

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



**TİPİK BİR ÇELİK ENDÜSTRİ YAPISINDA ÇAPRAZLI PERDE  
TİPİNİN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM LEKESİZ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

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



**TİPİK BİR ÇELİK ENDÜSTRİ YAPISINDA ÇAPRAZLI PERDE  
TİPİNİN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM LEKESİZ**

**Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER (Tez Danışmanı)**

**Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK**

**Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**İbrahim LEKESİZ** tarafından hazırlanan “**TİPİK BİR ÇELİK ENDÜSTRİ YAPISINDA ÇAPRAZLI PERDE TİPİNİN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21.06.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Yrd. Doç. Dr.  
Kaan TÜRKER

Doç. Dr.  
Baki ÖZTÜRK

Yrd. Doç. Dr.  
Altuğ YAVAŞ



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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

## ÖZET

**TİPİK BİR ÇELİK ENDÜSTRİ YAPISINDA ÇAPRAZLI PERDE TİPİNİN  
DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İBRAHİM LEKESİZ  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI : YRD. DOÇ. DR. KAAAN TÜRKER)  
BALIKESİR, 2016**

Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre tasarlanan çelik endüstri yapılarında farklı çaprazlı perde alternatiflerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapıların deprem sonrası hemen kullanımını sağlayacak performans seviyesine yükseltilmesi için gerekli çapraz takviyeleri belirlenmiştir.

İncelemeler iki katlı tipik endüstri yapıları üzeride yapılmıştır. Yapıları bir doğrultuda çerçeve sistemlerden, diğer doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulmuştur. Çalışmada 4 farklı merkezi çaprazlı perde tipi incelenmiştir. Bunlar *diyagonal* tipi, *ters-V* tipi, *X* tipi, ve *iki katta-X* tipi çaprazlı perdelerdir. Herbir çaprazlı perde tipi süneklik düzeyi normal ve yüksek olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Ayrıca yüksek narinlikli elemanların kullanıldığı sadece çekmeye çalışan *X* tipi çaprazlı perde de incelenmiştir. Performans değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-13'de verilen modelleme parametreleri ve performans kriterleri esas alınmıştır. Çalışmada Doğrusal Olmayan Statik Yöntem kullanılmıştır.

*Diyagonal* tip, *2 katta X* tipi ve *sadece çekmeye çalışan X* tipi sistemlerde daha iyi deprem performansları elde edilmiştir. En düşük performans seviyesi ise *ters-V* tipi çaprazlı sistemde elde edilmiştir. Süneklik düzeyi normal olan tüm çapraz tiplerinde Can Güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır. Ancak süneklik düzeyi yüksek *ters-V* tipi çaprazlı sistemde ise bu performans seviyesinin sağlanamadığı belirlenmiştir. Hemen Kullanım performans seviyesine yükseltilmiş yapılarda, kullanılan çapraz miktarı bakımından en uygun çapraz tipinin *diyagonal* çapraz olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER :** Çelik endüstri yapısı, deprem performansı, merkezi çaprazlı perde sistem, doğrusal olmayan statik yöntem.

## ABSTRACT

### THE EFFECTS OF BRACING TYPE ON SEISMIC PERFORMANCE OF A TYPICAL INDUSTRIAL STEEL STRUCTURE

M. Sc. THESIS

İBRAHİM LEKESİZ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE of SCIENCE

DEPARTMENT of CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR : ASSIST. PROF. DR. KAAAN TÜRKER)

BALIKESİR, 2016

The purpose of the study is to evaluate the seismic performance of bracing alternatives in steel industrial structures designed 2007 Turkish Earthquake Code. Moreover, additional bracing quantities to increase structural performances for the level of immediate occupancy after earthquake were determined.

Investigations were carried out on typical two-story industrial structures. The structures were composed of portal frame systems in one direction and concentric bracing systems in other direction. Four types of concentric bracing systems were evaluated in the study. These were *diagonal* bracing, *inverted-V* bracing, *X* bracing and *two-story X* bracing. Each bracing system was designed for normal and high ductility levels. *Tension-only X* bracing including very slender elements were also investigated. Modelling parameters and performance criterias stipulated in ASCE/SEI 41-13 were used in the evaluations. Non-linear Static Analysis Procedure was used in the study.

Better seismic performance levels were obtained with *diagonal* bracing, *two-story X* bracing and *tension-only X* bracing systems. Least performance level was obtained from *inverted-V* bracing system. It was determined that Life Safety Performance Level was ensured for all bracing systems with normal ductility level. However, this level was not ensured for *inverted-V* bracing system with high ductility level. The results showed that optimal bracing type in terms of used brace quantities was *diagonal* bracing for the structures increased to Immediate Occupancy Performance Level.

**KEY WORDS** : Steel industrial structure, seismic performance, concentric bracing system, non-linear static analysis

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür İncelemesi.....	4
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	9
<b>2. ASCE/SEI 41-13 'e GÖRE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ TANIMLAR- TEMEL KAVRAMLAR</b> .....	<b>10</b>
2.1 Performans Seviyeleri.....	10
2.2 Analiz Yöntemleri.....	16
2.3 Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri.....	22
<b>3. YAPI ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER</b> .....	<b>27</b>
3.1 Yapıların Tasarımı.....	32
3.1.1 Yapı-1 'in Tasarımı.....	33
3.1.2 Yapı-2 - Yapı-9 'un Tasarım Sonuçları.....	50
3.2 Yapıların Deprem Performanslarının Belirlenmesi.....	64
3.2.1 Yapı-1 'in Deprem Performansının Belirlenmesi.....	66
3.2.1 Yapı-2 - Yapı-9 'un Performans Değerlendirmeleri.....	81
3.3 Yapıların Uzun Doğrultu Deprem Performanslarının Hemen Kullanım Seviyesine Yükseltilmesi.....	104
3.4 Sonuçların Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi.....	113
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	<b>120</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>122</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Arakathlı endüstri yapılarına ait taşıyıcı sistemler.....	1
Şekil 1.2 : Yaygın kullanılan merkezi çelik çaprazlı perde sistem örnekleri.....	2
Şekil 2.1 : Sistem kapasite eğrisi üzerinde performans seviyeleri ve bölgeleri.....	12
Şekil 2.2 : Yapı performans hedefleri / düzeyleri.....	15
Şekil 2.3 : Doğrusal olmayan statik analiz ile belirlenen tipik kapasite eğrisi.....	18
Şekil 2.4 : Kapasite eğrisi idealleştirilmesi ve karakteristik değerler.....	18
Şekil 2.5 : Hedef yerdeğiştirme kapasite eğrisinde dayanım azalımları oluşan bölgede çıkması durumunda .....	21
Şekil 2.6 : Şekil değiştirme ve kuvvet kontrollü davranışlar.....	22
Şekil 2.7 : Eğilme etkisindeki ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanların modelleme parametreleri.....	23
Şekil 2.8 : Performans seviyelerinin iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı üzerinde gösterimi.....	24
Şekil 3.1 : İncelenen yapıların perspektif görünüşü.....	27
Şekil 3.2 : İncelenen yapıların kısa ve uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistemleri .....	28
Şekil 3.3 : Yapıların tipik çatı planı.....	29
Şekil 3.4 : Yapıların tipik arakat planı .....	30
Şekil 3.5 : Yapı-1'e ait kısa doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	33
Şekil 3.6 : Yapı-1'e ait uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	34
Şekil 3.7 : Yapı-1'e ait kısa ve uzun doğrultu kütle idealleştirilmesi.....	34
Şekil 3.8 : Yapı-1'e ait kısa doğrultu sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler.....	35
Şekil 3.9 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için g yüklemesi altında kesit tesir diyagramları.....	36
Şekil 3.10 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için q yüklemesi altında kesit tesir diyagramları.....	37
Şekil 3.11 : Yapı-1'de sisteme etkiyen deprem yükleri.....	38
Şekil 3.12 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için kesit tesir diyagramları.....	39
Şekil 3.13 : Yapı -1'de uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemde normal kuvvet diyagramı (kN).....	40
Şekil 3.14 : Kısa doğrultudaki bir çerçeveye etkiyen rüzgar yükleri.....	40
Şekil 3.15 : Kısa doğrultudaki bir çerçevede rüzgar yükü altında moment diyagramı.....	41
Şekil 3.16 : Tasarımı yapılan çerçeve kirişi.....	41
Şekil 3.17 : Tasarımı yapılan çerçeve kolonu.....	44
Şekil 3.18 : Tasarımı yapılan merkezi çapraz elemanı.....	46
Şekil 3.19 : Yapı -1'de tasarımı yapılan çaprazlı perde kirişi.....	47
Şekil 3.20 : Yapı-2 kısa doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem .....	50
Şekil 3.21 : Yapı-2 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	50
Şekil 3.22 : Yapı-3 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	52

Şekil 3.23 : Yapı-4 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	54
Şekil 3.24 : Yapı- 5 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	55
Şekil 3.25 : Yapı- 6 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem .....	56
Şekil 3.26 : Yapı-7 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	57
Şekil 3.27 : Yapı-8 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	59
Şekil 3.28 : Yapı-9 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.....	61
Şekil 3.29 : Performans değerlendirmelerinde göz önüne alınan ivme spektrumu.....	65
Şekil 3.30 : Çerçeve kirişi için moment-dönme bağıntısı.....	67
Şekil 3.31 : Çerçeve alt kat kolonu için moment-dönme bağıntısı.....	69
Şekil 3.32 : Çapraz sistemi kirişi için normal kuvvet - boy değişimi bağıntısı (yapı-1).....	70
Şekil 3.33 : Kolon etkileşim diyagramı.....	71
Şekil 3.34 : Çapraz sistemi kolonu için normal kuvvet - boy değişimi bağıntısı (yapı-1).....	72
Şekil 3.35 : Çapraz elemanı için normal kuvvet - boy değişimi bağıntısı(yapı-1).....	73
Şekil 3.36 : Yapı -1 kısa doğrultu kapasite eğrisi .....	74
Şekil 3.37 : Yapı -1 uzun doğrultu kapasite eğrisi.....	74
Şekil 3.38 : Yapı -1 kısa doğrultu hedef yerdeğiştirmesinin kapasite eğrisinde gösterimi.....	76
Şekil 3.39 : Yapı -1 uzun doğrultu hedef yerdeğiştirmesinin kapasite eğrisinde gösterimi.....	76
Şekil 3.40 : Yapı-1 $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.....	77
Şekil 3.41 : Yapı -1 kısa doğrultu performans seviyeleri.....	80
Şekil 3.42 : Yapı -1 uzun doğrultu performans seviyeleri ve yerdeğiştirme talebi.....	80
Şekil 3.43 : Yapı -2 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	81
Şekil 3.44 : Yapı -2 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	83
Şekil 3.45 : Yapı -3 uzun doğrultu kapasite eğrisi.....	83
Şekil 3.46 : $\mu_{max}$ hesabı için etkin negatif rijitliğin belirlenmesi (yapı-3).....	84
Şekil 3.47 : Yapı -3 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	86
Şekil 3.48 : Yapı -4 uzun doğrultu kapasite eğrisi.....	86
Şekil 3.49 : $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.....	87
Şekil 3.50 : Yapı -4 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	89
Şekil 3.51 : Yapı -5 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	89
Şekil 3.52 : Yapı -5 $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.....	90
Şekil 3.53 : Yapı -5 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	92
Şekil 3.54 : Yapı -6 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	92
Şekil 3.55 : Yapı -6 $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.....	93
Şekil 3.56 : Yapı -6 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	95
Şekil 3.57 : Yapı -7 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	95
Şekil 3.58 : Yapı -7 $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.....	96
Şekil 3.59 : Yapı -7 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	98
Şekil 3.60 : Yapı -8 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	98



<b>Şekil 3.61</b> : Yapı -8 $\mu_{max}$ hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi .....	99
<b>Şekil 3.62</b> : Yapı -8 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	101
<b>Şekil 3.63</b> : Yapı -9 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.....	101
<b>Şekil 3.64</b> : Yapı -9 uzun doğrultu performans seviyeleri.....	103
<b>Şekil 3.65</b> : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -1).....	104
<b>Şekil 3.66</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-1).....	104
<b>Şekil 3.67</b> : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -2).....	105
<b>Şekil 3.68</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-2).....	105
<b>Şekil 3.69</b> : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -3).....	106
<b>Şekil 3.70</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-3).....	106
<b>Şekil 3.71</b> : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -4).....	107
<b>Şekil 3.72</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-4).....	107
<b>Şekil 3.73</b> : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -5).....	108
<b>Şekil 3.74</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-5).....	108
<b>Şekil 3.75</b> : Hemen kullanım yapısal perf. Seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -6).....	109
<b>Şekil 3.76</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-6).....	109
<b>Şekil 3.77</b> : Hemen kullanım yapısal perf. Seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -7).....	110
<b>Şekil 3.78</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-7).....	110
<b>Şekil 3.79</b> : Hemen kullanım yapısal perf. Seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -8).....	111
<b>Şekil 3.80</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-8).....	111
<b>Şekil 3.81</b> : Hemen kullanım yapısal perf. Seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (yapı -9).....	112
<b>Şekil 3.82</b> : Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (yapı-9).....	112
<b>Şekil 3.83</b> : Yapı-1'de kısa ve uzun doğrultu kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	113
<b>Şekil 3.84</b> : Yapıların kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	114
<b>Şekil 3.85</b> : Yapıların performans seviyelerinin karşılaştırılması .....	115
<b>Şekil 3.86</b> : Yapıların tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması .....	116
<b>şekil 3.87</b> : Yapıların 1. Kat görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması .....	116
<b>Şekil 3.88</b> : Yapıların 2. Kat görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması .....	117
<b>Şekil 3.89</b> : İncelenen yapı sistemlerindeki çapraz ağırlıkları .....	118

<b>Şekil 3.90</b> : Hemen kullanım performans seviyesine sahip yapılardaki çapraz ağırlıkları .....	118
<b>Şekil 3.91</b> : Yapıları hemen kullanım p.s 'ne getirmek için takviye edilen çapraz ağırlıkları.....	119

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1</b>	: Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve bölgeleri.....	11
<b>Tablo 2.2</b>	: Çelik taşıyıcı sistemlerde performans seviyelerine karşılık gelen hasar durumları.....	13
<b>Tablo 2.3</b>	: Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri.....	13
<b>Tablo 2.4</b>	: $C_0$ katsayıları.....	19
<b>Tablo 2.5</b>	: $C_m$ katsayıları.....	20
<b>Tablo 2.6</b>	: Çelik taşıyıcı sistemlerde eleman davranış türleri.....	23
<b>Tablo 2.7</b>	: Doğrusal olmayan analiz için modelleme parametreleri ve performans kriterleri (eğilme elemanları).....	25
<b>Tablo 2.8</b>	: Doğrusal olmayan analiz için modelleme parametreleri ve performans kriterleri (eksenel kuvvet elemanları).....	26
<b>Tablo 3.1</b>	: Çalışmada incelen çaprazlı perde tipleri.....	31
<b>Tablo 3.2</b>	: Tasarımda esas alınan karakteristikler .....	32
<b>Tablo 3.3</b>	: Yapı-1'in deprem yükü hesabında esas alınan parametreler.....	38
<b>Tablo 3.4</b>	: Çerçeve kirişine ait enkesit özellikleri.....	42
<b>Tablo 3.5</b>	: Yapı -1'de çerçeve kirişine ait tasarım parametreleri.....	42
<b>Tablo 3.6</b>	: Çerçeve kolonuna ait enkesit özellikleri.....	44
<b>Tablo 3.7</b>	: Yapı-1' de çerçeve kolonuna ait tasarım parametreleri.....	45
<b>Tablo 3.8</b>	: Yapı -1'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	46
<b>Tablo 3.9</b>	: Yapı-1'de çapraz elemanı tasarım parametreleri.....	47
<b>Tablo 3.10</b>	: Yapı-1 'de çapraz sistemi kirişine ait enkesit özellikleri.....	48
<b>Tablo 3.11</b>	: Yapı-1 'de çapraz sistemi kirişi için tasarım parametreleri.....	48
<b>Tablo 3.12</b>	: Aşık, döşeme kirişi ve arakat kirişi tasarım sonuçları.....	49
<b>Tablo 3.13</b>	: Arakat kolonu tasarım sonuçları.....	49
<b>Tablo 3.14</b>	: Yapı -1'e ait tasarım sonuçları özeti.....	49
<b>Tablo 3.15</b>	: Yapı-2 'nin deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	50
<b>Tablo 3.16</b>	: Yapı-2 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	51
<b>Tablo 3.17</b>	: Yapı-2 çapraz eleman tasarım parametreleri.....	51
<b>Tablo 3.18</b>	: Yapı -2 'ye ait tasarım sonuçları özeti.....	51
<b>Tablo 3.19</b>	: Yapı-3 'ün deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	52
<b>Tablo 3.20</b>	: Yapı-3 üst çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	52
<b>Tablo 3.21</b>	: Yapı-3 üst çapraz elemanı için tasarım parametreleri.....	53
<b>Tablo 3.22</b>	: Yapı- 3 alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	53
<b>Tablo 3.23</b>	: Yapı yapı-3 alt çapraz elemanı için tasarım parametreleri.....	53
<b>Tablo 3.24</b>	: Yapı -3'e ait tasarım sonuçları özeti.....	53
<b>Tablo 3.25</b>	: Yapı-4 'ün deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	54
<b>Tablo 3.26</b>	: Yapı-4 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	54
<b>Tablo 3.27</b>	: Yapı-4 'de alt çapraz elemanın tasarım parametreleri.....	55
<b>Tablo 3.28</b>	: Yapı -4'e ait tasarım sonuçları özeti.....	55
<b>Tablo 3.29</b>	: Yapı-5 'in deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	56
<b>Tablo 3.30</b>	: Yapı -5'e ait tasarım sonuçları özeti.....	56
<b>Tablo 3.31</b>	: Yapı-6 'nın deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	57
<b>Tablo 3.32</b>	: Yapı -6 'ya ait tasarım sonuçları özeti.....	57
<b>Tablo 3.33</b>	: Yapı-7'in deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	58
<b>Tablo 3.34</b>	: Yapı-7 'de üst çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	58

<b>Tablo 3.35</b> : Yapı-7 üst çapraz eleman tasarım parametreleri.....	58
<b>Tablo 3.36</b> : Yapı- 7 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.....	58
<b>Tablo 3.37</b> : Yapı-7 alt çapraz eleman tasarım parametreleri.....	59
<b>Tablo 3.38</b> : Yapı -7 'ye ait tasarım sonuçları özeti.....	59
<b>Tablo 3.39</b> : Yapı-8 'in deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	60
<b>Tablo 3.40</b> : Yapı -8'de alt çapraz elemana ait enkesit özellikleri .....	60
<b>Tablo 3.41</b> : Yapı -8 alt çapraz eleman tasarım parametreleri.....	60
<b>Tablo 3.42</b> : Yapı -8 'e ait tasarım sonuçları özeti.....	61
<b>Tablo 3.43</b> : Yapı-9 'a deprem yükleri ve ilgili parametreler.....	61
<b>Tablo 3.44</b> : Yapı- 9 üst çapraz elemana ait enkesit özellikleri.....	62
<b>Tablo 3.45</b> : Yapı- 9 üst çapraz eleman tasarım parametreleri.....	62
<b>Tablo 3.46</b> : Yapı- 9 alt çapraz elemana ait enkesit özellikleri.....	62
<b>Tablo 3.47</b> : Normal gerilme oranlarının hesabında kullanılan parametreler .....	62
<b>Tablo 3.48</b> : Yapı -9 'a ait tasarım sonuçları özeti.....	63
<b>Tablo 3.49</b> : Kısa doğrultu hedef yerdeğiştirme için gerekli parametreler (Yapı-1).....	75
<b>Tablo 3.50</b> : Uzun doğrultu hedef yerdeğiştirme için gerekli parametreler (Yapı-1).....	75
<b>Tablo 3.51</b> : Yapı-1 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	77
<b>Tablo 3.52</b> : Yapı -1 kısa doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.....	78
<b>Tablo 3.53</b> : Yapı -1 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.....	78
<b>Tablo 3.54</b> : Yapı - 2 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	82
<b>Tablo 3.55</b> : Yapı -2 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.....	82
<b>Tablo 3.56</b> : Hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	84
<b>Tablo 3.57</b> : Yapı-3 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	84
<b>Tablo 3.58</b> : Yapı -3 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.....	85
<b>Tablo 3.59</b> : Hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	87
<b>Tablo 3.60</b> : Yapı-4 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	87
<b>Tablo 3.61</b> : Yapı -4 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.....	88
<b>Tablo 3.62</b> : Yapı - 5 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	90
<b>Tablo 3.63</b> : Yapı- 5 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	90
<b>Tablo 3.64</b> : Yapı - 5 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.....	91
<b>Tablo 3.65</b> : Yapı - 6 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	93
<b>Tablo 3.66</b> : Yapı- 6 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	93
<b>Tablo 3.67</b> : Yapı - 6 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.....	94
<b>Tablo 3.68</b> : Yapı - 7 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	96
<b>Tablo 3.69</b> : Yapı- 7 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	96
<b>Tablo 3.70</b> : Yapı - 7 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.....	97
<b>Tablo 3.71</b> : Yapı - 8 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	99
<b>Tablo 3.72</b> : Yapı - 8 uzun doğrultu $\mu_{max}$ hesabında kullanılan parametreler.....	99
<b>Tablo 3.73</b> : Yapı - 8 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.....	100

<b>Tablo 3.74</b> : Yapı - 9 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.....	102
<b>Tablo 3.75</b> : Yapı - 9 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.....	102
<b>Tablo 3.76</b> : Yapılarda kullanılan birincil elemanlar ve eleman ağırlıkları.....	117

## SEMBOL LİSTESİ

$A_0$	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a$	: Zemin sınıflarına göre değişen katsayı
$b_f$	: Enkesit başlık genişliği
$C_0$	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğitirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğitirmesi ile ilişkilendiren katsayı
$C_1$	: Doğrusal - elastik davranış için hesaplanmış yerdeğitirme ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğitirmeleri ilişkilendiren katsayı
$C_2$	: Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğitirme davranışı üzerinde rijitlik azalması ve dayanım kaybı etkisini temsil eden değışiklik katsayı
$C_b$	: Elemanlardaki eğilme momenti diyagramına bağlı olarak belirlenen bir katsayı
$C_m$	: Etkin kütle çarpanı
$C_{mx}$	: Birleşik eğilmeye maruz elemanlarda eğilme burkulması ile yanal burkulmayı ilişkilendiren katsayı
$D$	: Enkesit dış çapı
$d_i, d_{i-1}$	: Binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yerdeğitirmeler
$E_x, E_y$	: Asal doğrultulardaki deprem yükü
$E$	: Çeliğın elastisite modülü
$E$	: Enkesit alanı
$F_b$	: Profil başlık alanı
$F_{cr}$	: Eğilme burkulmasına ait gerilme
$F_e$	: Kritik elastik burkulma gerilmesi
$F$	: Sehim
$G$	: Sabit yük
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$H$	: Yapının temel üst kotundan ölçülen yüksekliğı
$h$	: Profil enkesit yüksekliğı
$h_k$	: Kapasite eğrisinde negatif rijitliğın belirlenmesinde kullanılan katsayı
$I$	: Yapı önem katsayısı
$I_x, I_y$	: Kesitin asal atalet momenti
$i_x, i_y$	: Kesitin atalet yarıçapı
$K$	: Burkulma boyu katsayısı
$K_e$	: Sistemin yanal etkin rijitliğı
$K_i$	: Sistemin yanal başlangıç rijitliğı
$K_s$	: Sistemin akma sonrası rijitliğı
$L$	: Eleman boyu
$l_b$	: Yanal mesnetlenme mesafesi
$M$	: Eğilme momenti
$M_p$	: Kesitin plastik moment taşıma kapasitesi
$M_y$	: Kesitin akma momenti
$m_i$	: $i$ nolu kütle
$N$	: Normal kuvvet

$N_{CL}$	: 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
$Q$	: Hareketli yük
$q$	: Nominal rüzgar basıncı
$R$	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$\mu_{strenght}$	: Elastik dayanımın akma dayanımına oranı
$\mu_{max}$	: Kapasite eğrisinin negatif rijitliğinin belirlenmesinde kullanılan sınır dayanım oranı
$R_a(T_1)$	: $T_1$ periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
$S_a$	: Elastik spektral ivme
$S(T_1)$	: $T_1$ periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
$S_k$	: Eleman burkulma boyu
$S_x, S_y$	: Kesitin asal eksenine göre alan momenti
$s$	: Eğilme elemanlarında basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık
$T$	: Kesme kuvveti
$T_1$	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
$T_A, T_B$	: Zemin karakteristik periyotları
$T_e$	: Yapının yanal etkin rijitliği ile belirlenen periyot
$T_i$	: Yapının yanal başlangıç rijitliğine karşı gelen periyot
$t_f$	: Profil başlık kalınlığı
$t_w$	: Profil gövde kalınlığı
$u$	: Tepe yerdeğiştirmesi
$u_T$	: Yapının hedef tepe yerdeğiştirmesi
$u_y$	: İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesi
$V_{Tx}, V_{Ty}$	: Yapının taban kesme kuvveti
$V_y$	: İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı
$W$	: Yapının deprem hesabına esas olan ağırlığı
$W_e$	: Kesitin elastik mukavemet momenti
$W_p$	: Kesitin plastik mukavemet momenti
$W_x, W_y$	: Rüzgar yükü
$w_i$	: Binanın $i$ 'inci katının ağırlığı
$Z$	: Zemin sınıfı
$\alpha$	: Çatı kirişinin yatayla yaptığı açı
$\alpha_e$	: Kapasite eğrisinde etkin negatif eğim katsayısı
$\alpha_{P-\Delta}$	: Sistemde II. mertebe etkilerin sebep olduğu negatif rijitlik katsayısı
$\alpha_2$	: Kapasite eğrisinde negatif rijitliğin belirlenmesinde kullanılan katsayı
$\Delta$	: Boy değişimi
$\Delta_c$	: Elastik boy kısalma kapasitesi
$\Delta_i$	: Azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta_T$	: Elastik boy uzama kapasitesi
$\delta_i$	: Çerçevenin etkin görelî kat ötelemesi
$\lambda$	: Eleman narınlığı

$\lambda_k$	: Kapasite eğrisinde negatif rijitliğin belirlenmesinde kullanılan yakın fay etkisi katsayısı
$\sigma_a$	: Akma gerilmesi
$\sigma_B$	: Yanal burkulma emniyet gerilmesi
$\sigma_b$	: Yalnız eğilme altında hesaplanan normal gerilme
$\sigma_{bem}$	: Basınç emniyet gerilmesi (normal gerilme)
$\sigma_{eb}$	: Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan normal gerilme
$\sigma_{em}$	: Normal gerilme için emniyet gerilmesi
$\theta_i$	: İkinci mertebe gösterge değeri
$\theta_p$	: Plastik dönme açısı
$\theta_y$	: Kesitin akma gerilmesine karşılık gelen dönme açısı
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\tau_{em}$	: Kayma emniyet gerilmesi



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Tipik bir çelik endüstri yapısında çaprazlı perde tipinin deprem performansına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Lisans, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca çok değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, özellikle tez çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu sabır, hoşgörü ve ilgiden dolayı değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER 'e teşekkürü bir borç bilir, sonsuz saygılarımı sunarım.

Eğitimimde çok büyük emekleri olan sevgili aileme, lisans ve yüksek lisans yolunda beraber çalıştığım kardeşlerim Uğur KARAKAŞ ve Burak KILIÇ 'a ve bu uzun süreç boyunca en büyük destekçim ve yardımcıım olan sevgili eşim Selin LEKESİZ 'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

**Balıkesir, 2016**

**İbrahim LEKESİZ**

## 1. GİRİŞ

Dayanım ve elastisite modülünün diğer malzemelere göre çok yüksek olması, inşa süresinin hızlı olması v.b. sebeplerle yapı malzemesi olarak çeliğin inşaat sektöründeki kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Bir çok yapı türünde kullanılmakla beraber ülkemizdeki çelik yapıların yaklaşık % 60' ını endüstriyel çelik yapılar oluşturmaktadır. Endüstriyel yapıların da büyük bir kısmını atölye ve fabrika amacıyla kullanılan tek katlı veya birkaç katlı yapılar oluşturmaktadır [1] .

Bu tip yapıların taşıyıcı sistemleri, genellikle kısa doğrultuda eğik 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 (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1:** Arakatlı endüstri yapılarına ait taşıyıcı sistemler.

Endüstri yapılarının çatı eğimi genellikle  $4^{\circ}$  ile  $17^{\circ}$  arasında seçilmektedir. Kolon yükseklikleri 6-15 m, çerçeve açıklıkları 15-40 m olarak teşkil edilmektedir. Kafes kirişli yapılarda çerçeve açıklıkları çok daha büyük değerlere ulaşabilmektedir. Çerçeve aralıkları ise 6-7.5 m arasında değişmektedir. Bu tür yapıların projelendirilmesinde, ekonomik çözümler verdiği için yaygın olarak hadde ürünü I tipi profiller kullanılmaktadır [2-3].

Endüstri yapılarının uzun doğrultularındaki çaprazlı perde taşıyıcılar için yaygın olarak diyagonal tipi, X tipi, ters V tipi veya 2 katta X tipi merkezi çaprazlar kullanılmaktadır (Şekil 1.2).



**Şekil 1.2:** Yaygın kullanılan merkezi çelik çaprazlı perde sistem örnekleri.

Endüstri yapıları, Deprem Yönetmeliklerinde genellikle önem katsayısı en düşük yapılar arasında yer almaktadır. Bu nedenle tasarımda öngörülen deprem etkisinde yapılarda önemli hasarlar oluşmaktadır. Bazı durumlarda depremde meydana gelen hasarlar, endüstri yapısında bulunan ekipmanlara verdiği zararlar

ve/veya hasarların sebep olduğu üretim aksamaları nedeniyle yapı sisteminin maliyetini büyük ölçüde aşan kayıplara yol açabilmektedir. Bu bağlamda deprem performansı esaslı değerlendirme ve tasarım yaklaşımı bu tür yapılarda önem kazanmaktadır. Bu yaklaşımda yapıların belirli bir deprem tehlike seviyesi için hasar dağılımına bağlı olarak güvenliği belirlenebilmekte veya istenilen deprem tehlike seviyesi için istenilen hasar düzeyine sahip yapılar tasarlanabilmektedir.

Ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğinde betonarme yapılar için performans esaslı değerlendirme yaklaşımına yer verilmiştir [4]. Ancak çelik yapılar ile ilgili performans değerlendirme esasları bu yönetmelikte yer almamaktadır. 2008 yılında performans esaslı tasarım amacıyla İstanbul 'daki yüksek binalar için "İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği" [5] hazırlanmış ve kullanıma başlanmıştır. Bu yönetmelikte betonarme binalar için şekildeğiştirme esaslı tasarım yaklaşımına yer verilmiş, çelik yapılar için ise ASCE/SEI 41-06 'ya atıf yapılmıştır[6]. ABD 'de "Binaların Sismik Performansının Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" amacıyla hazırlanan bu yönetmelik 2013 yılında geliştirilerek ASCE/SEI 41-13 [7] adıyla yayınlanmıştır. Ayrıca Eurocode- 8 [8] de çelik yapıların performans esaslı değerlendirmesine yer verilmiştir. Ancak bu şartnamenin kapsamı ASCE 41-13'e göre çokkısıtlıdır.

Yönetmeliklerde geniş yer bulmaya başlayan performans esaslı yaklaşımlar yaygın olarak mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirme tasarımında kullanılmaktadır. Çelik yapılar üzerindeki uygulamalar çok kısıtlıdır. Özellikle ülkemizde yaygın olarak kullanım alanı bulan endüstri tipi çelik yapılarda performans esaslı yaklaşımların avantajlarının ortaya konması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada az katlı tipik endüstri yapılarında kullanılan çaprazlı perde taşıyıcı sistemlerinde çapraz tipinin deprem performansına etkileri araştırılmış ve aynı yapıları tasarım depremi sonrası hemen kullanılabilir duruma getirebilmek için yapılması gereken takviye miktarları değerlendirilmiştir.

## 1.1 Literatür İncelemesi

*Yapıların Deprem Performansı Esaslı Değerlendirilmesi İle İlgili Proje, Standart ve Yönetmelikler:*

- 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, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine yer verilmiştir. Aynı zamanda deprem tehlike seviyeleri, performans hedefleri bina performans seviyeleri vb. tanımlamalar yapılmıştır. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametreleri ve performans kriterleri 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 performansa 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 çalışmalar 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 sunulmuştur [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 yöntemlerine yer verilmiştir. Standartta betonarme, çelik, hafif metal ve ahşap yapılar için performans esaslı tasarım değerlendirme kapsamında modelleme parametreleri ve performans kriterleri verilmiştir. Ayrıca taşıyıcı olmayan elemanların performans kriterlerine ve binaların sismik izolasyonu konusuna da yer verilmiştir [6].
- ASCE/SEI 41-13 2013 'de ASCE 41-06 standardı yeni gelişmeleri içerecek şekilde geliştirilmiş ve ASCE 31-03 [16] standardı ile birleştirilerek tek bir standart oluşturulmuştur. Böylece bu iki standart arasındaki uyumsuzluklar giderilmiştir. ASCE 41-06 'ya göre performans seviyelerinde, şekildeğiştirme kriterlerinde, performans hedeflerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizin ve doğrusal statik prosedürün kapsamı genişletilmiş, diğer analiz prosedürlerinde değişiklik yapılmamıştır [7].

- Eurocode 8 Bölüm 3 'de Betonarme, çelik ve yığma yapıların onarım ve güçlendirme esasları verilmiştir. Standartta söz konusu yapılara ait performans kriterleri, hedefleri ve kullanılacak yöntemler tanımlanmıştır. Döküman doğrusal statik / dinamik ve doğrusal olmayan statik / dinamik yöntemlere yer vermiştir. Çelik yapılarda performans değerlendirmeleri için şekildeğiştirme esaslı bir prosedür bulunmamakta, kapasite tasarım ilkeleri çerçevesinde değerlendirme ve güçlendirme yaklaşımları kullanılmaktadır [8].
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (2008)'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yapılacak olan yüksek binaların 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 [5].

#### ***Yapıların Deprem Performansları ile İlgili Çalışmalar:***

- Dinçer, T. (2003)'te, birleşim rijitliğinin ve çaprazların yanal rijitliğine etkisini incelemek amacıyla, yaygın olarak kullanılan birleşimlerle ve çaprazlar ile tasarlanmış çelik endüstri yapıları doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile çözümlenmiştir. Yapıların performansları FEMA 356 çerçevesinde değerlendirilmiştir [17].
- 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 [18].
- Dizdar, O (2009)' da TDY 2007 ve ASCE-7 'ye göre tasarlanan Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçevelerin deprem performansları incelenmiştir. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi kullanılarak 3 ve 9 katlı iki yapı 5 adet şiddetli deprem kaydı altında incelenmiş ve TDY 2007 'deki arttırılmış deprem yüklemesi kriteri (G+Q+2E) değerlendirilmiştir [19].

- Aşçı, A (2012) 'de, 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 perde sistemlerden oluşturulmuştur. Binaların performans değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-06'da önerilen performans kriterleri ve modelleme parametreleri kullanılmıştır. 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) oluşabileceği belirlenmiştir. Çalışmada stabilite problemlerini önlemek için alınması gereken önlemlere de yer verilmiştir [20].
- Bulut, Y (2013) Bu çalışmada, merkezi çaprazlı çelik çerçevelerdeki (MÇÇÇ) farklı çapraz düzenlemelerinin çerçevenin deprem performansına etkisi, doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analiziyle ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinde kullanılmak üzere farklı şiddetli deprem yer hareketi kayıtları seçilmiştir. Seçilen bu kayıtlar Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY, 2007) ve Amerikan Deprem Yönetmeliği'ne (ASCE-7, 2005) uygun olarak tasarlanan 3 ve 10 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçevelere etkilmiştir. Çalışmada X ve ters V çapraz düzenli çerçeveler incelenmiştir. Gerek X çaprazlı, gerekse ters V çaprazlı MÇÇÇ'lerin deprem performansları birbirine oldukça yakın elde edilmiştir. Ters V çaprazlı MÇÇÇ'lerin tasarımında çaprazın bulunduğu açıklıkta daha rijit ve kapasiteli kiriş kullanılması gerektiği ve çaprazlı açıklıktaki kirişlerin kolon gibi tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır [21].
- Kaygusuz, A (2015) 'de, farklı bağ kirişi teşkilleri ile düzenlenen dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla tipik 10 katlı bir çelik binanın deprem kuvveti, taşıyıcı sistemini oluşturan 5 tip dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve farklı bağ kirişi teşkilleri için tasarlanmıştır. 3 boyutlu modellemesi SAP2000 bilgisayar programında yapılan sistemlerin ASCE 7-10,



AISC 360-10 ve AISC 341-10'a göre analiz ve tasarımları gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında ise OpenSEES programı ile doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi yapılmıştır. Tüm sistemler için taban kesme kuvveti ve tepe noktasının göreceli kat öteleme grafikleri ile sistem elemanları için istem/kapasite oranları elde edilmiştir. Kapasite, yerdeğiştirme, bağ kirişi plastik dönme açıları belirlenip yönetmelik koşulları irdelenmiştir[22].

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre tasarlanan çelik endüstri yapılarında farklı çaprazlı perde alternatiflerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapıların deprem sonrası hemen kullanımını sağlayacak deprem performans seviyesine yükseltilmesi için gerekli çapraz takviyeleri belirlenmiştir.

İncelemeler iki katlı tipik endüstri yapıları üzerinde yapılmıştır. Yapıları bir doğrultuda çerçeve sistemlerden, diğer doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulmuştur. Yapıların ikinci katında bir döşeme sistemi oluşturulmuş ve bu sistemin taşıyıcıları mafsallı yapılarak sadece düşey yük etkisinde olmaları sağlanmıştır. Çatı düzleminde aşıklar ve stabilite bağlantıları ile taşıyıcı sistemler birbirine bağlanmıştır.

Çalışmada 4 farklı merkezi çaprazlı perde tipi incelenmiştir. Bunlar Diyagonal tipi, Ters V tipi, X tipi, ve İki katta bir X tipi (alt katta ters v üst katta v tipi) çaprazlı perdelerdir. Herbir çaprazlı perde tipi süneklik düzeyi normal ve yüksek olarak tasarlanmış ve ayrı ayrı incelenmiştir. X tipi çaprazlı perdede ayrıca yüksek narinlikli elemanların kullanıldığı sadece çekmeye çalışan alternatif de incelenmiştir.

Çelik binaların deprem performanslarının değerlendirmelerinde ASCE/SEI 41-13'de [7] verilen modelleme parametreleri ve performans kriterleri esas alınmıştır. Çalışmada Doğrusal Olmayan Statik Yöntem kullanılmıştır.

## 2. ASCE/SEI 41-13'E GÖRE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ TANIMLAR - TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde, ASCE/SEI 41-13 [7] standardı çerçevesinde binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili temel kavramlar, analiz yöntemleri, modelleme parametreleri ve performans kriterleri anlatılmıştır.

### 2.1 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri bir yapı için, belirli bir deprem etkisi altında öngörülen hasar durumunu ifade etmektedir. Bu seviyeler, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonu olarak belirlenir [7].

*Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri ve Bölgeleri;* 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. Hedeflenen performans seviyesini elde etmek için deprem etkilerini taşımada kullanılan elemanlar birincil elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Deprem etkilerini taşımada gerekli olmayan elemanlar ikincil elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı elemanlar için öngörülen performans seviyelerinin ve bölgelerinin adları Tablo 2.1'de verilmiş ve her bir performans seviyesinde yapıda beklenen hedefler açıklanmıştır [7].

**Tablo 2.1 : Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve bölgeleri [7].**

Performans Seviyesi	Kod	Performans Bölgesi
Hemen Kullanım Y.P.S (Immediate Occupancy Structural Perf. Level)	S-1	
Hasar Kontrol Y.P.S (Damage Control Structural Perfomance Level)	S-2	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B (Enhanced Safety Structural Performance Range)
Can Güvenliği Y.P.S (Life Safety Structural Performance Level)	S-3	
Sınırlı Güvenlik Y.P.S (Limited Safety Structural Performance Level)	S-4	Azaltılmış Güvenlik Y.P.B (Reduced Safety Structural Performance Range)
Göçme Önleme Y.P.S (Collapse Prevention Structural Perf. Level)	S-5	
Yapısal Perf. Dikkate Alınmadığı Sev. (Structural Perf. Not Considered)	S-6	

**Hemen Kullanım (HK) Yapısal 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 Yapısal Performans Seviyesi (S-2):** Bu performans seviyesi Can güvenliği ve Hemen kullanım seviyelerinin orta noktasını ifade etmektedir. Hasar düzeyi bakımından Hemen Kullanım seviyesini sağlamayan ancak Can Güvenliği seviyesi hasarlarından da oldukça düşük bir hasar düzeyini tanımlamak için kullanılır.

**Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi :** 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 güvenliğini sağlandığı bir bölgeyi tanımlar.

**Can Güvenliği (CG) Yapısal Performans Seviyesi (S-3) :** Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan 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.

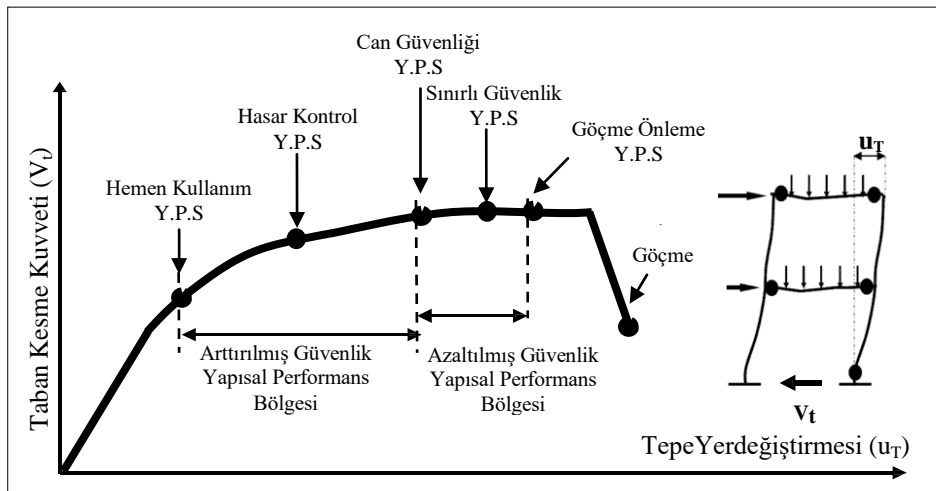
**Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Seviyesi (S-4) :** Bu performans seviyesi Can Güvenliği ve Göçmenin önlenmesi seviyelerinin orta noktasını ifade etmektedir. Hasar düzeyi bakımından Can güvenliği şartlarını tam olarak sağlamayan ancak göçmeye karşı direncin de göçme önlenmesi seviyesine göre oldukça iyi olduğu bir hasar düzeyini tanımlamak amacıyla kullanılır.

**Azaltılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi :** Bu bölgede taşıyıcı elemanların performansları tamamen Can Güvenliği (S-3) koşullarını sağlamayabilir, ancak performans seviyesi göçmenin önlenmesinden daha yüksektir.

**Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Yapısal 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.

**Yapısal 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 2.1).



Şekil 2.1 : Sistem kapasite eğrisi üzerinde performans seviyeleri ve bölgeleri.

Çelik taşıyıcı sistemlerde üç temel performans seviyesi (HK, CG, GÖ) için öngörülen deprem sonrası hasarlar Tablo 2.2’de verilmiştir [7].

**Tablo 2.2 :**Çelik taşıyıcı sistemlerde performans seviyelerine karşılık gelen hasar durumları [7].

Taşıyıcı Sistem Tipi	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (HK)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG)	Göçme Önleme Performans Seviyesi (GÖ)
Moment Aktaran Çelik Çerçeve Sistemler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Birkaç yerde küçük lokal akmlar oluşabilir.</li> <li>Bazı lokal burkulmalar veya gözle görülür kalıcı çarpılmalar olabilir.</li> <li>% 0.7 geçici ve ihmal edilebilir kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mafsal durumudur. Bazı kirişlerde burkulmalar olabilir.</li> <li>Ağır ek yeri çarpılmaları oluşabilir.</li> <li>Moment birleşimlerinde kırılmalar olabilir, kesme birleşimleri sağlamdır.</li> <li>Bazı elemanlarda kısmi kırılmalar olabilir.</li> <li>%2.5 geçici ve % 1 kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kolon ve kiriş panellerinde büyük çarpılmalar oluşabilir.</li> <li>Birçok moment birleşiminde kırılmalar olabilir.</li> <li>Kesme birleşimleri sağlamdır.</li> <li>% 5 geçici yada kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>
Çelik Çaprazlı Perde Sistemler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çapraz elemanlarda küçük akmlar veya bazı lokal burkulmalar olabilir.</li> <li>% 0.5 geçici ve ihmal edilebilir kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Birçok çapraz eleman akabilir veya burkulabilir.</li> <li>Birçok birleşim kırılabilir. Fakat toptan göçme olmaz.</li> <li>% 1.5 geçici ve % 0.5 kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çapraz elemanlarda büyük akmlar ve burkulmalar olabilir.</li> <li>Birçok çapraz eleman ve birleşimleri kırılabilir.</li> <li>% 2 geçici yada kalıcı ötelemeler olabilir.</li> </ul>

**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 2.3’de verilmiş ve her biri tanımlanmıştır [7].

**Tablo 2.3 :** Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri [7].

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam Y.O.P.S (Operational N.P.L)	N-A
Pozisyonu Koruma Y.O.P.S (Position Retention N.P.L)	N-B
Can Güvenliği Y.O.P.S (Life Safety N.P.L)	N-C
Performansın Dikkate Alınmadığı Y.O.P.S (N.P Not Considered)	N-D

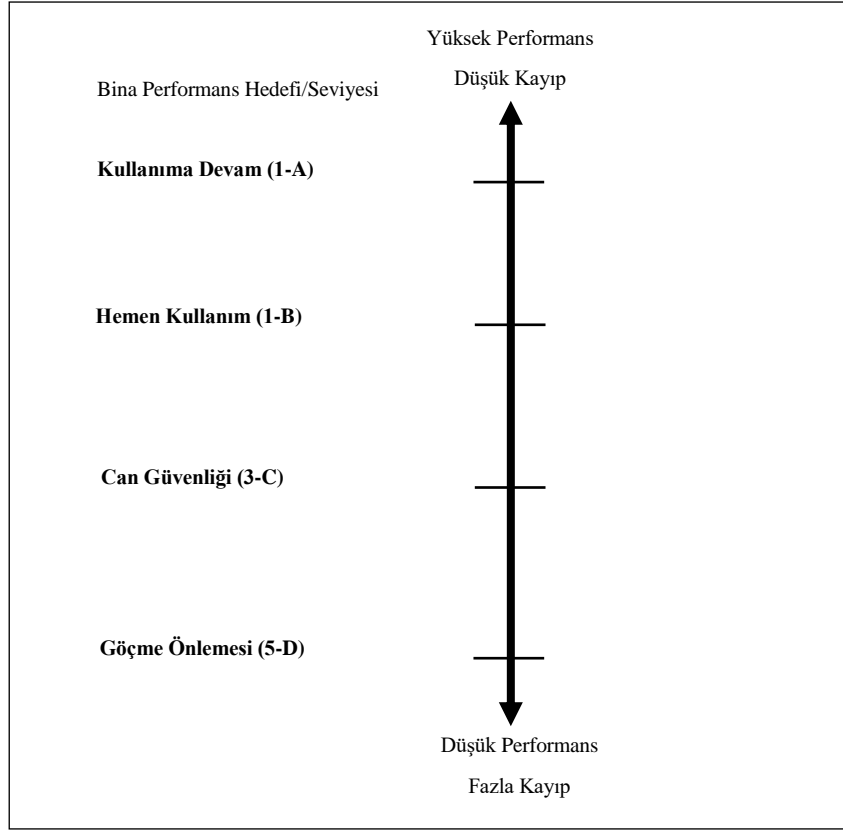
***Kullanıma Devam Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-A)*** : Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanlarda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanların kullanımını engellemez.

***Pozisyonu Koruma (PK) Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-B)*** : Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipmanlarda 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) Yapısal Olmayan 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.

***Performansın Dikkate Alınmadığı Yapısal Olmayan Seviye (N-D)*** : Bazı hallerde, yapısal olmayan elemanlar göz önüne alınmadan da performans değerlendirmesi yapılabilir.

***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. Yaygın olarak kullanılan bazı bina performans hedefleri Şekil 2.2 'de şematik olarak gösterilmiştir ve yapı performans hedefleri aşağıda açıklanmıştır.



**Şekil 2.2** Yapı performans hedefleri / seviyeleri.

**(1-A) Kullanıma Devam 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-D) Göçmenin Önlenmesi (CG) Performans Seviyesi (S-5 + N-D) :** 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.

**Deprem Tehlike Seviyeleri** ; Performansa dayalı değerlendirme kapsamında farklı düzeylerde 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 [7].

2– **Tasarım Depremi (DE)** : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan ve dönüş periyodu 474 yıl olan depremdir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde de tasarımda esas alınan bu deprem ASCE 41-13 'da *Temel Güvenlik Depremi-1* (BSE-1) olarak isimlendirilir [7].

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 41-13'da *Temel Güvenlik Depremi-2* (BSE-2) olarak isimlendirilir [7].

## 2.2 Analiz Yöntemleri

Performans esaslı değerlendirme amacıyla ASCE/SEI 41-13'da verilen yöntemler, iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar doğrusal (lineer) yöntemler ve doğrusal olmayan (non-lineer) yöntemlerdir [7].

**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

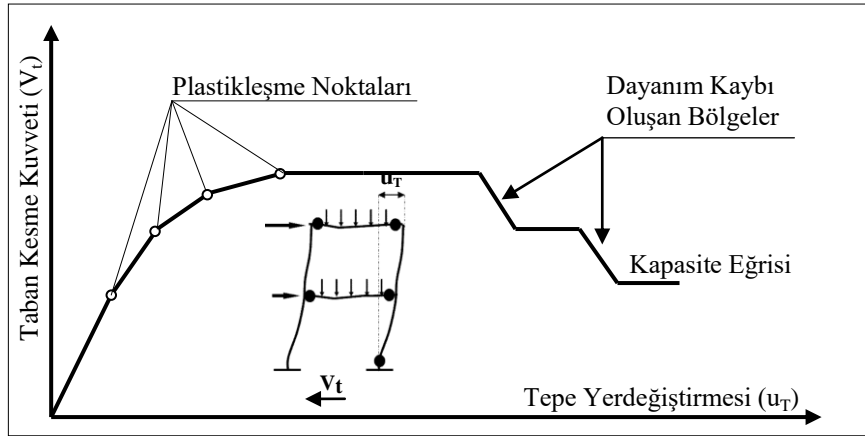
olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal statik yöntemler, birinci (hakim) modun yapı davranışında etkili olduğu binalarda kullanılmaktadır. Doğrusal dinamik yöntemler ise yüksek modların da etkili olduğu binalarda kullanılmaktadır [7].

***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 [7].

***Doğrusal Olmayan Statik Yöntem*** ; Doğrusal olmayan statik yöntem 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.

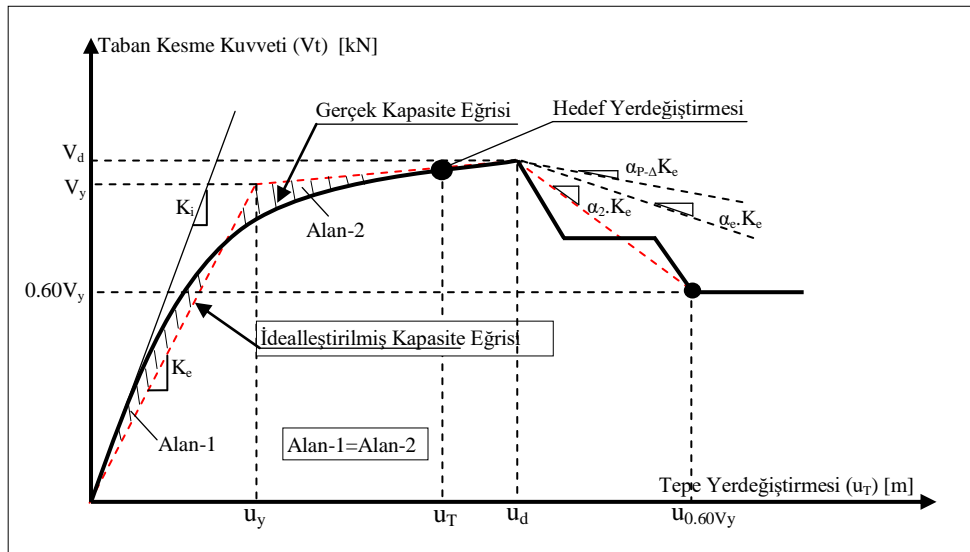
Depremi temsil eden yatay yük olarak, yapının birinci doğal titreşim genliklerine uygun bir eşdeğer deprem yükü dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler altında ve monotonik artan deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre analiz yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Tipik bir kapasite eğrisi Şekil 2.3'de gösterilmiştir [7].



Şekil 2.3 : 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 (Şekil 2.3). Bu idealleştirme yapılırken  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  doğrularının kesim noktası ordinatının ( $V_y$ ) %60'ı olması sağlanır (Şekil 2.4). Ayrıca idealleştirme yapılırken gerçek eğri ile idealleştirme altında kalan alanların (enerjinin) eşitliği esas alınır. Ancak hedef yerdeğiştirme başlangıçta bilinmediğinden bir ardışık yaklaşım yolu izlenir.

Buna göre önce hedef yerdeğiştirme için tahminde bulunulur. Hesaplar sonucunda elde edilen yerdeğiştirme değeri tahmin edilen değere yeter derecede yakın olana kadar işlem tekrarlanır. İlgili koşulu sağlayan idealleştirme gerçekleştirildikten sonra 2.1 bağıntısı ile  $T_e$  etkin periyot değeri hesaplanır [7].



Şekil 2.4 : Kapasite eğrisi idealleştirilmesi ve karakteristik değerler.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.1)$$

Burada;  $T_i$  birinci doğal titreşim periyodu,  $K_i$  yapının elastik yanal rijitliği,  $K_e$  yapının elastik etkin rijitliği,  $u_y$  akma yerdeğiştirmesi,  $V_y$  akma dayanımı olarak tanımlanmaktadır [16].

Doğrusal olmayan statik analiz yönteminde, binanın performans seviyesi kontrolünün yapılacağı  $u_T$  hedef yerdeğiştirmesi 2.2 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$u_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.2)$$

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.

- Yerdeğiştirme kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri,
- Hedef yerdeğiştirmesine ulaşmış binanın deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri,
- Bina taşıyıcı sistemi özelliğine ve kat adedine balı olarak Tablo 2.4 'ten belirlenen değer [7].

**Tablo 2.4 :  $C_0$  katsayıları [7].**

Kat	Kayma Binaları		Diğer 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 binaları azalan binalardır.

$C_1$  : Doğrusal-elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır ve 2.3 bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Periyodun 0.2 sn'den küçük olduğu durumlarda,  $C_1$  katsayısının değeri için periyodun 0.2 sn'ye eşit olduğu andaki değeri alınır. Birinci titreşim periyodu 1.00 sn'den büyük binalarda  $C_1 = 1.00$  alınır.

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{\text{strenght}}^{-1}}{aT_e^2} \quad (2.3)$$

Burada,  $\mu_{\text{strenght}}$  ; elastik dayanımın akma dayanımına oranı, a; zemin sınıflarına göre değişen katsayıdır. ASCE/SEI 41-13'de verilen A ve B sınıfı zeminler için  $a = 130$ , C sınıfı zeminler için  $a = 90$ , D, E ve F sınıfı zeminler için  $a = 60$  alınmaktadır.  $\mu_{\text{strenght}}$  değeri 2.4 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\text{strenght}} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (2.4)$$

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 2.5'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.5 :**  $C_m$  katsayıları [7].

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
$\geq 3$	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	1.00

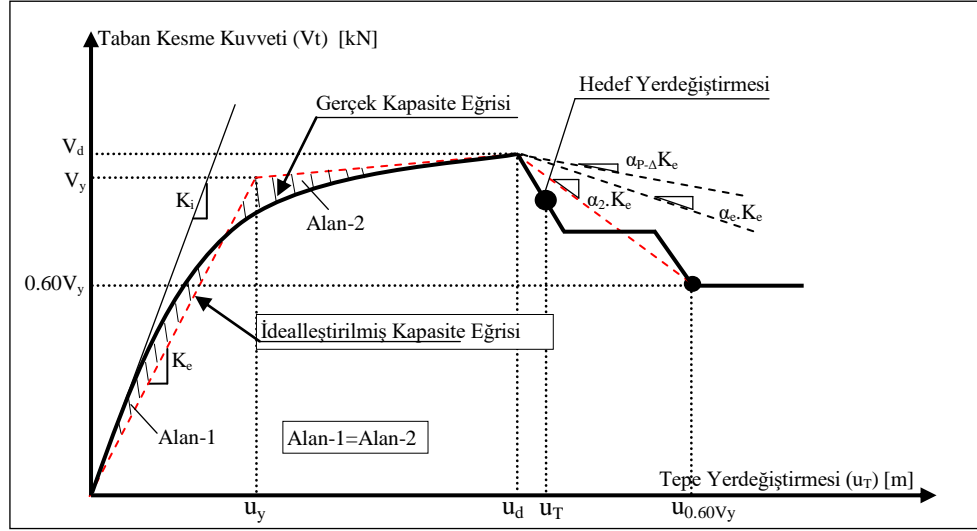
**Not :** Doğal titreşim periyodu 1.00 sn'den büyük binalarda  $C_m = 1.00$  alınır.

$C_2$  : Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde rijitlik azalması ve dayanım kaybı etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır ve 2.5 bağıntısıyla hesaplanır. Birinci titreşim periyodu 0.7 sn'den büyük binalarda  $C_2 = 1.00$  alınır.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{\mu_{\text{strenght}}^{-1}}{aT_e^2} \right) \quad (2.5)$$

Hedef yerdeğiştirmenin kapasite eğrisinin dayanım azalması (negatif eğim) gösteren bölgesinde olması durumunda bu bölgede üçüncü bir eğim hesaplanır. Bunun için kapasite eğrisi üzerinde maksimum taban kesme kuvveti ( $V_d$ ) ve buna karşılık gelen yatay yer değiştirme ( $u_d$ ) noktaları belirlenir. Bu noktaların gerisinde daha önce anlatıldığı gibi bir idealleştirme yapılarak  $V_y - u_y$  noktaları elde edilir. Devamında  $0.60V_y$  değerinden kapasite eğrisini kesen yatay bir doğru çekilerek kesişim noktası işaretlenir . Bu nokta, ( $V_d - u_d$ ) noktasından bir doğru ile birleştirilerek bu doğrunun negatif eğimi  $\alpha_2 K_e$  hesaplanır (Şekil 2.5). Daha sonra yapıda II. mertebe etkinin (P- $\Delta$ )

sebepler olduğu negatif eğim ( $\alpha_{P-\Delta} \cdot K_e$ ) hesaplanır. Bu iki negatif eğimden yararlanarak 2.6 bağıntısı ile etkin negatif eğim ( $\alpha_e K_e$ ) hesaplanır.



Şekil 2.5 : Hedef yerdeğiştirme kapasite eğrisinde dayanım azalmaları oluşan bölgede çıkması durumunda.

$$\alpha_e = \alpha_{P-\Delta} + \lambda_k (\alpha_2 - \alpha_{P-\Delta}) \quad (2.6)$$

Bu bağıntıda  $\lambda_k$  yakın fay etkisini içeren bir katsayıdır.ve aşağıdaki gibi belirlenir.

$$S_a(T=1) \geq 0.6 \text{ ise } \lambda_k = 0.8$$

$$S_a(T=1) < 0.6 \text{ ise } \lambda_k = 0.2$$

Negatif etkin eğimin (rijitliğin), etkin eğime (rijitliğe) oranı olan  $\alpha_e$  (2.7) bağıntısı kullanılarak  $\mu_{\max}$  değeri hesaplanır.

$$\mu_{\max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h_k}}{4} \quad (2.7)$$

$$h_k = 1 + 0.15 \ln T_e \quad (2.8)$$

$\mu_{\max}$  değeri ile dinamik stabilitesizlik durumu kontrol edilerek statik analiz kullanılabilişliği belirlenir. Bunun için  $\mu_{\text{strenght}}$  ve  $\mu_{\max}$  karşılaştırılır.

$$\mu_{\text{strenght}} \leq \mu_{\max} \text{ ise statik analiz kullanılabılır.}$$

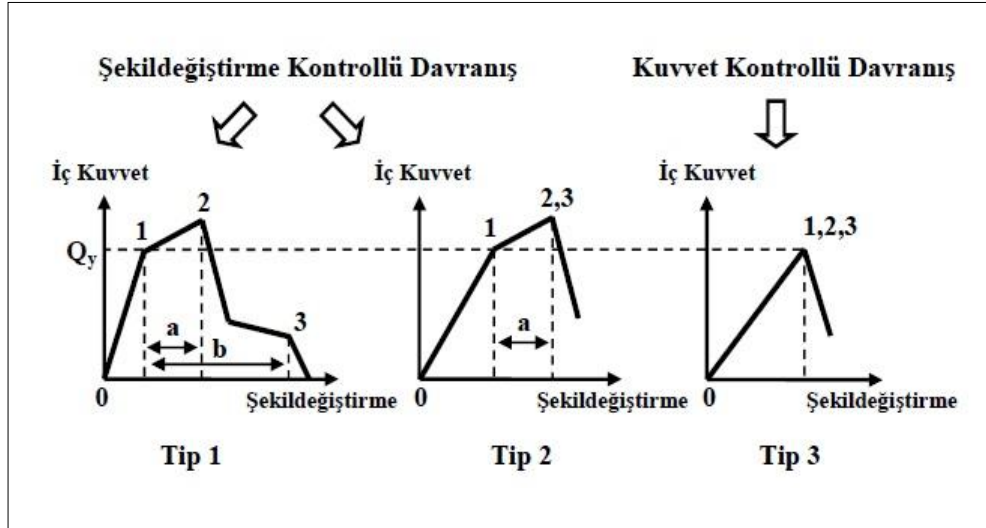
$$\mu_{\text{strenght}} > \mu_{\max} \text{ ise dinamik analiz gereklidir.}$$

### 2.3 Modelleme Parametreleri ve Performans Kriterleri

Yapı sistemindeki elemanların davranışları, kuvvet kontrollü ya da şekildeğiştirme kontrollü olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.6'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 yüklerin belirli bir kısmını 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 [7].

Şekil 2.6'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 [7].

Şekil 2.6'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 [7]



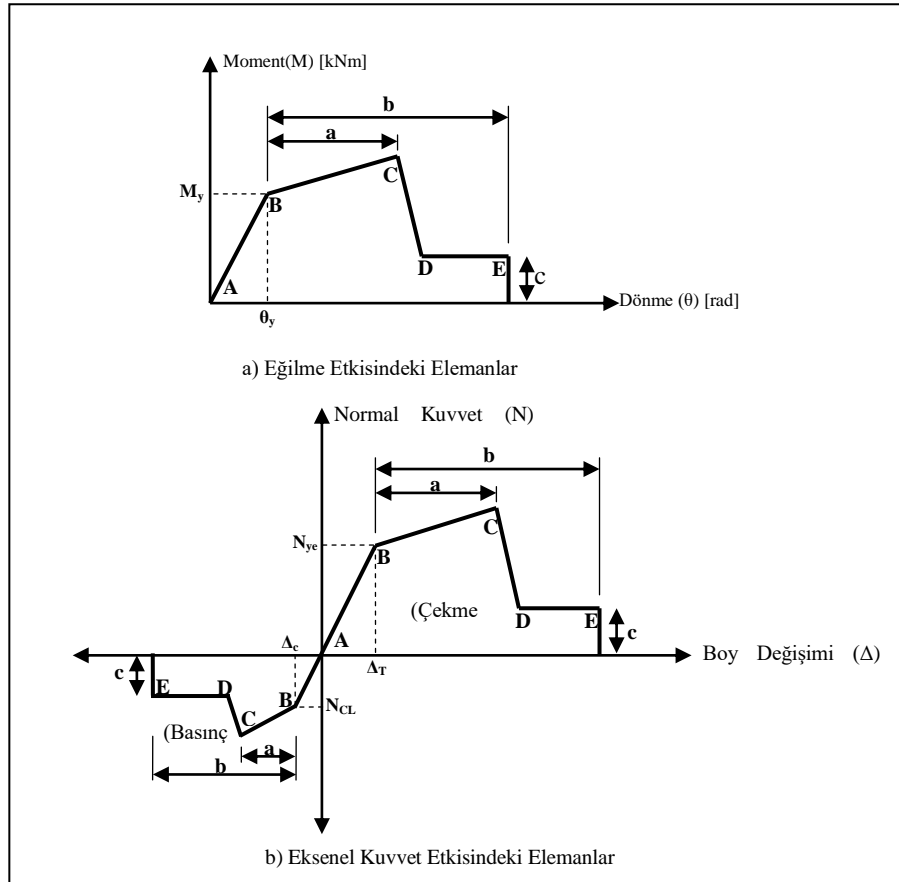
Şekil 2.6 : Şekil değiştirme ve kuvvet kontrollü davranışlar.

Çelik taşıyıcı sistemlerde bulunan çeşitli elemanlar için kabul edilen davranış türleri Tablo 2.6'da verilmiştir [7].

**Tablo 2.6 :** 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

Şekildeğiştirme kontrollü elemanlar için karakteristik modelleme parametreleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Şekil 2.7 a’da Moment (M)-Dönme ( $\theta$ ) ilişkisi ve Şekil 2.7 b’de ise Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi ( $\Delta$ ) ilişkisi ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

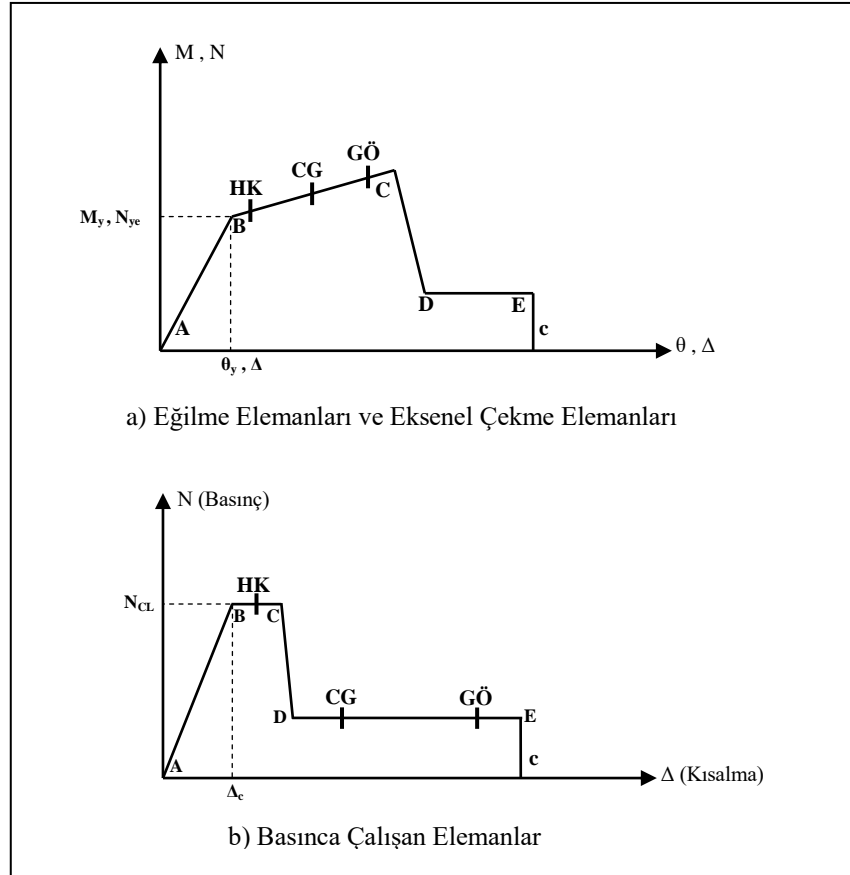


**Şekil 2.7 :** Eğilme etkisindeki ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanların modelleme parametreleri.



Bu grafiklerde :  $M_y$  akma momentini,  $\theta_y$  akma dönmesini,  $N_{ye}$  elemanın çekme kuvveti kapasitesini,  $\Delta_T$ ,  $N_{ye}$  kuvvetine maruz elemandaki uzamayı ,  $N_{CL}$  elemanın basınç kuvveti taşıma kapasitesini,  $\Delta_C$ ,  $N_{CL}$  kuvvetine maruz elemandaki kısalmayı, a elemanın dayanım azalması oluşurken yapabildiği plastik şekil değiştirme kapasitesini, b elemanın toplam plastik şekil değiştirme kapasitesini, c elemanda dayanım azalması sonucu kalan taşıma kapasitesini ifade etmektedir.

Performans seviyeleri, Şekil 2.8 ile iç kuvvet-şekil değiştirme 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 bir eğim bulunur ve bu bölge pekleşmeyi de içerir. C noktası elemanın taşıma kapasitesini göstermektedir. C ile D noktaları arasında şekil değiştirmenin çok fazla artmamasına karşın önemli bir dayanım azalması görülür. D noktasının ardında E noktasına kadar elemanda azalan kapasite korunur. Şekil değiştirmeler E noktasını geçtikten sonra eleman dayanımı sıfıra eşit olur (Şekil 2.8).



**Şekil 2.8 :** Performans seviyelerinin iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı üzerinde gösterimi.

Doğrusal olmayan analizde, yapısal çelik elemanlara ait modelleme parametreleri (a,b,c) ve performans kriterleri Tablo 2.7 ve 2.8'de gösterilmiştir [7].

**Tablo 2.7:** Doğrusal olmayan analiz için modelleme parametreleri ve performans kriterleri (eğilme elemanları) [7].

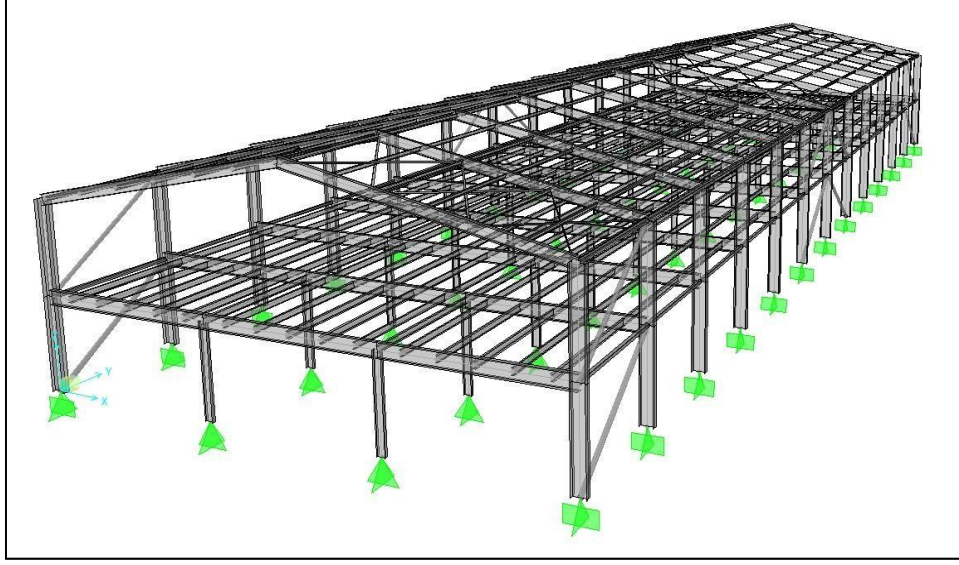
Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Performans Kriterleri		
	Plastik Dönme Açısı ( $\theta_p$ )		Artık Gerilme Oranı	Dönme Açısı (Radyan)		
	a	b	c	HK	CG	GÖ
<b>Kiriş - Eğilme</b>						
a) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{\sigma_a}}$	9* $\theta_y$	11* $\theta_y$	0.6	1* $\theta_y$	9* $\theta_y$	11* $\theta_y$
b) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{\sigma_a}}$	4* $\theta_y$	6* $\theta_y$	0.2	0.25* $\theta_y$	3* $\theta_y$	4* $\theta_y$
c) Diğer	a ve b değerleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.					
<b>Kolon – Eğilme (<math>N / N_{CL} &lt; 0.2</math>)</b>						
a) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{\sigma_a}}$	9* $\theta_y$	11* $\theta_y$	0.6	1* $\theta_y$	9* $\theta_y$	11* $\theta_y$
b) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{460}{\sqrt{\sigma_a}}$	4* $\theta_y$	6* $\theta_y$	0.2	0.25* $\theta_y$	3* $\theta_y$	4* $\theta_y$
c) Diğer	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.					
<b>Kolon - Eğilme (<math>0.2 \leq N / N_{CL} &lt; 0.5</math>)</b>						
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* $\theta_y$	*3	*4
b) $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{\sigma_a}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{400}{\sqrt{\sigma_a}}$	1* $\theta_y$	1.5* $\theta_y$	0.2	0.25* $\theta_y$	1.2* $\theta_y$	1.2* $\theta_y$
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 = $14(1-5/3N/N_{CL}) \theta_y$ $b_f$ : Başlık genişliği $t_w$ : Gövde kalınlığı $h$ : Gövde yüksekliği $\sigma_a$ : Akma gerilmesi						

**Tablo 2.8 :** Doğrusal olmayan analiz için modelleme parametreleri ve performans kriterleri (eksenel kuvvet elemanları) [7].

Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Performans Kriterleri		
	Plastik Şekildeğiştirme		Artık Ger. Oranı	Boy Değişimi		
	a	b		HK	CG	GÖ
<b>Basınca Çalışan Çaprazlar (Eksantrik Çaprazlar Hariç)</b>						
<b>a) Narin Elemanlar</b> ( $\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$ )						
1) W , I , 2L (planda), 2C (planda)	0.5* $\Delta_c$	10* $\Delta_c$	0.3	0.50* $\Delta_c$	8* $\Delta_c$	10* $\Delta_c$
2) 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	0.5* $\Delta_c$	9* $\Delta_c$	0.3	0.50* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$	9* $\Delta_c$
3) HSS, Borular, Kutular	0.5* $\Delta_c$	9* $\Delta_c$	0.3	0.50* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$	9* $\Delta_c$
4) L	0.5* $\Delta_c$	12* $\Delta_c$	0.3	0.50* $\Delta_c$	9* $\Delta_c$	12* $\Delta_c$
<b>b) Narin Olmayan Elemanlar</b> ( $\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E_s/\sigma_a}$ )						
1) W , I , 2L (planda), 2C (planda)	1* $\Delta_c$	8* $\Delta_c$	0.5	0.50* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$	8* $\Delta_c$
2) 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	1* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$	0.5	0.50* $\Delta_c$	6* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$
3) HSS, Borular, Kutular	1* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$	0.5	0.50* $\Delta_c$	6* $\Delta_c$	7* $\Delta_c$
<b>c) Ara Değerler</b>	a ile b kriterleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.					
<b>Çekmeye Çalışan Çaprazlar (Eksantrik Çaprazlar Hariç)</b>						
<b>W</b>	10* $\Delta_T$	13* $\Delta_T$	0.6	0.50* $\Delta_T$	7* $\Delta_T$	9* $\Delta_T$
<b>2L</b>	9* $\Delta_T$	12* $\Delta_T$	0.6	0.50* $\Delta_T$	9* $\Delta_T$	12* $\Delta_T$
<b>HSS</b>	9* $\Delta_T$	11* $\Delta_T$	0.6	0.50* $\Delta_T$	8* $\Delta_T$	11* $\Delta_T$
<b>Borular</b>	8* $\Delta_T$	9* $\Delta_T$	0.6	0.50* $\Delta_T$	10* $\Delta_T$	13* $\Delta_T$
<b>L</b>	10* $\Delta_T$	11* $\Delta_T$	0.6	0.50* $\Delta_T$	8* $\Delta_T$	10* $\Delta_T$
<b>Çekmeye Çalışan Kiriş ve Kolonlar</b>						
<b>Tüm kesit tipleri için</b>	5* $\Delta_T$	7* $\Delta_T$	1.0	0.50* $\Delta_T$	6* $\Delta_T$	7* $\Delta_T$
K : Burkulma boyu katsayısı, l : Çubuk boyu, r : Atalet yarıçapı E <sub>s</sub> : Elastisite modülü, $\sigma_a$ : Akma gerilmesi Sadece çekmeye çalışan çaprazlarda performans kriterleri için verilen değerlerin yarısı kullanılmaktadır.						

### 3. YAPI ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER

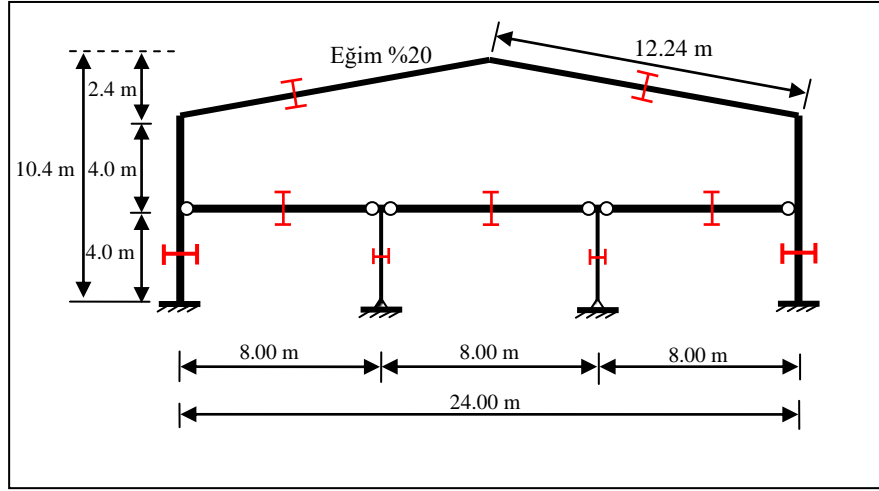
Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen yapıların özellikleri tanıtılmış, tasarımları yapılarak deprem performansları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenmek üzere 2 katlı tipik bir endüstri yapısı seçilmiştir. Yapının perspektif görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



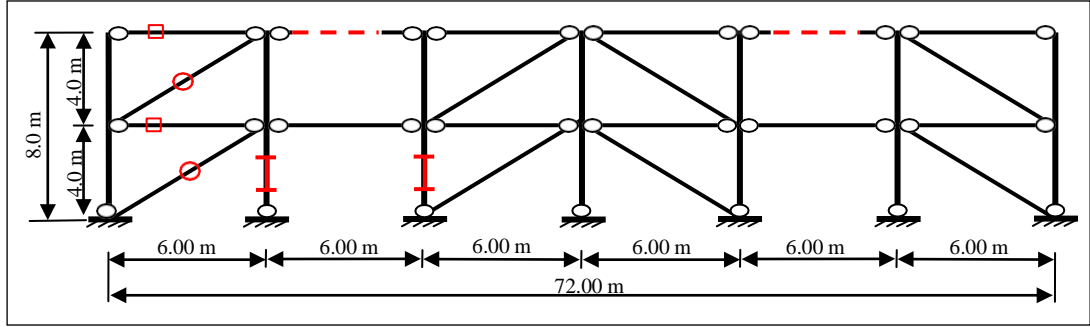
Şekil 3.1 : İncelenen yapıların perspektif görünüşü.

Yapıların kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemi çerçevelerden, uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi çaprazlı perdelerden oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Kısa doğrultudaki çatı kirişleri çatı düzleminde aşıklar ve stabilite bağlantıları ile birbirine bağlanmıştır(Şekil3.3). Kısa ve uzun doğrultuda uç bağlantıları mafsallı olan kirişler ve kolonlar kullanılarak bir arakat taşıyıcısı oluşturulmuştur (Şekil 3.4).

Yapıların çatısında ve yan cephelerinde hafif kaplama malzemesi (Alüminyum Sandviç Panel) kullanılması öngörülmüştür. Kısa doğrultuda yapının ilk ve son aksında cepheyi kapatmak için ikinci katta kullanılan taşıyıcı sistem, daha çok rüzgar etkisine maruz kaldığı için modelde gözönüne alınmamıştır.

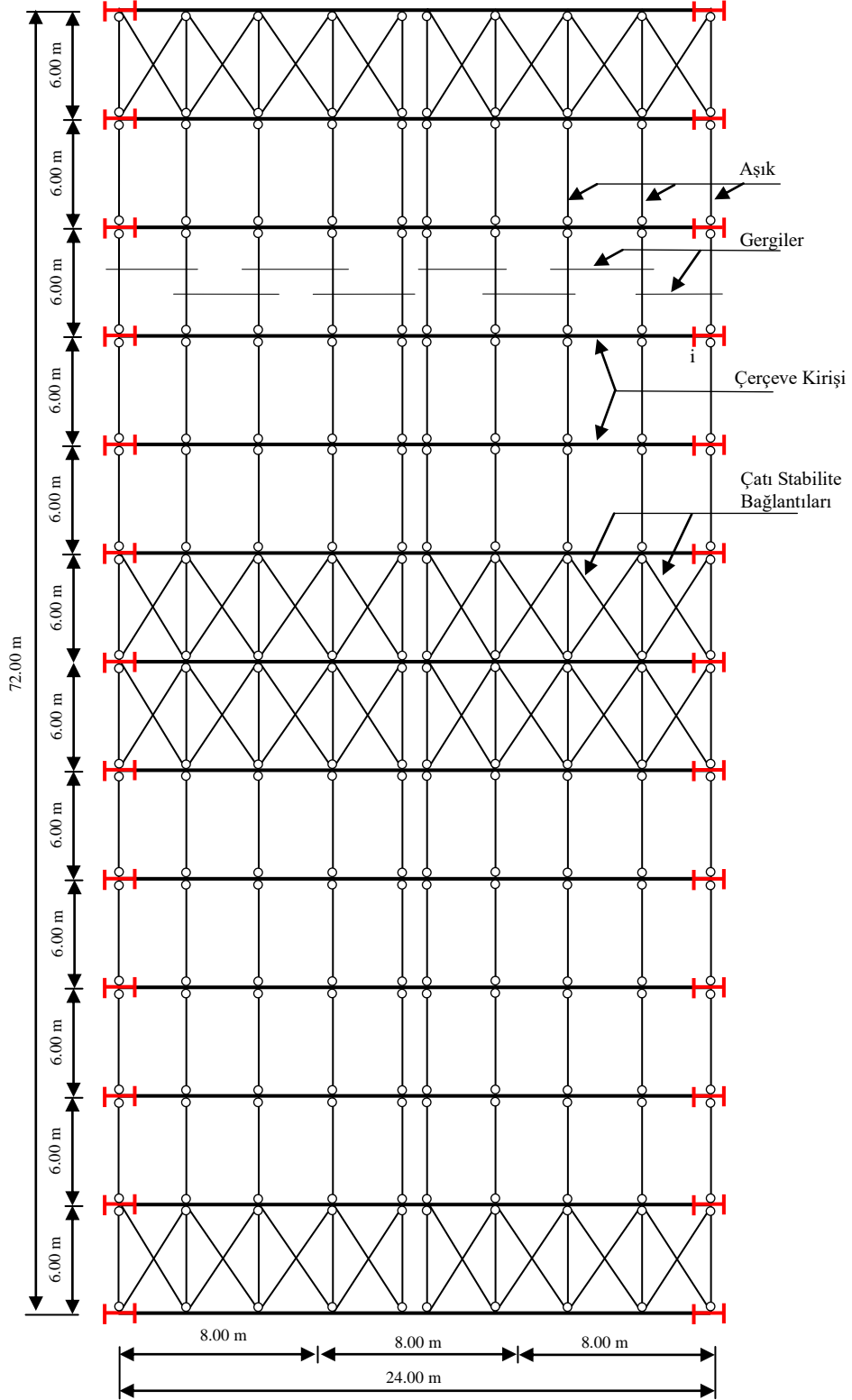


a) Tipik kısa doğrultu taşıyıcı sistemi

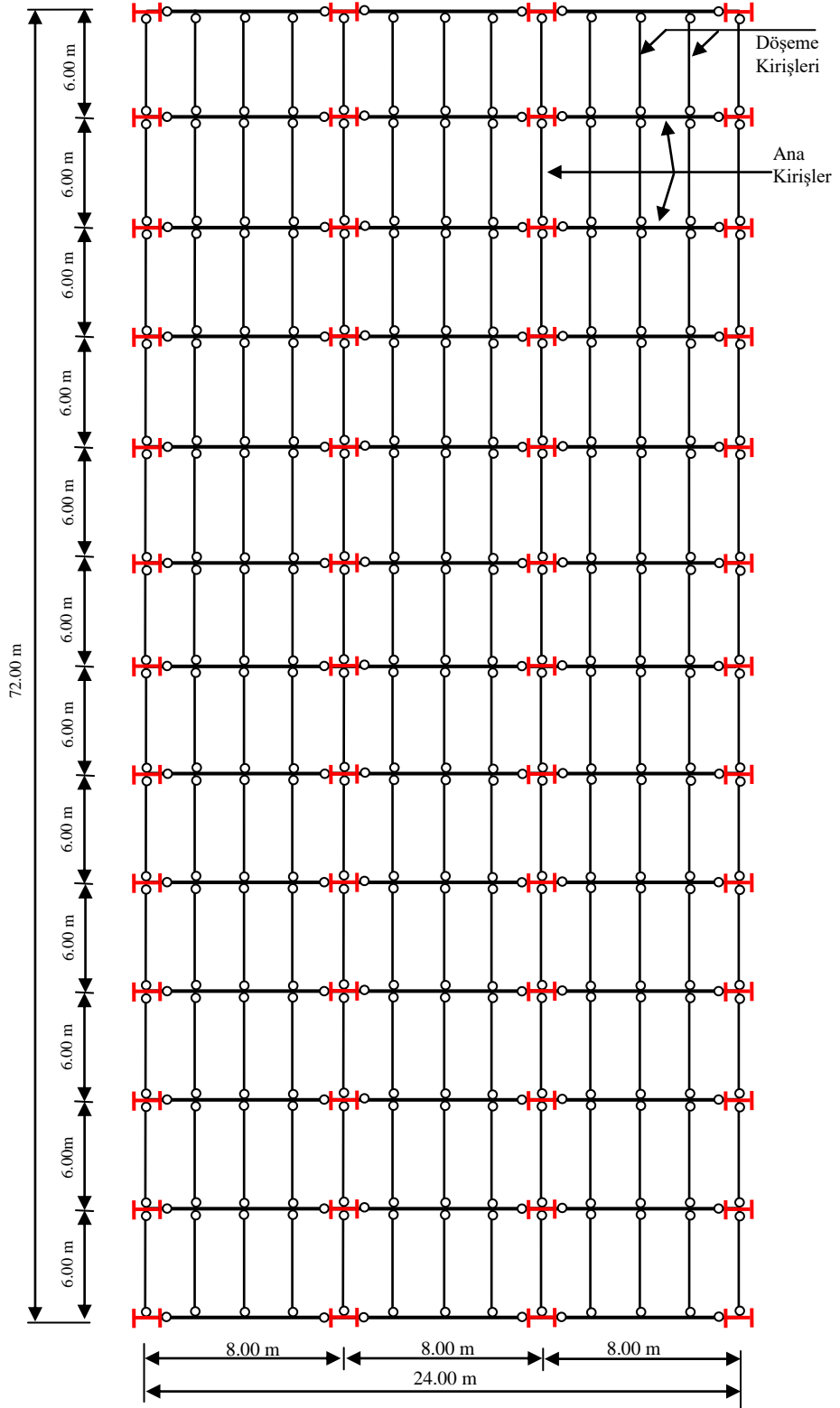


b) Tipik uzun doğrultu taşıyıcı sistemi.

Şekil 3.2 : İncelenen yapıların kısa ve uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistemleri.  
(Uzun doğrultudaki çapraz tipi değişmektedir.)



**Şekil 3.3 : Yapıların tipik çatı planı.**

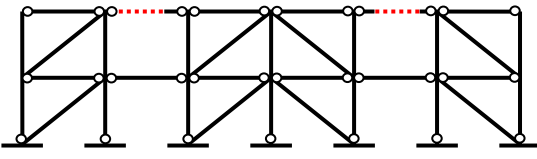
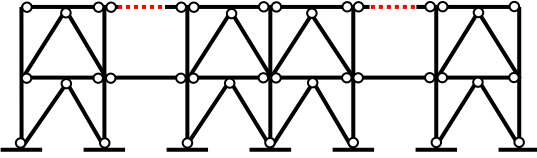
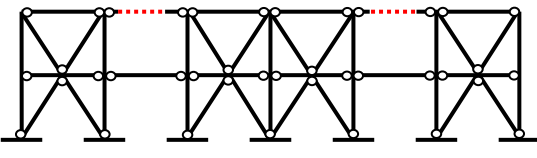
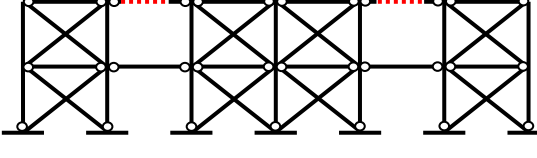
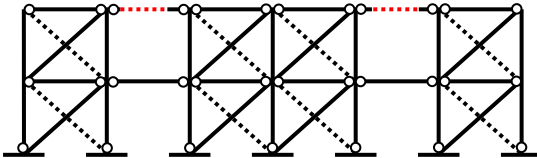


Şekil 3.4 : Yapıların tipik arakat planı.

Çalışmada farklı çaprazlı perde alternatiflerinin yapıların deprem performansına etkisini belirlemek amacıyla dört farklı çaprazlı perde tipi incelenmiştir. Bunlar **Diyagonal tipi, X tipi, Ters V tipi** ve **2 Katta X tipi** çaprazlı perdelerdir.

Her bir çapraz tipi için, süneklik düzeyi normal ve yüksek olması alternatifleri de incelenmiştir. X tipi çaprazlı perdede normal süneklik düzeyi için, sadece çekmeye çalışan çaprazlı perde alternatifi de ayrıca incelenmiştir. Buna göre uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemde çaprazlı perde tipi ve süneklik düzeyi, kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemde sadece süneklik düzeyi değiştirilerek toplam 9 adet yapı tasarlanmış ve deprem performansları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılarda uygulanan çaprazlı perde alternatifleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1 : Çalışmada incelenen çaprazlı perde tipleri.**

Yapı Adı	Çaprazlı Perde Tipi	Uygulama Şekli	Süneklik düzeyi
Yapı-1 (DÇ-SDY)	Merkezi Diyagonal Tipi Çapraz Perde		Yüksek
Yapı-2 (DÇ-SDN)			Normal
Yapı-3 (TVÇ-SDY)	Merkezi Ters V Tipi Çapraz Perde		Yüksek
Yapı-4 (TVÇ-SDN)			Normal
Yapı-5 (2KXÇ-SDY)	İki Kat X Tipi Çapraz Perde		Yüksek
Yapı-6 (2KXÇ-SDN)			Normal
Yapı-7 (XÇ-SDY)	Merkezi X Tipi Çaprazlı Perde		Yüksek
Yapı-8 (XÇ-SDN)			Normal
Yapı-9 (ÇÇÇ-SDN)	Merkezi X Tipi Sadece Çekmeye Çalışan Çaprazlı Perde		Normal

DÇ : Diyagonal Çapraz, TVÇ : Ters V Çapraz, 2KXÇ : 2 Katta X Çapraz, XÇ : X Çapraz, ÇÇÇ : Çekmeye Çalışan Çapraz  
SDN : Süneklik Düzeyi Normal, SDY : Süneklik Düzeyi Yüksek



### 3.1 Yapıların Tasarımı

Yapıların tasarımı TS 648 [23], TS 498 [24] standartları ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [4] göre yapılmıştır. Tasarım yöntemi olarak Emniyet Gerilmeleri Yöntemi kullanılmıştır [25-27]. Yapılan kesit hesaplarında emniyet gerilmeleri, düşey yük + rüzgar yüklemeleri için %15, düşey yük + deprem yüklemeleri için %33 arttırılmıştır. Yapıların tasarımında esas alınan malzeme ve deprem karakteristikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2 :** Tasarımda esas alınan karakteristikler.

Malzeme Karakteristikleri		Deprem Karakteristikleri	
Çelik Türü	Fe 37	Yapı Önem Katsayısı (I)	1
Akma Dayanımı ( $\sigma_a$ )	235 N/mm <sup>2</sup>	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	0.40
Çekme Dayanımı ( $\sigma_k$ )	363 N/mm <sup>2</sup>	Zemin Sınıfı ( $Z_2$ )	$T_a=0.15$ sn $T_b=0.40$ sn
Elastisite Modülü ( $E_s$ )	206182N/mm <sup>2</sup>	Hareketli Yük Kat. Katsayısı(n)	0.30

Yapıların tasarımında gözönüne alınan yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Düşey Yük Birleşimleri} & : G + Q \\ \text{Düşey yük + deprem birleşimleri} & : G + Q \pm E_x \pm 0.3E_y , G + Q \pm E_y \pm 0.3E_x \\ & 0.9G \pm E_x \pm 0.3E_y , 0.9G \pm E_y \pm 0.3E_x \\ \text{Düşey yük + rüzgar birleşimleri} & : G + Q \pm W_x , G + Q \pm W_y \\ & 0.9G \pm W_x , 0.9G \pm W_y \end{aligned}$$

Bu birleşim ifadelerinde G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, E deprem yüklerini, W rüzgar yüklerini göstermektedir.

Analizlerde ve tasarımlarda uygulanan genel kabuller aşağıda verilmiştir.

- Kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemin kenar kolonları ile çerçeve kirişi birleşimlerinin ve mesnetlerinin tam rijit (ankastre) olduğu, arakat kolon ve kirişlerinin birleşimlerinin ve mesnetlerinin mafsallı olduğu varsayılmıştır.
- Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem birleşimlerinin ve mesnetlerinin mafsallı olduğu varsayılmıştır.
- Sistem 3 Boyutlu olarak analiz edilmiştir ve arakatta kompozit döşeme oluşturulacağı düşünülerek rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Kütlelerin, ikinci kat kolonlarının üst ucunda, arakatta ise kütle merkezinde toplandıkları varsayılmış ve eşdeğer deprem kuvvetleri bu noktalara etkiyen tekil kuvvetler şeklinde idealleştirilmiştir.

Tüm yapılarda ortak olan sabit (G) ve hareketli (Q) yükler aşağıda verilmiştir. Her bir yapıda ayrıca boyutlara bağlı olarak çelik yapı özağırlığı bulunmaktadır.

***Sabit Yükler (G) :***

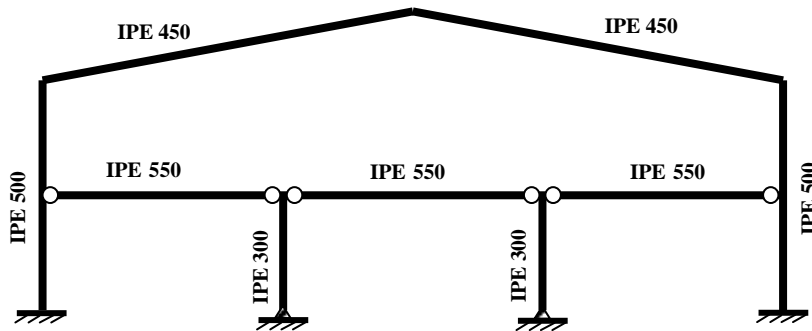
Çatı Kaplaması	: 0.117 kN/m <sup>2</sup> (Sandviç Panel)
Aşıklar	: 0.105 kN/m <sup>2</sup> (IPN 160)
Cephe Kaplaması	: 0.117 kN/m <sup>2</sup> (Sandviç panel)
Cephe taşıyıcıları	: 0.150 kN/m <sup>2</sup> (UPN 140)
Betonarme Döşeme	: 1.56 kN/m <sup>2</sup>
Döşeme Kirişi (IPN 260)	: 0.40 kN/m <sup>2</sup>

***Hareketli Yükler (Q) :***

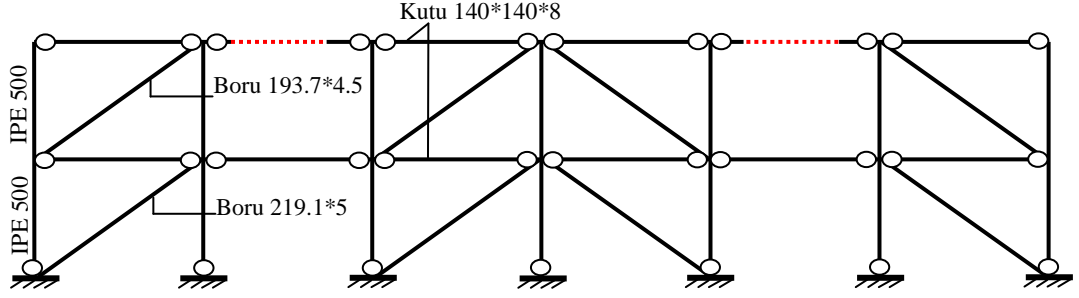
Kar Yükü	: 0.75 kN/m <sup>2</sup>
Arakat Yükü	: 5.00 kN/m <sup>2</sup>

### 3.1.1 Yapı - 1'in Tasarımı

Bu bölümde, Yapı-1'in tasarımı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yapıya ait kısa (X) ve uzun (Y) doğrultulardaki tipik taşıyıcı sistemler ve kullanılan profiller Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.

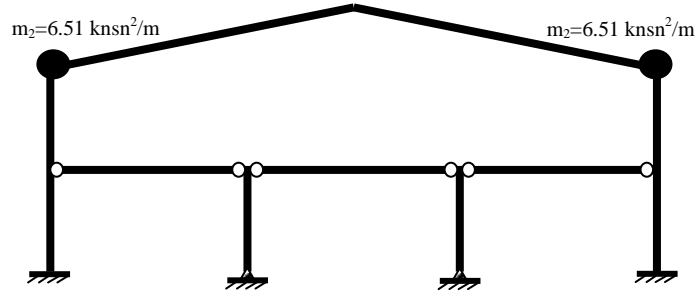


Şekil 3.5 : Yapı-1'e ait kısa doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

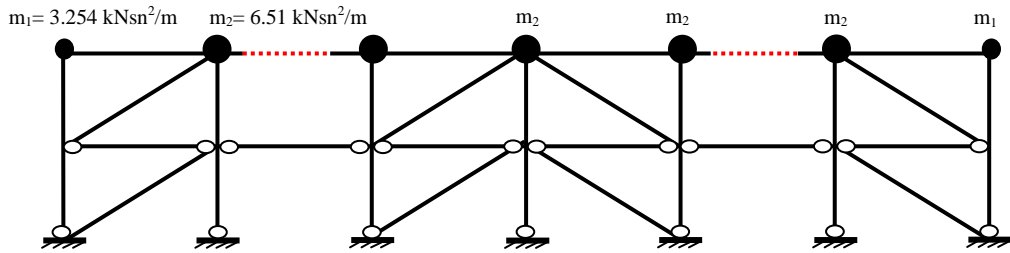


Şekil 3.6 : Yapı-1'e ait uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

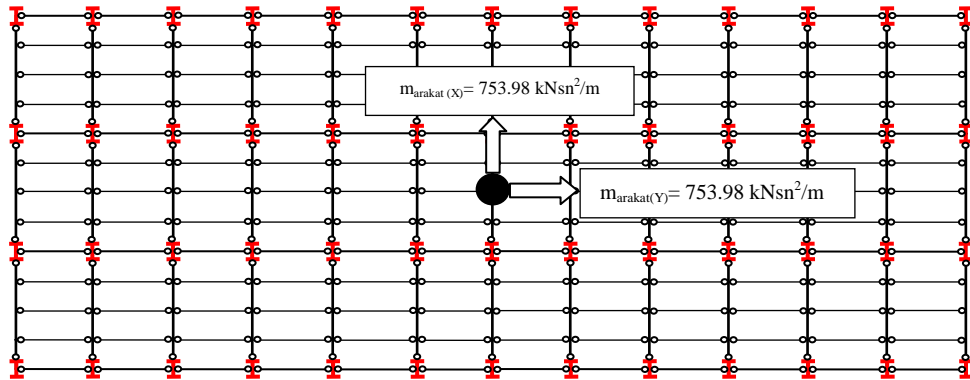
Sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler esas alınarak ( $G + 0.3Q$ ) yük birleşimi için kütleler hesaplanmıştır. Hesaplanan kütleler birinci katta döşeme ağırlık merkezine, ikinci katta ise kolon üst uçlarında toplanarak idealleştirilmiştir. Bu idealleştirme Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



a) Kısa doğrultu kütle idealleştirilmesi.



b) Uzun doğrultu kütle idealleştirilmesi.

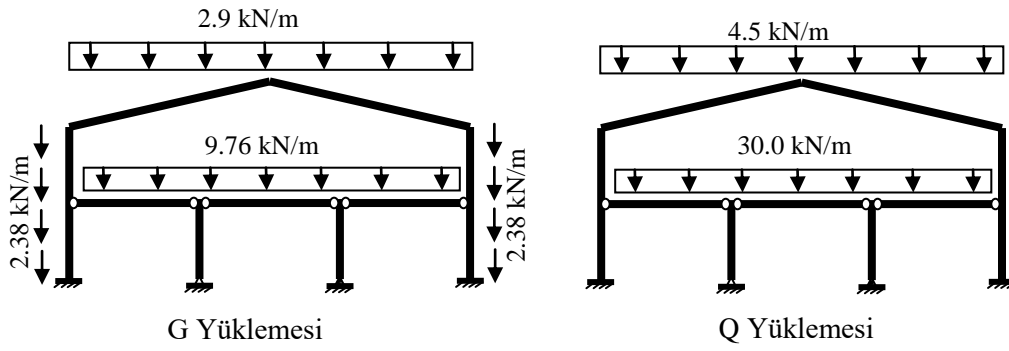


c) Arakat Kütle İdealleştirilmesi

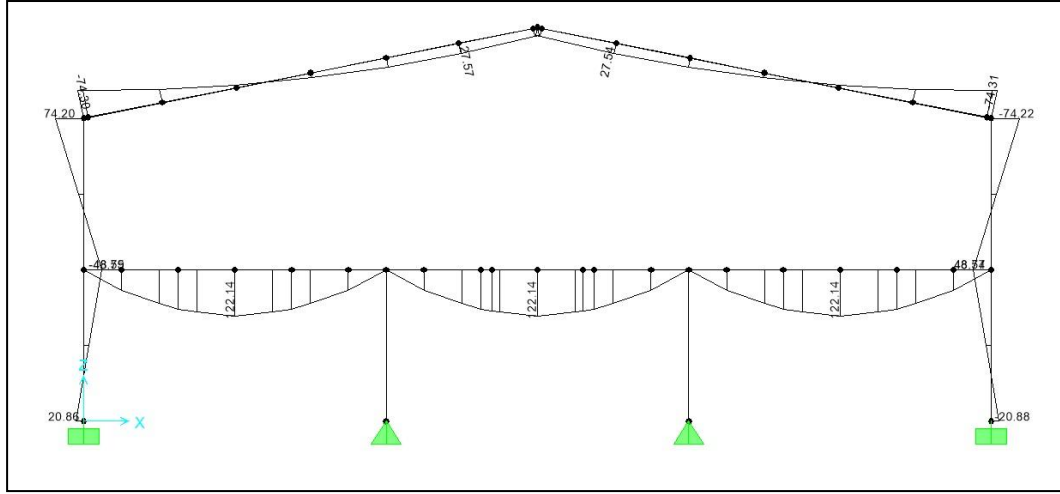
Şekil 3.7 : Yapı-1'e ait kısa ve uzun doğrultu kütle idealleştirilmesi.

Bu kütleler gözönüne alınarak yapılan serbest titreşim analizi sonucunda  $T_{1x}=0.63989$  sn  $T_{1y}=0.27128$  sn olarak belirlenmiştir.

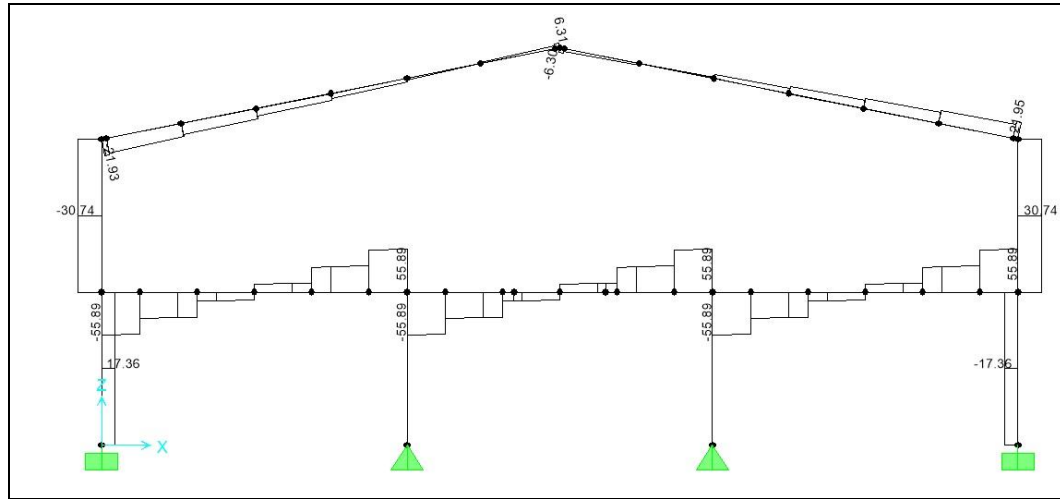
Sabit ve hareketli yükler TS 498'e [24] göre belirlenmiş ve kısa doğrultu için bir çerçeveye etkiyen yükler Şekil 3.8'de ve bu yüklemelerden dolayı oluşan kesit tesirleri Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir.



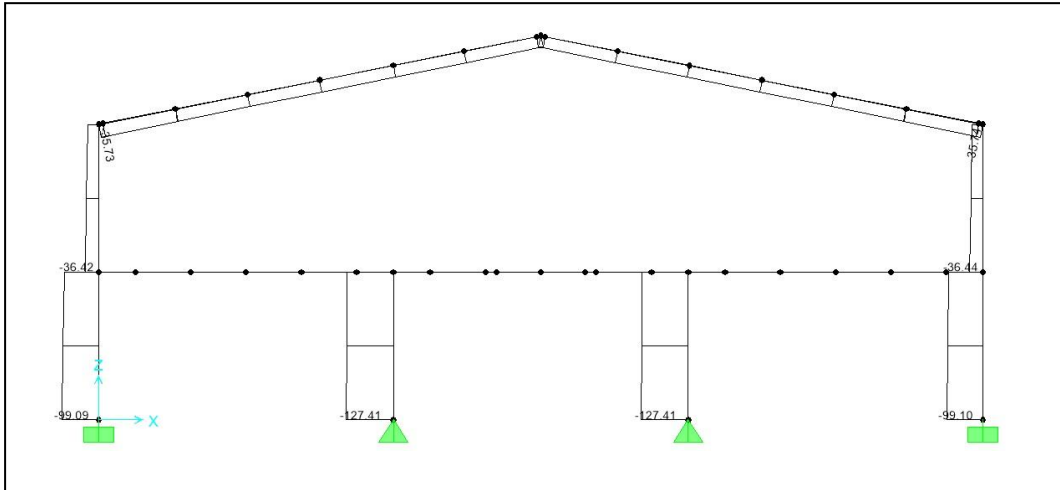
Şekil 3.8 : Yapı-1'e ait kısa doğrultu sisteme etkiyen sabit ve hareketli yükler



a) Moment diyagramı (kNm).

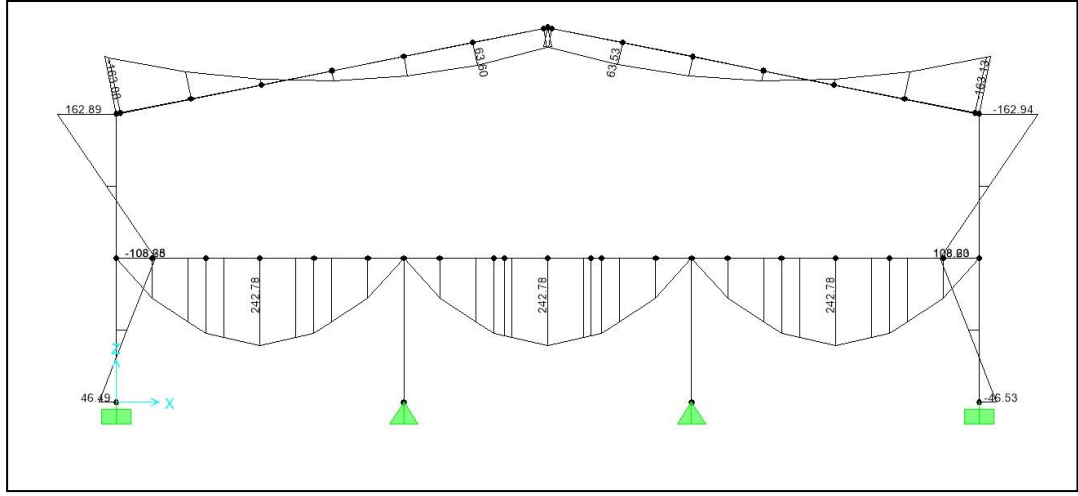


b) Kesme kuvveti diyagramı (kN).

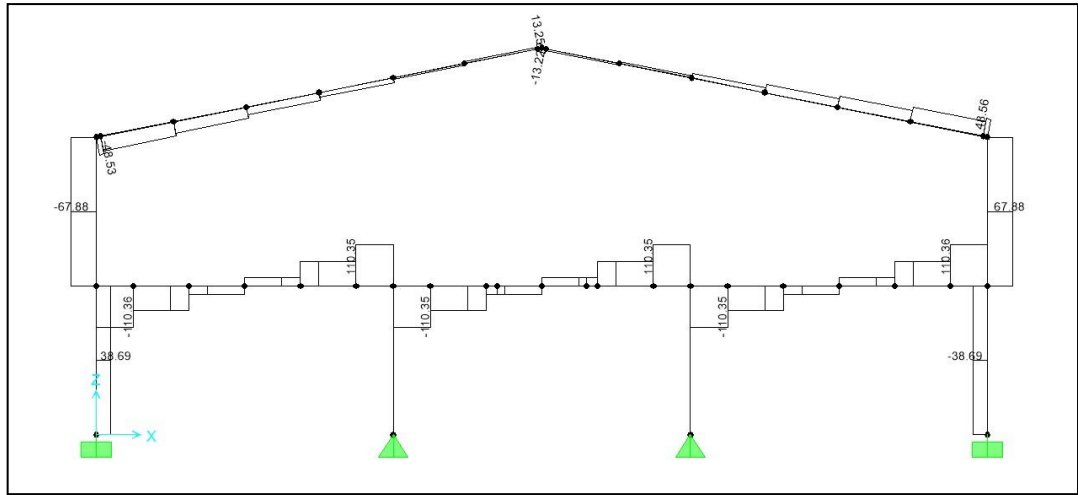


c) Normal kuvvet diyagramı (kN).

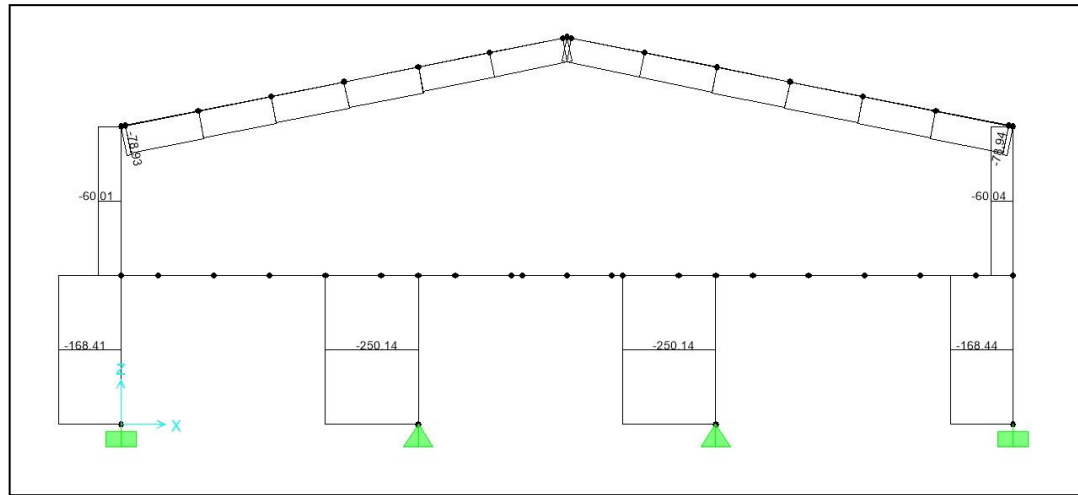
Şekil 3.9 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için G yüklemesi altında kesit tesir diyagramları.



a) Moment diyagramı (kNm).



b) Kesme kuvveti diyagramı (kN).



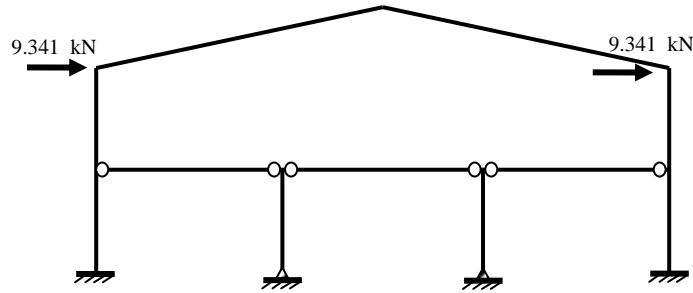
c) Normal kuvvet diyagramı (kN).

Şekil 3.10 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için Q yüklemesi altında kesit tesir diyagramları

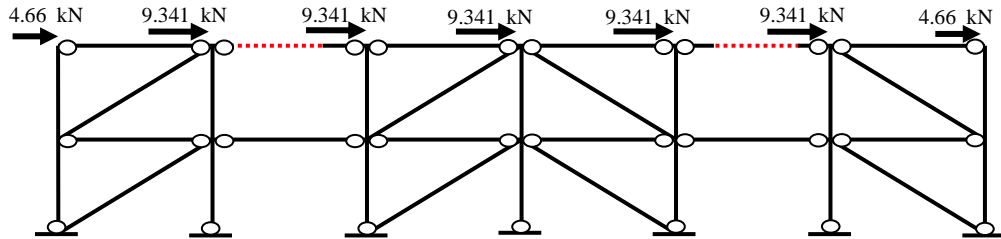
**Deprem Yüklerinin Hesabı :** Sisteme etkiyen deprem yüklerinin hesabı için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi uygulanmıştır[4]. Deprem yönetmeliğine göre yapılan hesapta kullanılan parametreler Tablo 3.3'de , kısa ve uzun doğrultu için elde edilen yükler Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.3:** Yapı-1'in deprem yükü hesabında esas alınan parametreler.

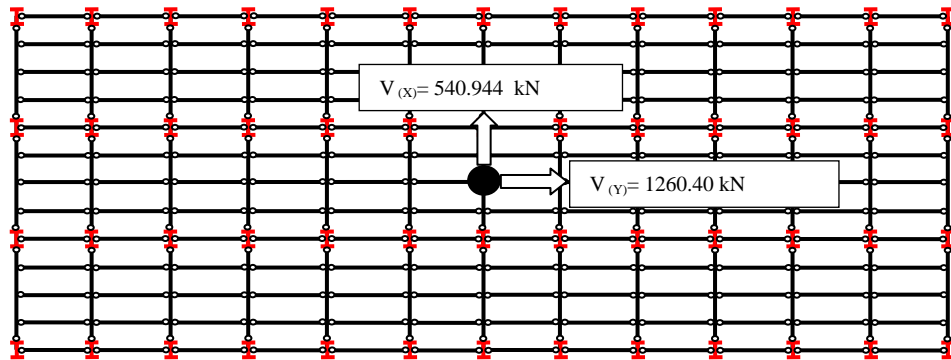
Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yükü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_i$ )
Kısa (X) Doğrultu	0.6398 sn	1.72	0.40	8	8	765.12 kN
Uzun (Y) Doğrultu	0.2713 sn	2.5	0.40	5	5	1782.75 kN



a) Kısa doğrultu deprem yükleri.



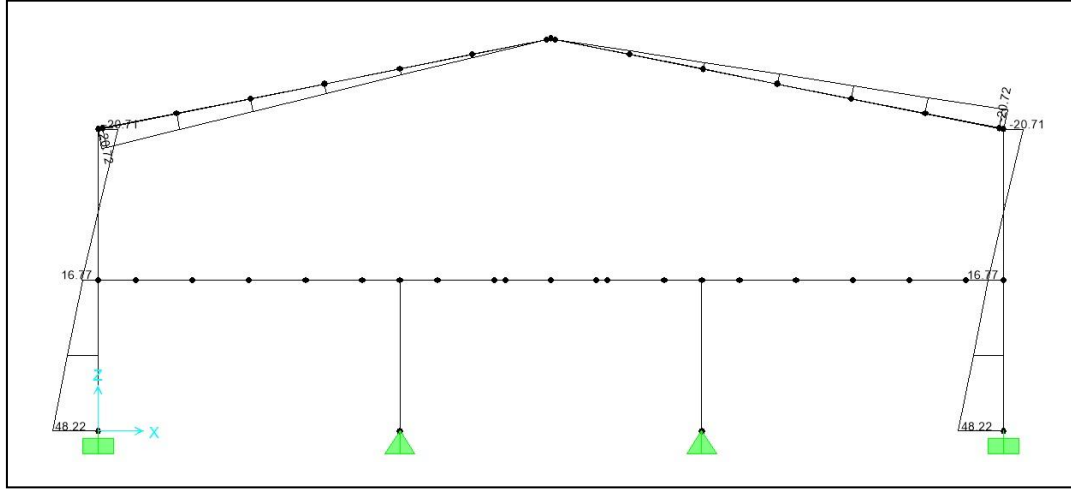
b) Uzun doğrultu deprem yükleri.



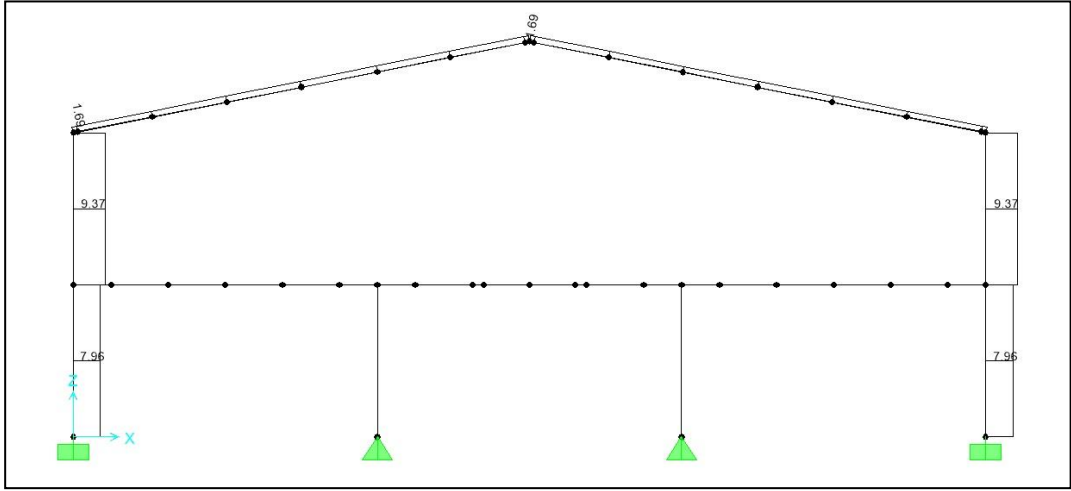
c) Arakat deprem yükleri.

**Şekil 3.11 :** Yapı-1'de sisteme etkiyen deprem yükleri.

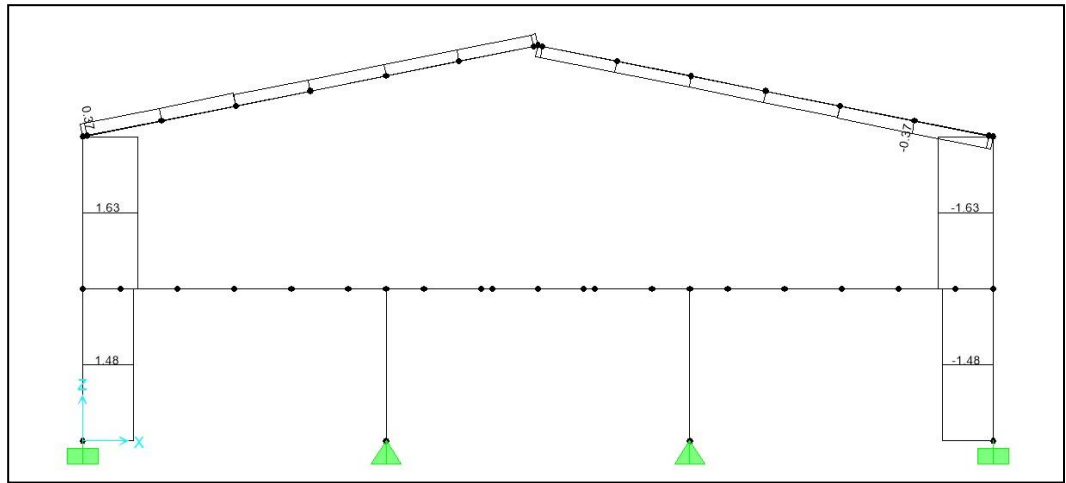
Deprem yükleri için elde edilen kesit tesiri diyagramları Şekil 3.12'de ve Şekil 3.13'de verilmiştir.



a) Moment diyagramı (kNm).



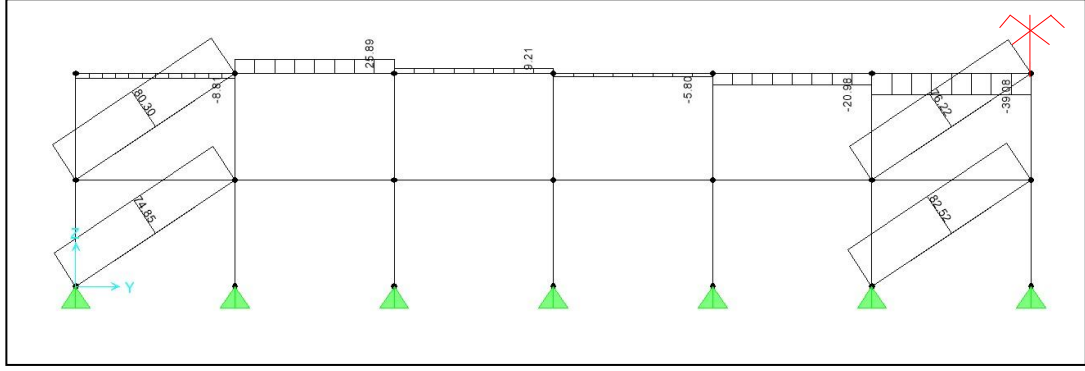
b) Kesme kuvveti diyagramı (kN).



c) Normal kuvvet diyagramı (kN).

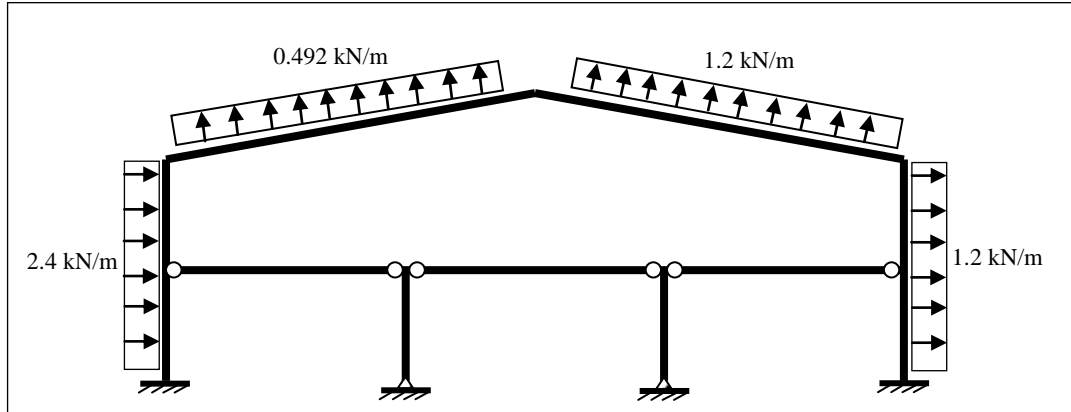
Şekil 3.12 : Yapı-1'de kısa doğrultudaki bir çerçeve için kesit tesir diyagramları.





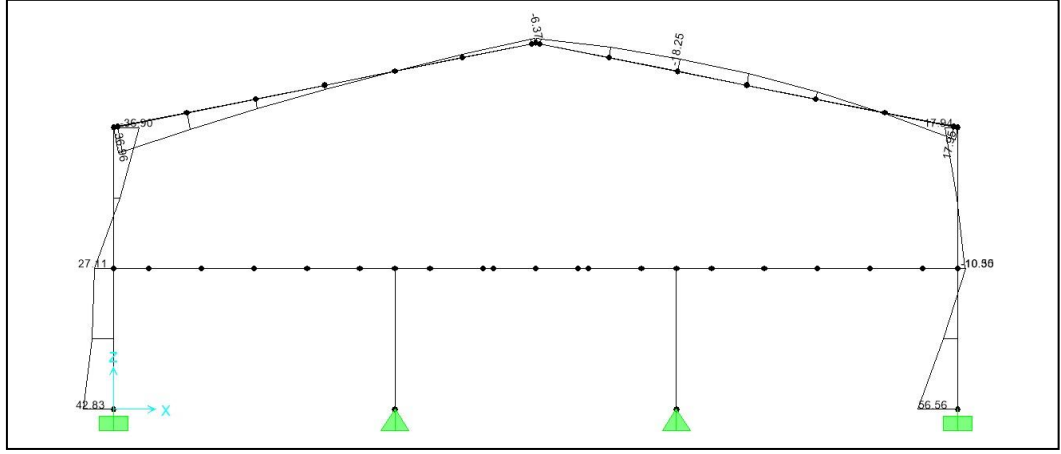
Şekil 3.13 : Yapı -1'de uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemde normal kuvvet diy. (kN).

Rüzgar yükleri TS 498'e [24] göre belirlenmiş ve kısa doğrultu için bir çerçeveye etkiyen yükler Şekil 3.14 'de gösterilmiştir. Hesaplarda yapı yüksekliğine ( $H= 8\text{m}$ ) bağlı olarak nominal rüzgar basıncı  $q= 0.50 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Uzun doğrultudaki rüzgar yükleri büyük ölçüde yan cephelerde oluşturulacak rüzgar kolonları ile taşınacağı için bu doğrultuda rüzgar yükleri hesabına gerek duyulmamıştır.



Şekil 3.14 : Kısa doğrultudaki bir çerçeveye etkiyen rüzgar yükleri.

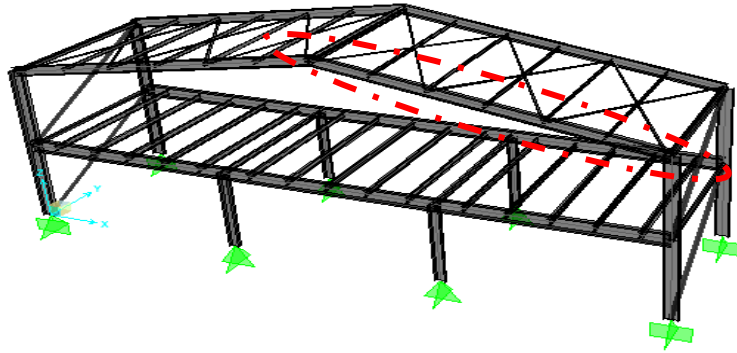
Rüzgar yükleri altında kısa doğrultudaki bir çerçevede oluşan eğilme momenti diyagramı Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15 : Kısa doğrultudaki bir çerçevede rüzgar yükü altında moment diy. [kNm] (Yapı-1).

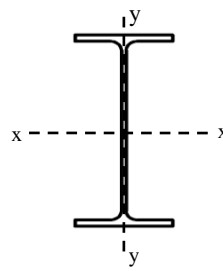
**Çerçeve Kirişlerinin Tasarımı;** Orta aks çerçevelerinden birine ait kiriş tasarımı örnek olarak sunulmuştur (Şekil 3.16). Elverişsiz yüklemelerden biri olan  $(G+Q+E_x+0.3E_y)$  yüklemesi için elde edilen kesit tesirleri aşağıda verilmiştir. Kirişe ait enkesit özellikleri Tablo 3.4 'de verilmiştir.

$$M_{G+Q+E_x+0.3E_y} = 221.88 \text{ kNm} , T_{G+Q+E_x+0.3E_y} = 58.83 \text{ kN} , N_{G+Q+E_x+0.3E_y} = 91.63 \text{ kN}$$



Şekil 3.16 : Tasarımı yapılan çerçeve kirişi (Yapı-1).

**Tablo 3.4 :**Çerçeve kirişine ait enkesit özellikleri (Yapı-1).

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Başlık Genişliği	$b_f$	0.19	m	
Başlık Kalınlığı	$t_f$	0.01	m	
Profil Yüksekliği	$h$	0.45	m	
Gövde Kalınlığı	$t_w$	0.0094	m	
Mukavemet Mom.	$W_{ex}$	0.0015	$m^3$	
Plastik Muk.Mom.	$W_{px}$	0.0017	$m^3$	
Atalet Momenti	$I_x$	0.00033	$m^4$	
Profil Alanı	$F$	0.0098	$m^2$	
Başlık Alanı	$F_b$	0.0028	$m^2$	
Atalet Y.çapı (x-x)	$i_x$	0.184	m	
Atalet Y.çapı (y-y)	$i_y$	0.041	m	
Alan Momenti	$S_x$	0.0013	$m^3$	

**Enkesit Narinlik Kontrolü :** Deprem yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 3.1 ve 3.2 bağıntıları ile kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [4].

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{0.19}{2 \cdot 0.01} = 6.50 \leq 0.3 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 0.3 \cdot \sqrt{206182 / 235} = 8.88 \quad (3.1)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.45}{0.0094} = 44.76 \leq 3.2 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 3.2 \cdot \sqrt{206182 / 235} = 94.78 \quad (3.2)$$

**Kiriş Yanal Mesnetlenme Mesafesi Kontrolü :** Deprem Yönetmeliğine göre kirişlerde yanal burkulma olmadan eğilme kapasitesine ulaşmayı sağlayan yanal mesnetlenme mesafesi ( $l_b$ ) 3.3 bağıntısıyla hesaplanmıştır [4]. Burada  $r_y$ , kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümünün 1/3'ünün yanal doğrultudaki atalet yarıçapıdır [23].  $r_y = 0.049$  cm olarak hesaplanmıştır.

$$l_b = 0.086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0.086 \frac{0.049 \cdot 206182}{235} = 3.77 \text{ m} \quad (3.3)$$

Kiriş başlıklarının, aşıklara yapılacak özel bağlantılar ile kiriş boyunun 1/4 (3.10 m) noktalarından tutulduğu kabul edilmiş ve yanal mesnetlenme koşulu sağlanmıştır. Kirişteki normal gerilme oranlarının hesabında kullanılan parametreler Tablo 3.5'de verilmiştir.

**Tablo 3.5 :**Yapı -1'de çerçeve kirişine ait tasarım parametreleri.

X-X eks. dik burkulma boyu ( $Sk_x$ )	12.23 m	X-X eksenine dik narinlik( $\lambda_x$ )	66
Y-Y eks. dik burkulma boyu ( $Sk_y$ )	3.10 m	Y-Y eksenine dik narinlik( $\lambda_y$ )	75
$C_b$ katsayısı	1.39	$C_{mx}$ katsayısı	0.85
Kiriş yanal mesnetlenme mes. (s)	3.10 m	Basınç em. ger. ( $\sigma_{bem}, \lambda_x = 75$ )	91.7 N/mm <sup>2</sup>

Yalnız basınç altında oluşan gerilme  $\sigma_{eb}$ , yalnız eğilme altında oluşan gerilme  $\sigma_{bx}$ , yanal burkulma emniyet gerilmesi  $\sigma_{Bx}$  sırasıyla 3.4, 3.5, 3.6 bağıntıları ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{F} = \frac{91630}{9882} = 9.272 \text{ N/mm}^2 \quad (3.4)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_{ex}} = \frac{221.88}{15.00 \cdot 10^{-4}} = 147.920 \text{ N/mm}^2 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000C_b}{sh/F_b} = \frac{840000 \cdot 1.39}{310 \cdot 45 / 21.74} = 231794.54 \text{ kg/cm}^2 = 23179.454 \text{ N/mm}^2 \quad (3.6)$$

$\sigma_{Bx} = 231.79 \text{ N/mm}^2 > 0.6 \sigma_a = 141 \text{ N/mm}^2$  olduğundan

$\sigma_{Bx} = \sigma_{em} = 141 \text{ N/mm}^2$  alınmıştır.

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{9.272}{91.738} = 0.10 < 0.15$  olduğundan , kiriş için burkulmasız normal gerilme oranı

3.7 bağıntısı ile kontrol edilmiş ve kesitin uygun olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{9.272}{91.738} + \frac{147.92}{141} = 1.15 < 1.33 \quad (3.7)$$

**Kayma gerilmesi kontrolü :** Kayma gerilmesi  $\tau$  3.8 bağıntısı ile hesaplanmış ve kesitin yeterli olduğu belirlenmiştir.

$$\tau = \frac{TS_x}{I_x t_w} = \frac{58.83 \cdot 0.00139}{0.000337 \cdot 0.0094} = 25.783 \text{ N/mm}^2 < \tau_{em} = 81.39 \text{ N/mm}^2 \quad (3.8)$$

**Sehim kontrolü :** Analiz sonuçlarına göre tepe noktasının maksimum düşey yer değiştirmesi ( $G+Q+E_x+0.3E_y$  yüklemesi için )  $f_{max} = 0.044 \text{ m}$  olarak elde edilmiş ve 3.9 bağıntısı ile kontrol edilip sağladığı belirlenmiştir.

$$f_{max} = 0.044 \text{ m} < f_{max} = \frac{L}{300} = \frac{2400}{300} = 0.08 \text{ m} \quad (3.9)$$

Sonuç olarak tasarımda normal gerilme etkili olmuş ve çerçeve kirişi elemanı için **IPE 450** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

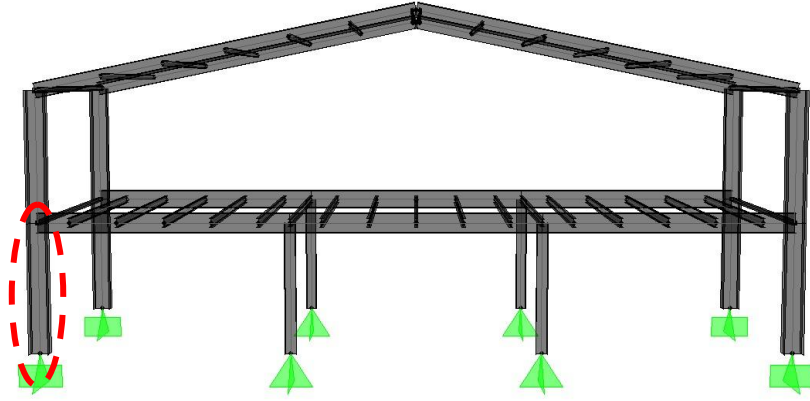
**Çerçeve Kolonlarının Tasarımı ;** Orta aks çerçevelerinden birine ait kolon tasarımı örnek olarak sunulmuştur (Şekil 3.17). Elverişsiz yüklemelerden biri olan ( $G+Q-E_x-0.3E_y$ ) yüklemesine ait iç kuvvetler aşağıda verilmiştir. Kolona ait enkesit özellikleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

$M_{G+Q-E_x-0.3E_y} = 121.42 \text{ kNm}$  ( Üst uç ) ,

$M_{G+Q-E_x-0.3E_y} = -178.62 \text{ kNm}$  ( Alt uç )

$T_{G+Q-E_x-0.3E_y} = 75.12 \text{ kN}$ ,

$N_{G+Q-E_x-0.3E_y} = 253.39 \text{ kN}$



Şekil 3.17 : Tasarımı yapılan çerçeve kolonu (Yapı-1).

Tablo 3.6 : Yapı-1 'de çerçeve kolonuna ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Başlık Genişliği	$b_f$	0.20	m	
Başlık Kalınlığı	$t_f$	0.016	m	
Profil Yüksekliği	$h$	0.50	m	
Gövde Kalınlığı	$t_w$	0.0102	m	
Mukavemet Momenti	$W_{ex}$	0.0019	$m^3$	
Plastik Mukavemet Mom.	$W_{px}$	0.0022	$m^3$	
Atalet Momenti	$I_x$	0.00048	$m^4$	
Profil Alanı	$F$	0.012	$m^2$	
Başlık Alanı	$F_b$	0.0032	$m^2$	
Atalet Yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.2043	m	
Atalet Yarıçapı (y-y)	$i_y$	0.0431	m	
Alan Momenti	$S_x$	0.0011	$m^3$	

**Enkesit Narinlik Kontrolü :** Deprem yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 3.1 ve 3.2 bağıntıları ile kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [4]. Bu bağıntıdaki  $N_d$  kolonun tasarım eksenel kuvvetini göstermektedir.

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{0.20}{2 \cdot 0.016} = 6.25 < 0.3 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 0.3 \cdot \sqrt{206182 / 235} = 8.86 \quad (3.1)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a F} \right| = \left| \frac{253.39}{235000 \cdot 0.012} \right| = 0.093 < 0.10$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{t_w} &= \frac{0.468}{0.0102} = 45.88 < 3.2 \sqrt{E_s / \sigma_a} \left( 1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a F} \right| \right) \\ &= 3.2 \cdot \sqrt{206182 / 235} \cdot 0.093 = 79.74 \end{aligned} \quad (3.2)$$

**Normal Gerilme Kontrolü** : Elemanda oluşan normal gerilmenin hesabı için gerekli parametreler belirlenerek Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

**Tablo 3.7** : Yapı-1' de çerçeve kolonuna ait tasarım parametreleri.

Burkulma boyu katsayısı $K_X$	1.6	Burk. boyu kat.( $K_Y$ )	1.0
X-X eks. dik burkulma boyu ( $Sk_x$ )	6.40 m	X-X eks. dik nar.( $\lambda_x$ )	31
Y-Y eks. dik burkulma boyu ( $Sk_y$ )	4.00 m	Y-Y eks. dik nar.( $\lambda_y$ )	93
$C_b$ katsayısı	2.3	Eğilme gerilmesi ( $\sigma_{bx}$ )	92.645 N/mm <sup>2</sup>
Eksenel basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	21.938 N/mm <sup>2</sup>	Yanal bur.em.ger.( $\sigma_{Bx}$ )	141 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. ger. ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 93$ )	78.224 N/mm <sup>2</sup>	( $\sigma_{ex}$ )	828.422 N/mm <sup>2</sup>
$C_{mx}$ katsayısı	0.85		

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{21.938}{78.224} = 0.28 > 0.15 \text{ olduğundan kolon için burkulmalı normal gerilme oranı}$$

(3.7) bağıntısı kontrol edilmiş ve kesitin uygun olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{(1-\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}})\sigma_{Bx}} = \frac{21.938}{78.224} + \frac{0.85*92.645}{(1-\frac{21.938}{828.422})141} = 0.86 < 1.33 \quad (3.10)$$

**Kayma Gerilmesi Kontrolü** ; Kolon elemanında oluşan kayma gerilmesi 3.8 bağıntısı ile hesaplanmış ve kesitin yeterli olduğu belirlenmiştir.

$$\tau = \frac{TS_x}{I_x t_w} = \frac{75.12*0.0011}{0.00048*0.0102} = 16.76 \text{ N/mm}^2 < \tau_{em} = 81.39 \text{ N/mm}^2 \quad (3.8)$$

**Görelî Öteleme Kontrolü**; Tasarımı yapılan kolona ait öteleme kontrolü örnek olarak sunulmuştur. Buna göre  $G + Q - Ex + 0.3Ey$  yüklemesine ait azaltılmış görelî kat ötelemesi,  $\Delta_i$  3.11 bağıntısıyla hesaplanmıştır [4].

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} = 0.007 \text{ m} - 0 \text{ m} = 0.007 \text{ m} \quad (3.11)$$

Bu bağıntıda  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , yapının ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yer değiştirmeleri göstermektedir. Kolonun etkin görelî kat ötelemesi  $\delta_i$  ise 3.12 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\delta_i = R*\Delta_i = 8*0.007 = 0.056 \text{ m} \quad (3.12)$$

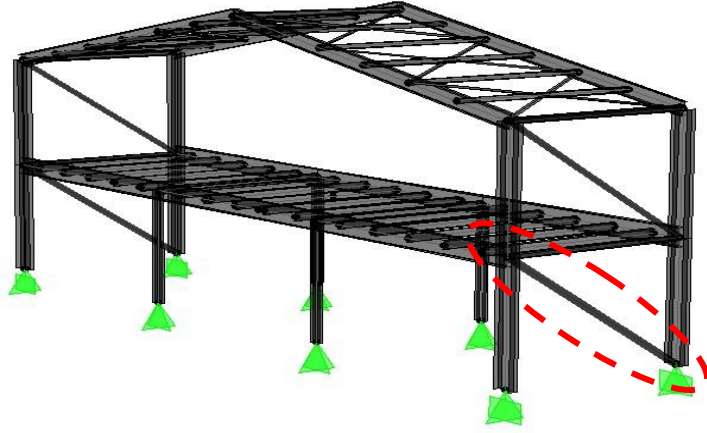
Görelî kat ötelemesi oranı ( $\delta_i/L$ ) 3.13 bağıntısına göre kontrol edilmiş ve sağladığı görülmüştür.

$$\delta_i / L = 0.056 / 4 = 0.014 < 0.02 \quad (3.13)$$

Bu kolon elemanı için gerilme oranları ve görelî öteleme oranı düşük kalmıştır. Ancak aynı kolon kesiti için üst katta öteleme değeri sınır değere ulaşmıştır. Sonuç olarak, tasarımda görelî öteleme etkili olmuş ve çerçeve kolonu için **IPE 500** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

**Çapraz Elemanın Tasarımı** ; Orta açıklıkların birisinde bulunan çapraz elemanın tasarımı örnek olarak sunulmuştur (Şekil 3.18). Elverişsiz yükleme olan (G + Q - Ey - 0.3Ex) kombinasyonuna ait basınç kuvveti aşağıda verilmiştir. Çapraz elemana ait enkesit özellikleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

$$N_{\max} = -306.00 \text{ kN (Basınç) (G + Q - Ey - 0.3Ex yüklemesi)}$$



**Şekil 3.18** : Tasarımı yapılan merkezi çapraz elemanı (Yapı-1).

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$m^4$	Boru 219.1*5
Profil Alanı	F	$3.36 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.2191	m	
Et Kalınlığı	t	0.005	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0757	m	

**Tablo 3.8** : Yapı -1'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

**Enkesit Narinlik Kontrolü:** Deprem yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 3.14 bağıntısıyla kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [4].

$$\frac{D}{t} = \frac{0.2191}{5 \cdot 10^{-3}} = 38.74 < 0.08 \sqrt{E_s/\sigma_a} = 70.18 \quad (3.14)$$

**Tablo 3.9 :**Yapı-1'de çapraz elemanı tasarım parametreleri.

Burkulma boyu (Sk)	7.21 m
Eleman narinliği ( $\lambda$ )	95
Basınç emniyet gerilmesi ( $\sigma_{bem}, \lambda_x = 95$ için)	75.860 N/mm <sup>2</sup>
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb} = N/F$ )	91.071 N/mm <sup>2</sup>

**Eleman Narinlik Kontrolü :** Deprem Yönetmeliğine göre, basınca çalışan elemanların narinlik oranının 3.15 bağıntısıyla verilen sınır değeri aşmaması gerekmektedir. Kontrol sonucunda koşulun sağlandığı belirlenmiştir [4].

$$\lambda = 95 < 4.0 \sqrt{E_s/\sigma_a} = 4.0 \cdot \sqrt{206182/235} = 118 \quad (3.15)$$

**Normal Gerilme Kontrolü :** Çapraz elemanındaki normal gerilme oranı 3.16 bağıntısıyla kontrol edilerek sağladığı görülmüştür.

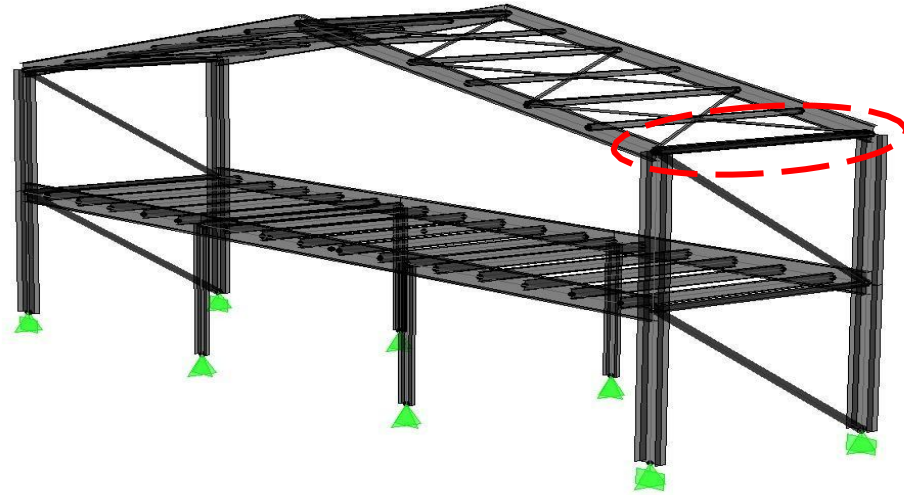
$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{91.071}{75.86} = 1.20 < 1.33 \quad (3.16)$$

Sonuç olarak tasarımda normal gerilme etkili olmuş ve alt merkezi çapraz elemanı için **BORU 219.1\*5** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

**Çaprazlı Perde Kirişlerinin Tasarımı ;** Orta çerçevelerin birinde bulunan çaprazlı perde kirişinin tasarımı örnek olarak sunulmuştur (Şekil 3.19). Elverişsiz çubuk kuvvetleri aşağıda verilmiştir.

$$N_{\max} = -40.65 \text{ kN (Basınç) (G + Q + Ey + 0.3Ex yüklemesi)}$$

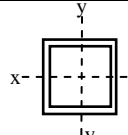
$$N_{\max} = 44.84 \text{ kN (Çekme) (G + Q + Ey + 0.3Ex yüklemesi)}$$



**Şekil 3.19 :**Yapı -1'de tasarımı yapılan çaprazlı perde kirişi.



**Tablo 3.10 :** Yapı-1 'de çapraz sistemi kirişine ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$1.23 \cdot 10^{-5}$	$m^4$	
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 Kontrolü :** Deprem yönetmeliğine göre yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan enkesit koşulları 3.2 bağıntısıyla kontrol edilmiş ve sağlandığı belirlenmiştir [4].

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.140}{8.0 \cdot 10^{-3}} = 17.50 < 0.7 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 20.734 \quad (3.2)$$

**Tablo 3.11 :** Yapı-1 'de çapraz sistemi kirişi için tasarım parametreleri.

Burkulma boyu ( $S_k$ )	6.00 m
Narinlik ( $\lambda$ )	113
Basınç emniyet gerilmesi ( $\sigma_{bem}, \lambda_x = 113$ için)	61.693 N/mm <sup>2</sup>
Eksenel basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	9.623 N/mm <sup>2</sup>

**Eleman Narinlik Kontrolü :** Deprem Yönetmeliğine göre, basınca çalışan elemanların narinlik oranının 3.15 bağıntısıyla verilen sınır değeri aşmaması gerekmektedir [4].

$$\lambda = 113 < 4.0 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 4.0 \cdot \sqrt{206182 / 235} = 118 \quad (3.15)$$

**Normal Gerilme Kontrolü :** Çapraz sistemi kirişindeki normal gerilme oranı 3.16 bağıntısı ile kontrol edilmiş ve sağladığı görülmüştür.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{9.623}{61.693} = 0.156 < 1.33 \quad (3.16)$$

Sonuç olarak tasarımda eleman narinliği etkili olmuş ve üst kiriş elemanı için **Kutu 140\*140\*8** profilinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Deprem etkisinde kesit tesiri oluşmayan sadece düşey yük taşıyıcıları olan aşıklar, arakat döşeme kirişleri, arakat kirişleri ve kolonlarının tasarım sonuçları Tablo 3.12 ve 3.13'de verilmiştir. Taşıyıcı elemanlara ait tasarım sonuçları özet olarak Tablo 3.14 'te verilmiştir. Tasarımda etkili olan parametreler koyu olarak gösterilmiştir (Tablo 3.14).

**Tablo 3.12 : Aşık, döşeme kirişi ve arakat kirişi tasarım sonuçları.**

Tasarım Parametresi	Aşık IPN 140	Döşeme Kirişi IPN 260	Arakat Kirişi IPE 550
Eleman Boyu (m)	6.00	6.00	8.00
Maksimum Normal Gerilme / Sınır Gerilme	0.70/1.00	0.74/1.00	<b>0.99/1.00</b>
Maksimum Kayma Gerilmesi / Sınır Gerilme	0.10/1.00	0.12/1.00	0.26/1.00
Maksimum Sehim / Sınır Sehim (cm)	<b>1.50/2.00</b>	<b>1.50/2.00</b>	1.80/2.60

**Tablo 3.13 : Arakat kolonu (IPE 300) tasarım sonuçları.**

Eleman Boyu (m)	4.00
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik	119/250
Maksimum Normal Gerilme / Sınır Gerilme	<b>1.15/1.33</b>

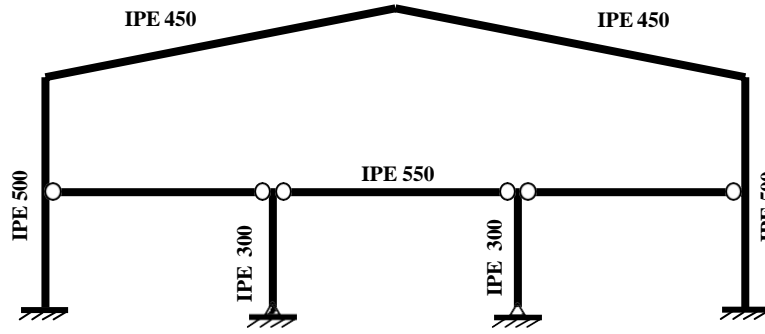
**Tablo 3.14 :Yapı -1'e ait tasarım sonuçları özeti.**

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 219.1*5	Üst Çaprazlar Boru 193.7*4.5	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	7.21 m	7.21 m	6.0 m
Enkesit Narinlik Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b/2t_f$	6.25/8.88	6.50/8.88	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/89.33	44.76/94.7	8.74/70.8	43.04/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	95/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Oranı	Üst Kat	$G+Q+E_x+0.3E_y$	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	$G+Q+E_x+0.3E_y$	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger. Oranı	$G+Q-E$	0.85/1.33	<b>1.15/1.33</b>	<b>1.20/1.33</b>	0.56/1.33	0.16/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	$G+Q-E_x-0.3E_y$	0.20/1.33	0.32/1.33	-----	-----	-----

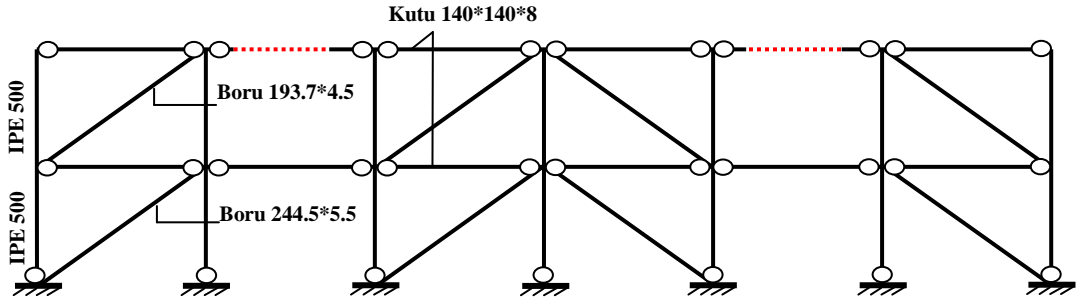
### 3.1.2 Yapı -2 - Yapı -9 'un Tasarım Sonuçları

Bu bölümde süneklik düzeyi ve çapraz tipi bakımından farklılıkları bulunan diğer yapıların (Yapı-2, Yapı-3, Yapı-4, Yapı-5, Yapı-6, Yapı-7, Yapı-8, Yapı-9) tasarım sonuçları özetlenmiştir.

**Yapı-2 tasarım sonuçları** ; Yapı-2 'nin taşıyıcı sistemleri süneklik düzeyi normal sistemlerdir. Yapı-1 ile aynı olan kısa ve uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistemler ve tasarım sonucu elde edilen kesitler Şekil 3.20 ve 3.21 'de verilmiştir. Yapı-2 için elde edilen deprem yükleri ve ilgili parametreler Tablo 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.20 : Yapı-2 kısa doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.



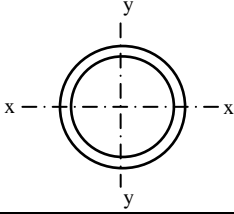
Şekil 3.21 : Yapı-2 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

Tablo 3.15: Yapı-2 'nin deprem yükleri ve ilgili parametreler.

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ )
Kısa Doğrultu (X)	0.6398 sn	1.72	0.40	5	5	1224 kN
Uzun Doğrultu (Y)	0.2497 sn	2.5	0.40	4	4	2228 kN

Süneklik düzeylerinin değişimi kısa doğrultudaki elemanların boyutlarını değiştirmemiştir. Uzun doğrultuda ise Yapı-1'den farklı olarak sadece alt çapraz elemanlarının boyutu değişmiştir (Tablo 3.16). Buna göre diğer tüm yapılarda da çerçeve kirişleri ile kolonların boyutları aynı alınmıştır. Uzun doğrultudaki sistemde ise süneklik düzeyinin değişimi ve çapraz tipinin değişimi sadece çapraz elemanların boyutlarını değiştirmiştir.

**Tablo 3.16 :** Yapı-2 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$2.9 \cdot 10^{-5}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$4.05 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.2445	m	
Et Kalınlığı	t	0.0054	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0846	m	

**Tablo 3.17 :** Yapı-2 alt çapraz elemanı tasarım parametreleri.

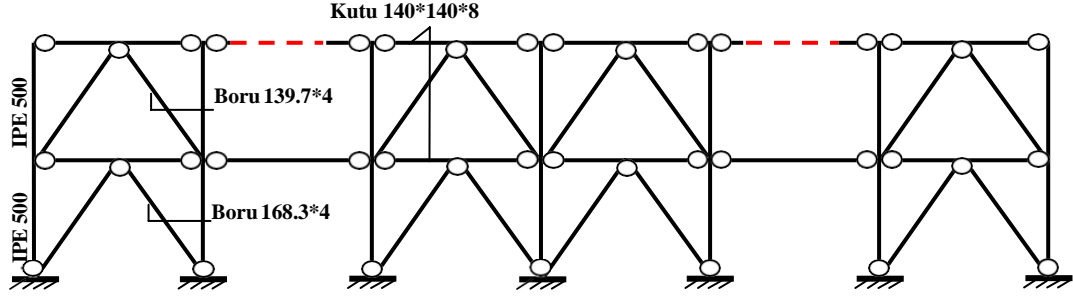
Burkulma boyu (Sk)	7.21 m
Eleman narinliği (Sk/i)	85
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	86.219 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 85$ için)	83.768 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (D/t)	45.27
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.13

Diğer elemanlara ait tasarımlar benzer şekilde yapılarak Tablo 3.18 'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.18 :**Yapı -2 'ye ait tasarım sonuçları özeti.

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 244.5*5.5	Üst Çaprazlar Boru 193.7*4.5	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	7.21 m	7.21 m	6.0 m
Enkesit Narinlik Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_r$	6.25/14.88	6.50/14.81	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/124.88	44.76/148.1	45.2/70.2	43.04/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	85/118	<b>108/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Oranı	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger. Oranı	G+Q-E	1.09/1.33	<b>1.25/1.33</b>	<b>1.132/1.33</b>	0.648/1.33	0.156/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.25/1.33	0.33/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 3 tasarım sonuçları ;** Yapı-3 'ün uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi **süneklik düzeyi yüksek ters v tipi** çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.22). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı- 1 ile aynıdır.



**Şekil 3.22 :** Yapı-3 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.19 'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.19 :** Yapı-3 'ün deprem yükleri ve ilgili parametreler.

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_T$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2911 sn	2.5	0.40	5	5	1782 kN

Yapı-3 'de uzun doğrultudaki üst çaprazlar Boru 139.7\*4, alt çaprazlar Boru 168.3\*4 olarak teşkil edilmiştir. Bu elemanlara ait enkesit özellikleri Tablo 3.20 ve 3.22 'de, tasarım parametreleri Tablo 3.21 ve 3.23 'de gösterilmiştir.

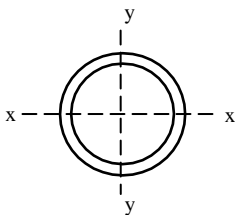
**Tablo 3.20 :** Yapı-3 üst çapraz elemanına ait ekesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$3.93 \cdot 10^{-6}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$1.71 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.1397	m	
Et Kalınlığı	t	0.004	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.048	m	

**Tablo 3.21 : Yapı-3 üst çapraz elemanı için tasarım parametreleri.**

Burkulma boyu (Sk)	5.0 m
Eleman narınlığı (Sk/i)	104
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	38.59 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 104$ için)	68.783 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narınlığı (D/t)	34.92
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	0.553

**Tablo 3.22 : Yapı- 3 alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.**

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$6.97 \cdot 10^{-6}$	m <sup>4</sup>	
Profil Alanı	F	$2.06 \cdot 10^{-3}$	m <sup>2</sup>	
Eleman Dış Çapı	D	0.1683	m	
Et Kalınlığı	t	0.004	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0581	m	

**Tablo 3.23 : Yapı-3 alt çapraz elemanı için tasarım parametreleri.**

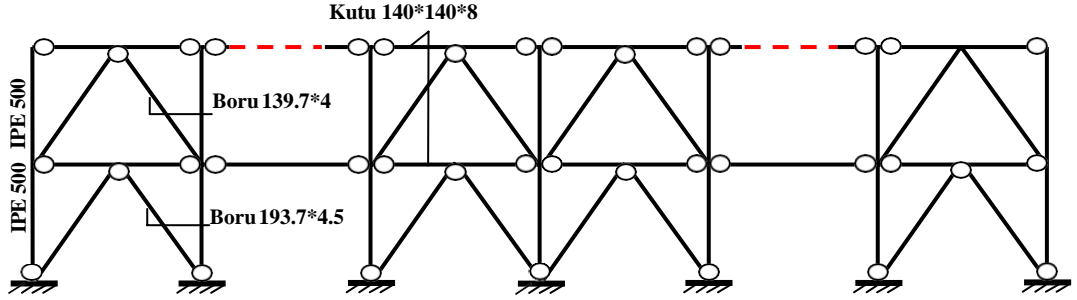
Burkulma boyu (Sk)	5.0 m
Eleman narınlığı (Sk/i)	86
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	90.476 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 86$ için)	82.974 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narınlığı (D/t)	42.075
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.144

Yapı- 3'e ait tasarım sonuçları özeti Tablo 3.24'de verilmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.24 :Yapı -3'e ait tasarım sonuçları özeti.**

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 168.3*4	Üst Çaprazlar Boru 139.7*4	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	5.0 m	5.0 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/8.88	6.50/8.88	----	----	----
	$h/t_w - D/t$	45.88/79.8	44.76/94.7	45.2/70.2	34.92/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narınlığı/Sınır Narınlık		93/250	75/250	86/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+Ex+0.3Ey	<b>0.02/0.02</b>	----	----	----
	Alt Kat	G+Q+Ex+0.3Ey	0.014/0.02	----	----	----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		----	0.044/0.08	----	----	----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E	0.85/1.33	<b>1.15/1.33</b>	<b>1.14/1.33</b>	0.553/1.33	0.20/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.21/1.33	0.32/1.33	----	----	----

**Yapı - 4 tasarım sonuçları** ; Yapı-4 'ün uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi **süneklik düzeyi normal ters v tipi** çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.23). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-2 ile aynıdır.



**Şekil 3.23** : Yapı-4 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.25 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.25** : Yapı-4 'ün deprem yükleri ve ilgili parametreler.

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2615 sn	2.5	0.40	4	4	2228 kN

Yapı-4'te Yapı-3'ten farklı olarak uzun doğrultudaki alt çaprazlar değişmiş ve bunlar Boru 193.7\*4.5 olarak teşkil edilmiştir. Bu elemanlara ait enkesit özellikleri Tablo 3.26 'da , tasarım parametreleri Tablo 3.27 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.26** : Yapı-4 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$1.19 \cdot 10^{-5}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$2.67 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.1937	m	
Et Kalınlığı	t	0.0045	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0669	m	

**Tablo 3.27 :** Yapı-4'de Alt çapraz elemanın tasarım parametreleri.

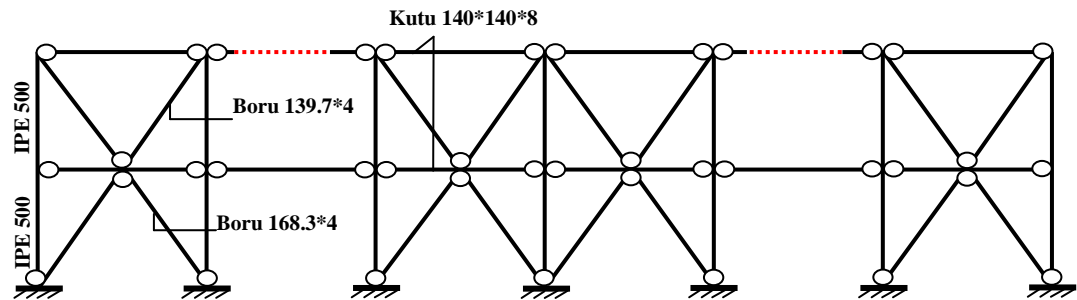
Burkulma boyu (Sk)	5.0 m
Eleman narinliği (Sk/i)	75
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	90.354 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 75$ için)	92.545 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (D/t)	43.04
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.004

Diğer elemanlara ait tasarımlar benzer şekilde yapılarak Tablo 3.28'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.28 :**Yapı -4'e ait tasarım sonuçları özeti.

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 193.7*4.5	Üst Çaprazlar Boru 139.7*4	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	5.0 m	5.0 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/14.81	6.50/14.81	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.8/124.8	44.7/148.1	43.76/70.2	34.92/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	75/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E	1.08/1.33	<b>1.25/1.33</b>	<b>1.004/1.33</b>	0.663/1.33	0.24/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.25/1.33	0.33/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 5 tasarım sonuçları ;** Yapı- 5'in uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek İki Katta X tipi çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.24). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-1 ile aynıdır. Bu sistemde süneklik düzeyi yüksek Ters V tipi çaprazlı perdede kullanılan çaprazların aynısı kullanılmıştır. Üst kattaki çaprazlar V şeklinde teşkil edilmiştir (Şekil 3.24).



**Şekil 3.24 :** Yapı-5 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.



Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.29 'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.29 :** Yapı-5'in deprem yükleri ve ilgili parametreler.

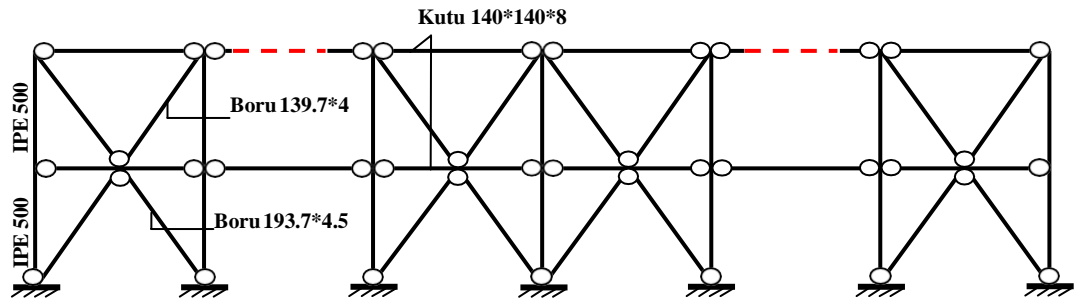
Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yükü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2858 sn	2.5	0.40	5	5	1782 kN

Tüm elemanlara ait tasarımlar yapılarak Tablo 3.30'da özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.30 :**Yapı -5'e ait tasarım sonuçları özeti.

Tasarım Parametresi	Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 168.3*4	Üst Çaprazlar Boru 139.7*4	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8	
Eleman Boyu (m)	4.0 m	12.23 m	5.0 m	5.0 m	6.0 m	
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/8.88	6.50/8.88	-----	-----	
	$h/t_w - D/t$	45.88/79.96	44.7/94.7	42.05/70.2	34.92/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik	93/250	75/250	86/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>	
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)	-----	0.031/0.08	-----	-----	-----	
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger. Oranı	G+Q-E	0.72/1.33	<b>1.15/1.33</b>	<b>1.21/1.33</b>	0.62/1.33	0.2/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.20/1.33	0.25/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 6 tasarım sonuçları ;** Yapı- 6'nın uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi normal iki katta bir x tipi çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.25). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-2 ile aynıdır. Bu sistemde süneklik düzeyi normal Ters V tipi çaprazlı perdede kullanılan çaprazların aynısı kullanılmıştır. Üst kattaki çaprazlar V şeklinde teşkil edilmiştir (Şekil 3.25).



**Şekil 3.25 :** Yapı- 6 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.3 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.31:** Yapı-6 'nın deprem yükleri ve ilgili parametreler

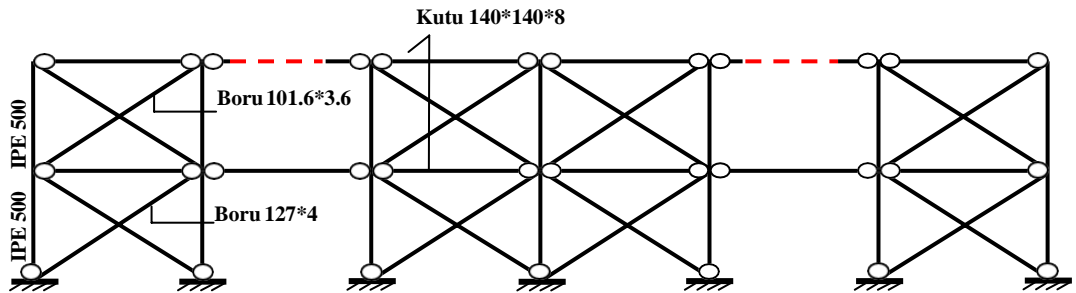
Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_i$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2553sn	2.5	0.40	4	4	2228 kN

Tüm elemanlara ait tasarımlar yapılarak Tablo 3.32'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.32 :**Yapı -6'ya ait tasarım sonuçları özeti.

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 193.7*4.5	Üst Çaprazlar Boru 139.7*4	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	5.0 m	5.0 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/14.81	6.50/14.8	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/124.84	44.76/148.1	43.06/70.2	34.92/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	75/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger. Oranı	G+Q-E	1.08/1.33	<b>1.24/1.33</b>	<b>1.06/1.33</b>	0.757/1.33	0.12/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.25/1.33	0.33/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 7 tasarım sonuçları ;** Yapı-7'nin uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi **süneklik düzeyi yüksek x tipi** çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.26). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-1 ile aynıdır. Bu sistemdeki çaprazların orta noktalarından bir düğüm levhası ile birleştirildikleri kabul edilmiştir. Bu nedenle tasarımda, çaprazların burkulma boyları, çubuk boyunun yarısına eşit alınmıştır.



**Şekil 3.26 :** Yapı-7 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.

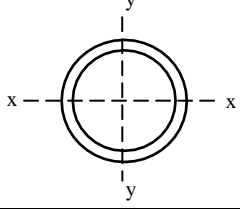
Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.33 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.33 :** Yapı-7'nin deprem yükleri ve ilgili parametreler.

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.28269 sn	2.5	0.40	5	5	1782 kN

Yapı-7'de uzun doğrultudaki üst çaprazlar Boru 101.6\*4 , alt çaprazlar Boru 127\*4 olarak teşkil edilmiştir. Bu elemanlara ait enkesit özellikleri Tablo 3.34 ve 3.36'da, tasarım parametreleri Tablo 3.35 ve 3.37 'de gösterilmiştir.

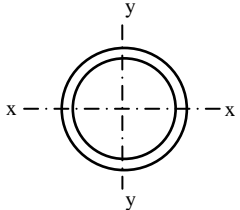
**Tablo 3.34 :** Yapı-7' de üst çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$1.33 \cdot 10^{-6}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$1.11 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.1016	m	
Et Kalınlığı	t	0.0036	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0347	m	

**Tablo 3.35 :** Yapı-7 üst çapraz eleman tasarım parametreleri.

Burkulma boyu (Sk)	3.61 m
Eleman narinliği (Sk/i)	104
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	44.93 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 104$ için)	69.568 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (D/t)	28.22
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	0.622

**Tablo 3.36 :** Yapı- 7'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$5.84 \cdot 10^{-6}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$1.55 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.127	m	
Et Kalınlığı	t	0.004	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0435	m	

**Tablo 3.37 :** Yapı-7 alt çapraz eleman tasarım parametreleri.

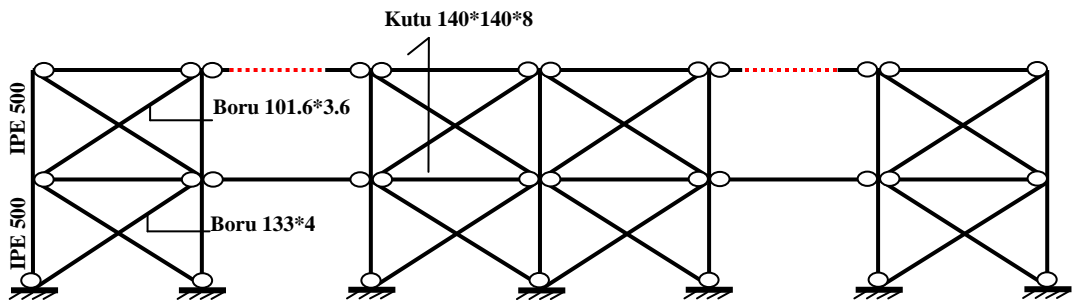
Burkulma boyu (Sk)	3.61 m
Eleman narinliği (Sk/i)	83
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	89.677 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 83$ için)	86.151 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (D/t)	31.75
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.138

Diğer elemanlara ait tasarımlar benzer şekilde yapılarak Tablo 3.38 'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.38 :**Yapı -7 'ye ait tasarım sonuçları özeti.

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 127*4	Üst Çaprazlar Boru 101.6*3.6	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	3.61 m	3.61 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/8.88	6.50/8.88	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/79.80	44.76/94.7	31.75/70.2	28.22/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	83/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E	0.94/1.33	<b>1.15/1.33</b>	<b>1.138/1.33</b>	0.622/1.33	0.1/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.20/1.33	0.32/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 8 tasarım sonuçları ;** Yapı-8 'nin uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi **süneklik düzeyi normal x tipi** çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.27). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-2 ile aynıdır.



**Şekil 3.27 :** Yapı-8 Uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem

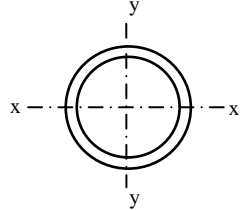
Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.39 'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.39 :** Yapı-8 'in deprem yükleri ve ilgili parametreler.

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_i$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2768 sn	2.5	0.40	4	4	1575.50 kN

Yapı-8 'de, Yapı-7 'den farklı olarak alt çaprazların boyutu değişmiştir. Bu elemana ait enkesit özellikleri Tablo 3.40'da, tasarım parametreleri Tablo 3.41'de verilmiştir.

**Tablo 3.40 :** Yapı- 8 'de alt çapraz elemanına ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$3.37 \cdot 10^{-6}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$1.62 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Eleman Dış Çapı	D	0.133	m	
Et Kalınlığı	t	0.004	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_x$	0.0456	m	

**Tablo 3.41 :** Yapı-8 alt çapraz eleman tasarım parametreleri.

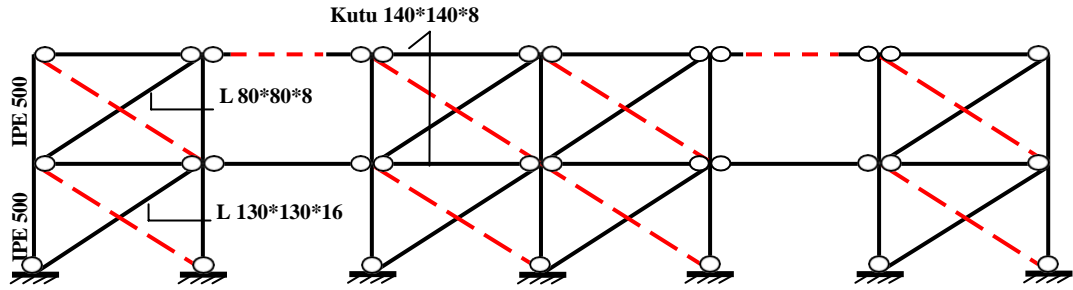
Burkulma boyu (Sk)	3.61 m
Eleman narinliği (Sk/i)	79
Basınç gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	116.049 N/mm <sup>2</sup>
Basınç em. gerilmesi ( $\sigma_{bem}$ , $\lambda_x = 83$ için)	88.544 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (D/t)	33.25
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.311

Tüm elemanlara ait tasarımlar yapılarak Tablo 3.42'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.42 :Yapı -8'e ait tasarım sonuçları özeti.**

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar Boru 133*4	Üst Çaprazlar Boru 101.6*3.6	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	3.61 m	3.61 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/14.81	6.50/8.88	-----	-----	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/124.84	44.76/94.7	33.25/70.2	28.22/70.8	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	79/118	<b>104/118</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+E <sub>x</sub> +0.3E <sub>y</sub>	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E	1.08/1.33	<b>1.25/1.33</b>	<b>1.311/1.33</b>	0.751/1.33	0.12/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.25/1.33	0.33/1.33	-----	-----	-----

**Yapı - 9 tasarım sonuçları** ; Yapı-9'un uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemi **süneklik düzeyi normal sadece çekmeye çalışan X tipi** çaprazlı perdelerden oluşmaktadır (Şekil 3.28). Kısa doğrultudaki özellikler Yapı-2 ile aynıdır. Bu sistemde çapraz eleman olarak L profiller kullanılmış ve orta noktalarında birleşim yapılmadığı kabul edilmiştir. Böylece yüksek narinlikli elemanlar elde edilmiş ve basınç altında bu elemanların elastik olarak burkulması sağlanmıştır. Deprem yükleri sadece çekmeye çalışan çaprazlar ile karşılanmıştır [4].

**Şekil 3.28 : Yapı-9 uzun doğrultudaki tipik taşıyıcı sistem.**

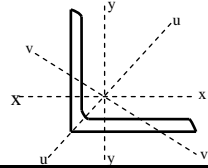
Deprem hesabında kullanılan parametreler ve elde edilen taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) Tablo 3.43 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.43 : Yapı-9 'un deprem yükleri ve ilgili parametreler.**

Deprem Doğrultusu	Periyot ( $T_1$ )	Spektrum Katsayısı $S(T_1)$	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ )
Uzun Doğrultu (Y)	0.2767 sn	2.5	0.40	4	4	2228 kN

Yapı-9'da uzun doğrultudaki üst çaprazlar L 80\*80\*8, alt çaprazlar L 100\*100\*20 profilleri ile teşkil edilmiştir. Bu elemanlara ait enkesit özellikleri Tablo 3.44 ve 3.46'da, tasarım parametreleri Tablo 3.45 ve 3.47'de gösterilmiştir.

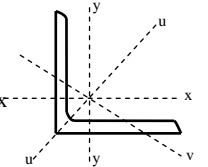
**Tablo 3.44 :** Yapı- 9 üst çapraz elemana ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$7.22 \cdot 10^{-7}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$1.23 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Et Kalınlığı	t	0.0008	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_v$	0.0155	m	

**Tablo 3.45 :** Yapı- 9 üst çapraz eleman tasarım parametreleri.

Burkulma boyu (Sk)	7.21 m
Eleman narinliği (Sk/i)	465
Çekme gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	178.048 N/mm <sup>2</sup>
Emniyet gerilmesi ( $\sigma_{em}$ )	141 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (b/2t)	5
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.118

**Tablo 3.46 :** Yapı- 9 alt çapraz elemana ait enkesit özellikleri.

Terim	Sembol	Değer	Birim	Profil
Atalet Momenti	$I_x$	$6.12 \cdot 10^{-6}$	$m^4$	
Profil Alanı	F	$3.92 \cdot 10^{-3}$	$m^2$	
Et Kalınlığı	t	0.016	m	
Atalet yarıçapı (x-x)	$i_v$	0.0252	m	

**Tablo 3.47 :**Normal gerilme oranlarının hesabında kullanılan parametreler.

Burkulma boyu (Sk)	7.21 m
Eleman narinliği (Sk/i)	286
Çekme gerilmesi ( $\sigma_{eb}$ )	178.371 N/mm <sup>2</sup>
Emniyet gerilmesi ( $\sigma_{em}$ )	141 N/mm <sup>2</sup>
Enkesit Narinliği (b/2t)	4.06
Normal Gerilme Oranı ( $\sigma_{eb}/\sigma_{bem}$ )	1.265

Diğer elemanlara ait tasarımlar benzer şekilde yapılarak Tablo 3.48 'de özetlenmiştir. Her bir elemanın tasarımında etkili olan kriter koyu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 3.48 :Yapı -9 'a ait tasarım sonuçları özeti.**

Tasarım Parametresi		Çerçeve Kolonu IPE 500	Çerçeve Kirişi IPE 450	Alt Çaprazlar L 130*130*16	Üst Çaprazlar L 80*80*8	Çaprazlı Perde Kirişleri Kutu 140*140*8
Eleman Boyu (m)		4.0 m	12.23 m	7.21 m	7.21 m	6.0 m
Enkesit Nar. Oranı/Sınır Nar. Oranı	$b_f/2t_f$	6.25/14.81	6.50/8.88	4.06/14.81	5/14.81	-----
	$h/t_w - D/t$	45.88/124.84	44.76/94.7	-----	-----	15.35/35.5
Maksimum Eleman Narinliği/Sınır Narinlik		93/250	75/250	<b>286/----</b>	<b>465/---</b>	<b>113/118</b>
Mak.Gör.Öt./Sınır Öt. Or.	Üst Kat	G+Q+Ex+0.3Ey	<b>0.02/0.02</b>	-----	-----	-----
	Alt Kat	G+Q+Ex+0.3Ey	0.014/0.02	-----	-----	-----
Maksimum Sehim/Sınır Sehim (m)		-----	0.044/0.08	-----	-----	-----
Mak.Normal Ger.Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E	1.08/1.33	<b>1.25/1.33</b>	<b>1.265/1.33</b>	<b>1.188/1.33</b>	0.1/1.33
Mak. Kayma Ger. Oranı/Sınır Ger.Oranı	G+Q-E <sub>x</sub> -0.3E <sub>y</sub>	0.25/1.33	0.33/1.33	-----	-----	-----



### 3.2 Yapıların Deprem Performanslarının Belirlenmesi

Bu bölümde, yapıların ASCE 41-13 'te [7] verilen esaslar çerçevesinde performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirmelerde Bölüm 2 'de açıklanan "Doğrusal Olmayan Statik Yöntem" kullanılmıştır. Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi aşağıda belirtilen dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

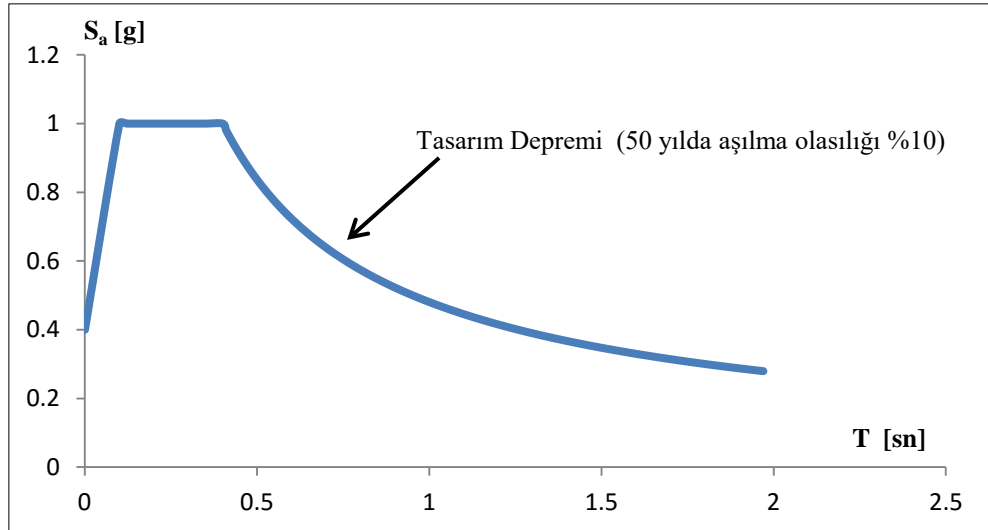
**1) Taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet - şekil değiştirme bağıntılarının ve performans seviyesi kriterlerinin belirlenmesi ;** Kısa doğrultudaki deprem etkisinde kirişler ve kolonlar eğilme elemanı olarak, uzun doğrultudaki deprem etkisinde kolonlar, kirişler ve çaprazlar aksel yüklü eleman olarak göz önüne alınmıştır. Sistemdeki ikincil diğer elemanlar (arakat kirişleri, kolonları, döşeme kirişleri, aşıklar, çatı stabilite) performans değerlendirmesinde gözönüne alınmamıştır. Eğilme elemanlarında Moment-Dönme bağıntıları, aksel kuvvet elemanlarında Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntıları belirlenmiştir. Eğilme ve bileşik eğilme etkisindeki elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları 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.

**2) Sistemlerin doğrusal olmayan statik analizi ile kapasite eğrisinin elde edilmesi ve plastik şekildeğiştirmelerin (dönme, kısalma, uzama) belirlenmesi ;** Kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemlerde ( $G+0.3Q$ ) düşey yükleri altında monoton artan yatay yükler için doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde SAP2000 Yapısal Analiz Programı 'ndan [28] yararlanılmıştır. Analizde deprem etkilerini temsil eden yatay yük olarak 1. mod şekli ile uyumlu yükler kullanılmıştır. Tepe yerdeğiştirmesi olarak, kısa doğrultuda bir orta aks çerçevesinin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ( $u_{Tx}$ ), uzun doğrultuda ise çerçeve kolonunun üst ucunun yatay yerdeğiştirmesi ( $u_{Ty}$ ), esas alınmıştır. 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 şekildeğişirmelerin 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.
- Elemanlardaki kesme kuvvetlerinin, moment ve normal kuvvet taşıma kapasitelerine etkileri terkedilmiştir.
- Birleşimlerin taşıma kapasitelerinin birleştirilen elemanlardan daha fazla olduğu, bu nedenle plastikleşmelerin eleman uçlarında meydana geldiği ve birleşimlerin elastik davrandığı kabul edilmiştir.

3) *Kapasite eğrisinden yararlanarak istenilen deprem seviyesi için sistemin tepe yerdeğiştirmesi talebinin (hedef yerdeğiştirme) belirlenmesi* ; Bunun için ASCE 41-13 'de [7] öngörülen ve Bölüm 2 'de ayrıntılı olarak anlatılan prosedür kullanılmıştır. Çalışmada incelenen yapıların kullanım amacı endüstri yapısı olduğu için önem katsayısı  $I = 1.00$  olmaktadır. Bu nedenle bu yapıların performans değerlendirilmesinde Türk Deprem Yönetmeliği 'nde [4] öngörülen tasarım depremi esas alınmıştır. I. derece deprem bölgesi için bu depreme ait elastik ivme spektrumu Şekil 3.29 'da verilmiştir.



Şekil 3.29: Performans değerlendirmelerinde göz önüne alınan ivme spektrumu.

4) *Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıdaki şekildeğiştirme talepleri ile performans seviyelerine ait sınır değerlerin karşılaştırılması ve performans seviyesine karar verilmesi* ; Bu aşamada, ilk olarak hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmiş yapıda, çerçeve kolonları ve kirişleri için plastik dönme değerleri, çaprazlar için plastik uzama veya kısalma değerleri belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler ASCE 41-13 'de [7] verilen, performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performans seviyesine karar verilmiştir (Tablo 2.7 ve 2.8).

### 3.2.1 Yapı -1 'in Deprem Performansının Belirlenmesi

1) *İç kuvvet - şekil değiştirme bağıntılarının ve performans seviyesi kriterlerinin belirlenmesi* ; Taşıyıcı sistem elemanlarına ait iç kuvvet- şekildeğiştirme bağıntıları ve performans seviyelerine ait sınır şekildeğiştirme değerleri ASCE/SEI 41-13'den yararlanılarak Bölüm 2'de ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi belirlenmiştir.

*Çerçeve Kirişi İçin Moment-Dönme Bağıntısı* : IPE 450 profilinden teşkil edilen kirişe ait plastikleşme momenti  $M_p$ , plastikleşme momentine karşılık gelen dönme  $\theta_{py}$  sırasıyla 3.15 ve 3.16 bağıntıları ile belirlenmiştir [7]. 3.16 bağıntısında L, eleman boyunu göstermektedir.

$$M_p = W_p \sigma_a = 0.0017 * 235000 = 399.97 \text{ kNm} \quad (3.15)$$

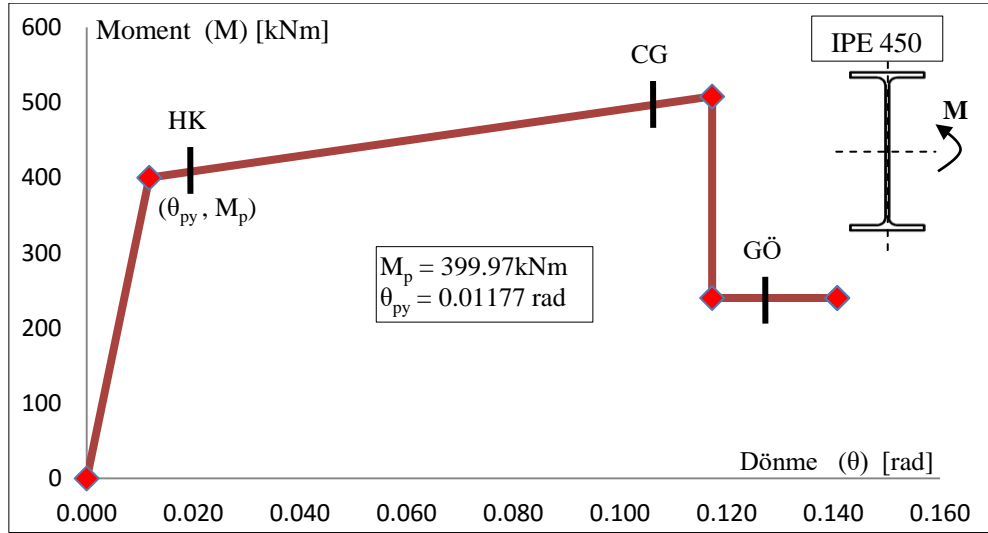
$$\theta_{py} = \frac{W_p \sigma_a L}{6 E_s I_x} = \frac{0.0017 * 235000 * 12.44}{6 * 206182000 * 3.4 * 10^{-4}} = 0.01173 \text{ rad} \quad (3.16)$$

Kiriş için Tablo 2.8'de verilen ve aşağıda belirtilen enkesit koşulları (kip-inch biriminde) esas alınarak iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısını tanımlayan karakteristik değerler (a, b, c) ve performans seviyelerine ait sınır değerler ( $\theta_{HK}$ ,  $\theta_{CG}$ ,  $\theta_{GÖ}$ ) belirlenmiştir.

$$\frac{b_f}{2t_f} = 6.507 < \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}} = 8.908$$

$$\frac{h}{t_w} = 47.872 < \frac{418}{\sqrt{\sigma_a}} = 71.607$$

Buna göre  $a = 0.1056$  rad ,  $b = 0.1290$  rad ,  $c = 0.60$  ,  $\theta_{HK} = 0.0117$  rad,  $\theta_{CG} = 0.1056$  rad ,  $\theta_{GÖ} = 0.1290$  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 ( $\theta$ ) bağıntısı ve performans seviyelerine ait sınır değerler Şekil 3.30'da gösterilmiştir [7].



**Şekil 3.30:** Çerçeve Kirişi İçin Moment-Dönme Bağıntısı

**Çerçeve Kolonu İçin Moment-Dönme Bağıntısı :** ASCE/SEI 41-13 'e 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 için  $(G+0.3Q)$  yüklemesi esas alınmıştır. Buna göre Elemandaki normal kuvvet  $N = 123.92$  kN olarak belirlenmiştir. Alt kat kolonu için yapılan hesaplar örnek olarak gösterilmiştir.

Eleman basınç dayanımı  $N_{CL}$  ise 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20 bağıntıları ile belirlenmiştir [7,28,29].

$$F_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{KL}{i_y}\right)^2} = \frac{3.14^2 * 206182000}{\left(\frac{1.00 * 4.00}{0.0431}\right)^2} = 236.017 \text{ N/mm}^2 \quad (3.17)$$

$$\frac{KL}{i_y} = \frac{1.00 * 4.00}{0.0431} = 93 < 4.71 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 140 \quad (3.18)$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{\sigma_a}{F_c}\right) * \sigma_a = \left(0.658 \frac{235000}{236017}\right) * 235000 = 154.909 \text{ N/mm}^2 \quad (3.19)$$

$$N_{CL} = F_{cr} F = 154.909 * 0.0115 = 1789.20 \text{ kN} \quad (3.20)$$

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

$N/N_{CL} = 124.16 / 1789.20 = 0.07 < 0.10$  olduğundan kolon, kiriş eleman gibi gözönüne alınmış ve normal kuvvet etkisi ihmal edilmiştir. Kolon kesitine ait plastikleşme momenti  $M_p$  ve buna karşılık gelen dönme  $\theta_{py}$  3.15 ve 3.16 bağıntıları ile hesaplamıştır.

$$M_p = W_p \sigma_a = 0.0022 * 235000 = 515.59 \text{ kNm}$$

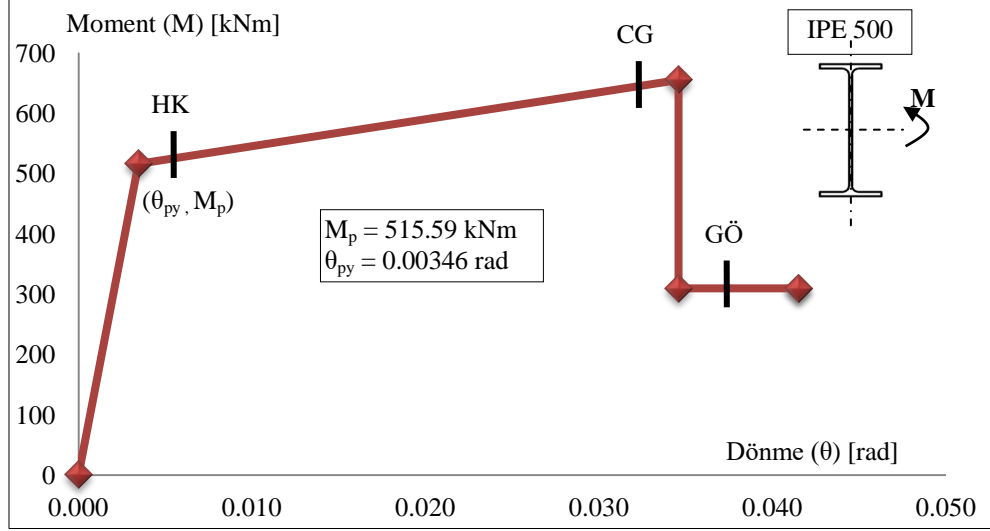
$$\theta_{py} = \frac{W_p \sigma_a L}{6 E_s I_x} = \frac{0.0022 * 235000 * 4.0}{6 * 206182000 * 4.82 * 10^{-4}} = 0.00346 \text{ rad}$$

Kolon için Tablo 2.8'de verilen ve aşağıda belirtilen enkesit koşulları (kip-inch biriminde) esas alınarak iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısını tanımlayan karakteristik değerler (a, b, c) ve performans seviyelerine ait sınır değerler ( $\theta_{HK}$ ,  $\theta_{CG}$ ,  $\theta_{GÖ}$ ) belirlenmiştir.

$$\frac{b_f}{2t_f} = 6.25 < \frac{52}{\sqrt{\sigma_a}} = 8.908$$

$$\frac{h}{t_w} = 49.02 < \frac{418}{\sqrt{\sigma_a}} = 71.607$$

Modelleme parametreleri tablosunda verilen karakteristik değerler  $a = 0.0311 \text{ rad}$  ,  $b = 0.0380 \text{ rad}$  ,  $c = 0.60$  ,  $\theta_{HK} = 0.00346 \text{ rad}$  ,  $\theta_{CG} = 0.0311 \text{ rad}$  ,  $\theta_{GÖ} = 0.0380 \text{ rad}$  olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Moment-Dönme bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır. Buna göre kolonun Moment-Dönme bağıntısı Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 : Çerçeve Alt Kat Kolonu İçin Moment-Dönme Bağintısı

#### 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 yanal burulmalı burkulma oluşmamaktadır. Bu nedenle basınç kuvveti altında eğilme burkulması için 3.20 bağıntısı ile  $N_{CL}$  hesabı yapılmıştır. Bu yüke karşılık gelen kısalma değeri  $\Delta_c$  3.21 bağıntısıyla hesaplanmıştır.

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

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

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{\sigma_a}{F_e}}\right) * \sigma_a = \left(0.658^{\frac{235000}{158620}}\right) * 235000 = 126.405 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{CL} = F_{cr} F = 126405.28 * 0.0042 = 533.93 \text{ kN}$$

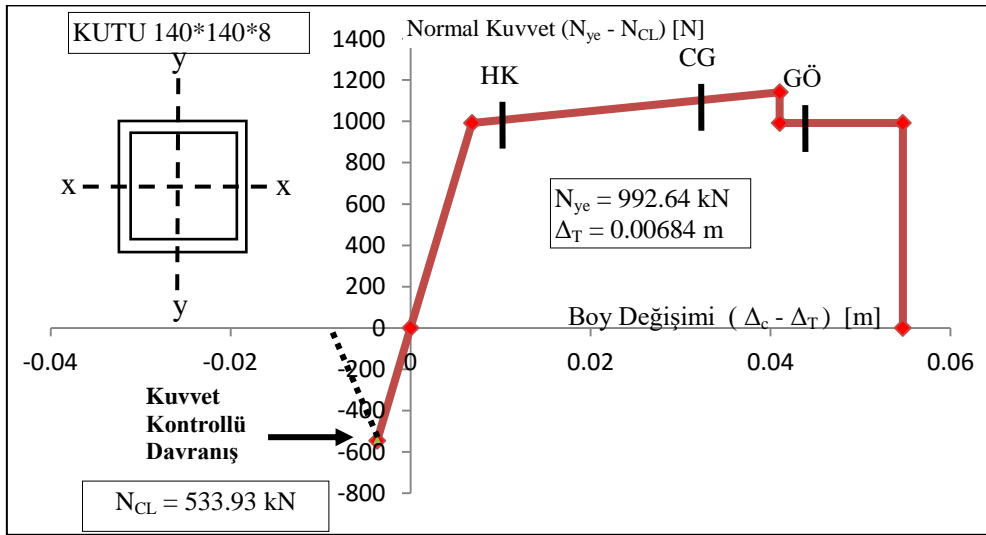
$$\Delta_c = \frac{N_{CL} L}{E_s F} = \frac{533.93 * 6.00}{206182000 * 4.224 * 10^{-3}} = 0.00367 \text{ m} \quad (3.21)$$

**Çekme Kuvveti Altında** ; Elemanın akma kuvveti  $N_{ye}$  ve elastik uzama kapasitesi  $\Delta_T$  , 3.22 ve 3.23 bağıntıları ile belirlenmiştir.

$$N_{ye} = \sigma_a F = 235000 * 4.224 * 10^{-3} = 992.64 \text{ kN} \quad (3.22)$$

$$\Delta_T = \frac{N_{ye} L}{E_s F} = \frac{992.64 * 6.00}{206182000 * 4.224 * 10^{-3}} = 0.00684 \text{ m} \quad (3.23)$$

Modelleme parametreleri tablosunda verilen karakteristik değerler  $a = 0.0342$  m ,  $b = 0.0479$  m ,  $c = 1.00$  ,  $\theta_{HK} = 0.0034$  m ,  $\theta_{CG} = 0.0410$  m ,  $\theta_{GÖ} = 0.048$  m olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet - Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır. Buna göre çapraz sistemi kirişi için elde edilen Normal Kuvvet (N) - Boy Değişimi ( $\Delta$ ) bağıntısı ve performans seviyelerine ait sınır değerler Şekil 3.32' te gösterilmiştir.[7]

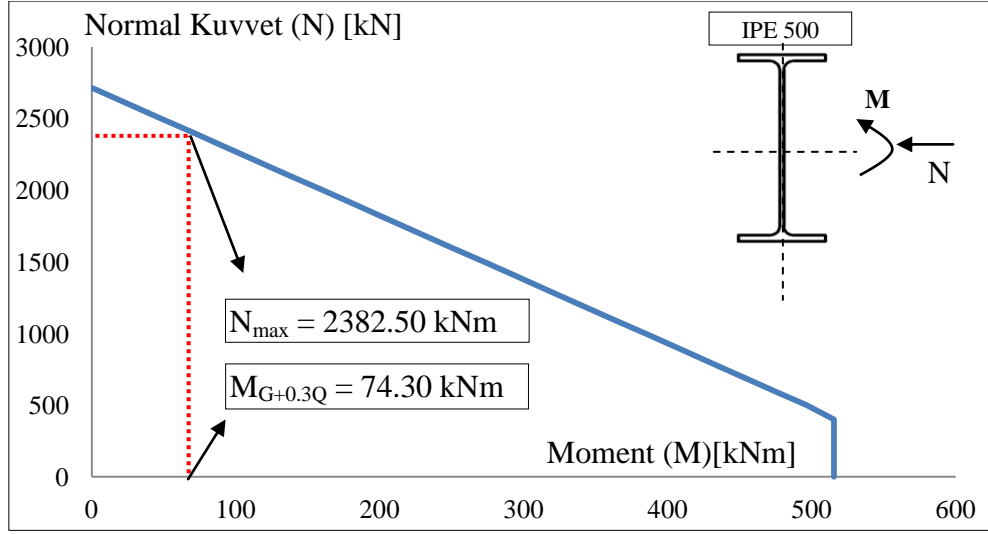


**Şekil 3.32** : Çapraz sistemi kirişi için normal kuvvet - boy değişimi bağıntısı (Yapı-1)

### **Çapraz Sistemi Kolonu İçin Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi ( $\Delta$ )**

**Bağıntısı:** Çapraz sistemindeki kolonlar çerçeve düşey yükleri nedeniyle sabit momente ve uzun doğrultudaki deprem etkisinde basınç veya çekme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu nedenle çekme kuvveti taşıma kapasitesinin ( $N_{max}$ ) M-N etkileşim diyagramından elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için 3.24 bağıntısı ile yeter sayıda aksel kuvvet değeri için hesap yapılarak kolona ait M-N etkileşim diyagramı elde edilmiştir (Şekil 3.33). ( $M_{G+0.3Q}$ ) momenti ve bu değere karşılık gelen normal kuvvet taşıma kapasitesi ( $N_{max}$ ), kolona ait etkileşim diyagramı üzerine işlenmiştir (Şekil 3.33).

$$M = 1.18W_p \sigma_a \left(1 - \frac{N}{N_{ye}}\right) \leq W_p \sigma_a \quad (3.24)$$



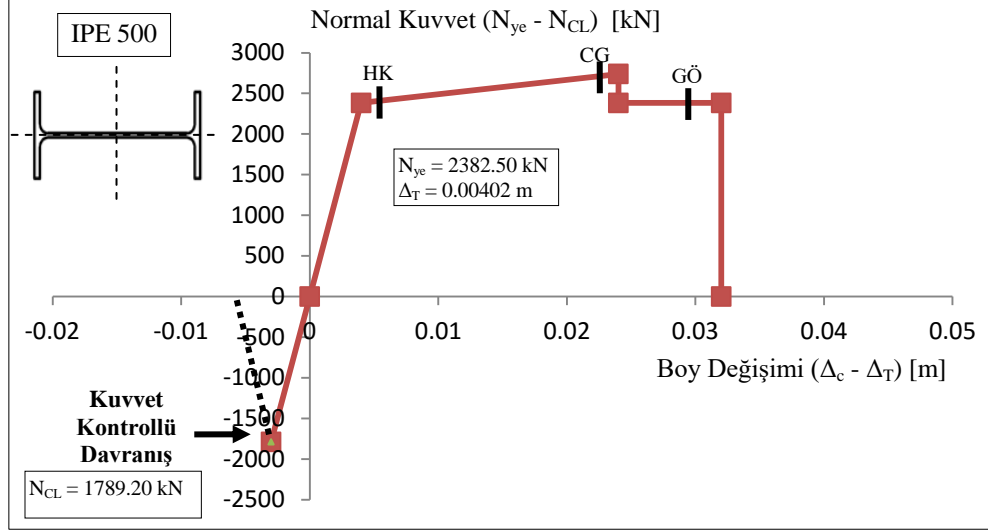
**Şekil 3.33:** Kolon etkileşim diyagramı.

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 500 kolonu için  $N_{CL} = 1789.20$  kN olarak belirlenmiştir. Çekme kuvveti altında elemanın plastikleşme kuvveti  $N_{max} = 2382.50$  kN olarak belirlenmiş ve buna karşılık gelen elastik uzama değeri  $\Delta_T$  3.23 ve bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$\Delta_T = \frac{N_{ye}L}{E_s F} = \frac{2382.50 \cdot 4.00}{206182000 \cdot 0.0115} = 0.00402 \text{ m}$$

Bu durumda modelleme parametreleri tablosunda verilen karakteristik değerler  $a = 0.020$  m ,  $b = 0.028$  m ,  $c = 1.0$  m ,  $\Delta_{HK} = 0.0020$  m ,  $\Delta_{CG} = 0.024$  m ,  $\Delta_{G\ddot{o}} = 0.028$  m olarak elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet - Boy Değişimi bağıntılarında , elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır. Buna göre çapraz sistemi kirişi için elde edilen Normal Kuvvet (N) - Boy Değişimi ( $\Delta$ ) bağıntısı ve performans seviyelerine ait sınır değerler Şekil 3.34' te gösterilmiştir [7].





Şekil 3.34 : Çapraz sistemi kolonu için normal kuvvet-boy değişimi bağıntısı(Yapı-1).

**Çapraz Elemanları İçin Normal Kuvvet (N)-Boy Değişimi (Δ) Bağıntısı :**

Çapraz elemanlar uzun doğrultudaki deprem etkisinde çekme ve basınç kuvvetine maruz kalmaktadır. Çaprazların narinlikleri sınırlandırıldığı için basınç yükü altında da **şekil değiştirme kontrollü** olarak gözönüne alınmıştır. Profil özellikleri nedeniyle boru profillerde yanal burulmalı burkulma oluşmamaktadır. Bu nedenle basınç kuvveti altında eğilme burkulması için 3.20 bağıntısıyla  $N_{CL}$  hesabı yapılmıştır. Minimum burkulma yükü  $N_{CL}$  ve elastik boy kısalma kapasitesi  $\Delta_c$  3.21 bağıntısıyla belirlenmiştir.

$$F_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{KL}{I_y}\right)^2} = \frac{3.14^2 * 206182}{\left(\frac{1.00 * 7.21}{0.0757}\right)^2} = 224.032 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{\sigma_a}{F_e}}\right) * \sigma_a = \left(0.658^{\frac{235}{224}}\right) * 235000 = 151.493 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{CL} = F_{cr} F = 151.4933 * 0.00336 = 509.47 \text{ kN}$$

$$\Delta_c = \frac{N_{CL} L}{E_s F} = \frac{509.47 * 7.21}{206182000 * 0.00336} = 0.00529 \text{ m}$$

Çapraz elemanı modelleme parametreleri için narinlik oranı  $\lambda$  3.25 bağıntısıyla hesaplanmış, 3.26 ve 3.27’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 [7].

$$\lambda = \frac{KL}{i} = \frac{1.00 \cdot 7.21}{0.0757} = 95 \quad (3.25)$$

$$\lambda = 95 < 4.2 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 4.2 * \sqrt{\frac{206182000}{235000}} = 124 \quad (3.26)$$

$$\lambda = 95 > 2.1 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 2.1 * \sqrt{\frac{206182000}{235000}} = 62 \quad (3.27)$$

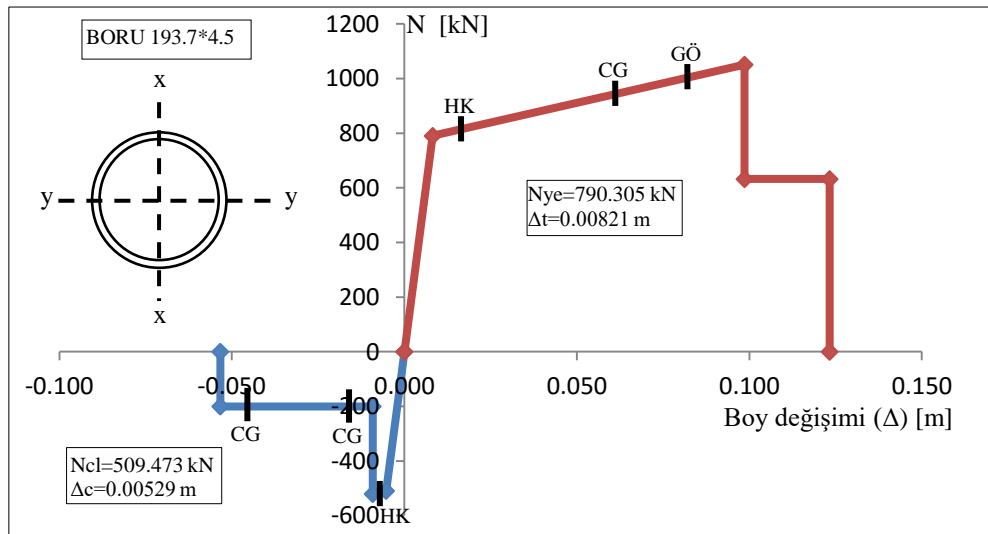
Buna göre  $a = 0.0039$  m ,  $b = 0.0427$  m ,  $c = 0.393$  ,  $\Delta_{HK} = 0.0026$  m ,  $\Delta_{CG} = 0.0346$  m ,  $\Delta_{G\ddot{O}} = 0.043$  m elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır (Şekil 3.35).

**Çekme Kuvveti Altında** : Elemanın akma kuvveti  $N_{ye}$  3.28 bağıntısıyla elastik boy uzama kapasitesi  $\Delta_T$  , 3.23 bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$N_{ye} = \sigma_a F = 235000 * 3.36 * 10^{-3} = 790.305 \text{ kN} \quad (3.28)$$

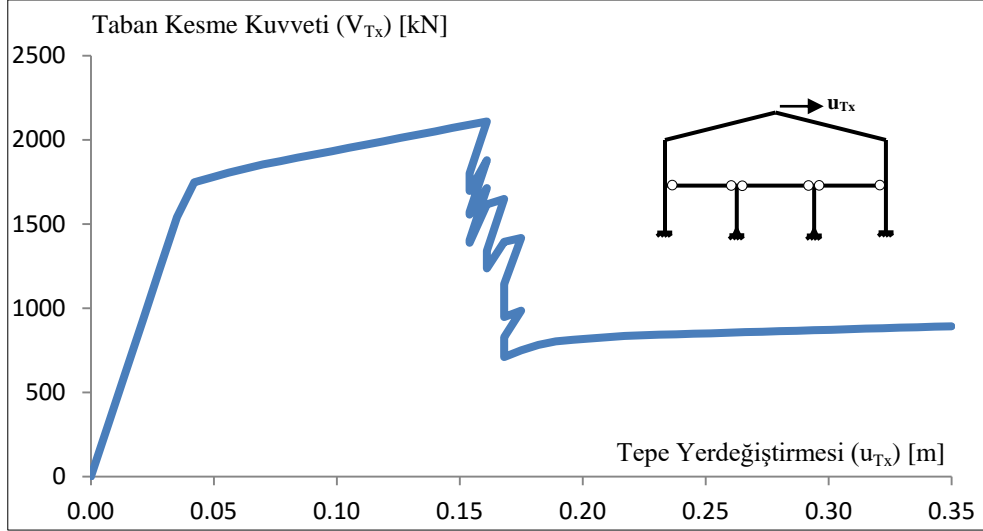
$$\Delta_T = \frac{N_{ye} L}{E_s F} = \frac{790.305 * 7.21}{206182000 * 0.003363} = 0.00821 \text{ m}$$

Buna göre  $a = 0.0658$  m ,  $b = 0.0740$  m ,  $c = 0.6$  ,  $\Delta_{HK} = 0.0041$  m ,  $\Delta_{CG} = 0.0575$  m ,  $\Delta_{G\ddot{O}} = 0.074$  m elde edilmiştir. Ayrıca elemanların Normal Kuvvet-Boy Değişimi bağıntılarında, elastik bölgedeki eğimin % 3'ü kadar bir eğimde pekleşme etkisi tanımlanmıştır [7]. Buna göre çapraz elemanı için elde edilen Normal Kuvvet (N) - Boy Değişimi ( $\Delta$ ) bağıntısı ve performans seviyelerine ait sınır değerler Şekil 3.35 'de gösterilmiştir.

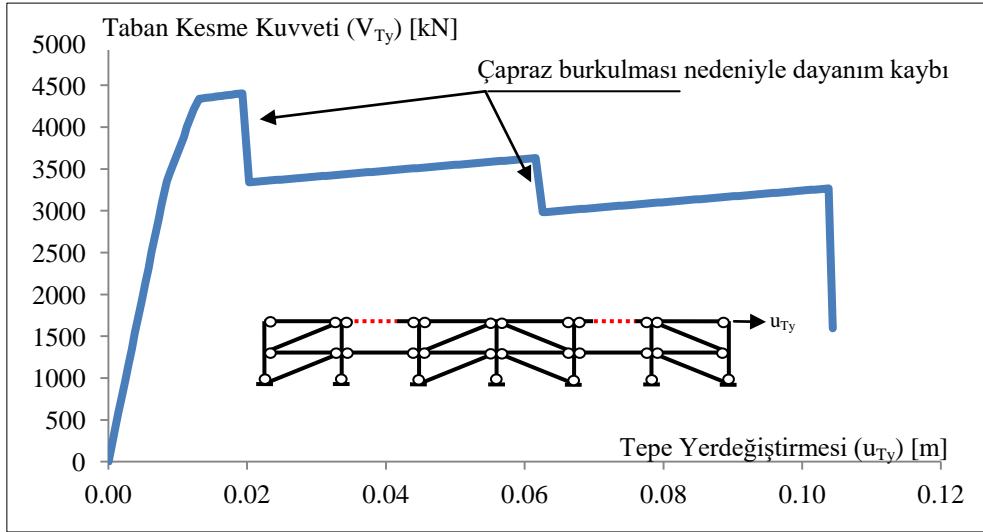


Şekil 3.35 : Çapraz elemanı için normal kuvvet - boy değişimi bağıntısı (Yapı-1).

2) *Taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrilerinin belirlenmesi* ; Doğrusal olmayan analiz sonucunda kısa ve uzun doğrultu için elde edilen tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti (kapasite eğrisi) grafikleri Şekil 3.36 ve Şekil 3.37 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.36 : Yapı -1 kısa doğrultu kapasite eğrisi.



Şekil 3.37 : Yapı -1 uzun doğrultu kapasite eğrisi.

3) *Kapasite eğrilerinden faydalanarak taşıyıcı sistemlerin tepe yerdeğiştirmesi talebinin (hedef yerdeğiştirme) belirlenmesi* ; Yapıya ait kapasite eğrileri kullanılarak Bölüm-2'deki esaslar çerçevesinde hedef yerdeğiştirmeyi belirlemek için gerekli olan büyüklükler hesaplanmış ve Tablo 3.49 ve 3.50 'de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak 2.2 bağıntısı ile kısa ve uzun doğrultuda deprem etkisinde oluşan hedef yerdeğiştirme değerleri elde edilmiş ve kapasite eğrileri üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.38 ve Şekil 3.39) .

**Tablo 3.49:** Kısa doğrultu hedef yerdeğiştirme için gerekli parametreler (Yapı-1).

Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	42973 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	42768 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.6398 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.6413 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.000
$C_2$ katsayısı	1.000	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	0.68g	Spektral ivme ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$u_{strength}$ katsayısı	1.000	Yapı ağırlığı (W)	8913 kN
a katsayısı(zemin sınıfına göre)	130		

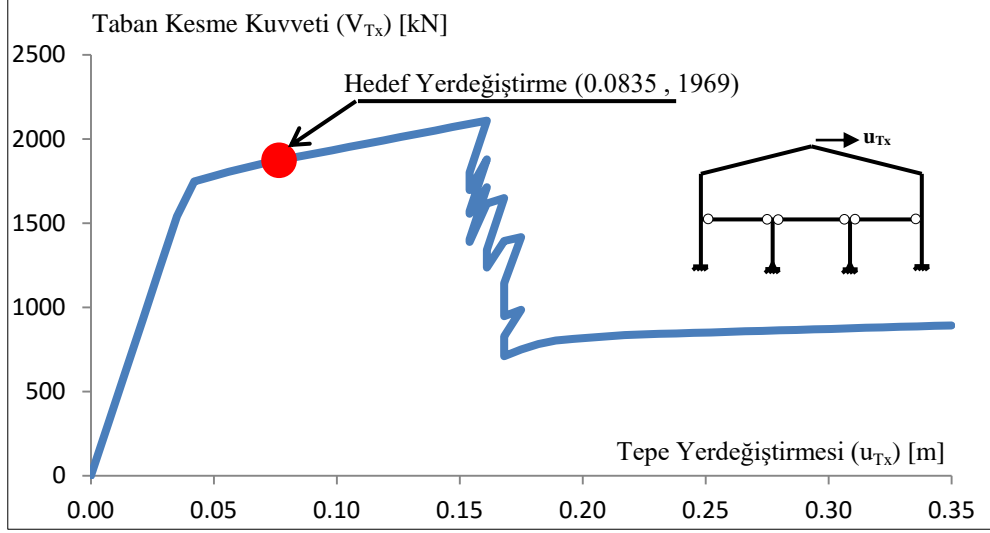
**Tablo 3.50:** Uzun doğrultu hedef yerdeğiştirme için gerekli parametreler (Yapı-1).

Akma dayanımı ( $V_y$ )	4339 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	4404 kN
Akma yerdeğ. ( $u_y$ )	0.01133	Maksimum day. gelen yerdeğ. ( $u_d$ )	0.0193
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	401495 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	382994 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2712 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2776 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.1052
$C_2$ katsayısı	1.018	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$u_{strength}$ katsayısı	2.0542	Yapı ağırlığı (W)	8913.750 kN

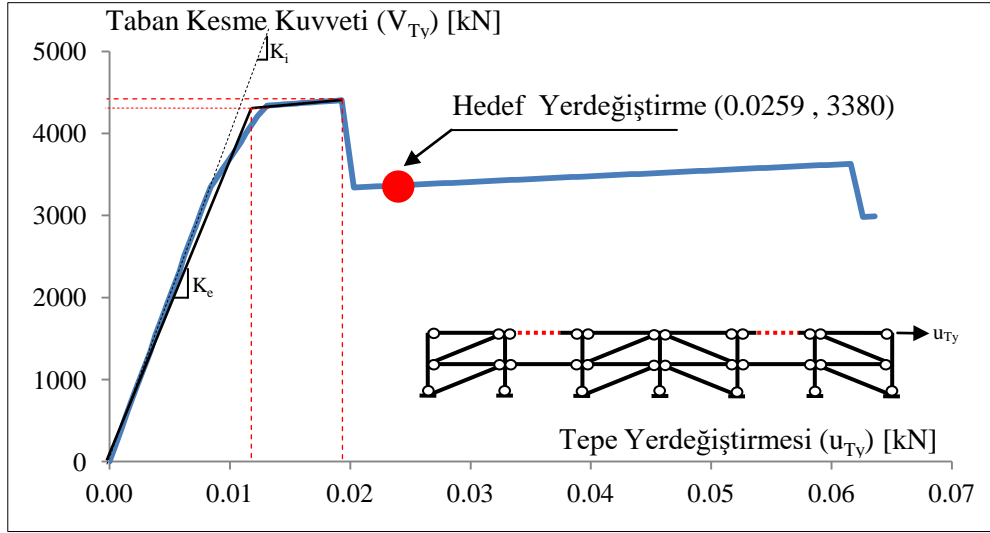
$$u_{Tx} = C_0 * C_1 * C_2 * S_a * \frac{T_e^2}{4\pi^2} * g$$

$$u_{Tx} = 1.2 * 1.00 * 1.00 * 0.68 * \frac{0.6413^2}{4\pi^2} * 9.81 = 0.0835 \text{ m}$$

$$u_{Ty} = 1.2 * 1.1052 * 1.018 * 1.00 * \frac{0.2776^2}{4\pi^2} * 9.81 = 0.0259 \text{ m}$$

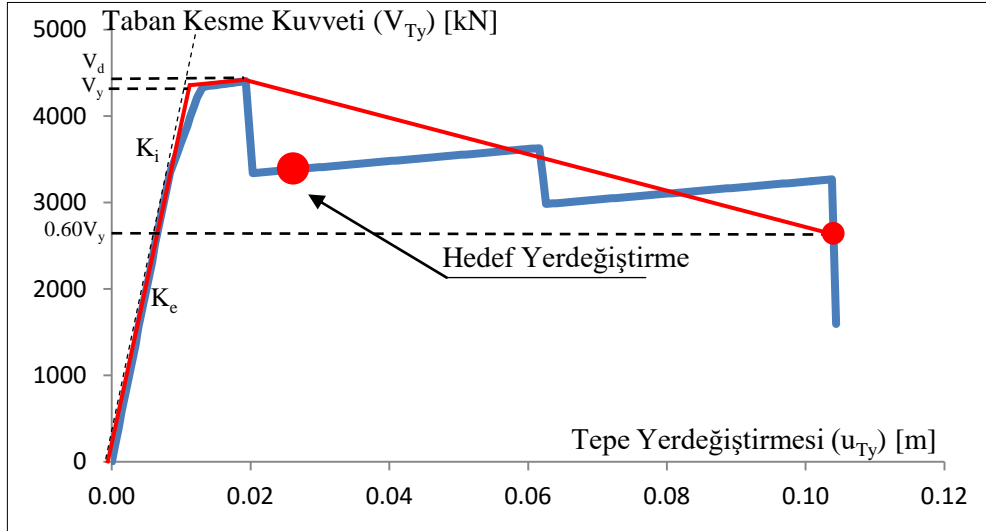


Şekil 3.38 : Yapı -1 kısa doğrultu hedef yerdeğiştirmesinin kapasite eğrisinde gösterimi.



Şekil 3.39 : Yapı -1 uzun doğrultu hedef yerdeğiştirmesinin kapasite eğrisinde gösterimi.

Uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemde hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle, statik prosedürlerin hedef yerdeğiştirmeyi belirlemede yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir [7] (Şekil 3.40). Bunun için Bölüm 2.1 de açıkladığı gibi Kapasite eğrisinde etkin negatif rijitlik değeri ve buna bağlı  $\mu_{max}$  değeri belirlenmiş ve gerekli parametreler ile Tablo 3.51 'de verilmiştir. Uzun doğrultudaki sistemlerde aprazlı perdeler dolayısıyla II. mertebe etkiler ihmal edilmiş ve bu nedenle  $\alpha_{p-\Delta} = 0$  alınmiştir.



Şekil 3.40 : Yapı-1  $\mu_{max}$  hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.

Tablo 3.51 : Yapı-1 uzun doğrultu  $\mu_{max}$  hesabında kullanılan parametreler.

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
0.055	0	0.2	0.0111	0.8078	11.18

Sonuç olarak  $\mu_{max} = 11.18 > \mu_{strength} = 2.05$  olduğundan hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesinde statik yöntem kullanılabilirliği görülmüştür.

**4) Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıdaki şekildeğiştirme talepleri ile performans seviyelerine ait sınır değerlerin karşılaştırılması ve performans seviyesine karar verilmesi ;** Kısa ve uzun doğrultuda, hedef yerdeğiştirme değerine kadar itilen yapılarda, elemanlardaki şekil değiştirmeler (dönmeler ve boy değişimi) belirlenmiş ve sınır değerler ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistemlerin performans seviyeleri elde edilmiştir. Her bir taşıyıcı sistemde oluşan şekil değiştirmeler örnek olarak bir aks için Tablo 3.52 ve 3.53'de verilmiştir. Sistem ve yükleme simetrik olduğu için kısa ve uzun doğrultudaki akslarda da aynı şekildeğiştirmelerin oluştuğu görülmüştür.

**Tablo 3.52 :**Yapı -1 kısa doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.

Eleman Adı	Kesit No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Dönme Sınırları			Plastik Dönme $\theta_p$ (rad)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\theta_{HK}$	$\theta_{CG}$	$\theta_{GÖ}$		
Kolon	1	0.00346	0.0311	0.038	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	12	0.00346	0.0311	0.038	0.005	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
Kiriş	Tümü	0.0117	0.1056	0.1290	Elastik	Hemen Kul. Perf. Seviyesi (S-1)

Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer akslarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 3.53 :**Yapı -1 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{GÖ}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul. Perf. Sev. (S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	0.005	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	2(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	0.005	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	5(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	Elastik	Hemen Kul. Perf. Sev. (S-1)
	6(Ç)	0.0041	0.0222	0.032	Elastik	Hemen Kul. Perf. Sev. (S-1)
	3(B)	0.0026	0.0346	0.043	0.018	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0026	0.0346	0.043	0.018	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	7(B)	0.0023	0.0316	0.040	Elastik	Hemen Kul. Perf. Sev. (S-1)
	8(B)	0.0023	0.0316	0.040	Elastik	Hemen Kul. Perf. Sev. (S-1)

• (B) Basınç elemanlarını (Ç) Çekme elemanlarını ifade etmektedir.  
• Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

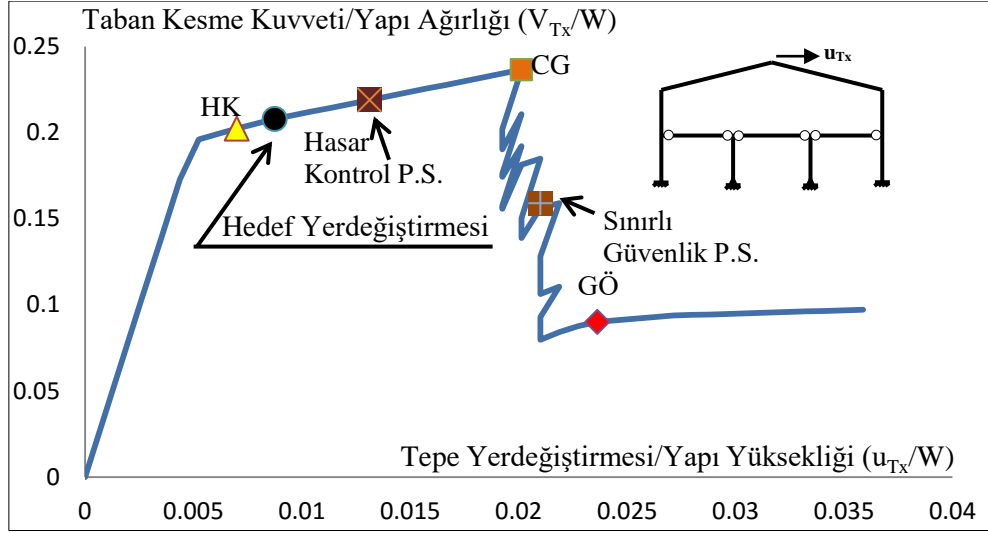
Sonuç olarak, Yapı -1' in kısa doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Seviyesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007' ye göre incelenen Yapının önem katsayısı  $I = 1.00$  olduğundan tasarım depremi için Can Güvenliği Performans seviyesini sağlaması yeterlidir. Buna göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşılmış yapıda tüm çerçeve kolonlarının alt uçları plastikleşmiş, diğer kesitler elastik kalmıştır.

Yapı -1' in uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007' ye göre incelenen Yapının önem katsayısı  $I = 1.00$  olduğundan tasarım depremi için Can Güvenliği Performans seviyesini sağlaması yeterlidir. Buna göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşılmış yapıda 4 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş, 4 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

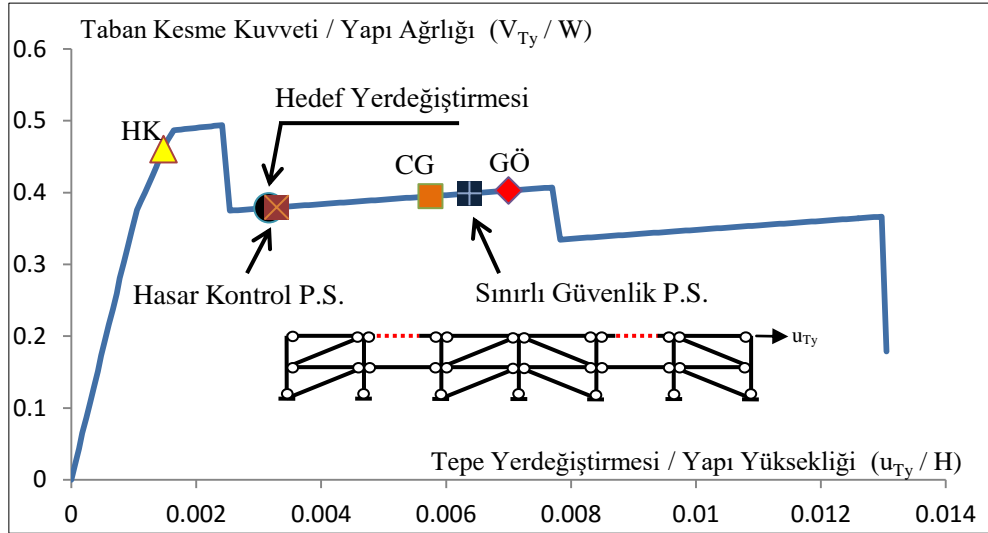
Taşıyıcı sistem performans seviyelerinin sınır performans seviyelerine göre durumunu değerlendirmek amacıyla her bir performans seviyesine (HK, CG, GÖ) karşılık gelen kapasite eğrisi koordinatları belirlenmiş ve normalleştirilmiş kapasite eğrisi üzerine işaretlenmiştir ve Şekil 3.41 ve Şekil 3.42 'de gösterilmiştir.

Bu aşamada daha ayrıntılı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla ASCE 41-13 'e göre ara performans seviyeleri olan Hasar Kontrol performans seviyesi ile Sınırlı Güvenlik performans seviyesi de belirlenmiştir. Bu performans seviyelerinin belirlenmesinde en yakın performans seviyelerine ait sınır şekildeğiştirme değerlerinin ortasındaki değerler esas alınmıştır [7].





Şekil 3.41 : Yapı -1 kısa doğrultu performans seviyeleri.



Şekil 3.42 : Yapı -1 uzun doğrultu performans seviyeleri ve yerdeğiştirme talebi.

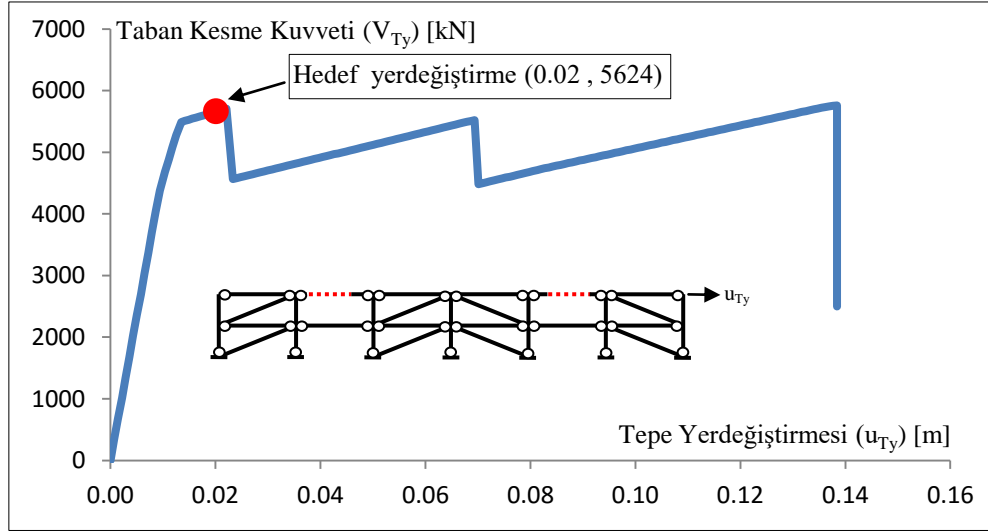
Ayrıntılı değerlendirme sonucunda;

- Yapı-1 'in kısa doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.
- Uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.

### 3.2.2 Yapı-2 - Yapı- 9'un Performans Değerlendirmeleri

Bu bölümde süneklik düzeyi ve çapraz tipi bakımından farklılıkları bulunan diğer yapıların (Yapı-2, Yapı-3, Yapı-4, Yapı-5, Yapı-6, Yapı-7, Yapı-8, Yapı-9) performans değerlendirmeleri özet olarak sunulmuştur. Kısa doğrultudaki çerçeve sistemde süneklik düzeyi dışında bir değişiklik bulunmamakta ve süneklik düzeyi değişimi de tasarım sonuçlarını değiştirmemektedir. Yapı sistemlerinde sadece uzun doğrultu taşıyıcı sistemi değişmektedir. Buna bağlı olarak yapıların uzun doğrultu taşıyıcı sistemlerine ait performans değerlendirmeleri sunulmuştur.

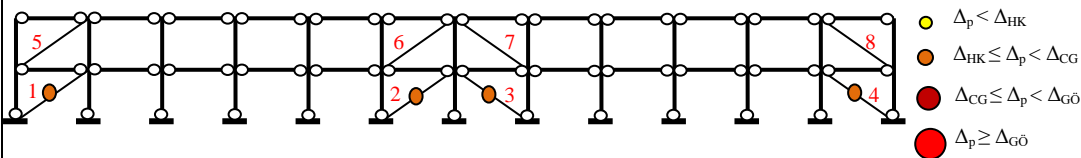
**Yapı -2 Uzun doğrultu Performans Değerlendirmesi ;** Yapı-2'nin uzun doğrultusu süneklik düzeyi normal, **diyagonal tipi** merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.43 'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme be bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.54 'de sunulmuştur. ASCE 41-13'ya göre elemanlardaki şekildeğiştirmeler sınır değerler ile karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve Tablo 3.55'de sunulmuştur.



Şekil 3.43 : Yapı -2 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.

**Tablo 3.54 :** Yapı - 2 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_v$ )	5487.58 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	5514.2 kN
Akma yerd. ( $u_v$ )	0.01258	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.0221
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	455601 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	436214 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2497 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2513 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.20	$C_1$ katsayısı	1.0760
$C_2$ katsayısı	1.0077	$C_m$ katsayısı	1.00
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$u_{strength}$ katsayısı	1.60	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913.75 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Tv}$ )	<b>0.0204 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Tv}$ )	<b>5695 kN</b>

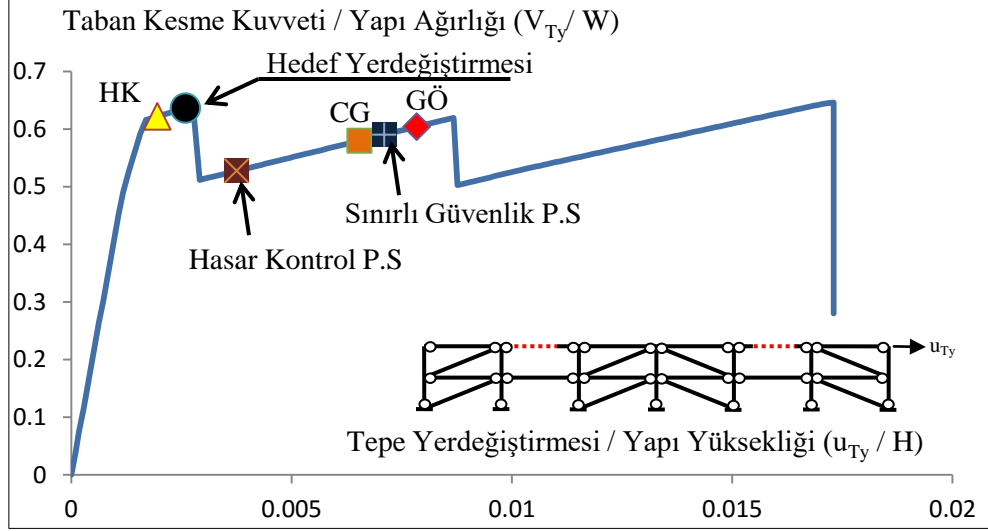
**Tablo 3.55 :**Yapı -2 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{Gö}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	0.005	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	2(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	0.005	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	3(B)	0.0029	0.0368	0.045	0.008	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0029	0.0368	0.045	0.008	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	5(Ç)	0.0041	0.0575	0.074	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	6(Ç)					
	7(B)	0.0029	0.0368	0.045	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	8(B)					

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
• Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Yapı -2'nin **diyagonal** tip çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 4 adet çapraz burkularak rijitlik azalması meydana getirmiş, 4 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir

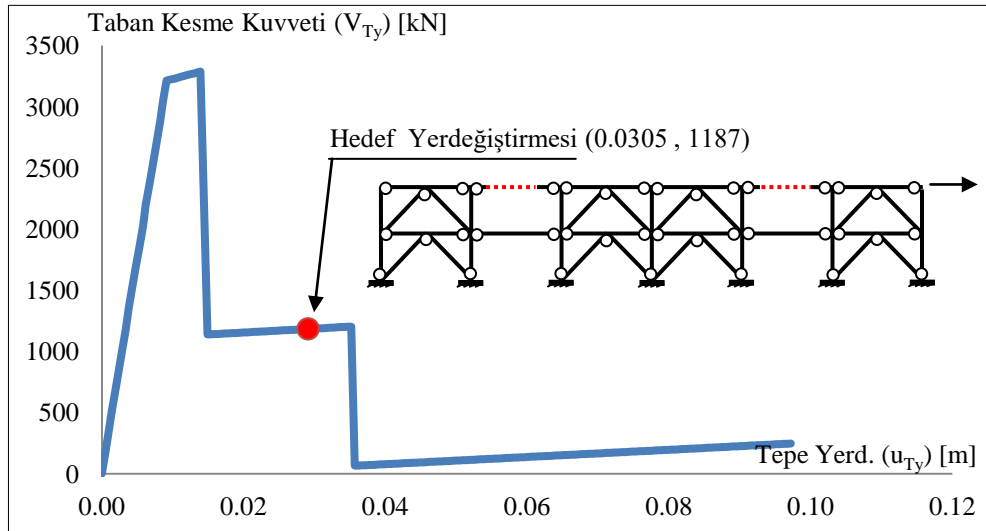
Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-2'nin uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 : Yapı -2 uzun doğrultu performans seviyeleri.

Aynı çapraz tipi için süneklik düzeyinin normal olması performans seviyesini değiştirmemiştir.

**Yapı -3 Uzun doğrultu Performans Değerlendirmesi** ; Yapı-3'ün uzun doğrultusu süneklik düzeyi yüksek, **Ters V tipi** merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.45'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.56'da sunulmuştur.

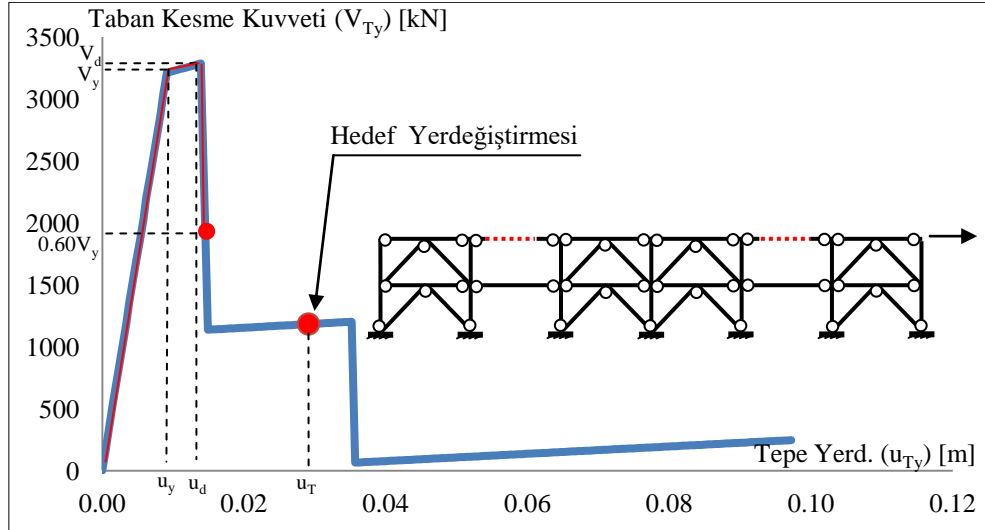


Şekil 3.45 : Yapı -3 uzun doğrultu kapasite eğrisi.

**Tablo 3.56 :** Hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_y$ )	3240 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	3286 kN
Akma yerd. ( $u_y$ )	0.0093	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.0139
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	352316 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	348387 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.29108 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.29272 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.1572
$C_2$ katsayısı	1.044	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strengh}$ katsayısı	2.75	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Ty}$ )	<b>0.0305 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Ty}$ )	<b>1187 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle statik prosedürlerin, hedef yerdeğiştirmeyi belirlemede yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir [7]. Bunun için Bölüm 2.1'de açıklandığı gibi Kapasite eğrisinde etkin negatif rijitlik değerinin ve buna bağlı  $\mu_{max}$  belirlenmelidir. Bunun için gerekli parametreler Tablo 3.57'de verilmiştir.



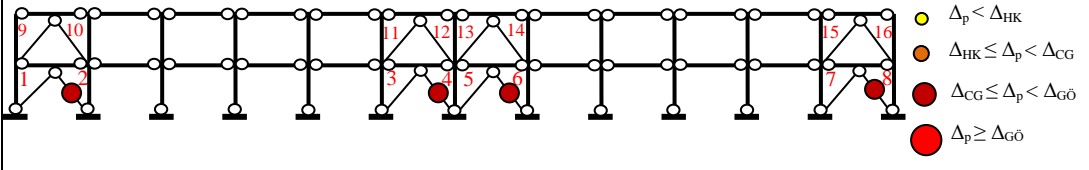
**Şekil 3.46 :**  $\mu_{max}$  hesabı için etkin negatif rijitliğin belirlenmesi (Yapı-3).

**Tablo 3.57 :** Yapı-3 Uzun Doğrultu  $\mu_{max}$  Hesabında Kullanılan Parametreler

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
6.21	0	0.2	1.24	0.815	1.70

$\mu_{strengh} = 2.75 > \mu_{max} = 1.70$  olduğundan ASCE 41-13'e göre yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde dinamik analiz prosedürünün kullanılması gerekmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında diğer yapılar ile karşılaştırmak üzere statik analiz sonuçları esas alınmıştır.

**Tablo 3.58 :**Yapı -3 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.

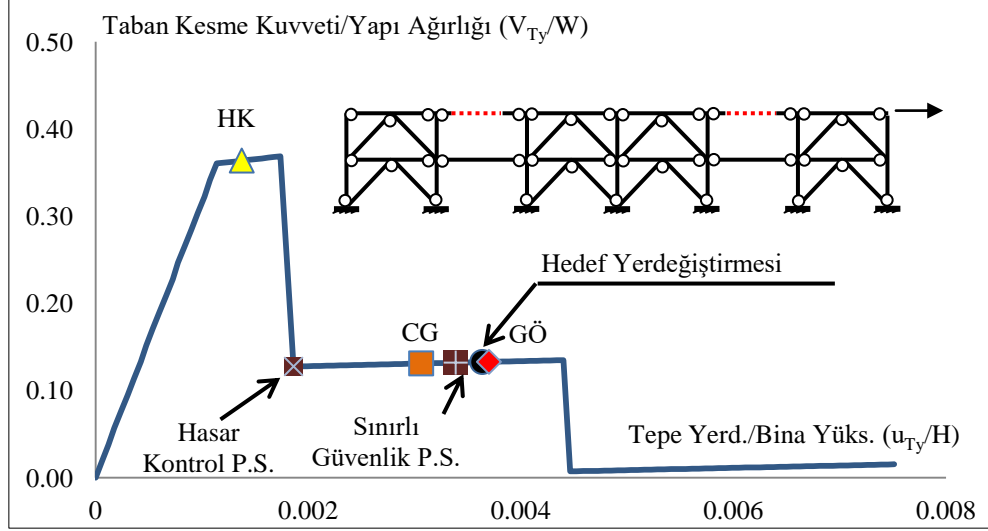


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{Gö}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	3(Ç)					
	5(Ç)					
	7(Ç)					
	2(B)	0.0020	0.0254	0.031	0.030	Azaltılmış Güvenlik.Y.P.B
	4(B)					
	6(B)					
	8(B)					
	9(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(Ç)					
	13(Ç)					
	15(Ç)					
	10(B)	0.0017	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	12(B)					
	14(B)					
	16(B)					

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

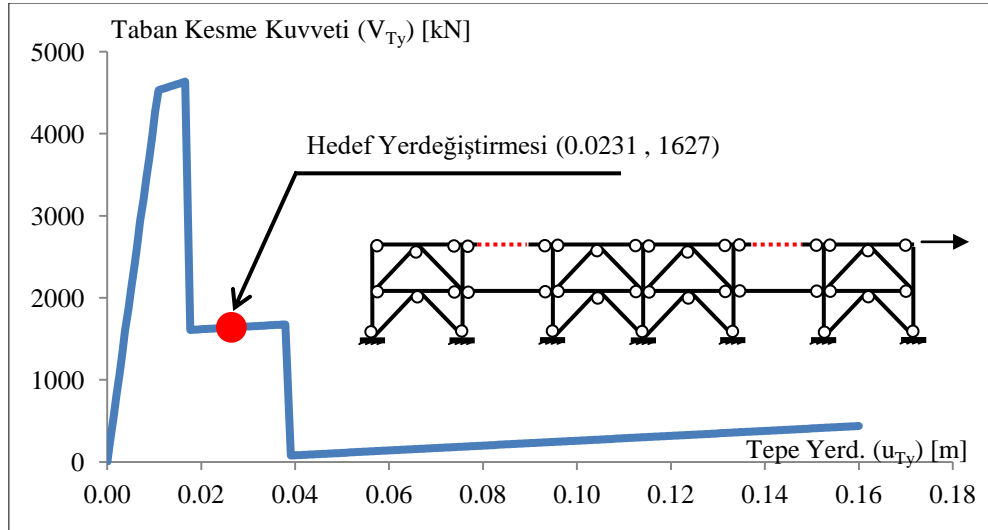
Sonuç olarak, Yapı -3' ün **Ters V** tip çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Azaltılmış Güvenlik Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyeninin altında olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş , düğüm noktası dengesinden dolayı basınç elemanları burkulduktan çekme elemanları düşük yüklerde kalarak plastikleşmemiştir. Bu nedenle sistemde önemli ölçüde dayanım azalması meydana gelmiştir.

Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-3'ün uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Seviyesi** ile **Göçme Önleme Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.47 : Yapı -3 uzun doğrultu performans seviyeleri.

**Yapı -4 Uzun doğrultu Performans Değerlendirmesi** ; Yapı-4'ü uzun doğrultusu süneklik düzeyi normal, **Ters V tipi** merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.48'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.59 'da sunulmuştur.

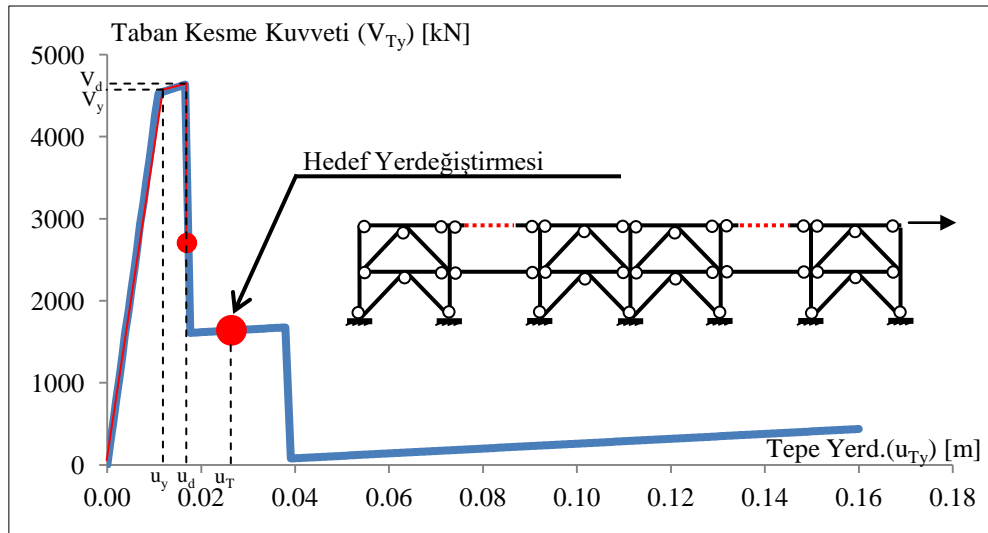


Şekil 3.48 : Yapı -4 uzun doğrultu kapasite eğrisi.

**Tablo 3.59 :** Hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_y$ )	4617 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	4632 kN
Akma yerd. ( $u_y$ )	0.0112 m	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.0166 m
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	416230 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	412232 kN/m
Başlangıç periyotu ( $T_i$ )	0.2615 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2627 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.1037
$C_2$ katsayısı	1.015	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strenght}$ katsayısı	1.890	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
<b>Hedef Yerdeğiştirme (<math>u_{Ty}</math>)</b>	<b>0.0231 m</b>	<b>Taban Kesme Kuvveti (<math>V_{Ty}</math>)</b>	<b>1627 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle statik prosedürlerin hedef yerdeğiştirmeyi belirlemede yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir [7]. Bunun için Bölüm 2.1'de açıklandığı gibi Kapasite eğrisinde etkin negatif rijitlik değerinin ve buna bağlı  $\mu_{max}$  belirlenmelidir. Bunun için gerekli parametreler Tablo 3.60 'da verilmiştir.



**şekil 3.49 :**  $\mu_{max}$  Hesabı İçin Kapasite Eğrisinde Etkin Negatif Rijitliğin Belirlenmesi

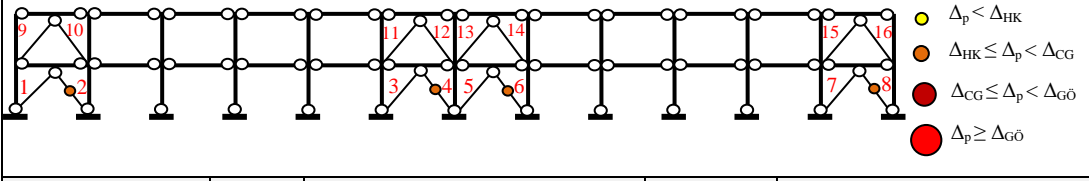
**Tablo 3.60 :** Yapı-4 Uzun Doğrultu  $\mu_{max}$  Hesabında Kullanılan Parametreler

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
6.74	0	0.2	1.34	0.799	1.67

$\mu_{strenght} = 1.93 > \mu_{max} = 1.67$  olduğundan ASCE 41-13'e göre yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde dinamik analiz prosedürünün kullanılması gerekmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında diğer yapılar ile karşılaştırmak üzere statik analiz sonuçları esas alınmıştır.



**Tablo 3.61 :**Yapı -4 uzun doğrultu için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.

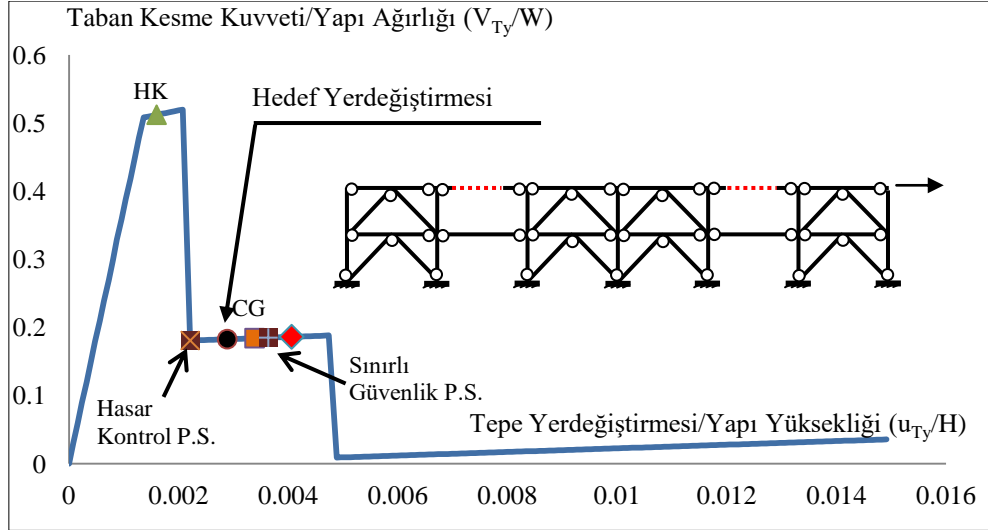


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{Gö}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	3(Ç)					
	5(Ç)					
	7(Ç)					
	2(B)	0.0022	0.0277	0.034	0.0228	Arttırılmış Güv. Y.P.B.
	4(B)					
	6(B)					
	8(B)					
	9(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(Ç)					
	13(Ç)					
	15(Ç)					
10(B)	0.0017	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)	
12(B)						
14(B)						
16(B)						

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Yapı -4' ün Ters V tip çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş , düğüm noktası dengesinden dolayı basınç elemanları burkulduktan çekme elemanları yük almamış ve elastik kalmıştır.

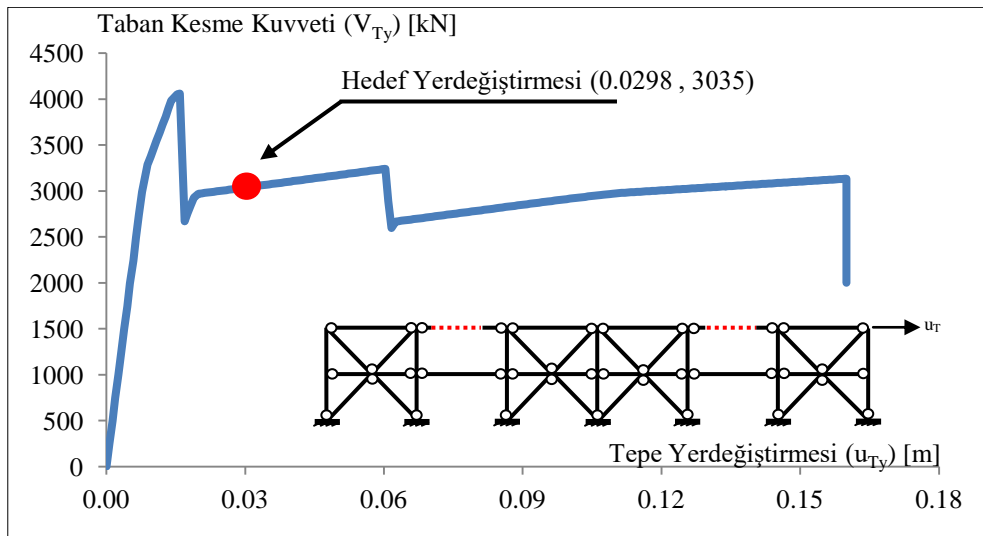
Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-4 'ün uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** ile **Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.50: Yapı -4 uzun doğrultu performans seviyeleri.

Aynı çapraz tipi için süneklik düzeyinin normal olması performans seviyesini değiştirmiş ancak hasarlı eleman sayısı azalmamıştır.

**Yapı -5 Uzun Doğrultu Performans Değerlendirmesi** ; Yapı-5 'in uzun doğrultusu süneklik düzeyi yüksek, **2 Katta X** tipi merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.51'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.62 'de sunulmuştur.

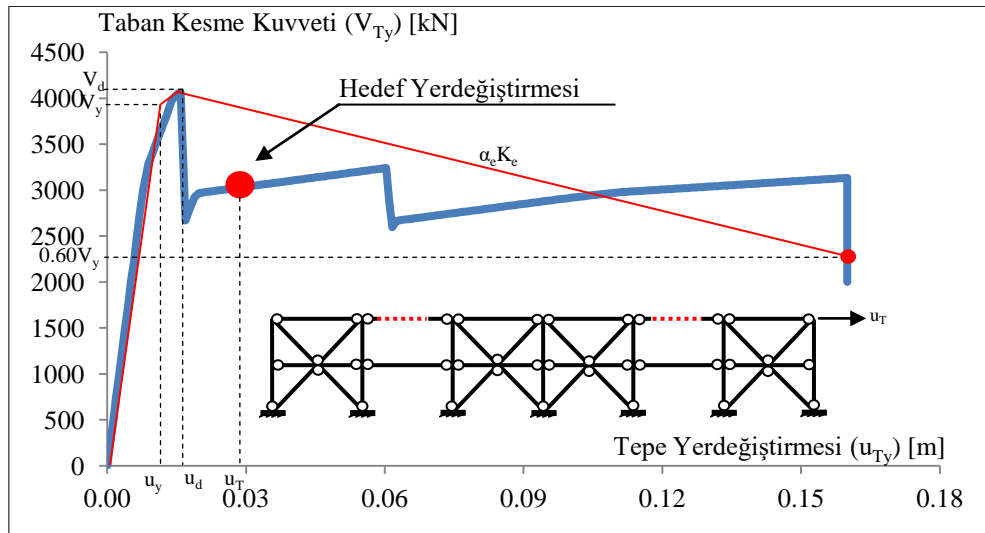


Şekil 3.51 : Yapı -5 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.

**Tablo 3.62 :** Yapı - 5 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_y$ )	3937 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	4059 kN
Akma yerd. ( $u_y$ )	0.0108	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.0159
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	389264 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	362189 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2858 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2962 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.105
$C_2$ katsayısı	1.020	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strength}$ katsayısı	2.26	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Ty}$ )	<b>0.0298 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Ty}$ )	<b>3035 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle  $\mu_{max}$  kontrol edilmiş ve  $\mu_{max} = 16.80 > \mu_{strength} = 2.26$  olduğundan statik yöntemin kullanılabilmesi görülmüştür. ASCE 41-13'e göre elemanlardaki şekildeğiştirmeler sınır değerler ile karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve Tablo 3.63'de sunulmuştur.

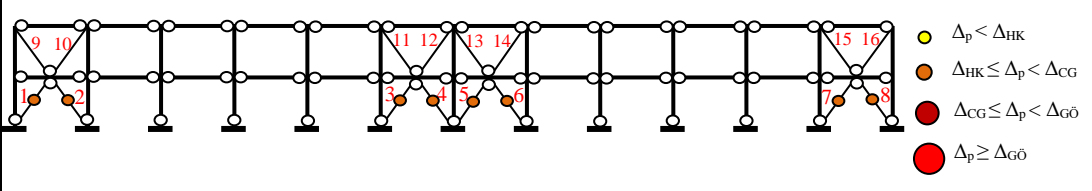


**Şekil 3.52 :** Yapı -5  $\mu_{max}$  hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.

**Tablo 3.63 :** Yapı- 5 uzun doğrultu  $\mu_{max}$  hesabında kullanılan parametreler.

$\alpha_2$	$\alpha_{p-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
0.032	0	0.2	0.0065	0.817	16.80

**Tablo 3.64 :**Yapı - 5 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.

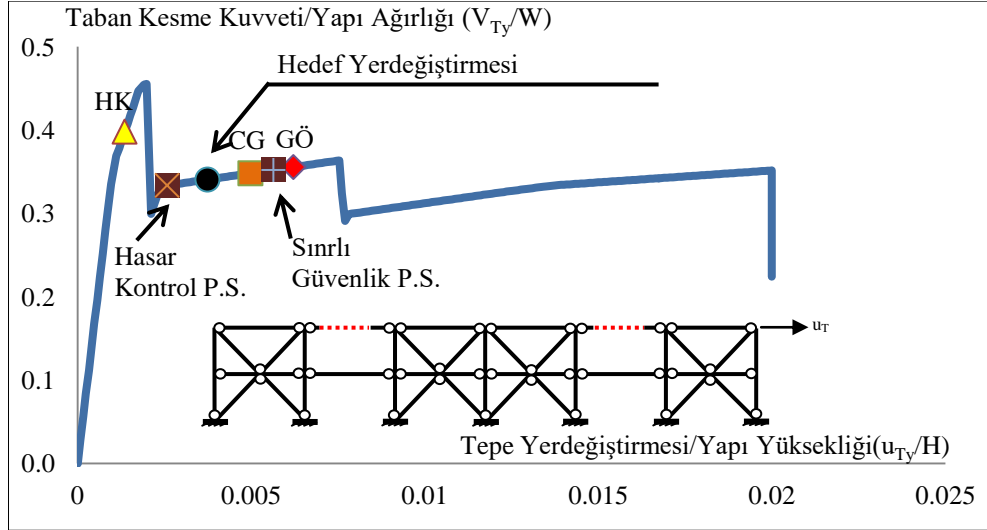


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi Δp (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		ΔHK	ΔCG	ΔGö		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	0.007	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	3(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	0.007	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	5(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	0.007	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	7(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	0.007	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	2(B)	0.0020	0.0254	0.031	0.019	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0020	0.0254	0.031	0.019	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	6(B)	0.0020	0.0254	0.031	0.019	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	8(B)	0.0020	0.0254	0.031	0.019	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	10(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	12(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	14(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	16(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	9(B)	0.0017	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(B)	0.0017	0.0225	0.028		
	13(B)	0.0017	0.0225	0.028		
15(B)	0.0017	0.0225	0.028			

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

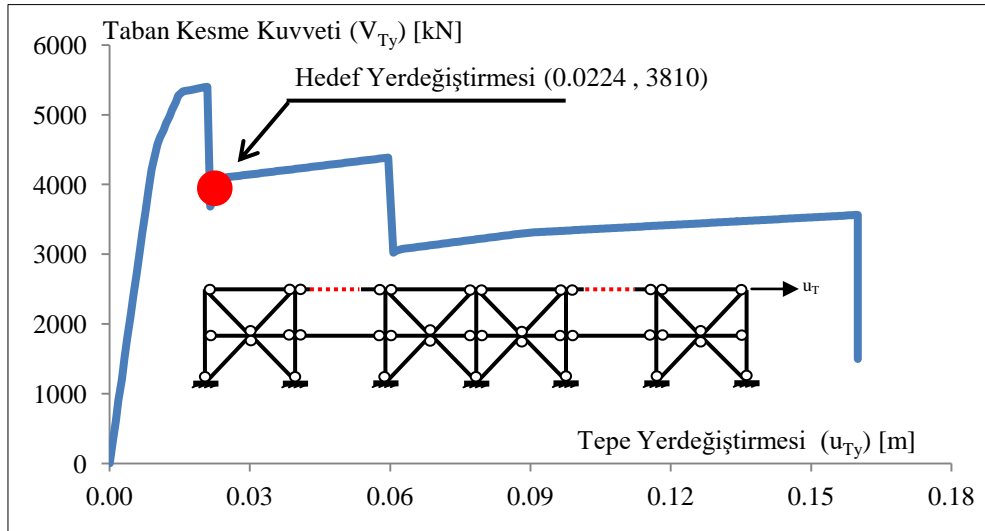
Sonuç olarak, Yapı -5'in **2 Katta X** tip çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş, 8 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-5'in uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** ile **Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.53 : Yapı -5 uzun doğruItu performans seviyeleri.

**Yapı -6 Uzun DoğruItu Performans Değerlendirmesi** ; Yapı-6'nın uzun doğruItusu **süneklik düzeyi yüksek**, **2 Katta X** tipi merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğruItusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.54'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.65'de sunulmuştur.

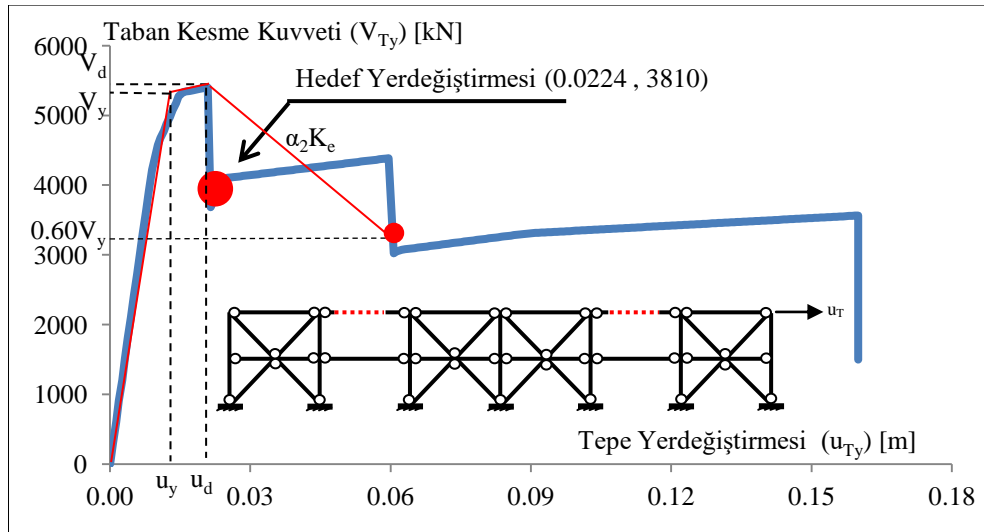


Şekil 3.54 : Yapı -6 uzun doğruItu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.

**Tablo 3.65 :** Yapı - 6 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_v$ )	5343 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	5400 kN
Akma yerd. ( $u_v$ )	0.012	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.0209
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	470878 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	449751 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2555 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2633 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.074
$C_2$ katsayısı	1.008	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strength}$ katsayısı	1.66	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Tv}$ )	<b>0.0224 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Tv}$ )	<b>3810 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle  $\mu_{max}$  kontrol edilmiş ve  $\mu_{max}=6.93 > \mu_{strength} =1.66$  olduğundan statik yöntemin kullanılacağı görülmüştür. ASCE 41-13'e göre elemanlardaki şekildeğiştirmeler sınır değerler ile karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve Tablo 3.66'da sunulmuştur.

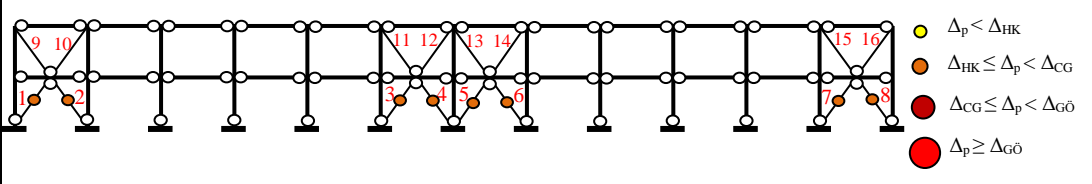


**Şekil 3.55 :** Yapı -6  $\mu_{max}$  hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.

**Tablo 3.66 :** Yapı- 6 uzun doğrultu  $\mu_{max}$  hesabında kullanılan parametreler.

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
0.11	0	0.2	0.023	0.799	6.93

**Tablo 3.67 :**Yapı - 6 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.

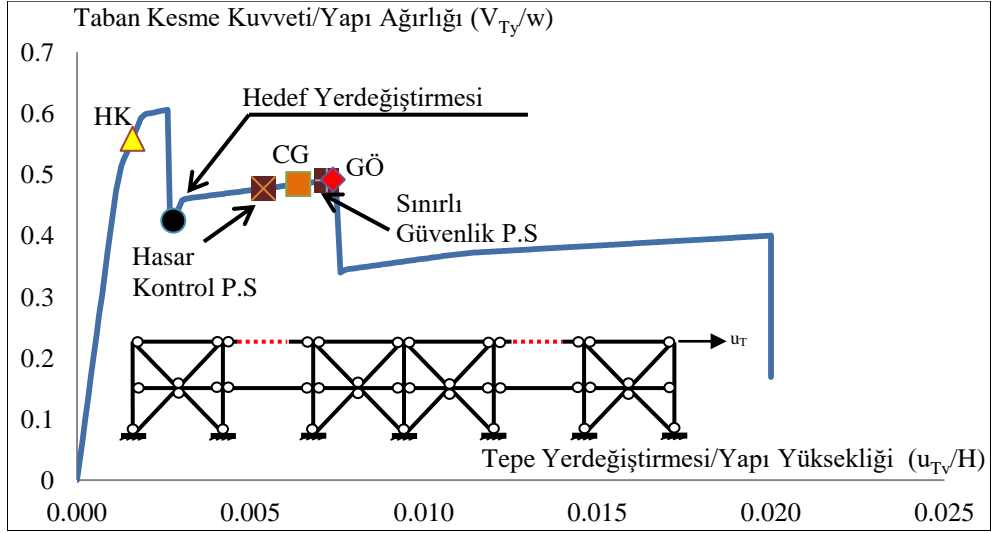


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi Δp (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		ΔHK	ΔCG	ΔGö		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.004	0.0575	0.0740	0.003	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	3(Ç)	0.004	0.0575	0.0740	0.003	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	5(Ç)	0.004	0.0575	0.0740	0.003	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	7(Ç)	0.004	0.0575	0.0740	0.003	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	2(B)	0.0023	0.0316	0.040	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0023	0.0316	0.040	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	6(B)	0.0023	0.0316	0.040	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	8(B)	0.0023	0.0316	0.040	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	10(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	12(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	14(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	16(Ç)	0.0028	0.0399	0.0513		
	9(B)	0.0017	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(B)	0.0017	0.0225	0.028		
	13(B)	0.0017	0.0225	0.028		
15(B)	0.0017	0.0225	0.028			

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Yapı -6'nın **2 Kat X** tip çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş, 8 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

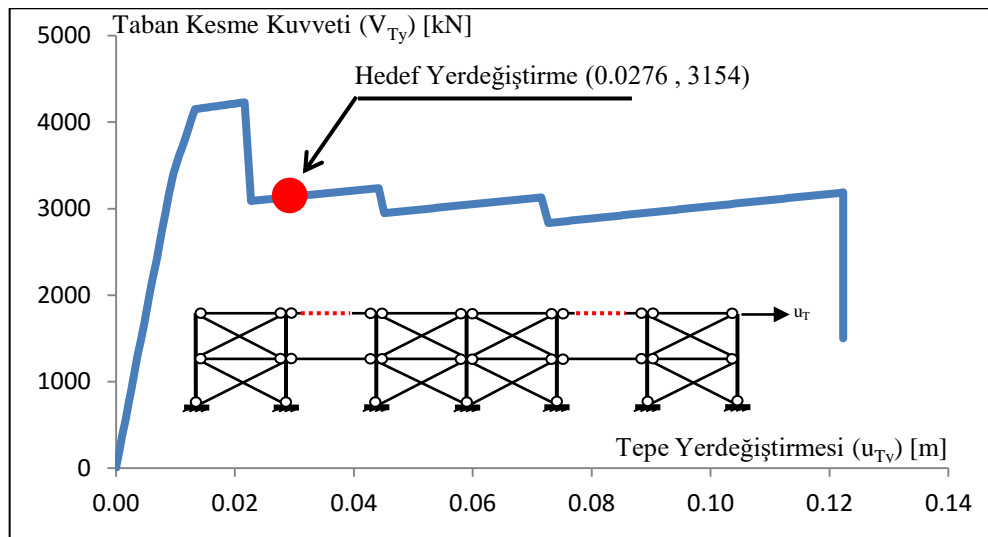
Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-6'nın uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.56 : Yapı -6 uzun doğrultu performans seviyeleri.

Aynı çapraz tipi için süneklik düzeyinin normal olması performans seviyesini değiştirmemiş ve hasarlı eleman sayısı azalmamıştır.

**Yapı -7 Uzun Doğrultu Performans Değerlendirmesi ;** Yapı-7' nin uzun doğrultusu süneklik düzeyi yüksek, X tipi merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.57 'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.68'de sunulmuştur.



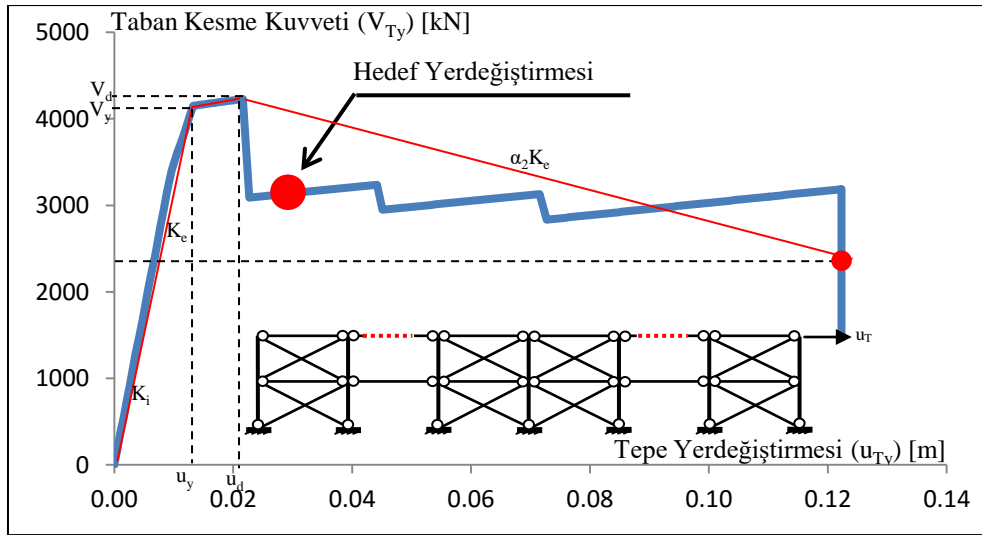
Şekil 3.57 : Yapı -7 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.



**Tablo 3.68:** Yapı -7 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_y$ )	4154 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	4229 kN
Akma yerd. ( $u_y$ )	0.0112	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.022
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	355334 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	346166 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2826 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2863 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.1075
$C_2$ katsayısı	1.020	$C_m$ katsayısı	1.00
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strength}$ katsayısı	2.14	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Ty}$ )	<b>0.0276 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Ty}$ )	<b>3124 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle  $\mu_{max}$  kontrol edilmiş ve  $\mu_{max} = 12.36 > \mu_{strength} = 2.14$  olduğundan statik yöntemin kullanılabilceği görülmüştür. ASCE 41-13 'ya göre elemanlardaki şekildeğiştirmeler sınır değerler ile karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve Tablo 3.69 'da sunulmuştur.

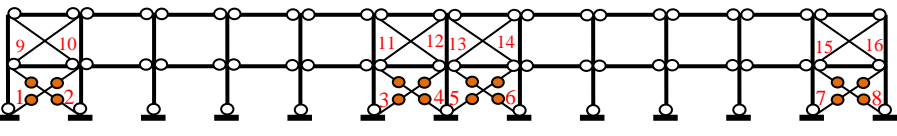


**Şekil 3.58 :** Yapı -7  $\mu_{max}$  hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.

**Tablo 3.69 :** Yapı-7 uzun doğrultu  $\mu_{max}$  hesabında kullanılan parametreler.

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
0.050	0	0.2	0.010	0.81	12.36

**Tablo 3.70 :**Yapı - 7 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.

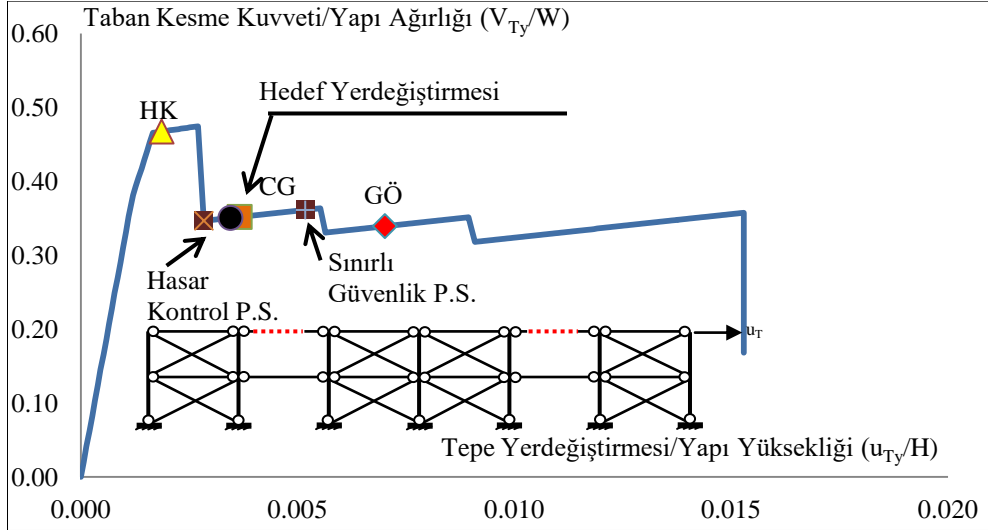


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{Gö}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0021	0.0288	0.0370	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	3(Ç)	0.0021	0.0288	0.0370	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	5(Ç)	0.0021	0.0288	0.0370	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	7(Ç)	0.0021	0.0288	0.0370	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	2(B)	0.0015	0.0157	0.025	0.009	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0015	0.0157	0.025	0.014	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	6(B)	0.0015	0.0157	0.025	0.009	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	8(B)	0.0015	0.0157	0.025	0.014	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	10(B)	0.0012	0.0154	0.019	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	12(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	14(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	16(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	9(Ç)	0.0021	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370		
	13(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370		
15(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370			

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

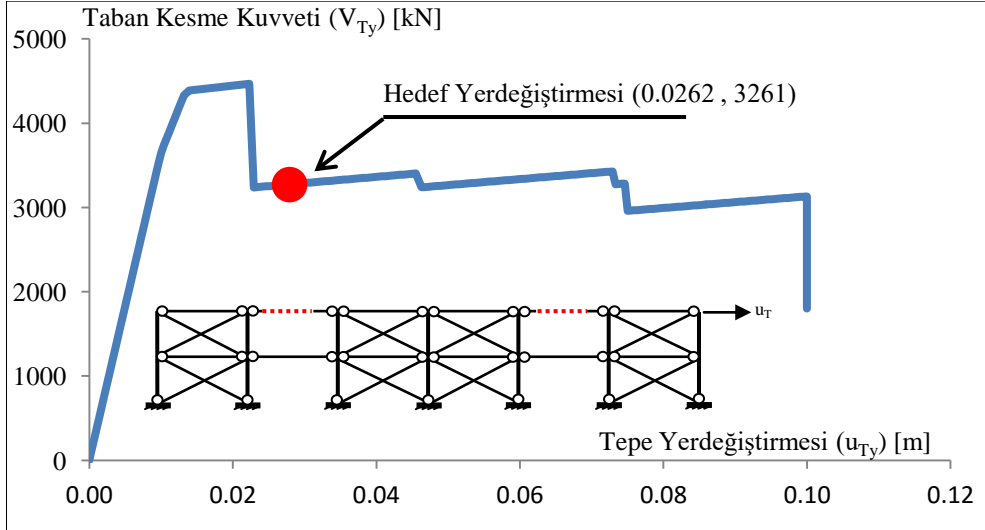
Sonuç olarak, Yapı -7'nin **X Tipi** çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş, 8 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-7 'nin uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** ile **Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.59: Yapı -7 uzun doğrultu performans seviyeleri.

**Yapı -8 Uzun Doğrultu Performans Değerlendirmesi ;** Yapı-8'in uzun doğrultusu **süneklik düzeyi normal, X tipi** merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.60'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.71 'de sunulmuştur.

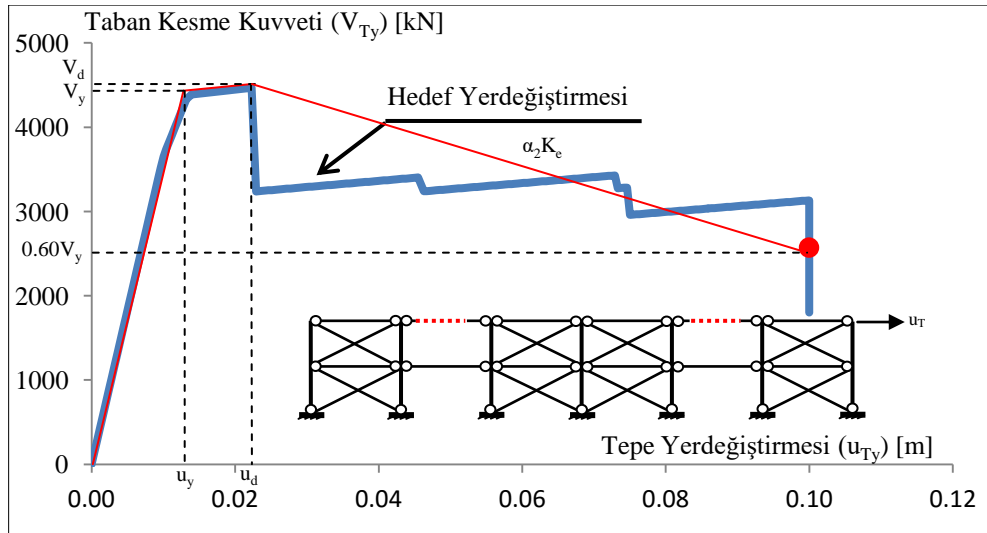


Şekil 3.60 : Yapı -8 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.

**Tablo 3.71:** Yapı - 8 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_y$ )	4399 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	4469 kN
Akma yerd. ( $u_y$ )	0.0123	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.022
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	366697 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	357642 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2767 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.2802 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.1001
$C_2$ katsayısı	1.0168	$C_m$ katsayısı	1.00
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$\mu_{strength}$ katsayısı	2.02	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Ty}$ )	<b>0.0262 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Ty}$ )	<b>3261 kN</b>

Hedef yerdeğiştirme değerinin, kapasite eğrisinde dayanım azalmalarının olduğu bölgede olması nedeniyle  $\mu_{max}$  kontrol edilmiş ve  $\mu_{max} = 10.12 > \mu_{strength} = 2.02$  olduğundan statik yöntemin kullanılabilceği görülmüştür. ASCE 41-13 'ya göre elemanlardaki şekildeğiştirmeler sınır değerler ile karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve Tablo 3.72 'de sunulmuştur.



**Şekil 3.61 :** Yapı -8  $\mu_{max}$  hesabı için kapasite eğrisinde etkin negatif rijitliğin belirlenmesi.

**Tablo 3.72 :** Yapı- 8 uzun doğrultu  $\mu_{max}$  hesabında kullanılan parametreler.

$\alpha_2$	$\alpha_{P-\Delta}$	$\lambda_k$	$\alpha_e$	$h_k$	$\mu_{max}$
0.050	0	0.2	0.010	0.81	12.36

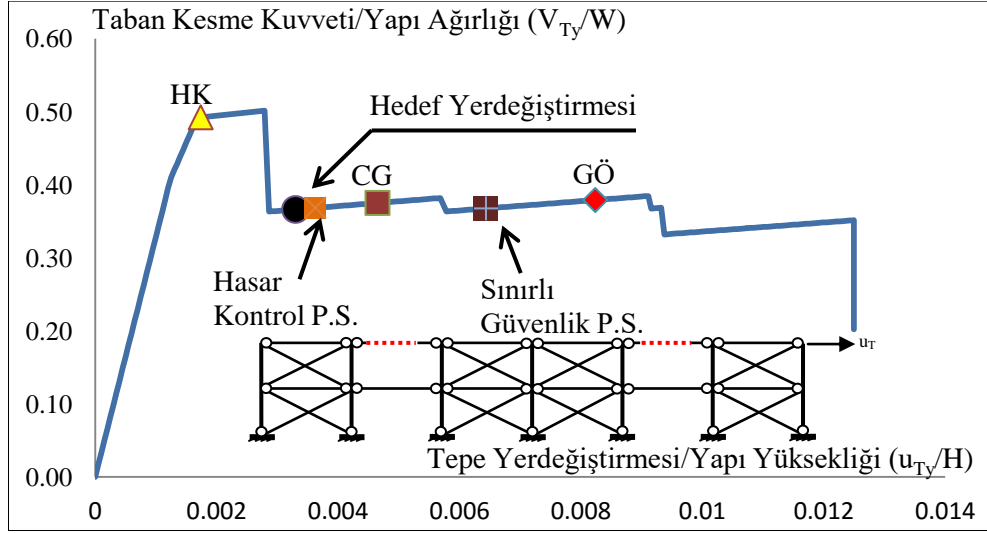
**Tablo 3.73 :**Yapı - 8 uzun doğrultu için elemanların performans sev./bölgeleri.

Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{Gö}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0021	0.0411	0.0534	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	3(Ç)	0.0021	0.0411	0.0534	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	5(Ç)	0.0021	0.0411	0.0534	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	7(Ç)	0.0021	0.0411	0.0534	0.006	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	2(B)	0.0015	0.0248	0.032	0.008	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	4(B)	0.0015	0.0248	0.032	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	6(B)	0.0015	0.0248	0.032	0.008	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	8(B)	0.0015	0.0248	0.032	0.013	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	10(B)	0.0012	0.0154	0.019	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	12(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	14(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	16(B)	0.0012	0.0154	0.019		
	9(Ç)	0.0021	0.0225	0.028	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370		
	13(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370		
15(Ç)	0.0017	0.0288	0.0370			

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
 • Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

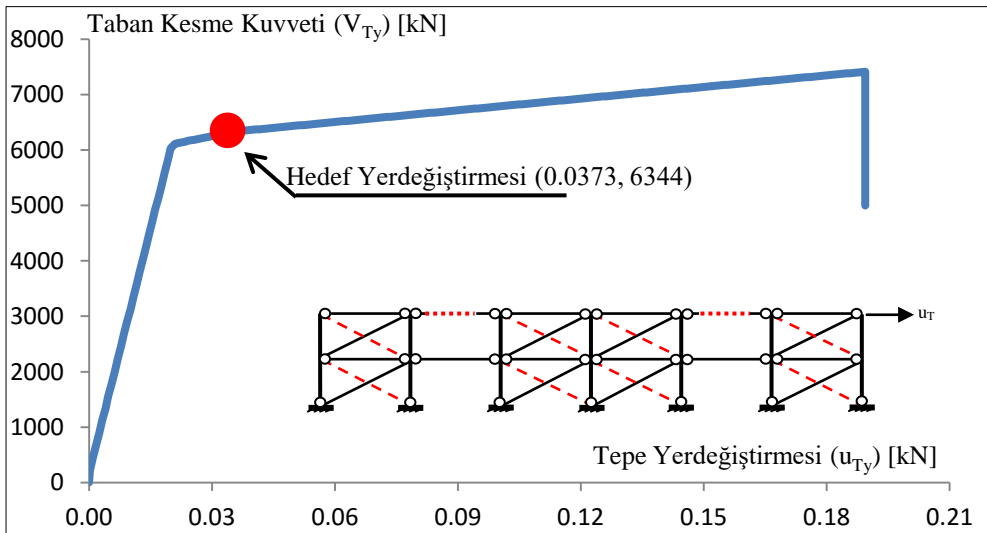
Sonuç olarak, Yapı -8'in **X Tipi** çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda 8 adet çapraz burkularak dayanım azalması meydana getirmiş, 8 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-8'in uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.62: Yapı -8 uzun doğrultu performans seviyeleri.

**Yapı -9 Uzun Doğrultu Performans Değerlendirmesi** ; Yapı-9'un uzun doğrultusu süneklik düzeyi normal, **Sadece Çekmeye Çalışan** merkezi çaprazlı perde sistemden oluşmaktadır. Yapının doğrusal olmayan analizi sonunda taşıyıcı sisteme ait kapasite eğrisi Şekil 3.63 'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu kapasite eğrisinden yararlanılarak hedef yerdeğiştirme ve bunun hesabı için gerekli parametreler belirlenmiş ve Tablo 3.74 'te sunulmuştur.

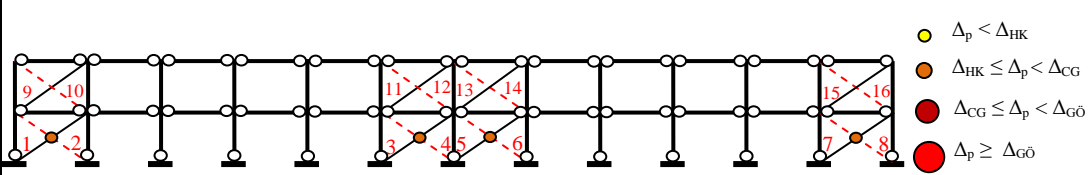


Şekil 3.63 : Yapı -9 uzun doğrultu kapasite eğrisi ve hedef yerdeğiştirme.

**Tablo 3.74 :** Yapı - 9 hedef yerdeğiştirme ve bunun için gerekli parametreler.

Akma dayanımı ( $V_v$ )	7220 kN	Maksimum Dayanım ( $V_d$ )	6917 kN
Akma yerd. ( $u_v$ )	0.036	Maksimum day. gelen yerd. ( $u_d$ )	0.16
Başlangıç rijitliği ( $K_i$ )	319718 kN/m	Efektif rijitlik ( $K_e$ )	194243 kN/m
Başlangıç periyodu ( $T_i$ )	0.2785 sn	Efektif periyot ( $T_e$ )	0.3503 sn
$C_0$ katsayısı (2 katlı yapı)	1.200	$C_1$ katsayısı	1.018
$C_2$ katsayısı	1.000	$C_m$ katsayısı	1.000
Spektral ivme ( $S_a$ )	1.0g	Spek. ivme 1sn periyot için ( $S_{(T=1)}$ )	0.480g
$u_{strength}$ katsayısı	1.28	Yapı ağırlığı ( $W$ )	8913 kN
Hedef Yerdeğiştirme ( $u_{Tv}$ )	<b>0.00373 m</b>	Taban Kesme Kuvveti ( $V_{Tv}$ )	<b>6344 kN</b>

**Tablo 3.75 :**Yapı - 9 uzun doğrultu tasarım depremi için elemanların performans seviyeleri/bölgeleri.

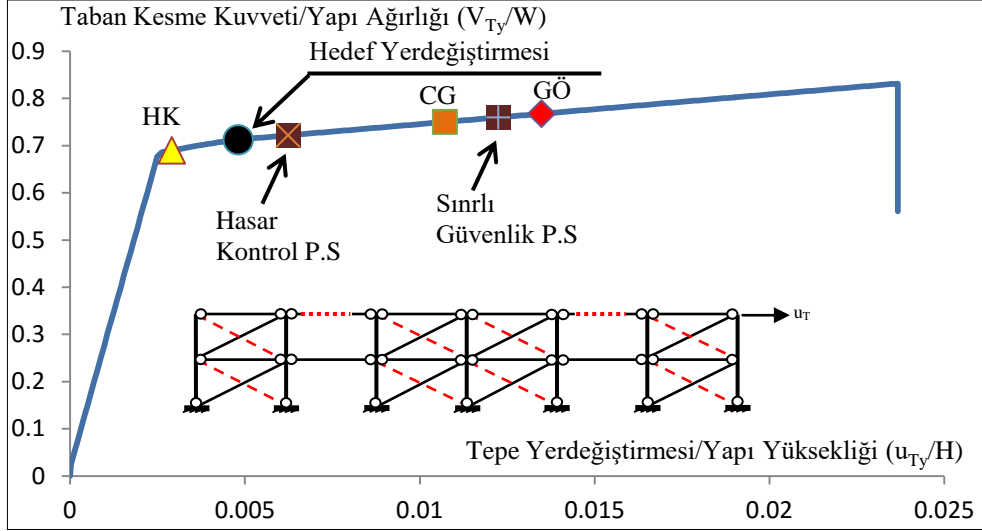


Eleman Adı	No	Performans Seviyelerine Ait Plastik Boy Değişimi Sınırları			Plastik Boy Değişimi $\Delta_p$ (m)	Performans Seviyesi/Bölgesi
		$\Delta_{HK}$	$\Delta_{CG}$	$\Delta_{GÖ}$		
Kolon (Çekme)	Tümü	0.0023	0.0274	0.032	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
Kolon (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Kiriş (Çekme)	Tümü	0.0034	0.0410	0.048		
Kiriş (Basınç)	Tümü	<b>Kuvvet Kontrollü Davranış</b>				
Merkezi Çapraz	1(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411	0.012	Arttırılmış Güvenlik Y.P.B
	3(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		
	5(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		
	7(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		
	9(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411	Elastik	Hemen Kul.Perf.Sev.(S-1)
	11(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		
	13(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		
	15(Ç)	0.0021	0.0329	0.0411		

• (B) Basınç Elemanlarını (Ç) Çekme Elemanlarını ifade etmektedir.  
• Sonuçlar bir aks için gösterilmiştir, diğer aksda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Yapı -9' un **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı perdelerden oluşan uzun doğrultudaki taşıyıcı sisteminin Tasarım Depremi için performansı **Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi** olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007' ye göre taşıyıcı sistem performansının öngörülen seviyede olduğu görülmüştür. Hedef yerdeğiştirmeye ulaşmış yapıda, 8 adet çapraz çekme etkisi altında plastikleşmiştir.

Ayrıntılı değerlendirme sonucunda Yapı-9 'un uzun doğrultu taşıyıcı sisteminin **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi** ile **Hasar Kontrol Yapısal Performans Seviyesi** arasında olduğu görülmüştür.



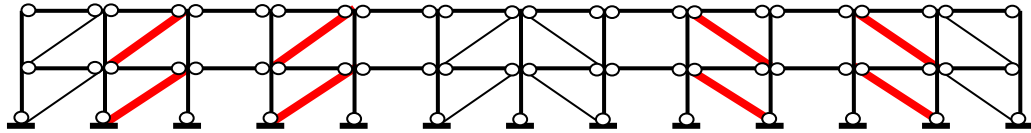
Şekil 3.64 : Yapı -9 uzun doğrultu performans seviyeleri.



### 3.3 Yapıların Uzun Doğrultu Deprem Performanslarının Hemen Kullanım Seviyesine Yükseltilmesi

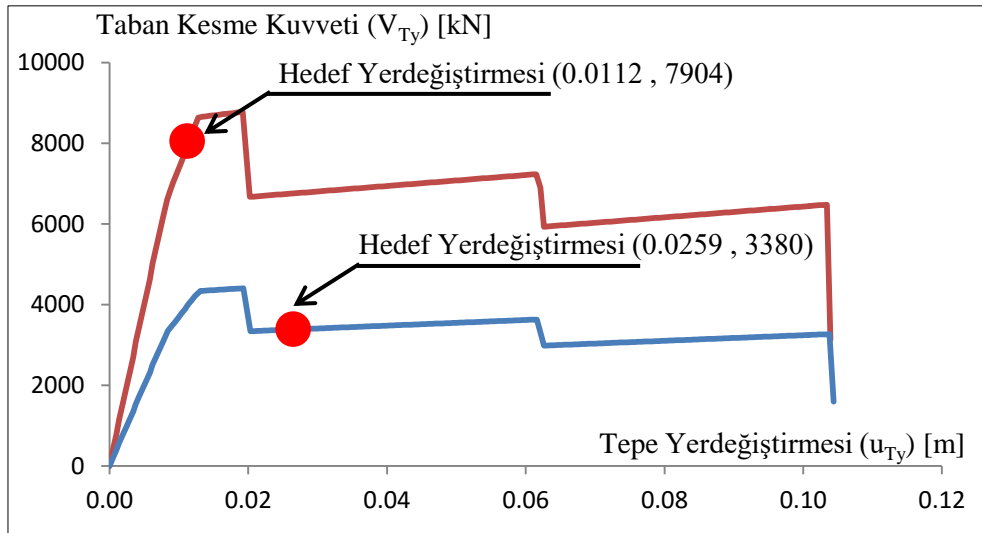
Bu bölümde, yapıların uzun doğrultudaki mevcut performans seviyelerini Hemen Kullanım seviyesine yükseltmek için gerekli olan takviye miktarları araştırılmıştır. Tüm yapılarda takviyeler çapraz elemanı sayısını artırarak yapılmıştır. Çapraz enkesit boyutları ve diğer elemanların boyutları değiştirilmemiştir.

**Yapı-1 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-1 'in uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2 'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.65'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.65 : Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı-1).

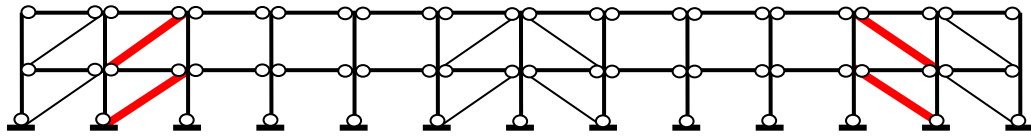
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.66'da gösterilmiştir.



Şekil 3.66: Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-1).

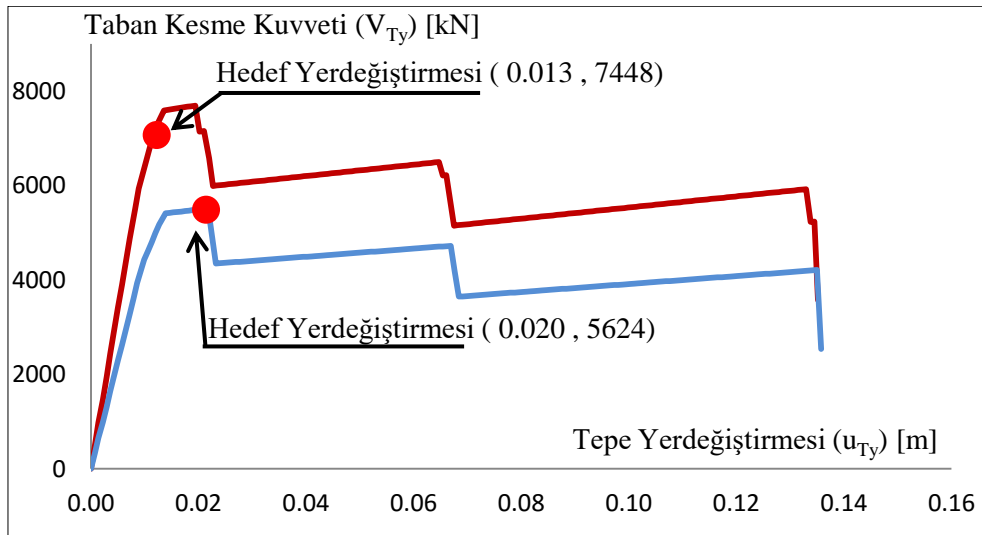
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 13.40 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 2.44 olmuştur.

**Yapı-2 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-2'nin uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.67'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.67 :** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -2).

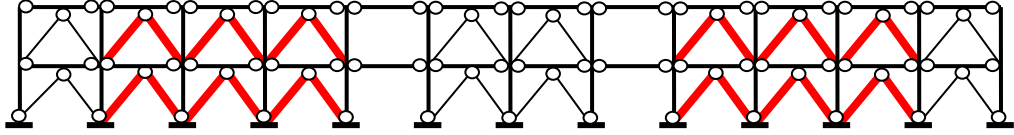
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.68'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.68 :** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-2).

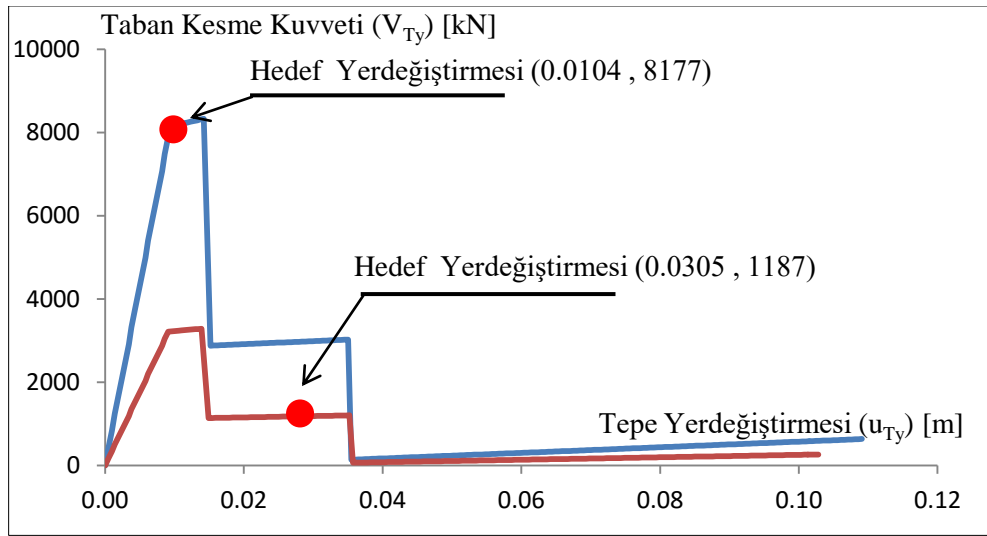
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 14.95 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 2.71 olmuştur.

**Yapı-3 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-3'ün uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Azaltılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.69'da gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.69:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -3).

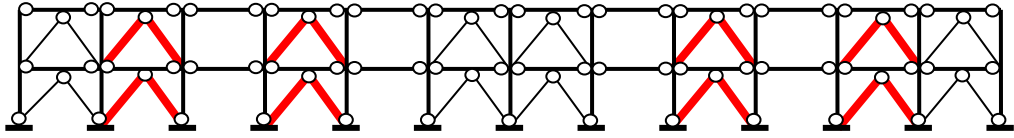
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.70'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.70:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-3).

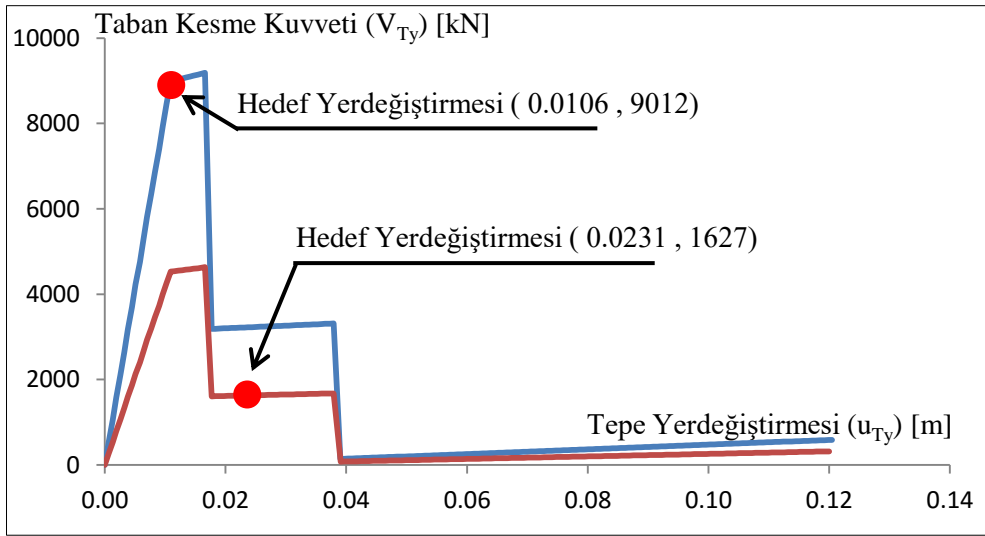
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 34.82 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 6.39 olmuştur.

**Yapı-4 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-4'ün uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.71'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.71:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -4)

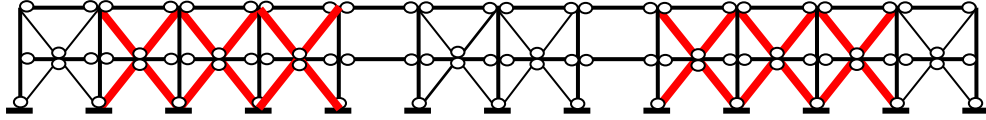
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.72'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.72:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-4).

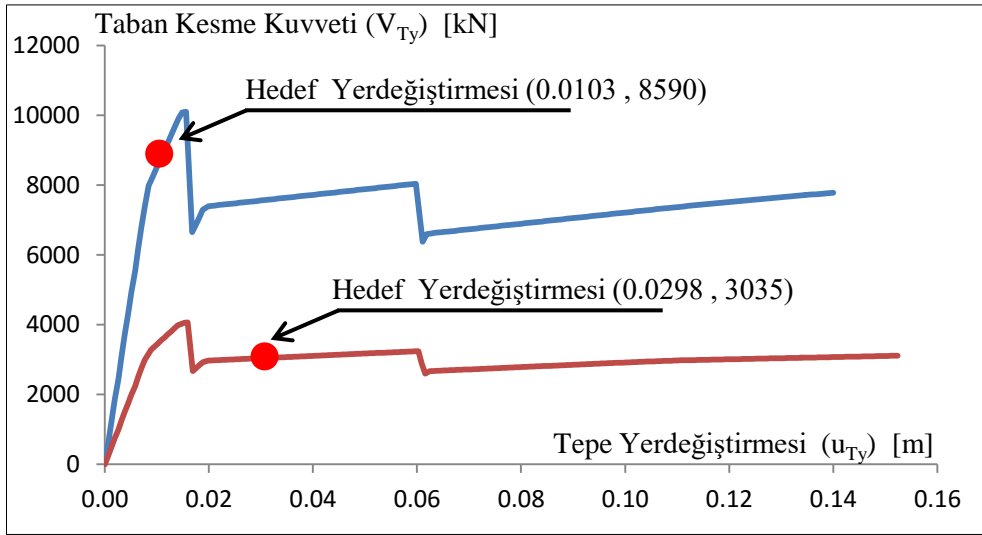
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 26.97 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 4.91 olmuştur.

**Yapı-5 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-5'in uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.73'te gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.73:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -5).

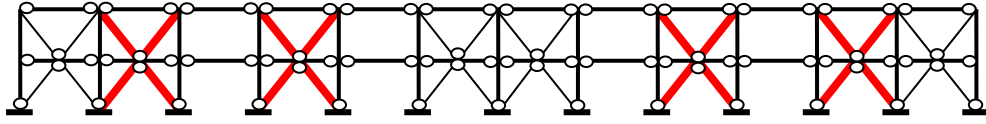
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.74'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.74:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-5).

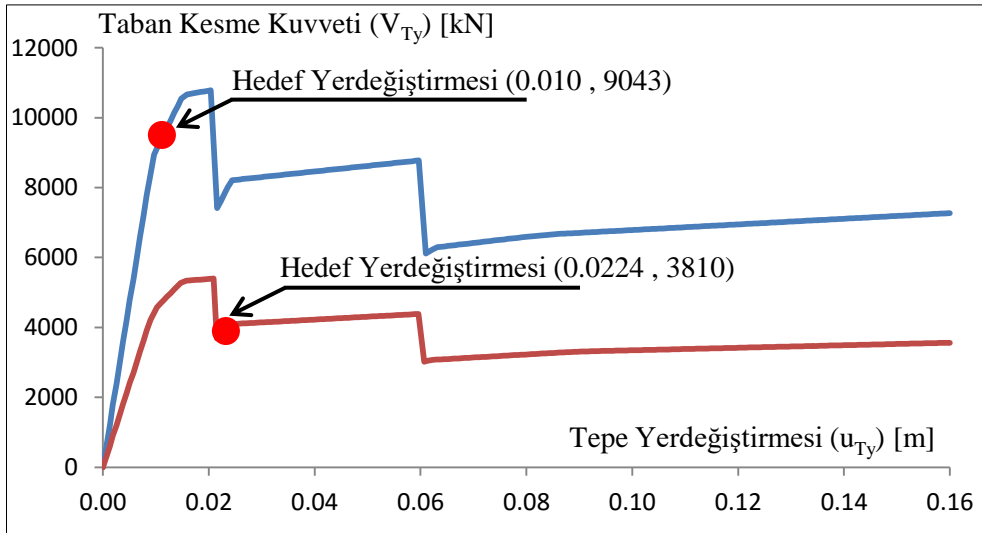
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 34.82 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 6.39 olmuştur.

**Yapı-6 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-6' nın uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.75'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.75:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı-6)

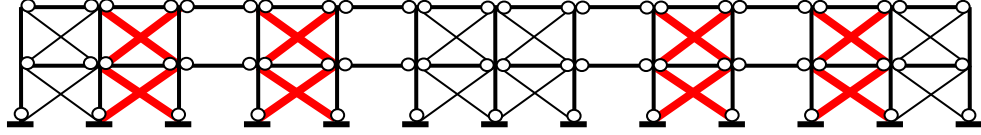
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.76'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.76:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-6).

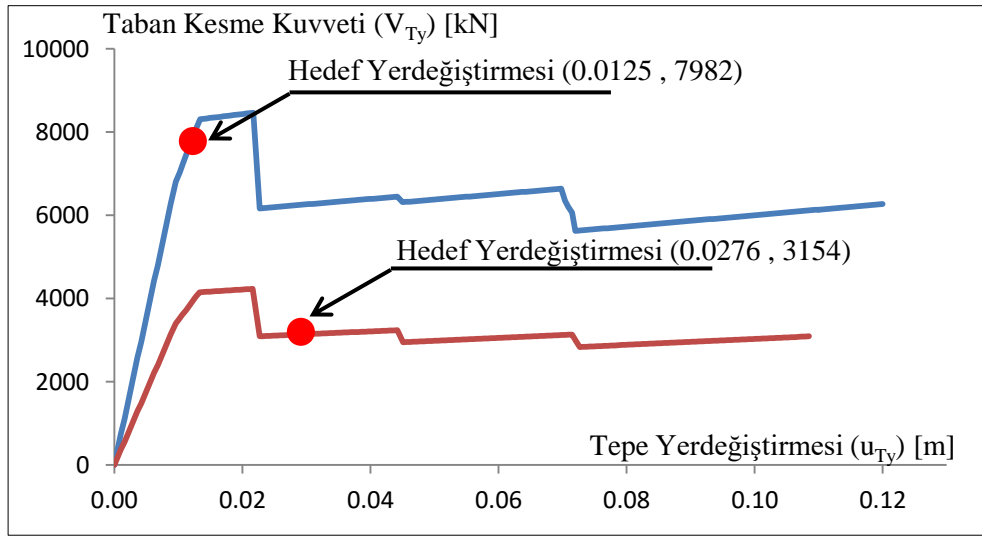
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 26.97 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 4.91 olmuştur

**Yapı-7 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-7'nin uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2 'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.77'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.77:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -7).

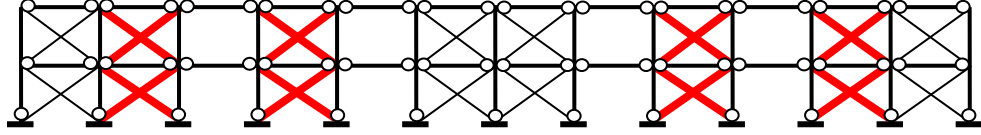
Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.78'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.78:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-7).

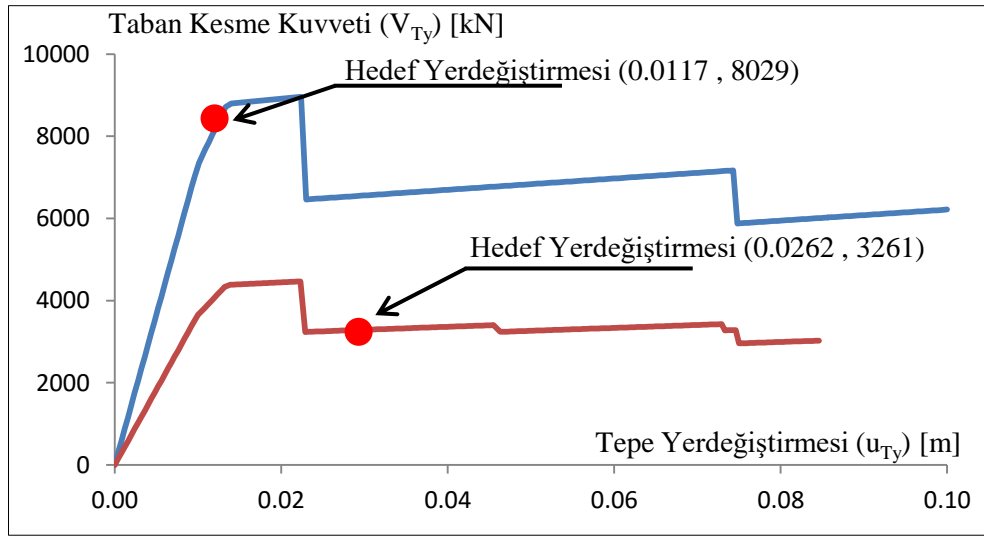
Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 23.62 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 4.33 olmuştur.

**Yapı-8 Deprem Performansını Yükseltmesi;** Yapı-8'in uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.79'da gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.79:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -8).

Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.80'de gösterilmiştir.

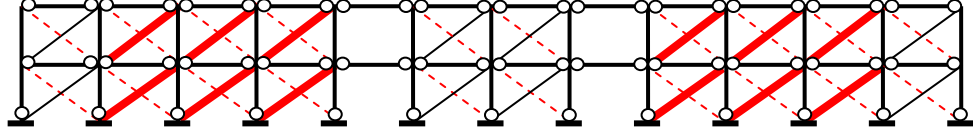


**Şekil 3.80:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-8).

Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 24.25 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 4.44 olmuştur.

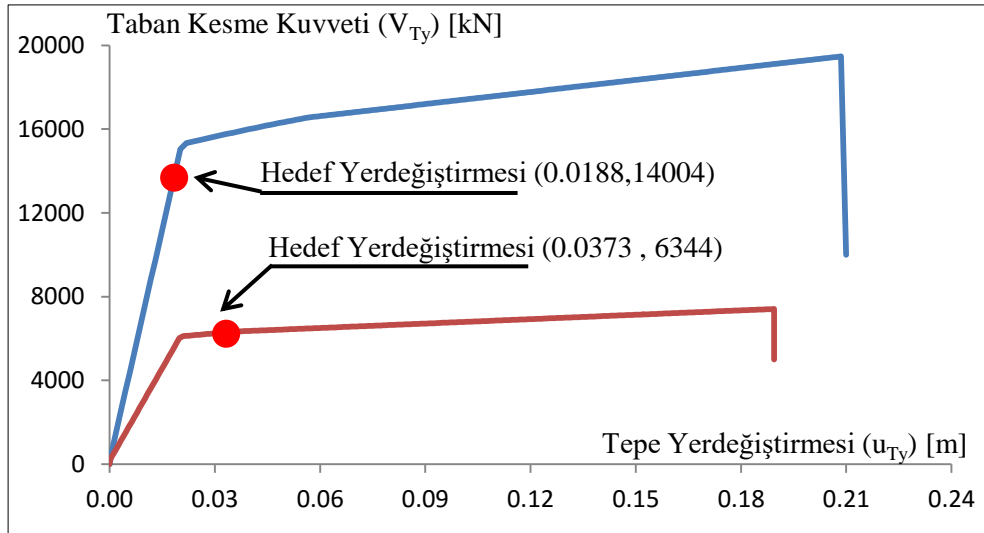


**Yapı-9 Deprem Performansının Yükseltilmesi;** Yapı-9'un uzun doğrultu performansı Bölüm 3.2'de Arttırılmış Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi olarak belirlenmiştir. Performansı Hemen Kullanım Performans Seviyesine getirmek için takviye edilmiş sistem Şekil 3.81'de gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen çapraz elemanlar koyu olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.81:** Hemen kullanım yapısal perf. seviyesine yükseltilmiş taşıyıcı sistem (Yapı -9).

Yapının mevcut ve takviye edilmiş durumdaki kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.82 'de gösterilmiştir.



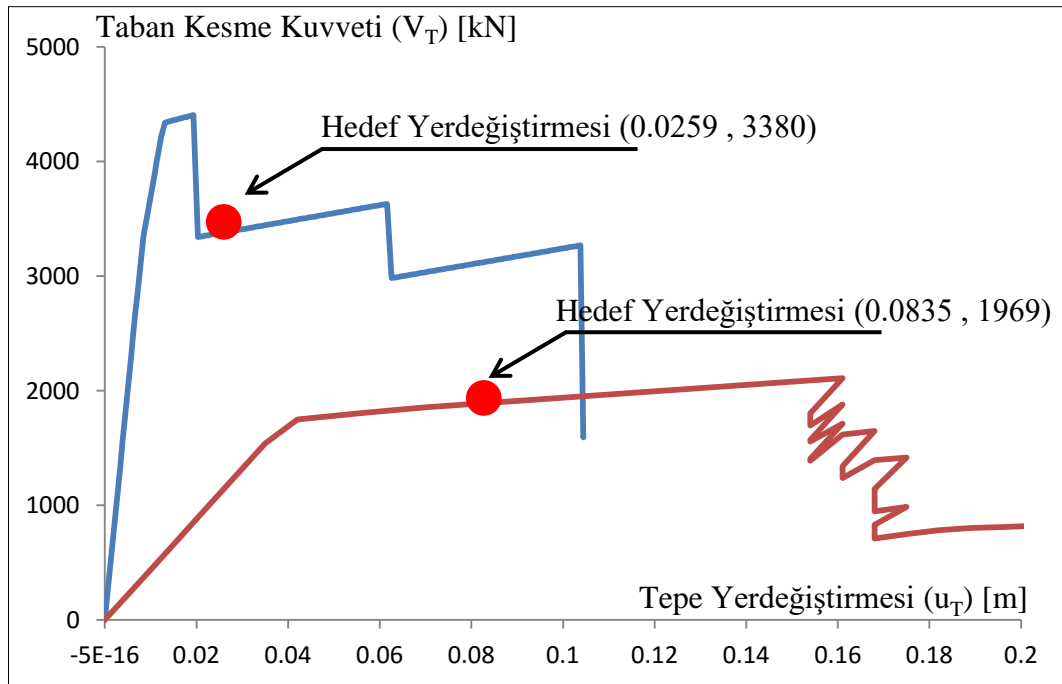
**Şekil 3.82:** Mevcut ve takviye edilmiş sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (Yapı-9).

Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesine yükseltmek için yapılan takviye ile çapraz eleman ağırlığı 34.40 kN artmıştır. Buna göre toplam yapı ağırlığındaki artış % 6.31 olmuştur.

### 3.4 Sonuçların Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde yapılan analizler sonucunda elde edilen sistem kapasite eğrileri, performans seviyeleri, kullanılan malzeme miktarları ve yapıları Hemen Kullanım Seviyesine getirmek için yapılan takviye miktarları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

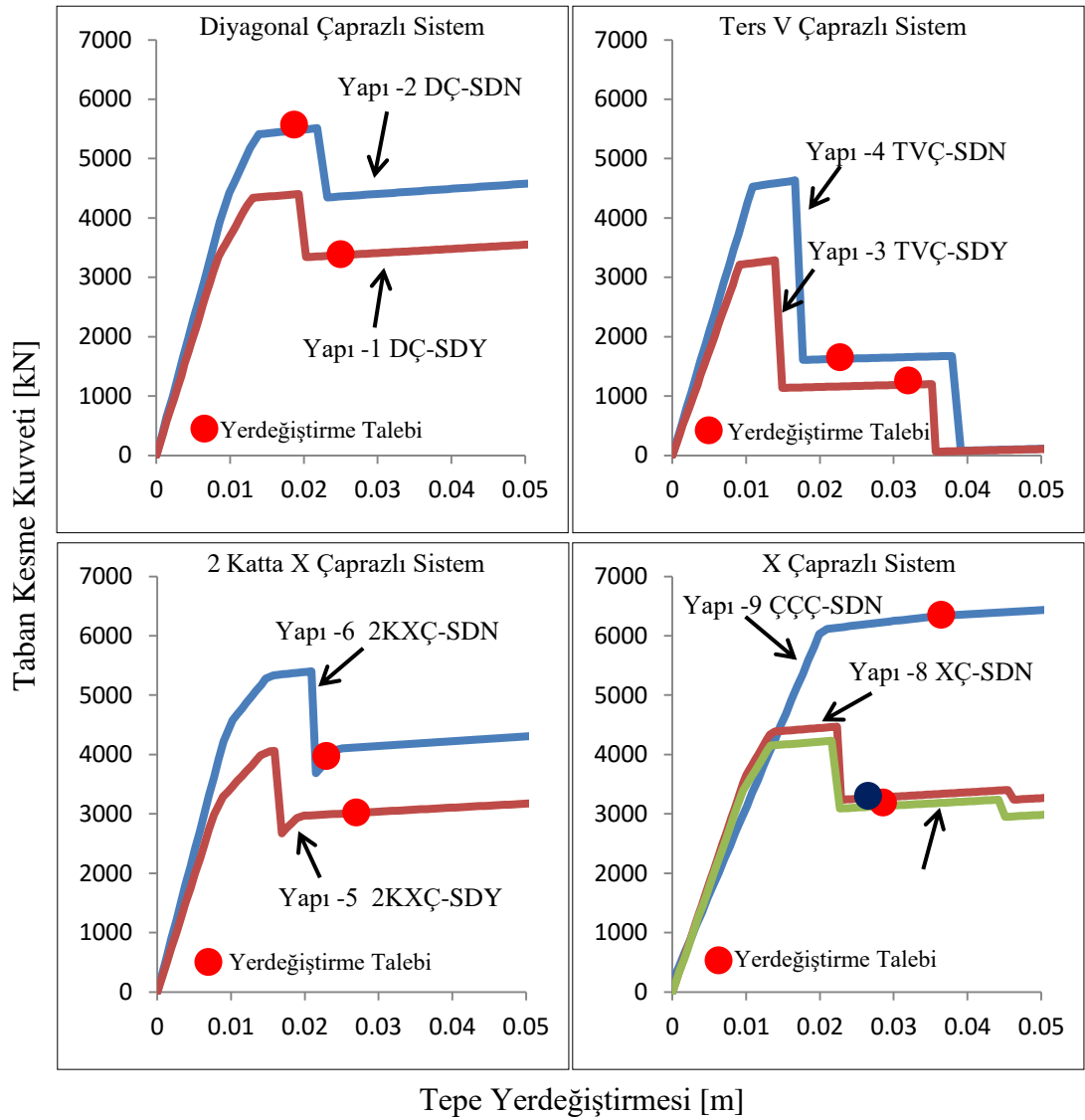
**Yapıların kapasite eğrileri karşılaştırılması;** İncelenen endüstri yapılarında kısa doğrultuda çerçeve sistemler kullanılmış ve tasarım depremi altında herhangi bir plastikleşme oluşmamıştır. Buna göre kısa doğrultudaki performans seviyesi Hemen Kullanım Performans Seviyesi olarak belirlenmiştir. Uzun doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemler kullanılmış tüm çapraz tipleri için daha düşük performans seviyeleri elde edilmiştir. Örnek olarak Yapı-1'e ait uzun ve kısa doğrultu kapasite eğrileri ve hedef yerdeğiştirmeler Şekil 3.83 'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.83 : Yapı-1 'de kısa ve uzun doğrultu kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

- Kısa ve uzun doğrultudaki taşıyıcı sistem tipleri birbirinden farklı olduğu için rijitlik ve yük taşıma kapasitesi bakımından çok farklı davranışlar elde edilmiştir. Deprem performans seviyesi bakımından karşılaştırıldığında ise genel olarak uyumlu performans seviyeleri elde edilmiştir.

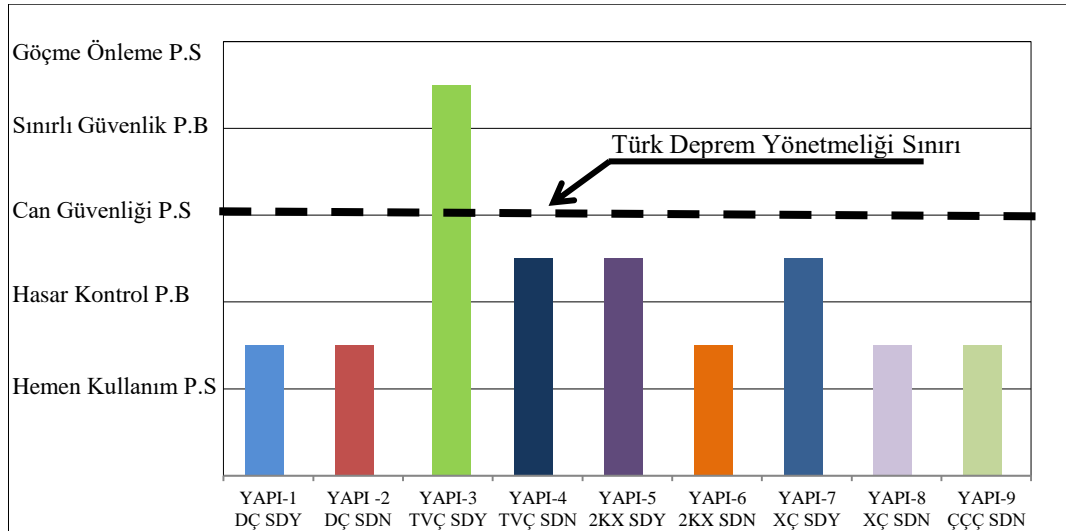
- Hedef yerdeğiştirme değerine ulaşmış yapılarda en büyük yatay yük taşıma kapasitesi süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir. En düşük yatay yük taşıma kapasitesi ise süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir (Şekil 3.84).
- Yapılar arasında, basınç çaprazlarının burkulması nedeniyle oluşan en büyük dayanım azalması süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir. En düşük dayanım azalması ise **X tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir.



Şekil 3.84 : Yapıların kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

### *Sistemlerin performans seviyelerinin karşılaştırılması;*

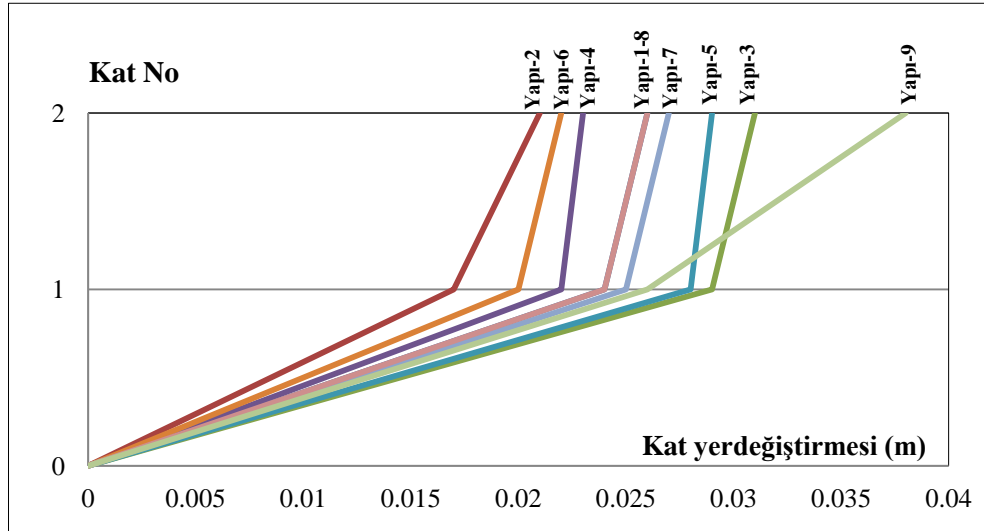
- Süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V** tipi çaprazların kullanıldığı sistemde ASCE 41-13'e göre Can Güvenliği performans seviyesinin sağlanmadığı diğer tüm çapraz tiplerinde ise sağlandığı belirlenmiştir (Şekil 3.85).
- En iyi performans seviyesi, "**Hemen Kullanım P.S ile Hasar Kontrol P.S arasındaki bölge**" olarak elde edilmiştir. En kötü performans seviyesi ise "**Sınırlı Güvenlik P.S ile Göçme Önleme P.S arasındaki bölge**" olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek ve normal olan **Diyagonal tip** perdeli sistemlerde, **2 Katta X tipi** çaprazlı sistemde, süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **X tipi** perdeli sistemde ve **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı sistemde en iyi performans seviyeleri elde edilmiştir. En kötü performans seviyesi ise süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V** tipi çaprazlı sistemde elde edilmiştir (Şekil 3.85).
- Süneklik düzeyininin yüksek yerine normal olması **Ters V tipi** çaprazlı perdeli sistemde, **2 Katta X tipi** çaprazlı sistemde ve **X tipi** çaprazlı sistemde performans seviyesini iyileştirmiştir.
- Aynı miktarda ve aynı kesitlerde eleman kullanılmasına rağmen **2 Katta X tipi** çapraz perdeli sistemin, aynı süneklik düzeyine sahip **Ters V tipi** çapraz perdeli sisteme göre deprem performansı bakımından çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Şekil 3.85).



Şekil 3.85 : Yapıların performans seviyelerinin karşılaştırılması.

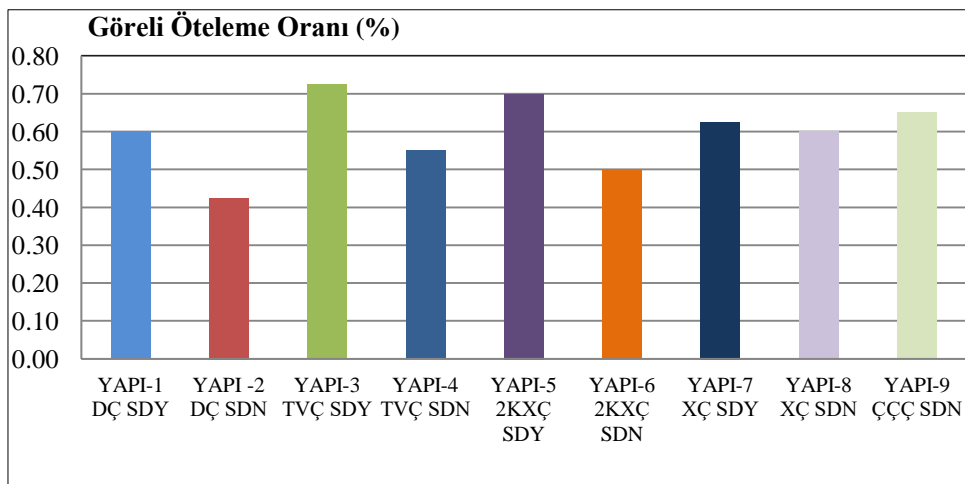
### Yapıların tepe yerdeğiştirmelerinin ve görelı öteleme oranlarının karşılaştırılması;

- Yapıların tepe yerdeğiştirme değerleri 2.1 cm ile 3.8 cm arasında değişmektedir.
- En düşük tepe yerdeğiştirmesi süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Diyagonal** tipi çaprazlı sistemde elde edilmiştir. En büyük tepe yerdeğiştirmesi ise süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir (Şekil3.86)



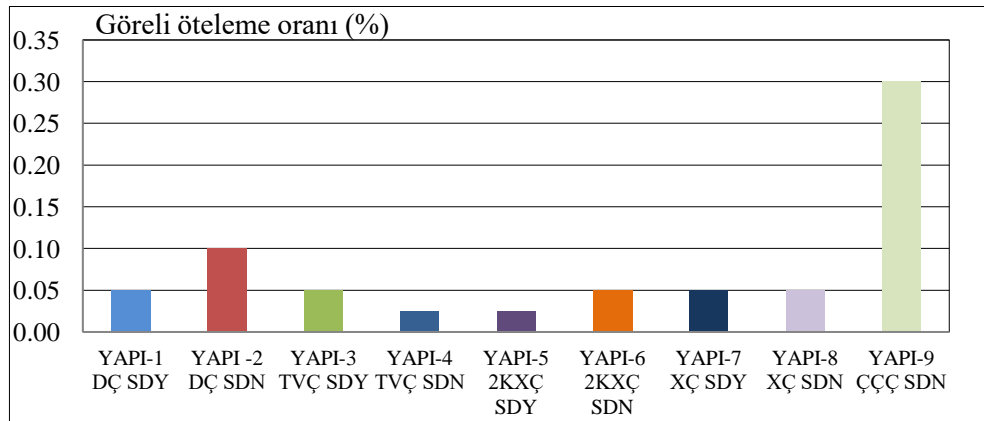
Şekil 3.86 : Yapıların tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.

- Yapının 1. katında en düşük görelı öteleme oranı % 0.42 ile süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Diyagonal tipi** çaprazlı sistemde elde edilmiştir. En büyük görelı öteleme oranı ise % 0.73 ile süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir (Şekil 3.87).



Şekil 3.87 : Yapıların 1. kat görelı öteleme oranlarının karşılaştırılması.

- Yapının 2. katında en düşük görelî öteleme oranı % 0.025 ile süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **2 Katta X tipi** çaprazlı sistemde ile süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Ters V tipi** çaprazlı sistemde elde edilmiştir. En büyük görelî öteleme oranı ise % 0.30 ile süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Sadece Çekmeye çalışan X tipi** çaprazlı perde sistemde elde edilmiştir (Şekil 3.88).



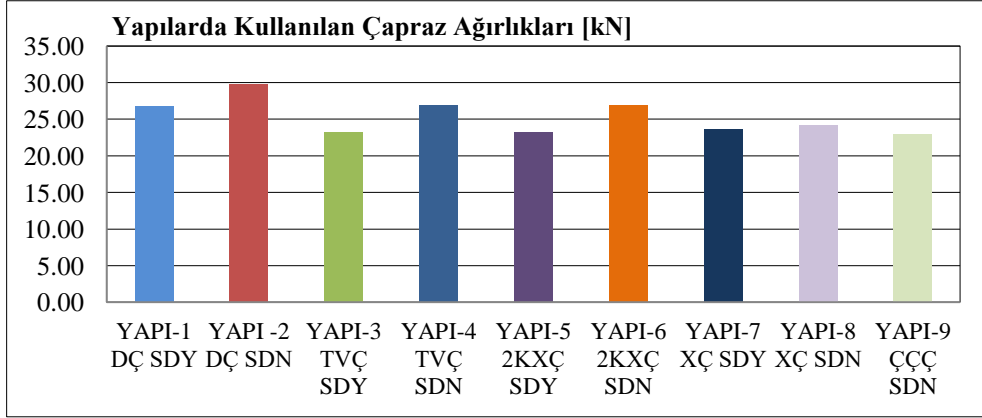
Şekil 3.88 : Yapıların 2. kat görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması.

*Mevcut yapı ağırlıklarının ve performansı yükseltilmiş yapı ağırlıklarının karşılaştırılması* ; İncelenen yapı sistemlerinde tüm kolonlar ve kirişler aynı boyutta olup sadece çapraz tipleri ve enkesitleri farklılık göstermektedir (Tablo 3.76). Bu nedenle yapılarda kullanılan çapraz ağırlıklarının karşılaştırılması ekonomik sistem tipinin belirlenmesinde yeterli olmaktadır. Ayrıca deprem etkisinde olmayan ikincil taşıyıcı elemanlar (arakat kirişleri, arakat kolonları, döşeme kirişleri, aşıklar, stabilite bağlantıları ve cephe taşıyıcıları) toplam ağırlığa dahil edilmemiştir.

Tablo 3.76 : Yapılarda kullanılan birincil elemanlar ve eleman ağırlıkları.

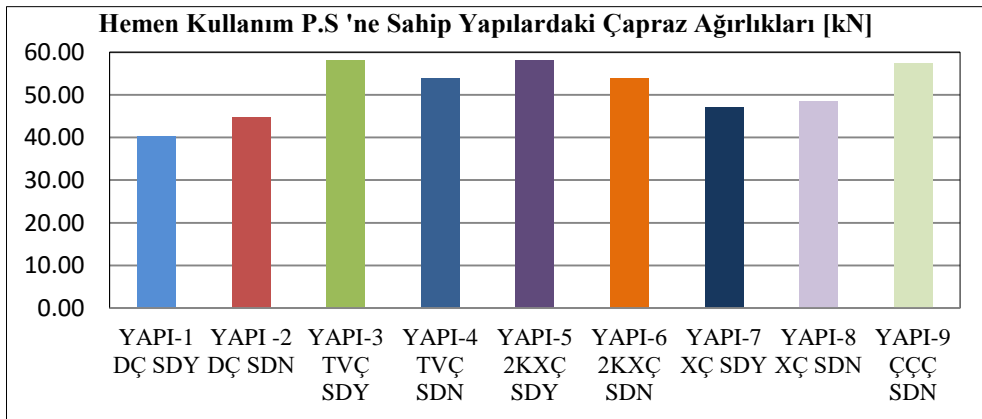
Yapı Adı	Kolon Profili/Ağırlığı (kN)	Kiriş Profili/Ağırlığı (kN)	Çapraz Kiriş Profili/Ağırlığı (kN)	Alt Çapraz Profili/Ağırlığı (kN)	Üst Çapraz Profili/Ağırlığı (kN)	Toplam Ağırlık (kN)
Yapı-1	<b>IPE 500 (185kN)</b>	<b>IPE 450 (242kN)</b>	<b>Kutu 140*140*8 (95 kN)</b>	<b>Boru 219.1*5 (14.94 kN)</b>	<b>Boru 193.7*4.5 (11.88 kN)</b>	548.82 kN
Yapı-2				<b>Boru 244.5*5.4 (18.01 kN)</b>	<b>Boru 193.7*4.5 (11.88 kN)</b>	551.89 kN
Yapı-3				<b>Boru 168.3*4 (12.72 kN)</b>	<b>Boru 139.7*4 (10.51 kN)</b>	545.23 kN
Yapı-4				<b>Boru 193.7*4.5 (16.48 kN)</b>	<b>Boru 139.7*4 (10.51 kN)</b>	548.99 kN
Yapı-5				<b>Boru 168.3*4 (12.72 kN)</b>	<b>Boru 139.7*4 (10.51 kN)</b>	545.23 kN
Yapı-6				<b>Boru 193.7*4.5 (16.48 kN)</b>	<b>Boru 139.7*4 (10.51 kN)</b>	548.99 kN
Yapı-7				<b>Boru 127*4 (13.77 kN)</b>	<b>Boru 101.6*3.6 (9.84 kN)</b>	545.61 kN
Yapı-8				<b>Boru 133*4 (14.39 kN)</b>	<b>Boru 101.6*3.6 (9.84 kN)</b>	546.23 kN
Yapı-9				<b>L 130*130*16 (17.48 kN)</b>	<b>L 80*80*8 (5.47 kN)</b>	544.95 kN

- İncelenen yapılardaki çapraz eleman ağırlıklarının 23 kN ile 30 kN arasında değiştiği görülmüştür. En fazla çapraz ağırlığının süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan **Diyagonal tipi** çaprazlı perde sistemde, en düşük çapraz ağırlığının **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı perde sistemde olduğu görülmüştür (Şekil 3.89).



**Şekil 3.89** : İncelenen yapı sistemlerindeki çapraz ağırlıkları.

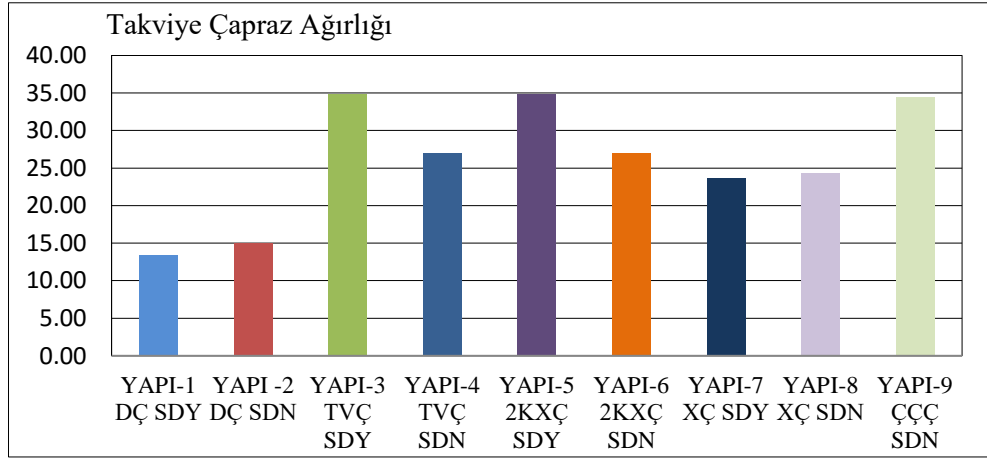
- Hemen kullanım performans seviyesine yükseltilecek yapılar arasında en fazla çapraz eleman takviyesi, süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V tipi** ve **2 Katta X tipi** çaprazlı perdeli sistemlerde, en düşük takviye ise **Diyagonal tip** çaprazlı perde sistemde yapılmıştır (Şekil 3.90).



**Şekil 3.90** : Hemen kullanım performans seviyesine sahip yapılardaki çapraz ağırlıkları.

- Yapıları Hemen Kullanım seviyesine yükseltmek için yapılan çapraz takviyesinin tüm yapı ağırlığına oranları % 2.44 ile % 6.39 arasında değişkenlik göstermiştir (Şekil 3.90). En büyük takviye süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V tipi** ve **2 Katta X tipi** çaprazlı perde sistemlerde elde edilmiştir. En düşük takviye

ise süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Diyagonal tipi** çaprazlı perde sistemlerde elde edilmiştir (Şekil 3.91).



**Şekil 3.91** : Yapıları hemen kullanım p.s 'ne getirmek için takviye edilen çapraz ağırlıkları.

- İncelenen çapraz tipleri arasında kullanılan malzeme ağırlığı ve performans seviyesi bakımından en uygun çapraz tipinin **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çapraz olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.84, Şekil 3.89).
- İncelenen endüstri yapılarının uzun doğrultuda, deprem sonrası Hemen Kullanımını sağlayacak şekilde tasarlanmaları durumunda malzeme ağırlığı bakımından en uygun çapraz tipinin **Diyagonal tip** çapraz olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.90).



#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre tasarlanan çelik endüstri yapılarında farklı çaprazlı perde alternatiflerinin deprem performansları değerlendirilmiş ve yapıların deprem sonrası hemen kullanımını sağlayacak performans seviyesine yükseltilmesi için gerekli çapraz takviyeleri belirlenmiştir. Performans değerlendirmeleri ASCE/SEI 41-13 çerçevesinde Doğrusal Olmayan Statik Yöntem ile yapılmıştır.

İncelemeler örnek olarak iki katlı tipik endüstri yapıları üzerinde yapılmıştır. Yapıların taşıyıcı sistemleri kısa doğrultuda çerçevelerden, uzun doğrultuda ise merkezi çaprazlı perde sistemlerden oluşturulmuştur. Çalışmada 4 farklı merkezi çaprazlı perde tipi incelenmiştir. Bunlar **Diyagonal tipi**, **Ters V tipi**, **X tipi**, ve **İki Katta X tipi** (alt katta ters v üst katta v tipi) çaprazlı perdelerdir. Herbir çaprazlı perde tipi süneklik düzeyi normal ve yüksek olarak ayrı ayrı incelenmiştir. X tipi çaprazlı perdede ayrıca yüksek narinlikli elemanların kullanıldığı **Sadece Çekmeye Çalışan** alternatif de incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir ;

- İncelenen endüstri yapılarının kısa doğrultudaki çerçeve sistemlerinde, tasarım depremi altında sadece kolonların alt ucunda plastikleşme oluşmuş ve performans seviyesi “Arttırılmış Güvenlik Performans Bölgesi” olarak belirlenmiştir.
- Çapraz tipleri arasında en iyi deprem performanları **Diyagonal tip**, **2 Katta X tipi**, **X tipi** ve **Sadece Çekmeye Çalışan X tipi** çaprazlı sistemlerde elde edilmiştir. En kötü performans seviyesi ise **Ters V** tipi çaprazlı sistemde elde edilmiştir.
- Süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan tüm çaprazlı sistemler Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen “**Can Güvenliği**” performans seviyesini sağlamıştır. Ancak süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan **Ters V** tipi çaprazlı perdede öngörülen performans sağlanamamıştır.
- Süneklik düzeyinin değişimi (nomal veya yüksek) tasarımda genel olarak eleman boyutları değiştirmiş bu da eleman hasar düzeyini etkilemiştir. Bazı sistemlerde

(Ters V, 2 Katta X, X ve Sadece Çekmeye Çalışan X) bu değişim performans seviyesini değiştirecek mertebede etkili olmuştur.

Buna göre az katlı elik endüstri yapılarında tasarımların süneklik düzeyi normal olarak yapılmasının deprem performansı bakımından daha uygun olacağı söylenilmektedir.

- Aynı miktarda ve aynı kesitlerde eleman kullanılmasına rağmen **2 Katta X tipi** apraz perdeli sistemin, aynı süneklik düzeyine sahip **Ters V tipi** apraz perdeli sisteme göre deprem performansı bakımından çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun nedeni, **Ters V tipi** apraz sisteminde basınç aprazları burkulduktan sonra çekme çubuğundaki kuvvetin dengelenememesi, **2 Katta X tipi çapraz** sistemde ise üst kat çaprazlarının söz konusu dengeyi sağlayabilmesidir.
- **Ters V tipi** aprazlı sistemlerde aprazların burkulması ile oluşan büyük ve ani dayanım kaybı ASCE 41-13'e göre statik yöntemin kullanım sınırını aşacak mertebede olmuştur. Diğer tüm çapraz tiplerinde ise statik yöntem yeterli olmuştur.
- İncelenen apraz tipleri arasında kullanılan malzeme ağırlığı ve performans seviyesi bakımından en uygun çapraz tipinin **Sadece çekmeye alışan X tipi** apraz olduğu belirlenmiştir.  
Deprem yönetmeliğine göre en çok iki katlı yapılarda izin verilen bu çapraz tipinin endüstri yapılarında kullanılmasının uygun olduğu söylenilmektedir.
- İncelenen endüstri yapılarının uzun doğrultuda, deprem sonrası Hemen Kullanımını sağlayacak şekilde tasarlanmaları durumunda malzeme ağırlığı bakımından en uygun çapraz tipinin **Diyagonal tip** apraz olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte incelenen yapıları çapraz takviyesi yaparak “Hemen Kullanım” performans seviyesine yükseltmek için gerekli takviye miktarı en düşük performanslı çapraz tipinde dahi bina ağırlığının % 7 'sini geçmemektedir.  
Buna göre deprem sonrası Hemen Kullanımın gerekli olduğu endüstri yapılarında performans esaslı değerlendirme ile bunun ekonomik olarak gerçekleştirilebileceği söylenilmektedir.

## 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] Davision, B., Steel Construction Institute and Owens, G. W., *Steel designers’ manual*, vol 6, England: Blackwell Publishing - John Wiley, (2005)
- [3] Martin, L. H. and Purkiss, J. A., *Structural design of steelwork*, vol 3, United Kingdom: Elsevier Ltd: Butterworth-Heinemann, (2007).
- [4] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ”, (2007).
- [5] Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, “İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği versiyon 3”, İstanbul, (2008).
- [6] ASCE, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, (2007).
- [7] ASCE, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41- 13, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, (2013).
- [8] Eurocode 8, " Design of Structures for Eartquake Resistance" Comité Européen Normalisation, Brussels, 2003.
- [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 Evaluation and of Existing Buildings, ASCE/SEI 31-03, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, (2003).
- [17] 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).
- [18] 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).
- [19] Dizdar O., “Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Sismik Performansları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Deprem ve Yapı Anabilim Dalı, Gebze, (2009).
- [20] Aşçı, A., “2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre Tasarlanan Çelik Endüstri Binalarının Deprem Performanslarının İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir,(2012).

- [21] Bulut, Y., "Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerde Çapraz Düzeninin Çelik Çerçevelerin Dinamik Davranışına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Anabilim Dalı*, Gebze, (2013).
- [22] Kaygusuz, A., "Dış Merkez Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranışlarının Farklı Bağ Kirişi Teşkilleri İçin İncelenmesi". " Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2015).
- [23] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1980).
- [24] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1997).
- [25] Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö., *Çelik Yapılar*, İstanbul : Çağlayan Basımevi, (2008).
- [26] Odabaşı, Y., *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*, İstanbul : Beta Basım A.Ş, (2000).
- [27] Aydınoğlu, M.N, Celep, Z., Özer, E. ve Sucuoğlu, H. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, IPKB, (2012).
- [28] SAP 2000.V.8, *Structural Analysis Programs User's Manual*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [29] AISC, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (2005).
- [30] AISC, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Illinois, USA, (1999).