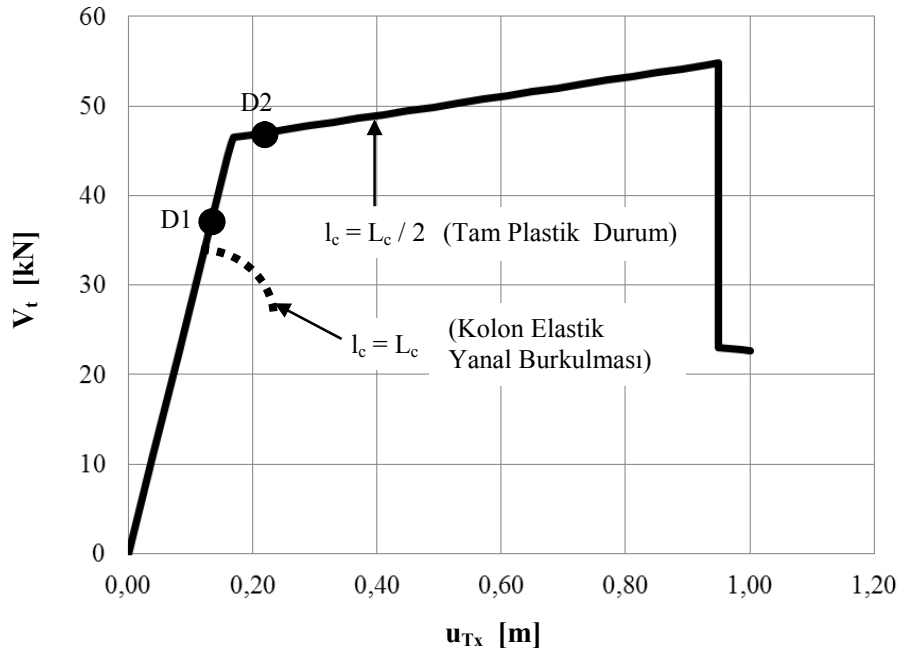
Şekil 4.96 : Bina-5'te Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri

Bina-5'in kolonlarındaki aksenal yükler çok düşük düzeyde olduğundan bu elemanlarda sadece eğilme etkisi göz önüne alınmıştır. Buna göre kolonların üzerindeki moment dağılımına bağlı olarak yanal burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb}) hesaplanmıştır.

Kolonlardaki moment diyagramının karakteristiği deprem etkisi altında değişmediği için yana burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb})'de değişmemektedir. ANSI/AISC 360-05'e [32] göre yapılan hesaplar sonucunda mevcut durumdaki kolon için $C_b = 1.67$, $M_{nb} = 141.186 \text{ kN.m}$ olarak elde edilmiştir.

Sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri için yapılan doğrusal olmayan analizde, kolonlar için M_{nb} esas alınarak stabilite kontrolleri yapılmıştır. Sonuç olarak, mevcut durumdaki kolonlarda deprem etkisi altında elastik yanal burkulma olduğu ve D1 tasarım depreminin karşılanamadığı belirlenmiştir. Bunda en önemli etken, kolonların deprem etkisi altında elastik kalmaları nedeniyle tasarımda öngörülenin üzerinde deprem yüklerine maruz kalmalarıdır (Şekil 4.97).

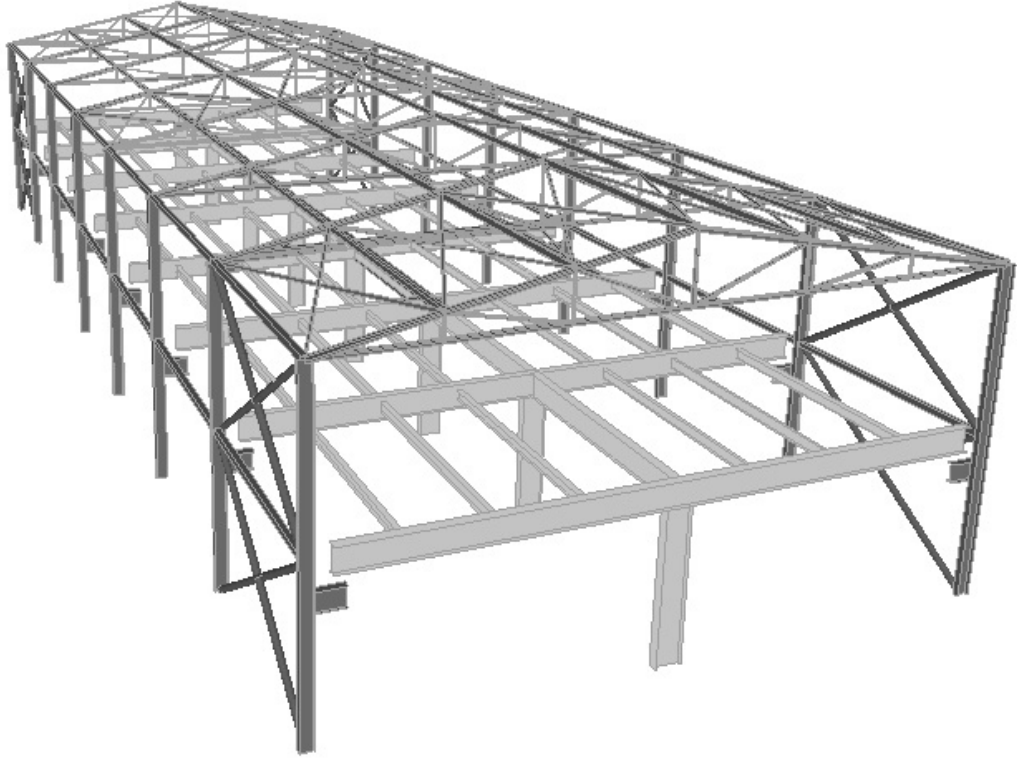
Sistemdeki kolonların plastik moment taşıma kapasitelerini ve şekildeğiştirme kapasitelerini tam olarak kullanılabilmesi için kolonların orta noktalarından tutularak yanal mesnetlenme mesafesinin yarıya düşürülmesi gerektiği belirlenmiştir (Şekil 4.97).



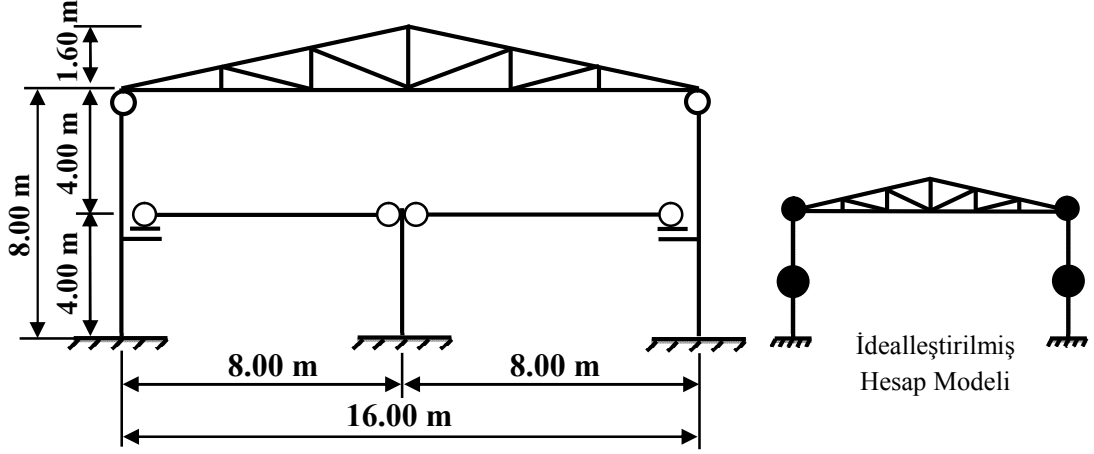
Şekil 4.97 : Bina-5 Kısa Doğrultu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

4.6 Bina-6 'ya Ait Sayısal İncelemeler

Bu bölümde, Bina-6'nın boyutlandırılması ve deprem performansının belirlenmesine yer verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bina-6'nın arakat özellikleri, Bina-3 ile aynıdır. Bina-6'ya ait perspektif görünüş ve kısa doğrultu hesap modeli Şekil 4.98-4.99'da gösterilmiştir.



Şekil 4.98 : Bina-6'nın Perspektif Görünüşü



Şekil 4.99 : Bina-6 Kısa (X) Doğrultusu ve İdealleştirilmesi

Bina-6'nın boyutlandırılmasında gözönüne alınan düşey yükler aşağıda verilmiştir.

Sabit Yükler (G): Çatı Yükleri :

Çatı Kaplaması : 0.75 kN/m² (Gazbeton Panel)

Aşıklar : 0.161 kN/m² (Tek gergili IPN 180 profili seçilmiştir.)

Çelik Konstrüksiyon : 0.200 kN/m²

Cephe Yükleri:

Çatı Kaplaması : 0.75 kN/m² , Cephe Elemanları : 0.15 kN/m²

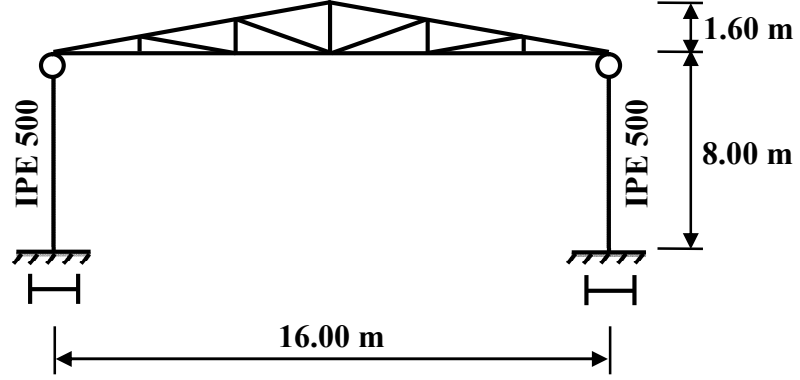
Çelik Konstrüksiyon : 0.888 kN/m

Hareketli Yükler (Q): Kar Yüğü : 0,75 kN/m²

Arakat Yükleri : Sabit Yükler : 3,822 kN/m² , Hareketli Yükler : 5,00 kN/m²

4.6.1 Bina-6'nın Boyutlandırılması

Bina-6'nın kısa doğrultudaki kirişi kafes kiriş, kolon önboyutu IPE 500 seçilmiştir. Seçilen önboyutlar Şekil 4.100'de gösterilmiştir.



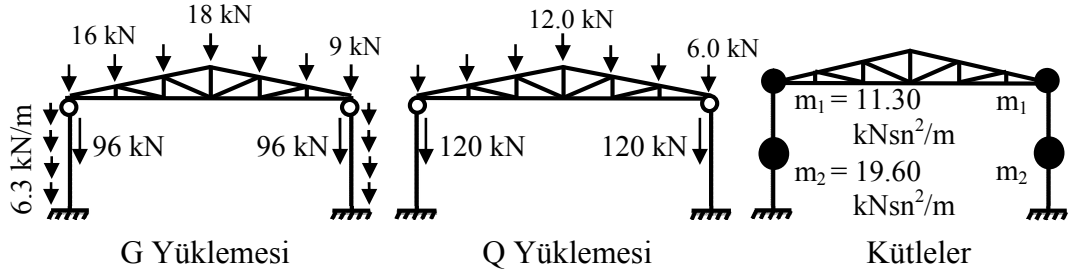
Şekil 4.100 : Bina-6 Kısa Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

Bina-6 için teşkil edilen kafes kiriş elemanlarının ön boyutları Tablo 4.40'da verilmiştir.

Tablo 4.40 : Bina-6'nın Kafes Kirişi İçin Önboyutlar

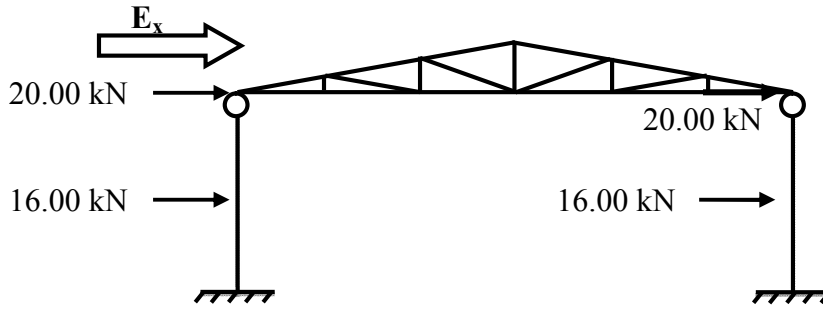
Eleman Adı	Ön Boyut
Alt Başlık Çubuğu	2L 90x90x9
Üst Başlık Çubuğu	2L 110x110x10
Dikme Çubukları	2L 50x50x5
Diagonal Çubukları	2L 70x70x7

Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.101'de gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan çerçeve toplam ağırlığı $W = 606$ kN olarak elde edilmiştir.



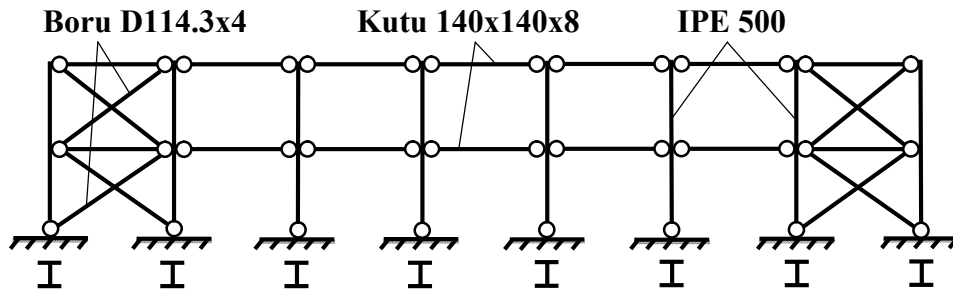
Şekil 4.101 : Bina-6 Kısa Doğrultu Sistemine Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Bina-6'nın kısa doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1x} = 1.01$ sn olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 4$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 72.2$ kN olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri şekil 4.102'de gösterilmiştir.



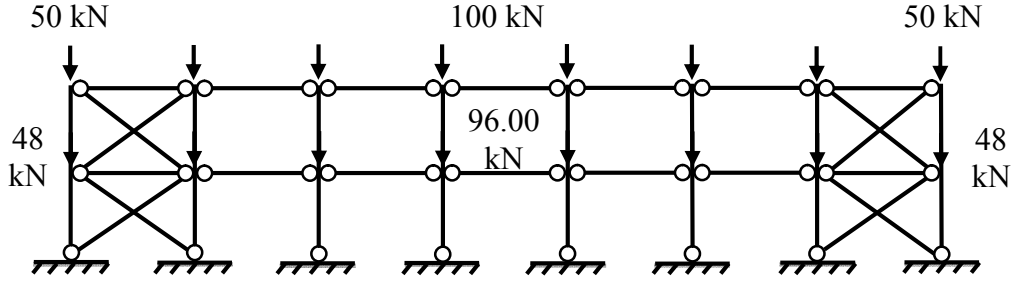
Şekil 4.102 : Bina-6 Kısa Doğrultu Sistemine Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Uzun doğrultudaki kirişler ve çapraz elemanlar için seçilen ön boyutlar şekil 4.103'te gösterilmiştir.

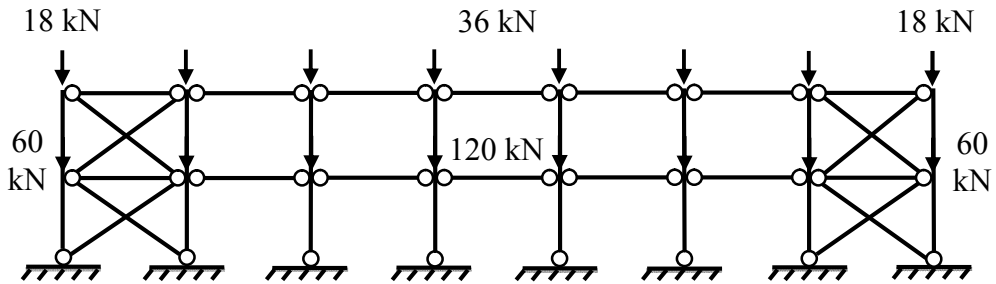


Şekil 4.103 : Bina-6 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Ön Boyutları

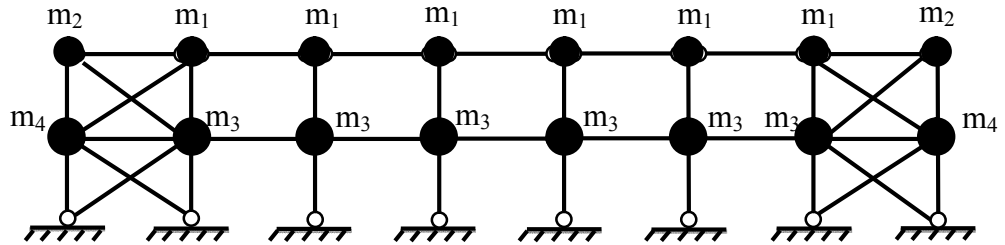
Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler ile kütleler Şekil 4.104'te gösterildiği gibi idealleştirilmiştir. Deprem hesabına esas olan merkezi çaprazlı perde taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı $W = 2120 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir.



G Yükleme



Q Yükleme

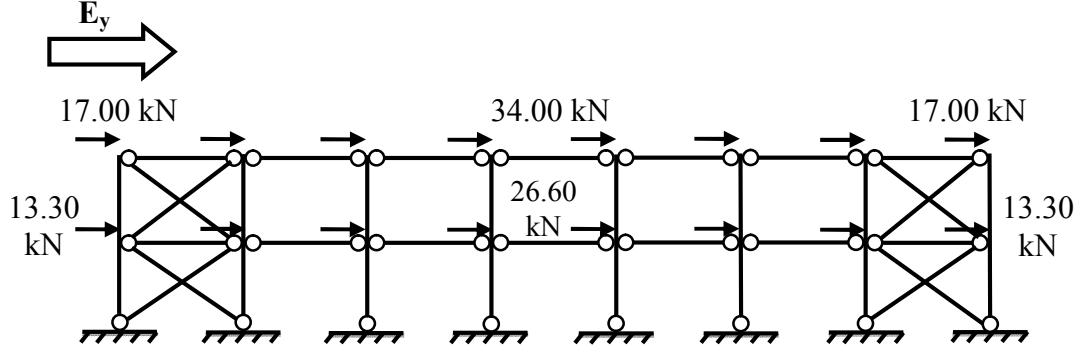


$$m_1 = 11.30 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_2 = 5.65 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_3 = 19.60 \text{ kNsn}^2/\text{m}, \quad m_4 = 9.80 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Kütleler

Şekil 4.104 : Bina-6 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Sabit, Hareketli Yükler ve Kütleler

Bina-6'nın uzun doğrultudaki sistemine ait hakim periyodu $T_{1y} = 0.334 \text{ sn}$ olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınarak çerçeveye etkiyen deprem yükü $V_t = 424 \text{ kN}$ olarak belirlenmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri Şekil 4.105'te gösterilmiştir.



Şekil 4.105 : Bina-6 Uzun Doğrultu Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri

Binanın uzun doğrultusunda rüzgar yüklerinin büyük bir kısmını rüzgar kolonları taşıdığından, merkezi çaprazlı perde sisteme etkiyen rüzgar yüklerinin etkisi ihmal edilmiştir.

Bu binanın uzun doğrultu taşıyıcı sisteminde, Bina-3'ten farklı olarak çaprazların burkulma boyları çubuk boyunun yarısına eşit olduğu kabul edilmiştir [41-43].

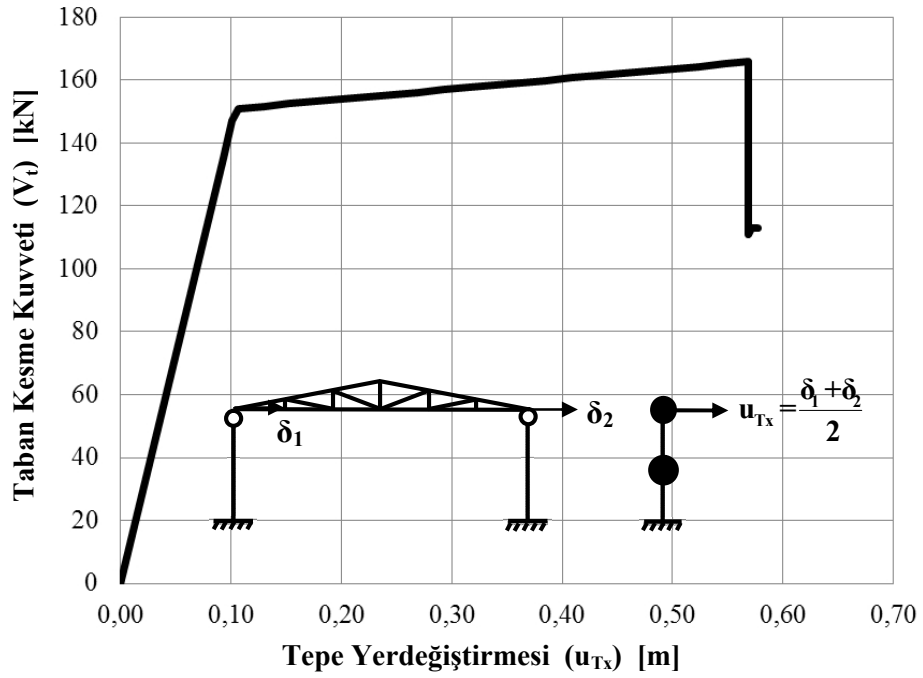
Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyutlandırmalar diğer binalardakine benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.41'de özetlenmiştir.

Tablo 4.41 : Bina-6'ya Ait Boyutlandırma Sonuçları Özeti

Tasarım Parametresi		Kolon (IPE 500)	Kafes Kiriş	Çaprazlar (Boru D114.3x4)	Uzun Doğrultudaki Kirişler (Kutu 140x140x8)
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır Narinlik Oranı	$b_f/2t_f$	6.25 / 8.88	----	----	----
	h/t_w D/t	49.02 / 77.49	----	28.57 / 43.87	17.50 / 20.73
Maksimum Eleman Narinliği / Sınır Narinlik		93 / 250	----	92 / 118	113 / 118
Basınç Başlığı Mesnetlenme Mesafesi (s) / Eleman Boyu [m]		8.00 / 8.00	----	----	----
Maksimum Göreli Öteleme Oranı / Sınır Öteleme Oranı	G+Q+E	0.024 / 0.03	----	----	----
	G+Q+W	0.0025 / 0.03	----	----	----
Maksimum Sehim / Sınır Sehim		----	$\frac{L}{474} / \frac{L}{300}$	----	----
Maksimum Normal Gerilme Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	1.32 / 1.33	----	1.32 / 1.33	0.30 / 1.33
	G+Q+W	0.75 / 1.15	----	----	----
Maksimum Kayma Gerilmesi Oranı / Sınır Gerilme Oranı	G+Q+E	0.11 / 1.33	----	----	----
	G+Q+W	0.06 / 1.15	----	----	----

4.6.2 Bina-6'nın Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina-6'nın kısa doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.106'da gösterilmiştir.



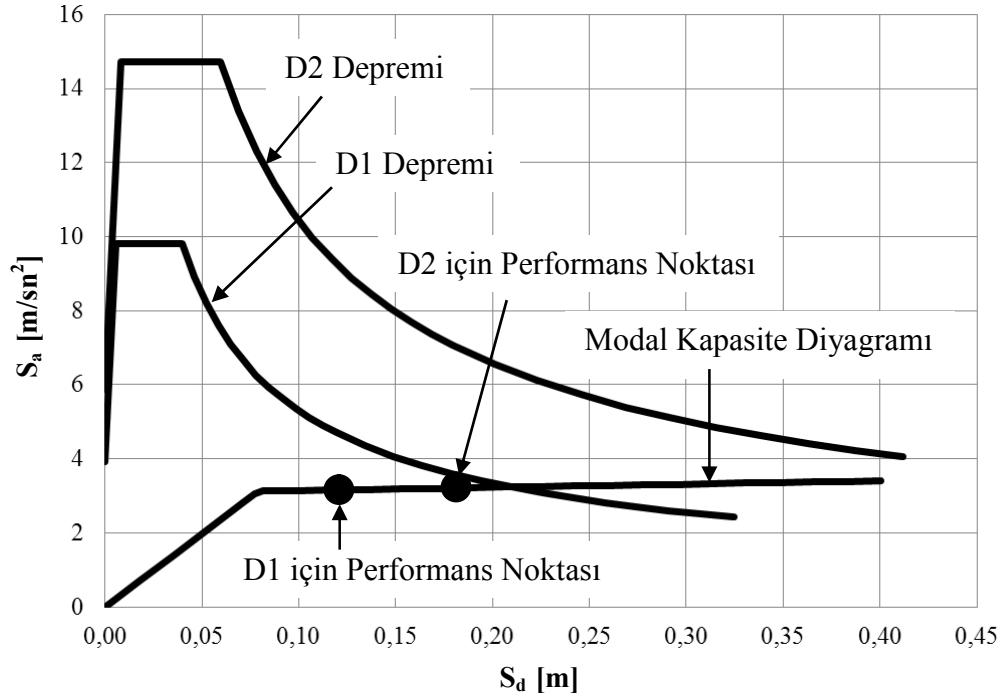
Şekil 4.106 : Bina-6 Kısa Doğrultu Kapasite Eğrisi

İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.42'de gösterilmiştir.

Tablo 4.42 : Bina-6 Kısa Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.1579	0.1579
D2	0.2377	0.2367

Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.107’de gösterilmiştir.



Şekil 4.107 : Bina-6 Kısa Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

D1 ve D2 depremleri için taşıyıcı elemanların plastik şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.43-4.44).

Tablo 4.43 : Bina-6 Kısa Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

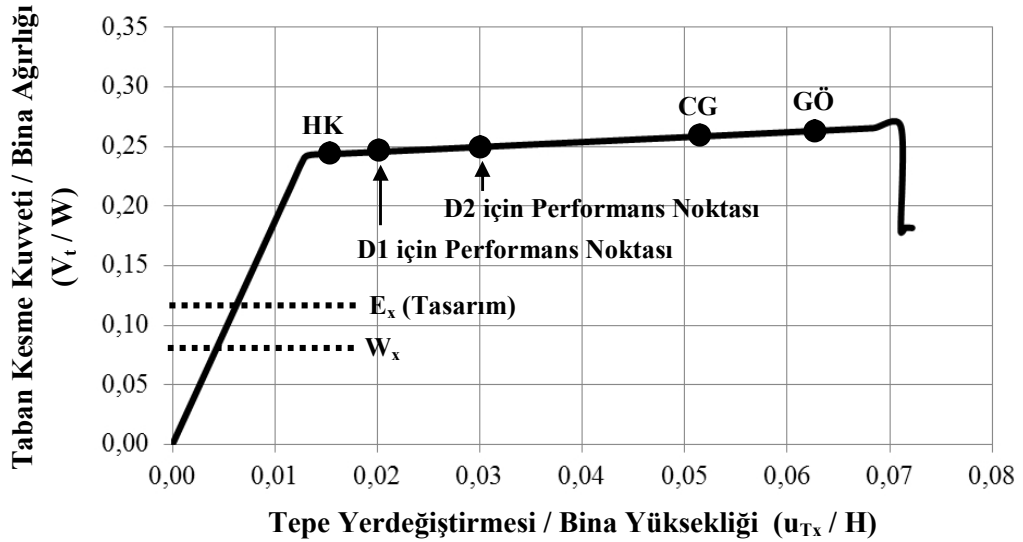
Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0061	0.0364	0.0485	0.00675		Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	2				0.00675			
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım	

Tablo 4.44 : Bina-6 Kısa Doğrultu D2 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları (rad)			Plastik Dönme θ_p (rad)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		θ_{HK}	θ_{CG}	$\theta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon	1	0.0061	0.0364	0.0485	0.01618	0.01552	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	2				0.01618	0.01552		
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım	

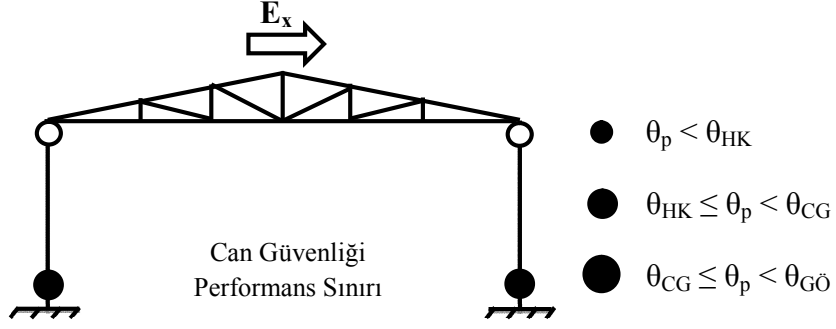
Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-6'nın kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 ve D2 depremleri için performansı Hasar Kontrol performans bölgesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin üzerinde olduğu görülmüştür.

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekildeğiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.108). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



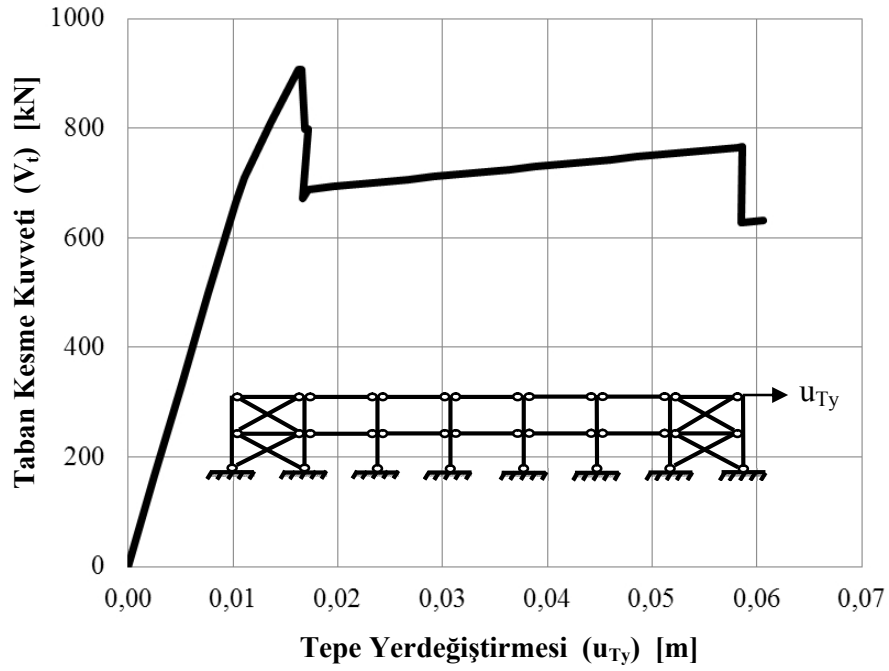
Şekil 4.108 : Bina-6 Kısa Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış çerçeve için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.109'da gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman uçlarında meydana gelmiştir.



Şekil 4.109 : Bina-6 Kısa Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

Bina-6'nın uzun doğrultudaki deprem performansının belirlenmesi için öncelikle sistemin kapasite eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4.110'da gösterilmiştir.

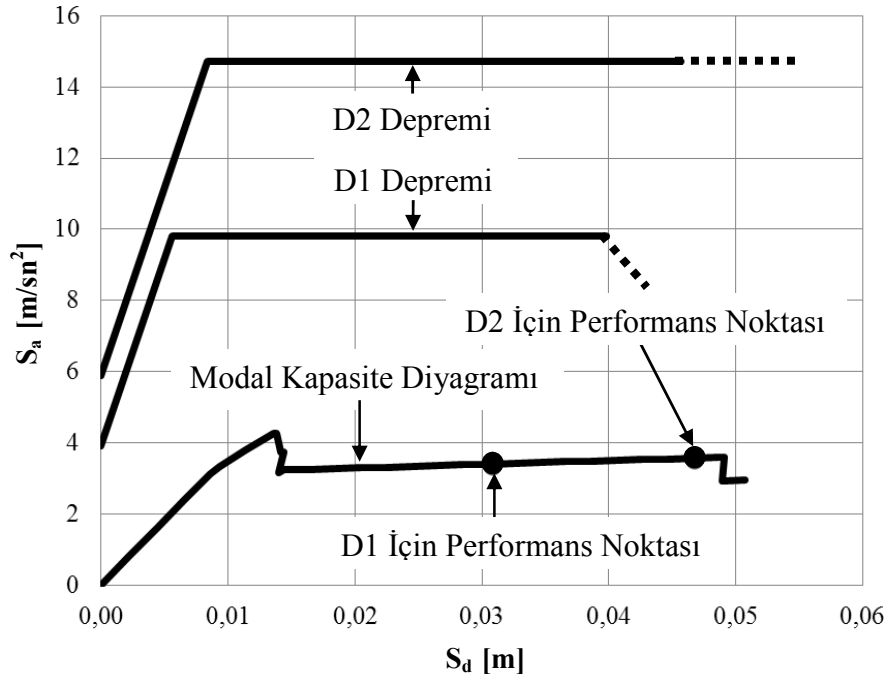


İlgili prosedürler kullanılarak D1 ve D2 depremleri için yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) ASCE/SEI 41-06 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiş ve Tablo 4.45'te gösterilmiştir.

Tablo 4.45 : Bina-6 Uzun Doğrultu İçin Tepe Yerdeğiştirmesi Talepleri

Deprem Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi Talebi (Hedef Yerdeğiştirme) [m]	
	ASCE/SEI 41-06	Türk Deprem Yönetmeliği 2007
D1	0.0415	0.0373
D2	-----	-----

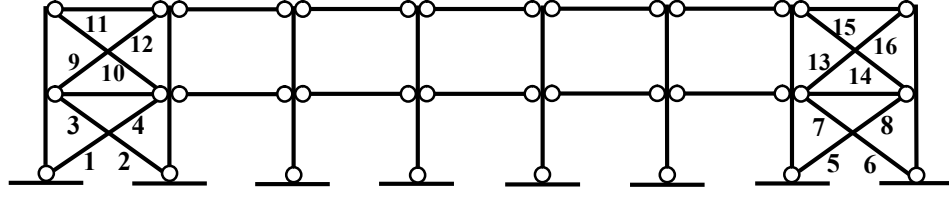
Türk Deprem yönetmeliğine göre belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri ve modal kapasite diyagramı Şekil 4.111’de gösterilmiştir.



Şekil 4.111 : Bina-6 Uzun Doğrultu D1 ve D2 Depremleri İçin Performans Noktaları (TDY)

Bina-6’nın uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin çapraz elemanları Şekil 4.112’de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır.

D1 depremi için taşıyıcı elemanların plastik Şekildeğiştirmeleri, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans seviyeleri / bölgeleri belirlenmiştir (Tablo 4.46).



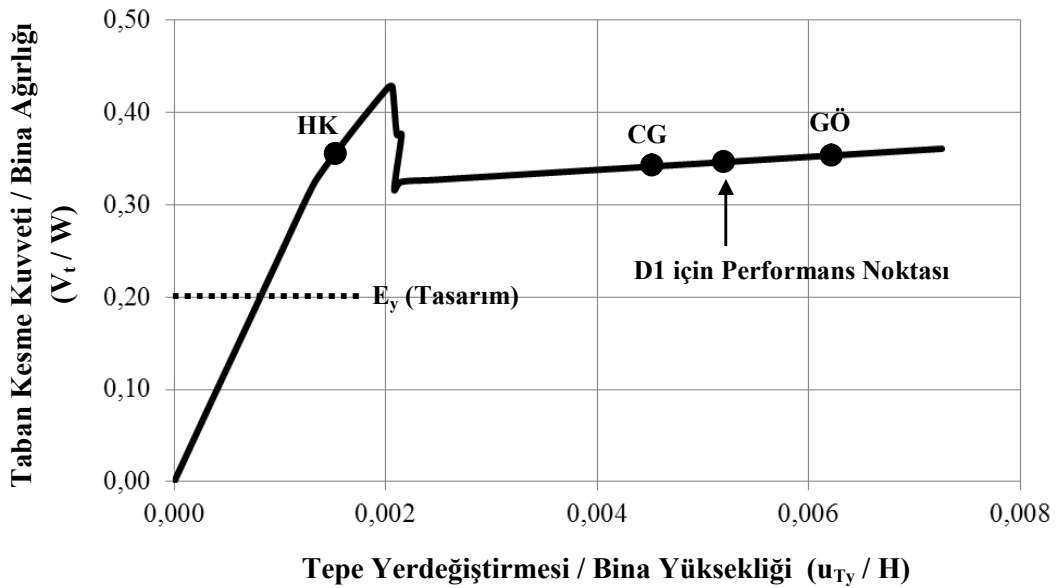
Şekil 4.112 : Bina-6 Uzun Doğrultu Taşıyıcı Sistem Çapraz Eleman Numaraları

Tablo 4.46 : Bina-6 Uzun Doğrultu D1 Depremi İçin Elemanların Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları (m)			Plastik Boy Değişimi Δ_p (m)		Performans Seviyesi / Bölgesi	
		Δ_{HK}	Δ_{CG}	$\Delta_{GÖ}$	ASCE	TDY	ASCE	TDY
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.0456	Elastik		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S - 1)	
Kolon (Basınç)	Tümü	- 0.0015	- 0.0330	- 0.0450	Elastik			
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0017	0.0206	- 0.0343	Elastik			
Kiriş (Basınç)	Tümü	- 0.0009	- 0.0176	- 0.0249	Elastik			
Çapraz (Çekme)	1	0.0010	0.0287	0.0369	0.01094	0.00927	Hasar Kontrol Performans Bölgesi (S - 2)	
	4				0.01094	0.00926		
	5				0.01072	0.00906		
	8				0.01072	0.00906		
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	
Çapraz (Basınç)	2	- 0.0007	- 0.0121	- 0.0175	-0.0148	-0.0131	Sınırlı Güvenlik Performans Bölgesi (S - 4)	
	3				-0.0145	-0.0128		
	6				-0.0148	-0.0132		
	7				-0.0146	-0.0128		
	Diğer				Elastik		Hemen Kullanım (S - 1)	

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'ye göre incelenen binanın önem katsayısı $I = 1.00$ olduğundan tasarım depremi (D1) için Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanması yeterlidir. ASCE/SEI 41-06'ya göre yapılan değerlendirme sonucunda Bina-6'nın uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin D1 depremi için performansı Sınırlı Güvenlik performans bölgesi olarak belirlenmiştir. Buna göre taşıyıcı sistemin performansının öngörülenin altında olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin D2 depremi için performansı Göçme olarak belirlenmiştir.

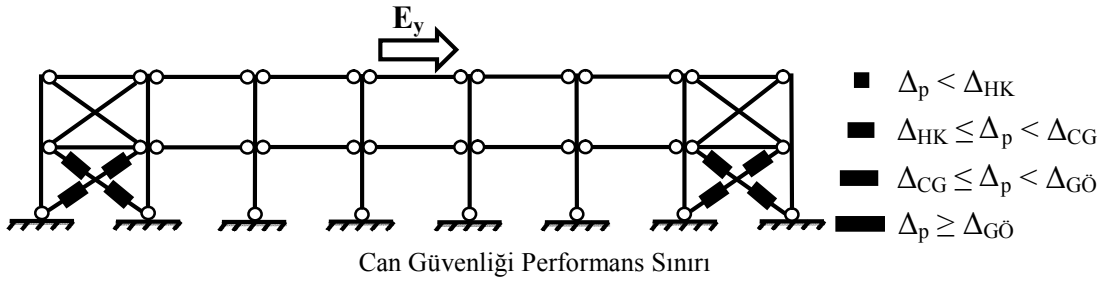
Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ASCE/SEI 41-06'daki plastik şekil değiştirme kriterleri esas alınarak her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.113). D1 ve D2 depremlerine ait talep değerleri de aynı kapasite eğrisi üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.113 : Bina-6 Uzun Doğrultu Normalleştirilmiş Kapasite Eğrisi

Deprem etkisi altında sistemdeki plastikleşme dağılımını gözlemek amacıyla, Can Güvenliği performans seviyesine ulaşmış taşıyıcı sistem için plastik kesit dağılımı belirlenmiş ve Şekil 4.114'te gösterilmiştir. Can Güvenliği performans seviyesine ulaşılmış durumda, plastik kesitler beklendiği gibi eleman boyunca

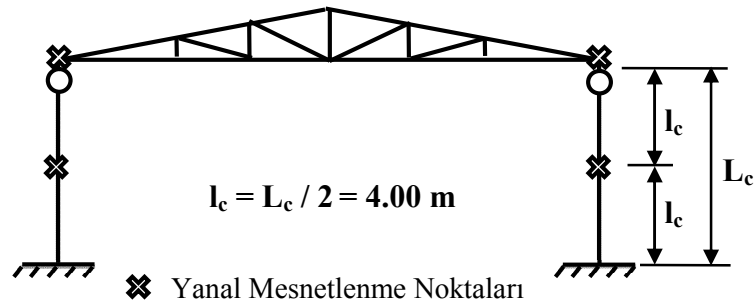
meydana gelmiştir. Bu plastik kesitleri temsilen çapraz elemanların ortasında eleman boyunca oluşan boy değişimlerinin toplamı olarak tek bir plastik kesit gösterilmiştir.



Şekil 4.114 : Bina-6 Uzun Doğrultu İçin Can Güvenliği Performans Seviyesine Ait Plastik Kesit Dağılımı

4.6.3 Bina-6'da Stabilite Kontrolleri

Bina-6'da mevcut yanal mesnetlenme durumu Şekil 4.115'te gösterilmiştir. Bina-6'daki kafes kiriş kolonlara mafsallı bağlı olduğu için deprem yükleri altında yanal burkulma etkisi incelenmemiştir. Kolonlarda ise arakatın yanal (burulmalı) burkulmayı engellediği ve bu nedenle yanal mesnetlenme mesafesinin (l_c) kolon boyunun yarısına eşit olduğu kabul edilmiştir. Mesnetlerin ve kolon-kiriş birleşimlerinin de yanal olarak tutulu olduğu kabul edilmiştir.



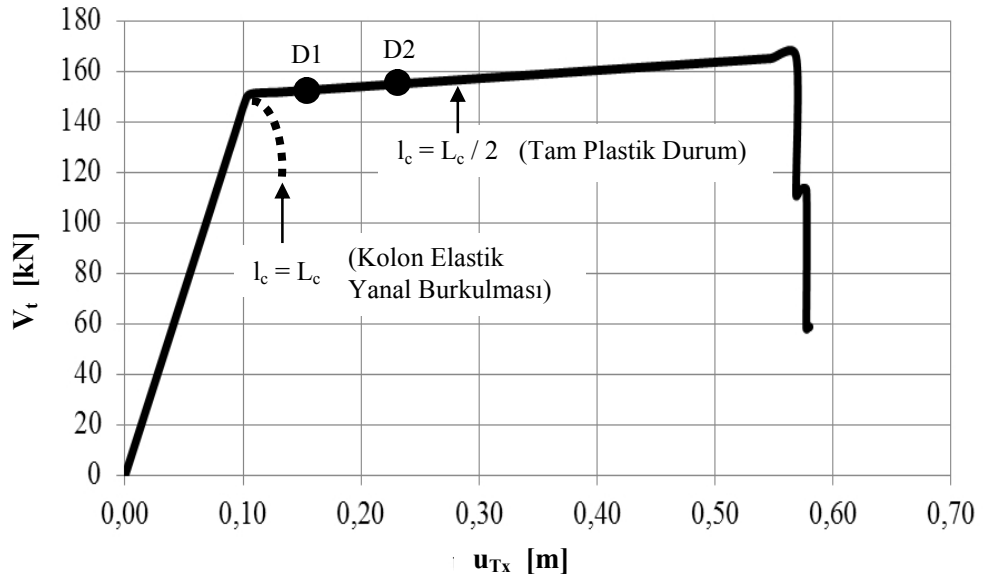
Şekil 4.115 : Bina-6'da Kiriş ve Kolon için Mevcut Yanal Mesnetlenme Mesafeleri

Bina-6 ağır bina olduğu için kolonlarda, stabilite limit durumlarını içeren etkileşim bağıntılarının kullanılması gerekmektedir. Bunun için normal kuvvet düzeyine bağlı olarak LRFD'de [33] verilen etkileşim bağıntıları esas alınmıştır (4.47-4.48). Bu bağıntılarda normal kuvvet taşıma kapasitesi olarak eğilme burkulmasına göre belirlenen değer (N_{CL}), moment taşıma kapasitesi olarak ise yanal (burulmalı) burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb}) esas alınmıştır.

Kolonlardaki moment diyagramının karakteristiği deprem etkisi altında değişmediği için yana burkulmalı moment taşıma kapasitesi (M_{nb}) de değişmemektedir. ANSI/AISC 360-05'e [32] göre yapılan hesaplar sonucunda mevcut durumdaki kolon için $C_b = 1.86$, $M_{nb} = 510.900 \text{ kN.m}$ olarak elde edilmiştir.

Sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri için yapılan doğrusal olmayan analizde, kolonlar için M_{nb} esas alınarak stabilite kontrolleri yapılmıştır.

Sonuç olarak kolonları orta noktalarından tutulan Bina-6'da, tüm elemanların plastik taşıma kapasitelerini ve şekildeğiştirme kapasitelerini herhangi bir stabilite problemi olmadan kullanabildikleri belirlenmiştir (Şekil 4.116). Ayrıca taşıyıcı sistemde kolonun orta noktasından yanal olarak mesnetlenmemesi durumu da incelenmiştir. Bu durumda D1 tasarım depremi altında, kolonda elastik yanal burkulma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.116).

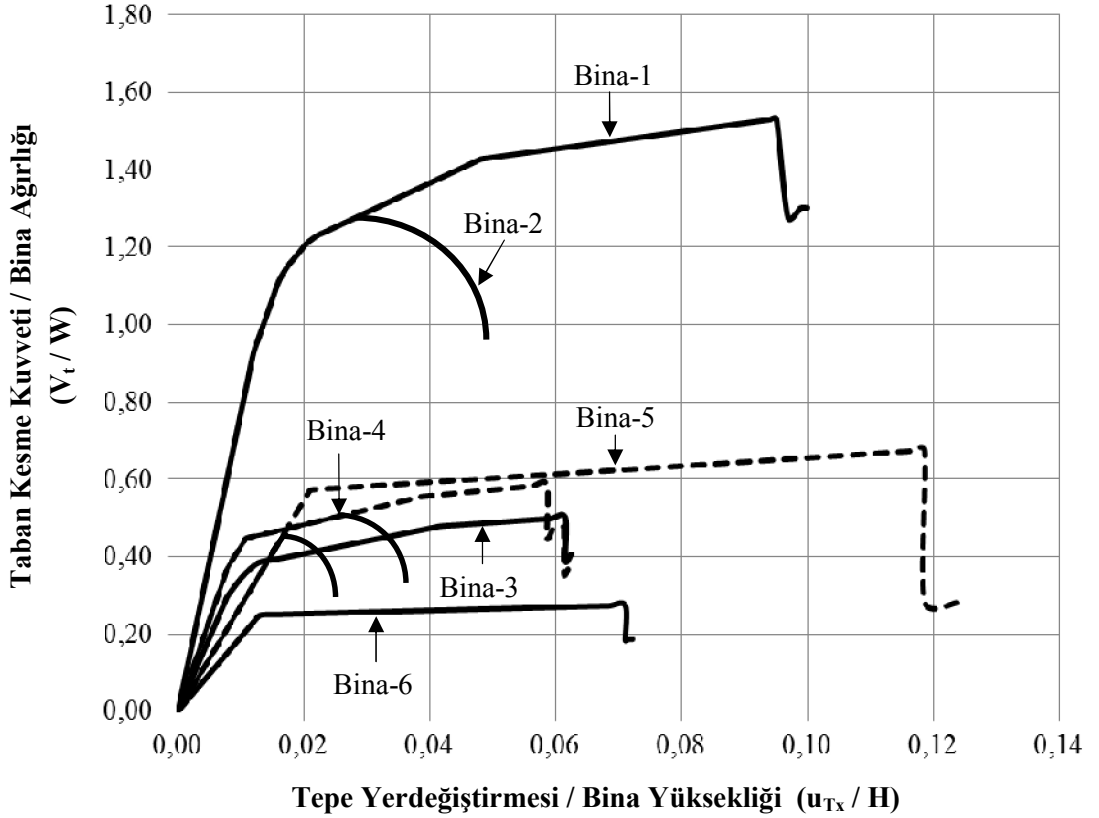


Şekil 4.116 : Bina-6 Kısa Doğruyu Kiriş ve Kolonda Yanal Mesnetlenme Mesafesinin Deprem Performansına Etkisi

4.7 Tüm Binalara Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde tüm binalar için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. İncelenen binaların kısa doğrultularındaki taşıyıcı sistemlerine ait normalleştirilmiş kapasite eğrileri Şekil 4.117’de, uzun doğrultularındaki taşıyıcı sistemlerine ait normalleştirilmiş kapasite eğrileri ise Şekil 4.118’de karşılaştırılmıştır.

Bina ağırlığı cinsinden yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden *Taban Kesme Kuvveti / Bina Ağırlığı oranları*; hafif binalarda, ağır binalardakinden çok daha yüksek olarak elde edilmiştir. (Şekil 4.117-4.118).

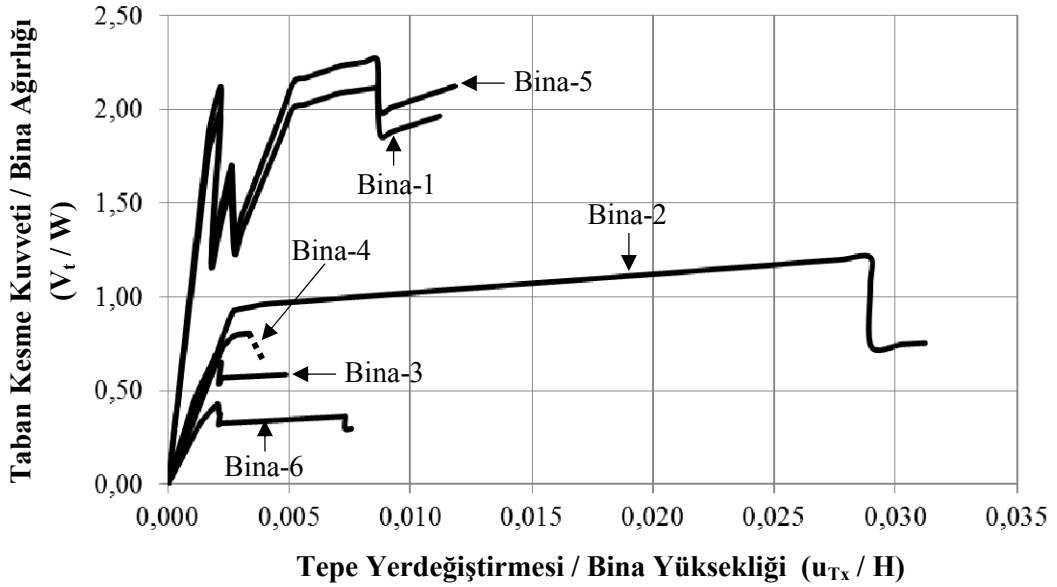


Şekil 4.117 : Binaların Kısa (X) Doğrultularına Ait Normalleştirilmiş Kapasite Eğrileri

Şekil 4.117'den görüldüğü gibi eğik kirişli çerçeve sistemlerde (Bina-1,3), süneklik düzeyinin yüksek olması kiriş kapasitelerini artırarak sistem süneklik oranlarının yüksek olmasını sağlamıştır. Süneklik düzeyi normal sistemlerde (Bina-2,4) ise kirişlerdeki stabilite problemleri nedeniyle süneklik oranları çok daha küçük elde edilmiştir.

Ağırlığı az olan kafes kirişli sistemde (Bina-5) ise kolonlarda meydana gelen yanal stabilite problemleri nedeniyle çok gevrek bir davranış görülmüştür (Şekil 4.117).

Ağır olan eğik kirişli çerçeve sistem (Bina-3) ve kafes kirişli sistem (Bina-6) benzer süneklik oranlarını göstermiştir (Şekil 4.117).



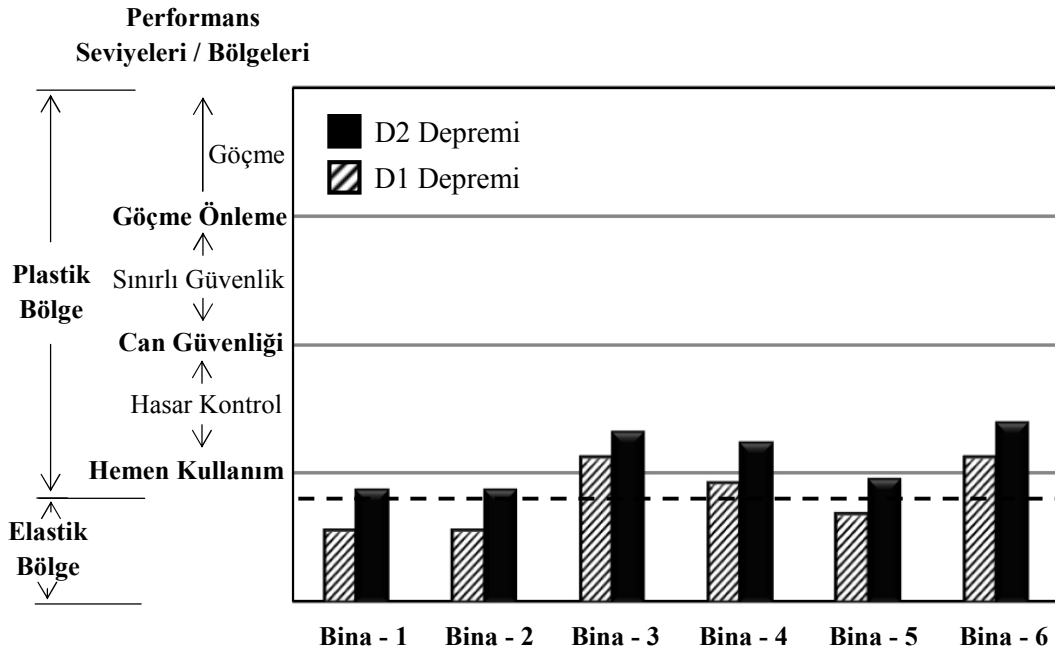
Şekil 4.118 : Binaların Uzun (Y) Doğrultularına Ait Normalleştirilmiş Kapasite Eğrileri

Şekil 4.118'den görüldüğü gibi, sadece çekme kuvveti taşıyan çaprazlı taşıyıcı sistemin, hafif bina (Bina-2) için çok büyük süneklik sağladığı, ancak ağır binada (Bina-4) bir kiriş burkulması nedeniyle en gevrek davranışı gösterdiği görülmektedir.

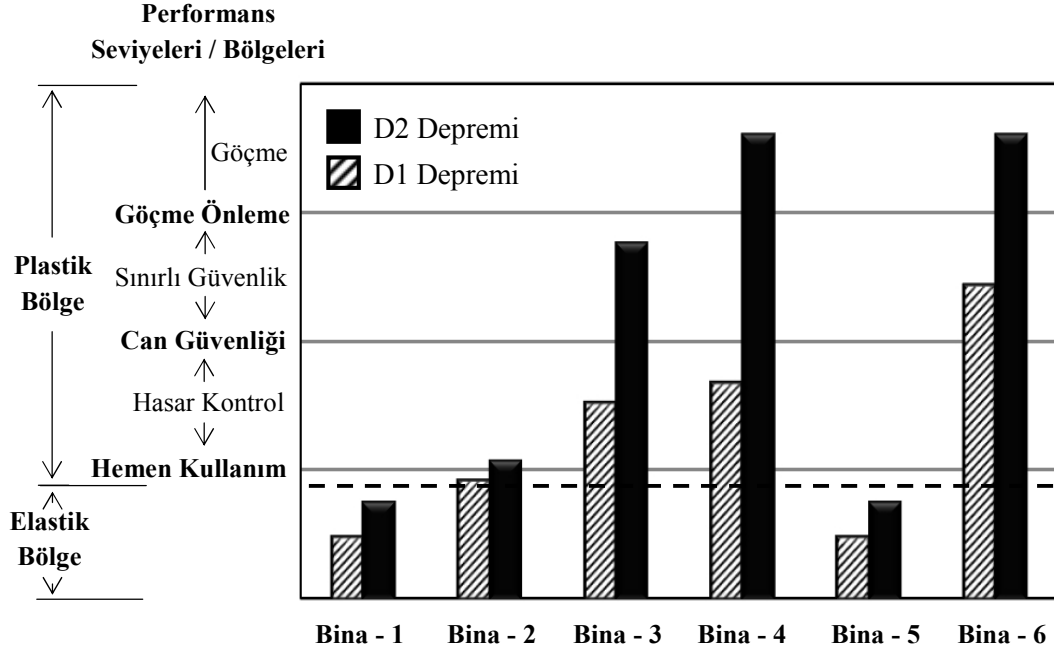
Hem basınç hem çekme kuvveti taşıyan çaprazlı taşıyıcı sistemlerin basınç çaprazlarında burkulmalar oluşmasına rağmen yönetmelikte öngörüldüğü gibi sünek davranış gösterebildikleri görülmektedir (Şekil 4.118).

Hafif binalarda kullanılan diyagonal çaprazlı sistemlerde burkulmadan kaynaklanan dayanım azalmalarının, ağır binalardaki X çaprazlı sistemlerden çok daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.118).

İncelenen binaların kısa doğrultularındaki taşıyıcı sistemlerine ait performans seviyeleri / bölgeleri Şekil 4.119’da, uzun doğrultularındaki taşıyıcı sistemlerine ait performans seviyeleri / bölgeleri Şekil 4.120’de karşılaştırılmıştır. Grafiklerdeki değerler, her bir taşıyıcı sistem için ayrı ayrı olmak üzere, sınır performans seviyelerine karşılık gelen tepe yerdeğiştirmeleri ile deprem taleplerine karşılık gelen tepe yerdeğiştirmeleri arasında lineer interpolasyon yapılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.119 : Binaların Kısa Doğrultularına Ait Performans Seviyeleri / Bölgeleri



Şekil 4.120 : Binaların Uzun Doğrultularına Ait Performans Seviyeleri / Bölgeleri

Şekil 4.119 ve 4.120’de görüldüğü gibi tüm binaların kısa ve uzun doğrultularına ait performans seviyeleri / bölgeleri D1 ve D2 deprem seviyeleri için grafik üzerine işlenmiştir. Burada taşıyıcı sistemlerin hangi performans seviyeleri arasında kaldığı, hangisine daha yakın olduğu ve sistem elastik bölge de ise plastikleşmesine ne kadar yakın olduğu görülmektedir.

Bina-1’in kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında elastik bölge sınırın altında kalmıştır. D2 depremi altında ise kısa doğrultu taşıyıcı sistemi elastik bölge sınırını geçmiştir. Küçük plastikleşmeler meydana gelse de taşıyıcı sistem Hemen Kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem D2 depremi altında da elastik bölge sınırın altında kalmıştır.

Bina-2’nin kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında elastik bölge sınırının altında kalmış, uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi ise elastik bölge sınırını geçmiş fakat Hemen Kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. D2 depremi altında kısa doğrultudaki taşıyıcı sistem elastik bölge sınırını geçmiş fakat Hemen Kullanım performans seviyesi altında kalmış, uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem ise

Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir.

Bina-3'ün kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir. D2 depremi altında kısa doğrultu taşıyıcı sistemi Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem ise D2 depremi altında Can Güvenliği performans seviyesini geçmiş, Sınırlı Güvenlik performans bölgesine girmiş ve Göçme Önleme performans seviyesine yaklaşmıştır.

Bina-4'ün kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında elastik bölge sınırını geçmiş fakat Hemen Kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi ise D1 depremi altında Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş, Hasar Kontrol performans bölgesine girmiş ve Can Güvenliği performans seviyesine yaklaşmıştır. D2 depremi altında kısa doğrultu taşıyıcı sistemi Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem ise D2 depremi altında Göçme Önleme performans seviyesini geçmiş ve Göçme bölgesine girmiştir.

Bina-5'in kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında elastik bölge sınırın altında kalmıştır. D2 depremi altında ise kısa doğrultu taşıyıcı sistemi elastik bölge sınırını geçmiştir. Küçük plastikleşmeler meydana gelse de taşıyıcı sistem Hemen Kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem D2 depremi altında da elastik bölge sınırın altında kalmıştır.

Bina-6'nın kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemi D1 depremi altında Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi ise Can Güvenliği performans seviyesini geçmiş ve Sınırlı Güvenlik performans bölgesine girmiştir. D2 depremi altında kısa doğrultu taşıyıcı sistemi Hemen Kullanım performans seviyesini geçmiş ve Hasar Kontrol performans bölgesine girmiştir. Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi ise Can Güvenliği performans seviyesini geçmiş ve Sınırlı Güvenlik performans bölgesine girmiştir.

5. SONUÇLAR

Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre boyutlandırılmış tek katlı çelik endüstri binalarının deprem performanslarının ve deprem performansını etkileyen stabilite problemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, taşıyıcı sistem tipi, süneklik düzeyi ve sistem ağırlığı bakımından farklı özelliklerde altı adet bina üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemleri; kısa doğrultuda temelde ankastre kolonlara oturan eğik kirişli çerçevelerden ve kafes kirişli sistemlerden, uzun doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulmuştur. Ayrıca çatı düzleminde aşıklar ve stabilite bağlantıları ile taşıyıcı sistemler birbirine bağlanmıştır.

Çelik binaların deprem performanslarının değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-06'da verilen modelleme parametreleri ve performans kriterleri esas alınmıştır. Çalışmada "*Doğrusal Olmayan Statik Yöntem*" kullanılmıştır. Ayrıca bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altındaki tepe yerdeğiştirmesi talepleri Türk Deprem Yönetmeliği 2007'deki prosedüre göre de belirlenmiş ve sonuçlar ASCE/SEI 41-06 ile karşılaştırılmıştır.

Bina performans değerlendirmeleri iki farklı deprem tehlike seviyesi için yapılmıştır. Birincisi binaların tasarımında esas alınan deprem seviyesidir. İkincisi ise binanın bulunduğu bölgedeki en büyük depremi temsil eden deprem seviyesidir.

İncelenen altı adet binadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tüm bina taşıyıcı sistemlerinde ASCE/SEI 41-06 ve TDY 2007'den elde edilen hedef yerdeğiştirmesi (performans noktası) değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Bina ağırlığının etkisi : Çalışmada üç adet hafif (deprem ağırlığı az olan) bina ve üç adet ağır (deprem ağırlığı fazla olan) bina incelenmiştir.

- Hafif binaların (Bina-1,2,5) hem kısa hem de uzun doğrultu taşıyıcı sistemlerinin deprem performansları TDY’de öngörülenin (Can Güvenliği Performans Seviyesi) çok üzerinde elde edilmiştir. Bu binalar kendilerine etkiyecek en büyük deprem etkisi (D2) altında dahi Hemen Kullanım performans seviyesini sağlamışlardır. Ancak kısa doğrultudaki kafes kirişli sistemde bu performans seviyesinin sağlanabilmesi için kolonlarda yanıl stabilite önlemi alınması gerektiği belirlenmiştir.
- Ağır binaların (Bina-3,4,6) kısa doğrultu taşıyıcı sistemlerinin deprem performansları TDY’de öngörülenin (Can Güvenliği Performans Seviyesi) üzerinde elde edilmiştir. Bu binalardaki performans seviyesi, kendilerine etkiyecek en büyük deprem etkisi altında dahi Hasar Kontrol performans bölgesi olarak elde edilmiş ve TDY’de öngörülen Can Güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.

Ağır binaların (Bina-3,4) uzun doğrultu taşıyıcı sistemleri tasarım depremi (D1) altında TDY’de öngörülen Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı, en büyük deprem (D2) etkisi altında Can Güvenliği performans seviyesini sağlayamadığı belirlenmiştir. Ancak çapraz elemanların boyutlandırılmasında esas alına burkulma boylarının bu performans seviyesini önemli ölçüde değiştirebildiği görülmüştür (Bina-6).

Ağır bina olan Bina-6’nın uzun doğrultu taşıyıcı sistemi tasarım depremi (D1) altında Sınırlı Güvenlik performans bölgesine geçmiş ve TDY’de öngörülen Can Güvenliği performans seviyesini sağlayamamıştır. Bina-3 ve Bina-6’nın çapraz özellikleri dışındaki özellikleri çok benzerdir.

Süneklik Düzeyinin Etkisi : Çalışmada süneklik düzeyini etkisi, iki adet süneklik düzeyi yüksek bina (Bina-1,3), iki adet süneklik düzeyi normal bina (Bina-2,4) ile değerlendirilmiştir.

- Süneklik düzeyinin yüksek veya normal olması, kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarını, hafif binalarda hiç etkilememiş, ağır binalarda ise çok düşük düzeyde etkilemiştir.
- Süneklik düzeyi normal olan kısa doğrultu taşıyıcı sistemlerinde, kirişlerle ilgili yanal mesnetlenme mesafe koşulu uygulanmadığı için deprem etkisi altında bu elemanlarda plastik yanal (burulmalı) burkulma stabilite limit durumu oluşmuştur. Bu durum sistemlerin süneklik oranlarını önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak bu sistemlerde çok fazla dayanım fazlalığı bulunması nedeniyle, hem tasarım depremi (D1) hem de en büyük deprem (D2) etkileri stabilite problemi olmadan karşılanabilmiştir.

Süneklik düzeyi yüksek olan kısa doğrultu taşıyıcı sistemlerinde ise TDY'de öngörülen koşul sayesinde yanal burkulma önlenmiş ve elemanlar tam plastik kapasitelerine ulaşabilmişlerdir.

İncelenen sistemler üzerinde yapılan yanal stabilite kontrollerinde, TDY'de kirişler için öngörülen yanal mesnetlenme mesafesi koşullarının yeterli olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada, incelenen tek katlı endüstri binalarında uygulanabilecek yanal burkulmayı önleyici bağlantı detaylarına da yer verilmiştir.

- Süneklik düzeyinin yüksek veya normal olması, uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemin boyutlandırma aşamasında çok etkili olmuştur. Bunun sebebi, süneklik düzeyi yüksek sistemlerde belirli basınç ve çekme dayanımına sahip merkezi çapraz perdeler kullanılması, süneklik düzeyi normal sistemlerde ise basınç taşıma kapasitesi olmayan (çok narin), sadece belirli çekme dayanımına sahip merkezi çaprazlardan oluşan perdeler kullanılmış olmasıdır. Bu fark nedeniyle deprem performansları da farklı elde edilmiştir.

Süneklik düzeyi normal sistemlerde eleman hasarlarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde deprem etkisi altında TDY’de öngörüldüğü gibi basınç çaprazlarında burkulmalar olduğu, buna rağmen sünek davranışın gerçekleştiği gözlenmiştir.

Süneklik düzeyi normal olan ağır binada (Bina-4) çapraz sistemi kirişlerinden birinde oluşan burkulma nedeniyle çok gevrek bir davranış gözlenmiştir.

- Kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemin, eğik kirişli çerçeve sistem yerine kafes kirişli sistem olarak uygulanması kolon boyutlarını hafif binalarda belirli ölçüde azaltmıştır. Hafif ve ağır binalarda her iki sistem için de aynı performans seviyesi elde edilmiştir. Ancak kafes kirişle teşkil edilen hafif binanın (Bina-5) kolonlarında, tasarım depremi altında stabilite problemi (yanal burkulma) gözlenmiştir. Bu stabilite probleminin önlenmesi için kolonların orta noktalarından yanal olarak mesnetlenmesi gerektiği belirlenmiştir. Çerçeve sistem ile teşkil edilen hafif binada (Bina-1) ise deprem etkisi altında kolonlarda yanal stabilite problemi oluşmamıştır.
- Çalışmada ayrıca, X tipi merkezi çaprazlarda çapraz düzlem dışı burkulma boyunun etkisini gözlemek amacıyla, özellikleri benzer olan iki ağır binanın (Bina-3,6) uzun doğrultu taşıyıcı sisteminde çaprazların burkulma boyları iki farklı kabule göre tasarlanmış ve binaların deprem performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan kabuller düzlem dışı burkulma boyunun köşegen boyuna eşit olması durumu (Bina-3) ve burkulma boyunun köşegen yarısı olması durumudur (Bina-6).

Çaprazlar için en elverişli durumu temsil eden köşegen yarısının esas alınması durumunda kesitlerin oldukça küçüldüğü, buna karşılık TDY’de öngörülen Can Güvenliği performans düzeyinin sağlanamadığı belirlenmiştir. Çaprazlar için en elverişsiz durumu temsil eden tam köşegen boyunun esas alınması durumunda ise çapraz kesitlerinin arttığı, ancak TDY’de öngörülen performans düzeyinin sağlandığı belirlenmiştir. Çapraz tasarımındaki burkulma boyu kabulü deprem performansını çok değiştirmiştir.

- Altı adet bina üzerinde yapılan bu çalışmanın, farklı açıklık ve yüksekliklerde, değişken kesitli, guseli, çok açıklıklı vb. binaları içerecek şekilde genişletilmesinin, endüstri binalarının deprem performansının iyileştirilmesi konusunda önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Altay, G. and Güneyisi, E. M., “Türkiye’de Yapısal Çelik Sektörü ve Yeni Gelişimler”, (ed: A. Koçak), *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisleri Sorunları Kongresi*, Antalya, (2005).
- [2] Sequi, W. T., *Steel Design*, vol 4, United Kingdom: Cengage Learning, 140-193, (2007).
- [3] Li, G. Q. and Li, J. J., *Advanced Analysis and Design of Steel Frames*, England: John Wiley and Sons Inc., (2007).
- [4] Wong, M. B., *Plastic Analysis and Design of Steel Structures*, United Kingdom: Elsevier Ltd: Butterworth-Heinemann, (2009).
- [5] Martin, L. H. and Purkiss, J. A., *Structural Design of Steelwork*, vol 3, United Kingdom: Elsevier Ltd: Butterworth-Heinemann, (2007).
- [6] Davison, B., Steel Construction Institute and Owens, G. W., *Steel Designers’ Manual*, vol 6, England: Blackwell Publishing - John Wiley and Sons Inc., (2005).
- [7] McGuire, W., Gallagher, R. H. and Ziemian, R. D., *Matrix Structural Analysis*, vol 2, England: John Wiley and Sons Inc., (2000).
- [8] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ”, (2007).

- [9] Vision 2000, “Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, Structural Engineers Association of California, , Sacramento,CA, (1995).
- [10] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, V.1, Applied Technology Council, California, USA, (1996).
- [11] FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (1997).
- [12] SEAOC, “Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Blue Book”, Structural Engineers Association of California, Seventh Edition, Sacramento,CA, (1999).
- [13] FEMA, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, FEMA 350, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (2000).
- [14] FEMA, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (2000).
- [15] FEMA, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (2004).
- [16] ASCE, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, (2007).
- [17] Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, “İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği versiyon 3”, İstanbul, (2008).

- [18] Erozan, M. B., “Seismic Behavior of Semi-Rigid Connections in Multi-Bay Industrial Steel Structures”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2003).
- [19] Dinçer, T., “Performance Based Evaluation of An Existing Industrial Steel Structure With Semi-Rigid Connections”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2003).
- [20] Apaydın, Y., “Çelik Endüstri Yapılarının Deprem Performanslarının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2005).
- [21] Çukur, C., “Çelik Yapıların Nonlinear Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).
- [22] Koçdağ, S., “Mevcut Bir Çelik Endüstri Yapısının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2008).
- [23] Uang, C. M. and Hong, J. K., “Research on Cyclic Behavior and Design of Metal Buildings”, *Structures 2008 : Crossing Borders*, Vancouver, Canada (2008).
- [24] Mungan, Ö., “Tek Açıklıklı Endüstri Yapılarında Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).

- [25] Çakıroğlu, A. and Özer, E., *Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler-1*, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi, (1980).
- [26] Özer, E., “Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları”, www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul, (2009).
- [27] Naeim, F., *The Seismic Design Handbook*, vol 2, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, (2001).
- [28] AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-05, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (2005).
- [29] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1980).
- [30] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1997).
- [31] SAP 2000, Structural Analysis User’s Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [32] AISC, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (2005).
- [33] AISC, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (1999).
- [34] Louw, G.S., “Lateral Support of Axially Loaded Columns in Portal Frame Structures Provided by Sheeting Rails”, Master Thesis, *Stellenbosch University*, Cape Town, South Africa, (2008).

- [35] Helwig, T. A. and Yura, J. A. "Torsional Bracing of Columns", *Journal of Structural Engineering*, 125, 547-555, (1999).
- [36] Kim, S. E., Lee, J. and Park, J. S., "3D Second-Order Plastic-Hinge Analysis Accounting for Lateral Torsional Buckling", *International Journal of Solids and Structures*, 39, 2108-2128, (2002).
- [37] Kim, S. E. and Lee, J., "Improved Refined Plastic-Hinge Analysis Accounting for Local Buckling", *Engineering Structures*, 23, 1031-1042, (2001).
- [38] Davies, J. M., "Strain Hardening, Local Buckling and Lateral Torsional Buckling in Plastic Hinges", *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 27-34, (2006).
- [39] Lee, G. C., Ferrara, A. T. and Galambos, T. V., "Experiments on Braced Wide-Flanged Beams", *Defense Documentation Center*, Virginia, USA, (1963).
- [40] Richard, R. M., "Lateral Bracing of Seismic Beams", *Modern Steel Construction*, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (2004)
- [41] Davaran, A. and Hoveidae, N. "Effect of mid-connection detail on the behavior of x-bracing systems", *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 985-990, (2009).
- [42] Moon, J., Yoon, K. Y., Han, T. S. and Lee, H. E. "Out-of-plane buckling and design of X-bracing systems with discontinuous diagonals", *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 285-294, (2007).
- [43] Stoman, H., "Effective Length Spectra for Cross Bracings", *Journal of Structural Engineering*, 115, 3112-22, (1989).