

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN DEPREM**  
**PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

**Sertaç KARAZİYAN**

**Kasım, 2006**

**İZMİR**

# **BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

**Sertaç KARAZİYAN**

**Kasım, 2006  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**Sertaç KARAZİYAN**, tarafından **Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR** yönetiminde hazırlanan “**BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
**Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR**  
.....

Yönetici

.....  
.....  
Jüri Üyesi

.....  
.....  
Jüri Üyesi

.....  
**Prof. Dr. Cahit HELVACI**

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, çalıŐmaların programlanması, yűrűtűlmesi sırasındaki yűnlendirici ve bilgilendirici desteklerinden űtűrű Sayın Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR' a teŐekkűrlerimi sunarım.

ÇalıŐmalarımda yardımlarını esirgemeyen deęerli arkadaşlarım AraŐ. Gűr. Taner UÇAR' a, İnŐ. Műh. Mert GENÇ' e ve İnŐ. Műh. Sema AKGŬL' e teŐekkűrű borç bilirim.

Hayatım boyunca her tűrlű maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok deęerli aileme ūkranlarımı sunarım.

Sertaç KARAZIYAN

# BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

## ÖZ

Bu tez çalışması kapsamında, yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performans seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan, FEMA 356' da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40' da yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemi incelenmiştir. Bu amaçla, deprem performansını belirlemek amacıyla projesi 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli bir yapı dikkate alınmıştır.

1975 Deprem Yönetmeliğine göre Z1 zeminde tasarlanmış yapının deprem performansı, FEMA 356' da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40' da yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans seviyesi belirlenmiştir. Ayrıca mevcut yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak yapının performansı belirlenmiştir. Yanlış zemine göre tasarlanmış yapının performansı ile ilgili sonuç ve irdeler grafik ve tablolar şeklinde verilmiştir.

Seçilen örnek yapı için, 50 yıllık süreç içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan tasarım depremi etkisi altında can güvenliği (CG) performans seviyesi hedeflenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Doğrusal olmayan statik itme analizi, Deplasman Katsayıları Yöntemi, Kapasite Spektrumu Yöntemi, kapasite eğrisi, performans seviyesi

# DETERMINATION OF SEISMIC PERFORMANCE FOR REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

## ABSTRACT

In this thesis, it is examined to determine the performance levels of structural systems under earthquake effects by using Displacement Coefficients Method placed in FEMA 356 and Capacity Spectrum Method placed in ATC 40. For this purpose, eight storey reinforced concrete 3D shear wall system structure designed in accordance with Turkish Earthquake Code 1975 is considered to determine the performance level of structure.

Performance level of structure designed on Z1 soil type in accordance with Turkish Earthquake Code 1975 is determined by using the Displacement Coefficients Method placed in FEMA 356 and Capacity Spectrum Method placed in ATC 40. In addition, the performance level of structure is determined by assuming designed on Z4 soil type. The results are given with graphics and tables about the performance level of structure designed in accordance with using soil type.

Life safety (LS) structural performance level is chosen as a target for the model structures under a design earthquake that may be exceeded in a 50 year period with 10 percent probability.

**Keywords:** Nonlinear static pushover analysis, Displacement Coefficients Method, Capacity Spectrum Method, capacity curve, performance level.

## İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

### **BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....1**

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.2 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	3

### **BÖLÜM İKİ – DEPREME DAYANIKLI YAPI KAVRAMI.....5**

2.1 Depreme Karşı Güvenliğin Sağlanması.....	5
2.1.1 Geometri.....	6
2.1.2 Süreklilik.....	7
2.1.3 Rijitlik ve Dayanım.....	7
2.1.4 Göçme Modu.....	8
2.1.5 Süneklik.....	8

### **BÖLÜM ÜÇ – BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN**

#### **ANALİZİ.....10**

3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Hesabı.....	10
3.2 Çözümün Sağlanması İçin Gerekli Koşullar.....	11
3.3 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.....	12
3.4 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı.....	13
3.4.1 Plastik Mafsal Hipotezi.....	15
3.4.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi.....	16

### **BÖLÜM DÖRT – YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM**

#### **PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....17**

4.1 Binalardan Bilgi Toplanması.....	17
--------------------------------------	----

4.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin 2006 Deprem Yönetmeliğine Göre Tanımı .....	18
4.2.1 Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri.....	19
4.2.2 Kesit Hasar Sınırları .....	19
4.2.3 Kesit Hasar Bölgeleri .....	19
4.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri .....	20
4.3.1 Hemen Kullanım Durumu (HK) .....	20
4.3.2 Can Güvenliği Durumu (CG) .....	20
4.3.3 Göçmenin Önlenmesi Durumu (GÖ).....	21
4.3.4 Göçme Durumu.....	21
4.3.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması .....	22
4.4 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri .....	22
4.5 ABYYHY 2006' da Yer Alan Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemleri .....	23
4.5.1 ABYYHY 2006' da Yer Alan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri.....	24
4.5.2 ABYYHY 2006' da Yer Alan Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri .....	26
4.5.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	26
4.5.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi.....	27
4.5.2.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi .....	27
4.6 Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi Yöntemleri İle Belirlenmesi .....	27
4.6.1 Performans Hedefi .....	29
4.6.2 Performans Seviyeleri .....	29
4.6.2.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri.....	29
4.6.2.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri.....	31
4.6.3 Bina Performans Seviyeleri.....	32
4.6.4 Deprem Hareketi.....	34
4.6.5 Yapısal Kapasite .....	35



<b>BÖLÜM BEŞ – DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME</b>	
<b>ANALİZİ YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>36</b>
5.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi .....	36
5.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi .....	40
<b>BÖLÜM ALTI – ÖRNEK UYGULAMALAR .....</b>	<b>50</b>
6.1 Seçilen Sekiz Katlı Betonarme Perde Sistemli Yapı.....	50
6.1.1 Seçilen Sekiz Katlı Betonarme Perde Sistemli Yapının Kalıp Planı ve 3D Modeli.....	51
6.1.2 Seçilen Yapının Özellikleri .....	52
6.1.3 Seçilen Yapının Kiriş ve Perde Elemanların Enkesitlerinde Donatı Alanları.....	53
6.1.4 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Deprem Hesabında Dikkate Alınan Değerler .....	53
6.2 İncelenen Yapıların Modellenmesinde ve Hesaplarında Yapılan Kabuller.....	54
6.3 Seçilen Yapı İçin Performans Hedefinin Tanımlanması .....	57
6.4 İncelenen Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi .....	58
6.4.1 Genel Kabul Kriterleri.....	58
6.4.1.1 Düşey Yükler.....	58
6.4.1.2 Yatay Yükler .....	58
6.4.1.3 Maksimum Görelî Kat Ötelemesi.....	59
6.4.2 Elemanlara Ait Kabul Kriterleri .....	59
6.5 İncelenen Yapının Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi .....	61
6.6 İncelenen Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi .....	63
6.6.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi İle Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi.....	63
6.6.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi.....	65
6.7 İncelenen Yapının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi İle Bulunan Kapasitelerine Bağlı Performans Seviyesinin Belirlenmesi .....	73
6.7.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları .....	73

6.7.1.1 Z1 Zeminde Tasarlanmış Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları .....	74
6.7.1.2 Z4 Zeminde Tasarlandığı Varsayılan Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları.....	77
6.7.1.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi İle Seçilen Örnek Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi .....	81
6.7.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları .....	85
6.7.2.1 Z1 Zeminde Tasarlanmış Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları .....	86
6.7.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Seçilen Örnek Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi .....	89
6.8 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	92
6.8.1 Seçilen Örnek Z1 Zeminde Tasarlanmış ve Aynı Yapının Z4 Zemin Sınıfı Üzerinde Yapıldığı Varsayılan Yapı İçin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	92
<b>BÖLÜM YEDİ – SONUÇLAR.....</b>	<b>94</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>96</b>
<b>EK-1 .....</b>	<b>98</b>
<b>EK-2 .....</b>	<b>113</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Mevcut bir betonarme yapının, düşey ve yatay yükler altındaki davranışı, çeşitli belirsizlikler nedeniyle tam olarak belirlenememektedir. Ayrıca, depremin yapıya etki yönünün sürekli değişken olması da düşünüldüğünde, yapının davranışındaki belirsizlikler daha da artmaktadır. Buna rağmen bir takım kabuller yapılarak çeşitli hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Yakın zamanda ard arda yaşanan depremlerden alınan dersler, bu alanda daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya çıkarmış ve daha gerçekçi çözüm yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bilgisayarlardaki gelişime paralel olarak karmaşık hesaplar geliştirilmiş olup, bu hesaplamalar esnasındaki olası hataların en aza indirilebilmesi sağlanabilmektedir. Bu yazılımlar sayesinde gelişmiş hesap yöntemleri, çeşitli yapı modelleri üzerinde çok kısa bir zamanda uygulanabilir duruma gelmiştir. Bütün bu imkânlar bize, olası modeller arasından amacımıza hizmet eden en uygun modeli seçme şansını vermektedir.

Yapı sistemleri, bazı özel durumlar dışında, işletme yükleri altında doğrusal davranış gösterirler. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve yer değiştirmelerin çok küçük olduğu var sayılmaktadır. Buna karşılık, dış etkiler, işletme yükü sınırını aşarak taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yer değiştirmeler, çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır. Sistemin doğrusal davranmaması ya malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının ya da geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmamasından kaynaklanır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve lineer teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarında (örneğin taşıma gücü yöntemi), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı, çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılır. Örneğin, deprem etkilerine göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve

elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini göz önüne almak, kesitlerin elastik ötesi plastik davranışlarını tanımlı olarak kesitlere atanmasıyla olur. Böylece yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen performans dayalı analiz yöntemi, yukarıda belirtilen esaslar çerçevesinde, yapının öngörülen deprem etkisi altında tepki deplasmanı ve buna bağlı performans değerlendirmelerine bağlıdır. Bu çözümleme yönteminde, yapının artan yatay yükler altında ne şekilde davrandığının elastik ötesi davranışını da dikkate alarak belirlenmesi (kapasite eğrisinin çizilmesi), belirli bir deprem etkisi altında yapının talep ettiği spektral deplasmanın belirlenmesi (performans noktası), buna bağlı olarak da, yapısal elemanların her birinin yaptığı şekil değiştirme ve deplasmanların belirlenmesi suretiyle, her birinin hasar bakımından maruz kalacağı durumu görmek, ortaya çıkan tabloya göre, yapı performansı hakkında değerlendirmede bulunmak şeklinde bir yol izlenir. Bu analiz yöntemiyle “deprem sırasında hangi taşıyıcı yapı elemanlarında hasar oluşacaktır, hasar dağılımı nasıldır, herhangi bir büyüklük cinsinden hasar büyüklüğü nedir?” sorularına cevap verilebilmektedir. Güncel tasarım yöntemlerinde ise doğrusal çözümleme yapılır, elastik ötesi davranış belli katsayılarla dikkate alınmaya çalışılır. Ancak yapısal elemanlarda hasar tahmini zordur.

Performansa dayalı tasarım hesaplarına olan büyük ilgi, “Statik İtme Analizi” metodunu ortaya çıkarmıştır. Bu yöntem çok genel olarak, gerek yatay gerekse düşey yüklemenin yapıya, adım adım arttırılarak etkitilmesi ve yüklemenin şiddeti arttıkça yapıda oluşacak zayıf bağlantıları, mafsallaşan noktaları tespit etme esasına dayanır.

## 1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında, yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performans seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan, FEMA 356' da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40' da yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemi incelenmiştir. Bu amaçla, projesi 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli bir yapı dikkate alınmıştır.

1975 Deprem Yönetmeliğine göre Z1 zeminde tasarlanmış yapının deprem performansı, FEMA 356' da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40' da yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans seviyesi belirlenmiştir. Ayrıca mevcut yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak yapının performansı belirlenmiştir. Yanlış zemine göre tasarlanmış yapının performansı ile ilgili sonuç ve irdeler grafik ve tablolar şeklinde verilmiştir.

## 1.2 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirme ve şekil değiştirmelere bağlı olarak tanımlanan daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP

Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273, 356 raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi amacıyla pratik uygulamalar yapılmaktadır. Ancak, diğer birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (Bölüm 7) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar tamamlanarak 2006 Türk Deprem Yönetmeliği yayınlamıştır (Özer, 2006).

## **BÖLÜM İKİ**

### **DEPREME DAYANIKLI YAPI KAVRAMI**

Bir yapının tasarımı ve boyutlanması, genel olarak güç tükenmesi durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve kullanma durumunda kararlılık, çatlama ve yerdeğiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlem öngörülen isteklerin belirtilmesi ve buna uygun olarak yapıda, gerekli kapasitenin sağlanması şeklinde de ifade edilebilir. Öntasarım ve boyutlama işleminin sonuçlarının yorumlanmasıyla ve gerekirse yapılacak düzeltmelerle işlemin tekrarı sonucunda yapının kesin boyutları elde edilir.

Taşıyıcı sistem inşa edilirken, başlangıçtan itibaren kendi ağırlığını taşımaya başlar. Hareketli yüklerin taşıyıcı sisteme etkimesi ani olmayıp, belirli sürede gerçekleşir. Bu sürede taşıyıcı sistemde bir kusurun ortaya çıkması durumunda yük boşaltılarak tedbir alma yönüne gidilir. Deprem yükleri ise, çok kısa sürede etkiler ve dinamik özellik gösterirler. Daha önce herhangi bir yatay yük altında kalmayan taşıyıcı sistem, deprem sırasında kısa zamanda önemli bir yatay etki ile zorlanır. Taşıyıcı sistemdeki kusurlar çok kısa zamanda ortaya çıktığı için, herhangi bir önlem almak mümkün olmaz.

#### **2.1 Depreme Karşı Güvenliğin Sağlanması**

Yapının taşıyabileceği yükün taşınması beklenenden büyük olması, güvenlik şeklinde tanımlanabilir. Güvenliğin sağlanmasında, çözümlemenin verdiği sonuçlara uygun olarak boyutlama yapılır. Ayrıca, yapının bütünlüğüne veya kararlılığına olumsuz yönde etki edecek göçme biçimlerinin ortaya çıkmaması için önlem alınır. Ancak, depreme dayanıklı yapı tasarım ve boyutlamada düşey yüklere göre daha büyük belirsizliklerle karşılaşılır. Bu belirsizlikler, etkimesi beklenen yüklerin büyüklüğünün belirlenmesi yanında, yapı elemanlarının ve birleşim yerlerinin taşıma güçlerinin ve sünekliğinin bulunmasında ortaya çıkar. Bu nedenle bir yapının ömrü boyunca etki altında kalması söz konusu olabilecek deprem yüklerine güvenlikle

karşı koyabilme özelliği, bir başka deyişle sağlamlığı kesin olarak belirlenebilecek bir özellik değildir.

Yapı elemanlarının dayanımları, taşıyıcı sistemin dayanımı için gerekli olduğu gibi, elemanların birleşim bölgelerinin gerektiği gibi uygun düzenlenmesi de, elemanların öngörülen dayanımlarının ortaya çıkması bakımından önemlidir. Birleşim bölgelerindeki çözümler ve büyük dönmeler, taşıyıcı sistemdeki elemanlarda önemli zorlamalar oluşmadan göçmeyi doğurabilir. Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistemin tasarımının iyi yapılması, çözümlenmeden daha önemlidir. Kötü tasarlanmış bir taşıyıcı sistemi, çözümlenme ile veya yapımda alınacak önlemlerle düzeltmek mümkün değildir. Buna karşılık iyi tasarlanmış bir sistemi basit yöntemlerle çözümlenmek ve kolay inşa etmek mümkündür. Bu amaçla tasarımda geometri, süreklilik, rijitlik, dayanım, göçme modu ve süneklik gibi noktalara dikkat etmek gerekir.

### **2.1.1 Geometri**

Bir yapı, ne kadar basit düzenlenmişse, depreme dayanıklılığının bu derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunu, çeşitli nedenleri göz önüne alarak açıklamak mümkündür. Basit ve düzenli yapıların yapımı da kolaydır ve yapımda hata yapma olasılığı azdır. Bu tür yapıların depremdeki davranışını tahmin etmek ve buna göre bir çözümlenme yapmak daha kolaydır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak çıkan burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirir.

Yapının planda iki doğrultuda simetriğe sahip olması istenir. Simetri de, her zaman yeterli olmayabilir. Yani, simetri yalnız plandaki şekille değil, taşıyıcı sistemdeki ayrıntılarla da sağlanmalıdır. Deprem sırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasar, elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirir ve statik konumda simetrik olan yapı, dinamik durumda burulma etkisine maruz kalabilir. Binanın simetrik düzenlenmesini, mimari istekler çoğu zaman imkânsız kılar. Bu durumda binanın basit parçalara bölünmesi yoluna gidilebilir.



### **2.1.2 Süreklilik**

Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi, davranışı olumlu yönde etkiler. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması, sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önler. Bütün kolon ve perdeler, temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dışmerkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Kolon ve ona mesnetlenen kirişlerin eksenleri arasındaki dışmerkezlik de elden geldiği kadar önlenmeli ve bunların genişliklerinin birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Böylece, özellikle betonarme elemanlarda, kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı düzeni sağlanabilir. Ayrıca, birleşim bölgelerine gösterilen özenle, meydana gelebilecek yerel hasarlar da önlenmiş olur.

### **2.1.3 Rijitlik ve Dayanım**

Eleman rijitliklerinin ani değişiklikler göstermeden devam etmesine gayret etmek, depreme dayanıklı yapı tasarımının bir parçasıdır. Zemin katın rijitliği düşük tutularak (yumuşak zemin kat), yapının kuvvetli yer hareketinden az etkilenmesinin sağlanması düşünülebilir. Burada amaç yapıyı, kısa periyotlu zemin hareketinden korumaktır. Ancak, bunun gerçekleştirilmesi için kolon uçlarında, güç tükenmesine erişmeden enerji yutabilen, ideal plastik mafsallar yanında büyük kat yerdeğiştirmesine ihtiyaç vardır. Birinci koşulun tam gerçekleşmemesi ve ikinci koşulda normal kuvvetten önemli ikinci mertebeye etkiler ortaya çıktığı için, yumuşak zemin kat ilkesinin tam tersine kaçınılması gereken bir durum olduğu belirlenmiştir.

Yapı rijitliğini arttırarak, depremde meydana gelebilecek şekil ve yerdeğiştirmeleri azaltmak mümkündür. Böylece, taşıyıcı sistemle ona bağlı bulunan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Ancak, bu durumda da spektrum eğrisinin özelliğinden dolayı, deprem kuvvetinin artacağı bilinmelidir.

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli bir dayanıma sahip olması, boyutlamanın esasını teşkil eder. Dayanımın sağlanması sadece kesitte

gerekli donatının bulunması olarak kabul edilmemelidir. Donatının aderansının sağlanması, gerekli kenetlenme boyuna sahip olacak şekilde başlangıç ve bitiş yerlerinin seçilmesi ve betonun yerleştirilmesini zorlaştıracak donatı düzenlerinden kaçınılması da, dayanımın oluşması için gereklidir.

#### ***2.1.4 Göçme Modu***

Deprem etkisine karşı boyutlamada kesitler, öngörülen etkilere karşı koyacak şekilde boyutlandırılırken, özellikle düşey taşıyıcıların dayanımlarını kaybederek tüm sistemin göçmesinden veya burkulma gibi ani göçmeden uzak olması istenir. Bu nedenle kuvvetli bir deprem durumunda, sistemin elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak göçme durumunun incelenmesi gerekir. Bazı durumlarda, kolon gibi düşey yük taşıyan elemanların güç tükenmeleri ile kesme veya basınç kuvveti taşıyan elemanların göçmelerinin sünek olmayacağı düşünülerek bu tür güç tükenmelerinin önlenmesi için önlem alınması yoluna gidilebilir. Genelde, bir birleşim bölgesinde kolon yerine kirişlerin kesitlerinde plastik mafsallı olarak güç tükenmesinin ortaya çıkması tercih edilir. Ancak, kiriş kesitlerinin katlar arasında fazla değişmemesi, bunun yanında kolon kesitlerinin üst katlara doğru küçülmesi veya açıklıkların büyük olması gibi koşullar, bu özelliğin her zaman sağlanmasını engeller. Böyle bir durumda deprem yükleri artırılarak boyutlama yapılması bir çözüm olabilir.

#### ***2.1.5 Süneklik***

Betonarme çerçevelerden oluşan bir yapının, şiddetli deprem etkileri altında elastik sınırlar içinde kalmasını sağlamak, ekonomik ve pratik bir çözüm değildir. Depreme dayanıklı yapı felsefesinde, şiddetli bir depremde yapıyı oluşturan elemanlardaki donatının yer yer akma konumuna ulaşacakları ve bu noktalarda plastik mafsallar oluşacağı kabul edilmektedir. Bu tür şiddetli depremlerde yapı güvenliği açısından temel amaç, yapının göçmemesidir. Yapının ayakta kalması, plastik mafsallarda yeterli enerji tüketilmesine bağlıdır. Tüketilen enerji, yük-yerdeğiştirme veya moment-eğrilik eğrileri altında kalan alanla doğru orantılıdır.

Doğal olarak dayanımında önemli bir azalma olmadan büyük deformasyon (dönme, eğrilik) yapabilen bir kesit, daha fazla enerji tüketebilecektir.

Süneklik, bir yapının, bir elemanın veya kesitin, taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme yeteneğidir. Bir yapının deprem dayanımında, plastik mafsallarda oluşan kesitlerde tüketilen enerji çok önemli bir rol oynar. Yeterli enerjinin tüketilebilmesi, büyük ölçüde plastik mafsalların oluşturduğu kesitlerin sünekliğine bağlıdır.

Bir betonarme kesitin sünekliği, eksenel yük düzeyi yükseldikçe azalır. Bu nedenle, eksenel yük düzeyi çok düşük olan kirişlerin sünekliği kolonlarına oranla çok daha yüksektir. Bu durum göz önünde bulundurularak çerçeve tasarımı yapılırken plastik mafsalların kolonlarda değil, kirişlerde oluşturulmasına özen gösterilir. Deprem yönetmeliğindeki “kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulu”, kirişin kolona göre daha sünek bir davranış sergilemesinden kaynaklanmaktadır.

## BÖLÜM ÜÇ

### BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

#### 3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Hesabı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal teoriye göre sistem analizine dayanan tasarım yaklaşımlarında (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi *yeniden dağılım ilkesi* yardımı ile göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir *deprem yükü azaltma katsayısı* ile bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini göz önüne almak, çok küçük olmayan yerdeğişirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklemler sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir (Özer, 2006).

### **3.2 Çözümün Sağlanması İçin Gerekli Koşullar**

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğişirmeler ve yerdeğişirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

1) Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğişirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.

2) Denge koşulları: Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3) Geometrik uygunluk koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır.

### 3.3 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır:

- 1) Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle, gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- 2) Geometri değişimleri nedeniyle, denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometri süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri gözüne alan teoriler Tablo 3.1’ de topluca gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

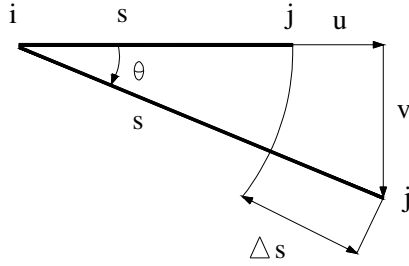
Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük Değil	küçük	küçük Değil

Bir ucunun diğer ucuna göre bağıl yerdeğiştirmeleri  $u$  ve  $v$  olan bir  $ij$  çubuğunun  $\Delta s$  boy değişmesi,

$$(u + s)^2 + v^2 = (s + \Delta s)^2 \quad (3.1)$$

$$\Delta s \cong s \left[ \frac{u}{s} + \frac{1}{2} \left( \frac{u}{s} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{v}{s} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Şekil 3.1, Denklem (3.2) ifadesinde sadece birinci terimin esas alınması geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olduğu varsayımını ifade etmektedir. Buna karşılık, diğer terimlerin de hesaba katılması geometri değişimlerinin geometrik uygunluk koşullarına etkisi göz önüne alındığını *sonlu deplasman teorisine* karşı gelmektedir.



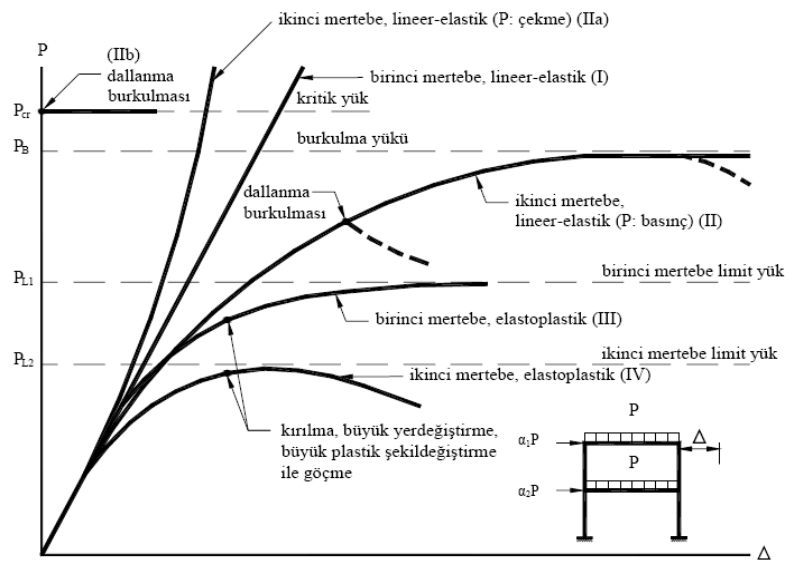
Şekil 3.1 (ij) Çubuk elemanın bağıl yerdeğiştirmeleri

Bazı yapı sistemlerinde, sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle, geometrik uygunluk koşulları sağlanmayabilir. Bu durumda, sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir. Özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle, sistemin davranışı doğrusal olmaz. Bu tür sistemlere, *geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler* denir ve bu sistemler malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilir. Kayıcı bulonlu düğüm noktaları içeren çelik yapı sistemleri, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemlere örnek oluşturmaktadır (Özer, 2006).

### 3.4 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme (P- $\Delta$ ) bağıntıları Şekil 3.2' de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki **(I)** doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, aksel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, aksel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin aksel kuvvetin basınç olması halinde, **(II)** eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklerle daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak *lineer-elastik burkulma yükü* adı verilen bir  $P_B$  değerine eşit olunca yerdeğıştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkulur. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğıştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi aksel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde **(IIa)** ile gösterilen  $P-\Delta$  diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değıştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir  $P_{cr}$  değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki **(IIb)** diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğıştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekil değıştiren sistemlerde de oluşabilir **(II** eğrisi).



Şekil 3.2 Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yerdeğıştirme bağıntıları



### 3.4.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğişiklikler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğişiklikler, genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğişikliklerin doğrusal şekildeğişikliklere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğişikliklerin *plastik mafsal* (veya genel anlamda *plastik kesit*) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım *plastik mafsal hipotezi* olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci merteye teorisine göre hesabında (Şekil 3.2, **III** eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük *birinci merteye limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci merteye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen P- $\Delta$  diyagramı Şekil 3.2' de (**IV**) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (**II**) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekildeğişiklikler nedeniyle yerdeğişiklikler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir  $P_{L2}$  sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, P- $\Delta$  diyagramında artan yerdeğişikliklere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci merteye limit yük* denilmektedir (Özer, 2006).

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğişiklikler, büyük plastik şekildeğişiklikler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının geçmesine neden olabilmektedir.

### 3.4.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Deprem yükü etkisi altında yapılan hesapların temel amacı, insanların can güvenliğinin sağlanmasıdır. İkinci planda ise, depremde bina içinde korunan eşyaların hasarlarının minimum olmasını temin etmek gelir. Sonuç olarak, amaç yapının tamamıyla göçmesinin veya yapının ekonomik olarak tamir edilemez bir düzeyde hasara uğramasının engellenmesidir. Mevcut şartnamelere göre binalar, ömürleri boyunca en az bir defa tasarım depremi geçirecek şekilde projelendirilirler. Mevcut doğrusal hesap yöntemleri, yapının depremden sonraki durumu hakkında net bir fikir vermemektedir. Ayrıca, aynı binanın defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış biçimi sergileyeceği konusu da tam bir belirsizlik arz eder. Bu durumda doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir. Bu aşamada devreye daha gerçekçi bir çözüm yöntemi olan ve yapının elastik ötesi davranışlarını da göz önünde bulunduran doğrusal olmayan hesap yöntemleri girer.

Yapılar için, sabit düşey yükler altında yatay yüklerin orantılı olarak artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan analize, “Statik İtme Analizi” denir. Bu analiz, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır.

Statik itme analizinde, binanın bütün elemanlarının şekil değiştirme davranışları tanımlanır. Bu analizde, malzemenin elastik sınırları dışında kalan plastik kapasitesinden de yararlanılmaktadır. Statik itme analizinde, oluşturulan modeller küçük adımlarla ötelenmeye maruz bırakılır. Her adımda, yapıyı oluşturan model elemanlardan biri veya birkaçının davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine ulaşmasıyla son bulur. Bu şekilde yapı, belirlenen yanal öteleme sınırına erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların daha önceden tanımlanan göçme şekil değiştirmelerine ulaşmaya kadar analiz devam ettirilir. Sonuçta, geline şekil değiştirme seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ülkemizde mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin mevcut olmaması nedeniyle, uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (Bölüm 7) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar tamamlanarak 2006 Türk Deprem Yönetmeliği yayınlamıştır.

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut binaların ve bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri 2006 Türk Deprem Yönetmeliği Bölüm 7' de verilmiştir. 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde Bölüm 7.1 aşağıda verilmiştir.

#### **4.1 Binalardan Bilgi Toplanması**

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden, ilgili raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir.

Binalardan toplanan bilginin kapsam güvenilirliğine bağlı olarak yönetmelikte üç farklı bilgi düzeyi tanımlanmış ve bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir.

- a) Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.
- b) Orta bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.
- c) Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

Tablo 4.1 Binalar için bilgi düzey katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Orta	0,90
Kapsamlı	1,00

#### 4.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin 2006 Deprem Yönetmeliğine Göre Tanımı

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini göz önüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme

istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır.

#### **4.2.1 Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri**

Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

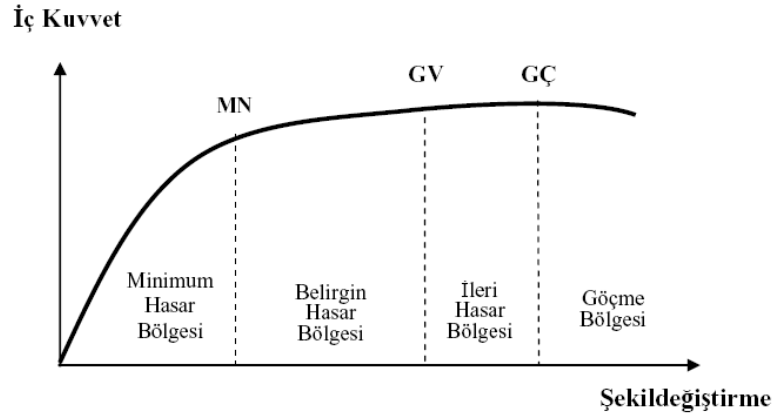
#### **4.2.2 Kesit Hasar Sınırları**

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

#### **4.2.3 Kesit Hasar Bölgeleri**

Kritik kesitleri MN’ ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*’nde, GÇ’ yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*’nde kabul edilecektir.

Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

### 4.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenebilmesi için benzer tanımlar kullanılabilir.

#### 4.3.1 Hemen Kullanım Durumu (HK)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Bu durumda bina *Hemen Kullanım Durumu*'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

#### 4.3.2 Can Güvenliği Durumu (CG)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina *Can Güvenliği Durumu*'nda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul

edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

#### **4.3.3 Göçmenin Önlenmesi Durumu (GÖ)**

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina *Göçmenin Önlenmesi Durumu*'nda kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

#### **4.3.4 Göçme Durumu**

Bina, *Göçmenin Önlenmesi Durumu*'nu sağlayamıyorsa, *Göçme Durumu*'ndadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

#### 4.3.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki göreli kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 4.2' yi sağlayacaktır.

Tablo 4.2 Göreli kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önleneşmesi
$(\delta_i)_{\max}/h_i$	0.008	0.02	0.03

$(\delta_i)_{\max}$ , ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük göreli kat ötelemesini,  $h_i$  ise kat yüksekliğini göstermektedir.

#### 4.4 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri

Deprem yönetmeliğimizde tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu, yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık olarak yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir. Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri Tablo 4.3' de verilmektedir.



Tablo 4.3 Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri

<b><i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i></b>	<b><i>Deprem Aşılma Olasılığı</i></b>		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kıışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
<b>Diğer Binalar:</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

#### 4.5 ABYYHY 2006' da Yer Alan Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemleri

ABYYHY 2006' da, binaların deprem performanslarının belirlenmesi için hesap yöntemleri, aşağıda verilmiştir:

- 1) Doğrusal Hesap Yöntemleri
  - a) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
  - b) Mod Birleştirme Yöntemi
- 2) Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri
  - a) Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
  - b) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
  - c) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

#### 4.5.1 ABYYHY 2006' da Yer Alan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için her iki yöntemin kullanılmasında, ek kurallar uygulanacaktır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1,4$  olan binalara uygulanacaktır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) Denklem (4.1) ile hesaplanmasında  $R_a=1$  alınacak ve denklemin sağ tarafı  $\lambda$  katsayısı ile çarpılacaktır.  $\lambda$  katsayısı, bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1,0, diğerlerinde 0,85 alınacaktır.

$$V_i = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10A_0IW \quad (4.1)$$

Mod Birleştirme Yönteminin kullanılmasında Denklem (4.2)' de  $R_a=1$  alınacaktır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında, bu doğrultuda hâkim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (4.2)$$

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının tanımında, kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş yığma dolgu duvarların kesitlerinin sayısal değerleri olarak, *etki/kapasite oranları* ( $r$ ) kullanılacaktır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 4.4, 4.5, 4.6' da sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir.

Tablo 4.4 Betonarme kirişler için hasar oranlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
$\leq 0.0$	Var	$\leq 0.65$	3	7	10
$\leq 0.0$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	8
$\geq 0.5$	Var	$\leq 0.65$	3	5	7
$\geq 0.5$	Var	$\geq 1.30$	2.5	4	5
$\leq 0.0$	Yok	$\leq 0.65$	2.5	4	6
$\leq 0.0$	Yok	$\geq 1.30$	2	3	5
$\geq 0.5$	Yok	$\leq 0.65$	2.5	4	6
$\geq 0.5$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	4
<b>Gevrek Kirişler</b>			1	1	1

Tablo 4.5 Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
$\leq 0.1$	Var	$\leq 0.65$	3	6	8
$\leq 0.1$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	6
$\geq 0.4$	Var	$\leq 0.65$	2	4	6
$\geq 0.4$	Var	$\geq 1.30$	2	3	5
$\leq 0.1$	Yok	$\leq 0.65$	2	3.5	5
$\leq 0.1$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	3.5
$\geq 0.4$	Yok	$\leq 0.65$	1.5	2	3
$\geq 0.4$	Yok	$\geq 1.30$	1	1.5	2
<b>Gevrek Kolonlar</b>			1	1	1

Tablo 4.6 Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

<b>Sünek Perdeler</b>	<b>Hasar Sınırı</b>		
	<b>MN</b>	<b>GV</b>	<b>GÇ</b>
<b>Sargılama</b>			
Var	3	6	8
Yok	2	4	6
<b>Gevrek Perdeler</b>	1	1	1

#### 4.5.2 ABYYHY 2006' da Yer Alan Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu Yönetmelik kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

##### 4.5.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hâkim olan) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (*kümülatif*) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma

düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1,4$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0,70 olması zorunludur.

#### *4.5.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi*

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğişirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır.

#### *4.5.2.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak, sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

### **4.6 Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi Yöntemleri İle Belirlenmesi**

Performansa bağlı deprem mühendisliğinde beklenen fayda, sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavramdır. Öncelikle mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanması ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bir grup bilim adamı bu yöntemin, yeni yapıların tasarımında da kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlandırmasında iki performans seviyesi esas alınır. Bunlar, kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumudur. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarının, kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yerdeğişmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de, taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğin mevcut olması beklenir.

Deprem mühendisliğinde, performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında, yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Kuvvetli yer hareketine maruz kalan bir yapının deprem performansının değerlendirilmesinde ve deprem isteminin (talep) belirlenmesinde en etkili yol, doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Ancak, bu yöntemin güvenilir olabilmesi için bazı parametrelerin çok açık olarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, bu yöntemde taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesi ve deprem hesabında kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi gibi sorunları vardır. Bu nedenlerden dolayı, daha basit ve güvenilir analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur.

Artımsal statik itme (pushover) analizi olarak bilinen doğrusal elastik olmayan statik yöntemin amacı, yapının dayanım ve deformasyon (şekildeğiştirme) kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem istemleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir. Genel olarak birinci mod etkilerinin hâkim olduğu düzgün yapılarda, bu yöntem uygulanmaktadır.

#### ***4.6.1 Performans Hedefi***

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans seviyeleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

#### ***4.6.2 Performans Seviyeleri***

Performans seviyeleri, verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir.

Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinezonu olarak belirlenir.

##### ***4.6.2.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri***

Bir yapının yapısal performans seviyesi, dört ayrı yapısal performans seviyesinden ve iki yapısal performans aralığından oluşmaktadır.

ATC 40 ve FEMA 356' da, taşıyıcı elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları Tablo 4.7' de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri

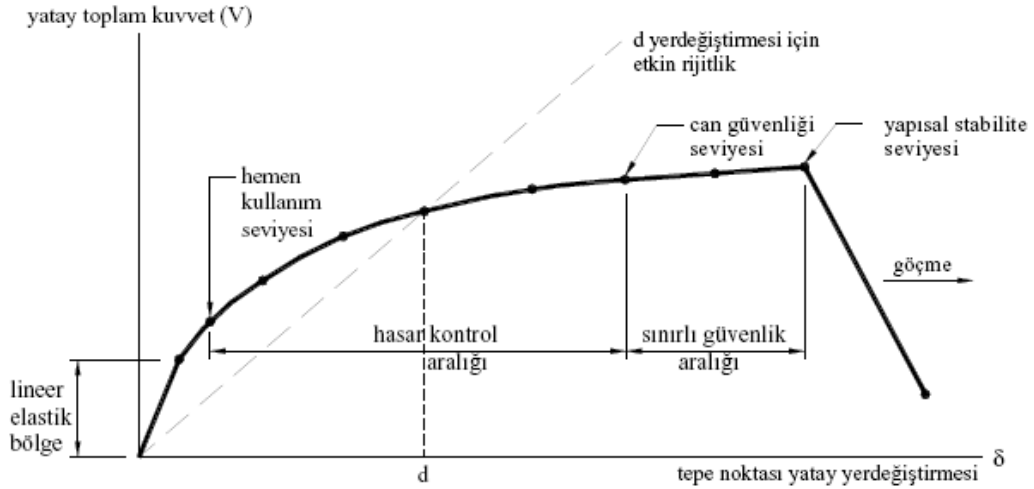
<b>Performans Seviyesi</b>	<b>Performans Aralığı</b>	<b>Kod</b>
Hemen Kullanım		S-1
	Hasar Kontrol	S-2
Can Güvenliği		S-3
	Sınırlı Güvenlik	S-4
Göçmenin Önlenmesi		S-5

Tabloda kodları ile belirtilen taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

- 1) **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1):** Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır.
- 2) **Hasar Kontrol Performans Aralığı (S-2):** Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.
- 3) **Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3):** Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.
- 4) **Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (S-4):** Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.
- 5) **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S-5):** Yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır.



Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yerdeğiştirme ( $V-\delta$ ) şekli üzerinde gösterilmiştir Şekil (4.2).



Şekil 4.2 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

#### 4.6.2.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri

ATC 40 ve FEMA 356' da, taşıyıcı olmayan elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri Tablo 4.8' de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri

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

Tabloda kodları ile belirtilen taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

- 1) **Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A):** Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez.
- 2) **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B):** Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanın onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.
- 3) **Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C):** Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım ihtiyacı doğar.
- 4) **Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D):** Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasar oluşmaz.
- 5) **Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E):** Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir.

#### **4.6.3 Bina Performans Seviyeleri**

Binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tablo 4.9' da bu performans seviyelerinin olası kombinezonları yer almaktadır. Tabloda KÖ ile belirtilen kombinezonlar, kullanılması önerilmeyen performans seviyelerini göstermektedir.

Tablo 4.9 Bina yapısal performans seviyeleri

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

Tabloda verilen performans kombinasyonlarının başlıcaları aşağıda sıralanmıştır. Bir binaya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çok kere bu performans birleşimlerinden biri esas alınmaktadır.

**1-A: Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (S1+NA):** Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina, kullanıma devam edebilecek durumdadır.

**1-B: Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S1+NB):** Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı, orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

**3-C: Can Güvenliği Performans Seviyesi (S3+NC):** Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

**5-E: Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S5+NE):** Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir.

#### 4.6.4 Deprem Hareketi

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

ATC 40 projesinde üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, üç ayrı sismik risk seviyesi göz önüne alınmaktadır. Benzer tanımlar FEMA 356 dökümanında da yapılmıştır. Aşağıda ATC 40' da tanımlanan deprem hareketleri verilerek FEMA 356 depremleri ile karşılaştırılmıştır.

- 1) **Servis (kullanım) depremi (SE):** 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.
- 2) **Tasarım depremi (DE):** 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. 1998 Türk Deprem yönetmeliğinde esas alınan bu deprem FEMA 356' da Temel Güvenlik Depremi-1 (BSE-1) olarak isimlendirilir.
- 3) **En büyük deprem (ME):** Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde, meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı %5, dönüş periyodu yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin 1,25-1,50 katı dolaylarındadır. Ayrıca FEMA 356' da, Temel Güvenlik Depremi-2 (BSE-2) olarak isimlendirilen ve 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir deprem daha tanımlanmıştır. Bu depremin ATC 40' daki en büyük depreme karşı geldiği, ancak etkisinin daha büyük olduğu (yaklaşık olarak tasarım depreminin 1,50 katı) söylenebilir.

#### **4.6.5 Yapısal Kapasite**

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi, istem ve kapasitedir. İstem (talep), yapıya etkileyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

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

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirme arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesi sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır.

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik kuvvetler altında yapılan hesap ile belirlenir. Diğer bir deyişle, yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Bu varsayım, özel periyodu  $T=1,00$  saniyeden daha küçük olan yapılar için geçerli olabilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1,00 saniyeyi aşan yapılarda, daha yüksek modların etkilerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

## **BÖLÜM BEŞ**

### **DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME ANALİZİ**

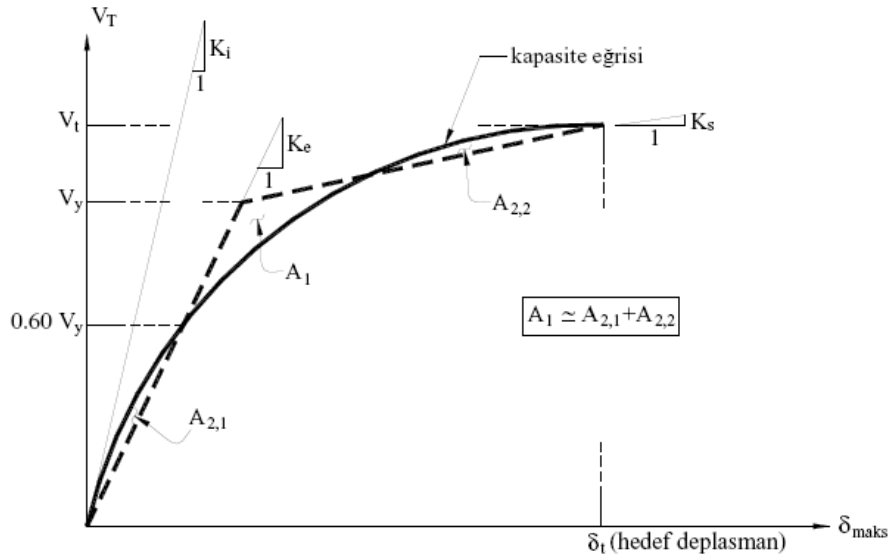
### **YÖNTEMLERİ**

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ile kapasite eğrisi belirlenen yapı sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan yöntemler Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' dir. Her iki yöntemde de, yapı sisteminin davranışında birinci mod etkileri esas alınmaktadır.

Bölüm 5.1' de, FEMA 356 ve 440' da açıklanmış olan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Bölüm 5.2' de, ATC 40' da açıklanmış olan Kapasite Spektrumu Yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

#### **5.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi**

FEMA 356 ve 440' da açıklanmış olan Deplasman Katsayısı Yöntemi, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, yerdeğiştirme sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu yöntemde önce  $V_T$  taban kesme kuvveti ile  $\delta_{maks}$  tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği ( $K_s$ ) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve  $K_e$  eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi

Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, yapının efektif periyodu ( $T_e$ ), Denklem (5.1) ile hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.1)$$

$T_i$ : Hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyot

$T_e$ : Yapının etkin doğal periyodu

$K_i$ : Yapının elastik yanal rijitliği

$K_e$ : Yapının elastik efektif rijitliği

Yapı sisteminin etkin periyot değeri ( $T_e$ ) belirlendikten sonra, yapının performans seviyesinin kontrolünün yapılacağı hedef deplasman ( $\delta_t$ ) aşağıdaki hesaplanmaktadır (FEMA 440).

$$\delta_r = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)' deki katsayılar aşağıda açıklanmaktadır.

$C_0$ : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısıdır.  $C_0$  katsayısı farklı şekilde hesaplanabilmektedir.

- Deplasman kontrolünün yapıldığı noktaya ait birinci modal katılım çarpanı olarak alınabilir.
- Deplasman kontrolünün yapıldığı noktada, hedef deplasmanına ulaşmış yapının deforme olmuş şekline ait şekil vektörü kullanılarak hesaplanan modal katılım çarpanı olarak alınabilir.
- Yapının taşıyıcı sistem özelliğine, kullanılan yatay yük dağılımına ve yapının kat adedine bağlı olarak Tablo 5.1' den belirlenebilir.

Tablo 5.1  $C_0$  modal katılım katsayısı değerleri

Kat Adedi	Kesme Tipi Yapılar		Diğer Yapılar
	Üçgen Yük Dağılımı	Üniform Yük Dağılımı	Herhangi Bir Yük Dağılımı
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
+10	1.3	1.2	1.5

Tablo 5.1' de kesme tipi olarak adlandırılan yapılar, tüm katlarında, yüksekliğin artmasıyla birlikte katlar arası ötelenme miktarlarının azaldığı yapılar olarak tanımlanmaktadır. Tabloda bulunmayan kat adedine ait  $C_0$  katsayısının belirlenmesinde enterpolasyon yapılması önerilmektedir.



$C_1$ : Doğrusal elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum doğrusal olmayan yerdeğiştirmeye dönüştüren katsayıdır ve aşağıdaki gibi belirlenebilmektedir:

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (5.3)$$

Yukarıda denklemde  $T_e$ , yapının etkin periyodunu göstermektedir.  $a$  katsayısı, FEMA 356' da tanımlanan B, C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 130, 90 ve 60 olarak alınmaktadır.  $R$  değeri ise, elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki denklemle elde edilmektedir (FEMA 440).

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (5.4)$$

Denklem (5.4)' de,  $S_a$  yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme,  $V_y$  iki doğru parçası ile idealleştirilmiş kapasite eğrisinin akma dayanımı,  $C_m$  ise efektif kütle çarpanı olarak tanımlanmaktadır.

$C_m$  çarpanı, yapının taşıyıcı sistemi ve kat adedine bağlı olarak Tablo 5.2' den belirlenebilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1,00 saniyeden büyük yapılarda  $C_m=1,00$  olarak alınabilir.

Tablo 5.2  $C_m$  efektif kütle çarpanı değerleri

Kat Sayısı	B.arme Çerçeve	B.arme Perde	B.arme Destek-Payanda	Çelik Çerçeve ve	Eş Merkezli Çaprazlı Çelik Çerçeve	Dış Merkezli Çaprazlı Çelik Çerçeve	Diğer
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 3$	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

Birinci doğal titreşim periyodu bir saniyeden büyük yapılarda  $C_1=1,00$  olarak alınabilir.

$C_2$ : Histerisiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır ve Denklem (5.5) ile belirlenmektedir.

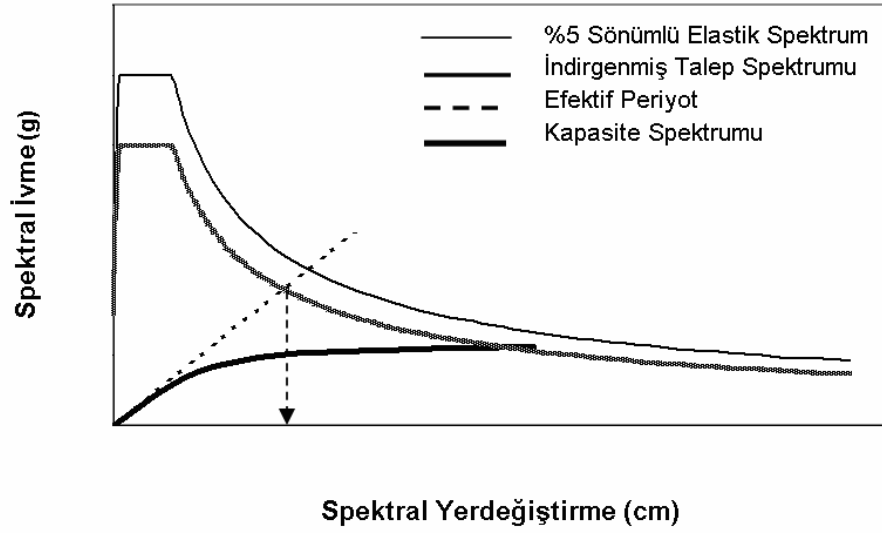
$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T} \right)^2 \quad (5.5)$$

Birinci doğal titreşim periyodu 0,7 saniyeden büyük yapılarda  $C_2=1,00$  olarak alınabilir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklükler kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılmaktadır.

## 5.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi

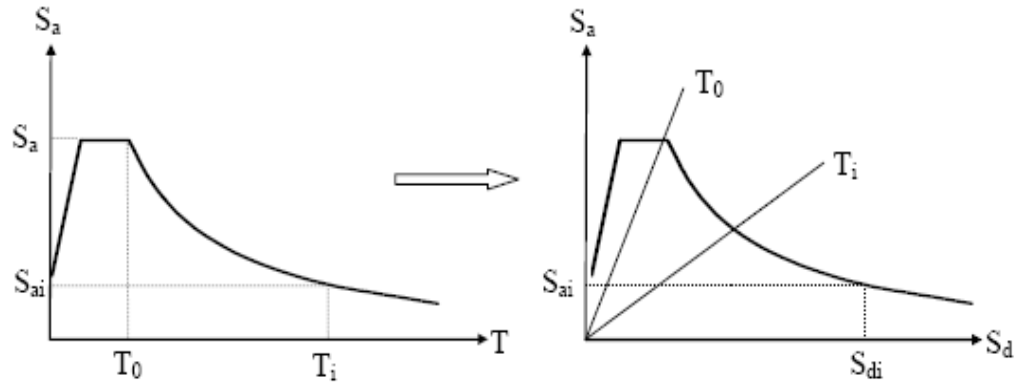
Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler meydana gelir. Bu şekildeğiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir (Şekil 5.2). Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yerdeğiştirme talebi ve performans noktasıdır.



Şekil 5.2 Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde ilk aşama dikkate alınan deprem hareketini temsil etmek üzere, talep spektrumunun tanımlanmasıdır. Talep spektrumunun tanımlanmasında, %5 sönümlü elastik davranış spektrumundan yararlanılmaktadır. %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu, daha sonra kapasite spektrumu ile karşılaştırılabilmek amacıyla, Spektral İvme-Periyot ( $S_a-T$ ) formatından, Denklem (5.6) ile spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına ( $S_a-S_d$ ) dönüştürülmektedir (Şekil 5.3).

$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (5.6)$$



Şekil 5.3 Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi

Bu yöntemde diğer bir aşama ise, yapıya ait kapasite eğrisinin elde edilmesidir. Yapının yatay yük taşıma kapasitesini gösteren kapasite eğrisinin elde edilebilmesi için, yapı sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenmektedir. Her yük değeri için, toplam kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve buna karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile yapının kapasite eğrisi elde edilmektedir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi ile yapının performans noktası belirlenirken, doğrusal olmayan statik artımsal analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılmak üzere spektral formata dönüştürülmektedir. Fakat talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğundan, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu dönüştürme işlemi için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (5.7)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (5.8)$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan  $\alpha_1$  ve  $PF_1$  terimleri ise aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

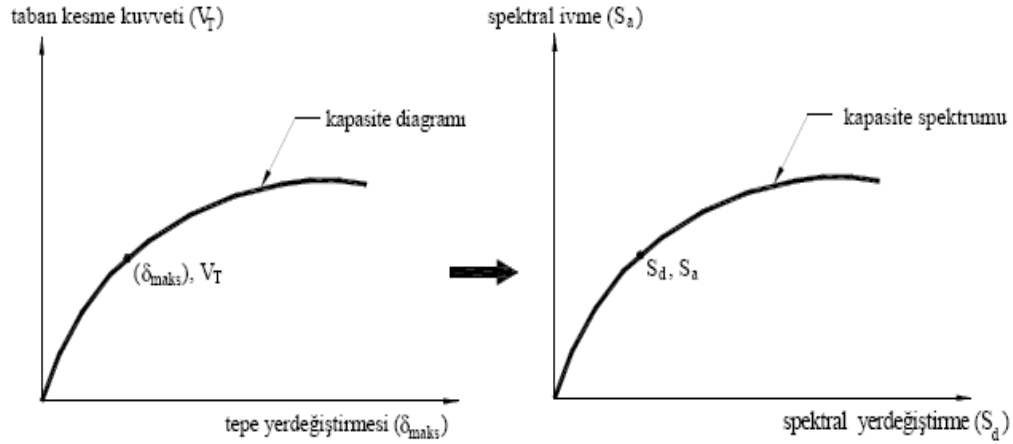
$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (5.9)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i,1} / g}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i,1}^2 / g} \quad (5.10)$$

Denklemlerde kullanılan terimler aşağıda açıklanmaktadır:

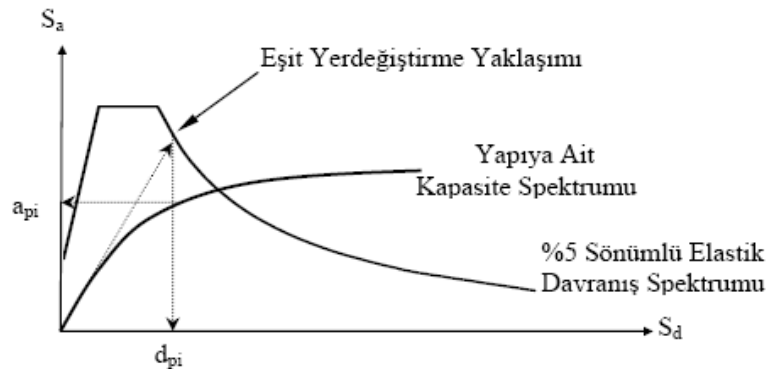
- $S_a$  : Spektral ivme
- $S_d$  : Spektral yerdeğiştirme
- $V_T$  : Toplam taban kesme kuvveti
- $W$  : Yapının toplam ağırlığı
- $\alpha_1$  : Birinci moda ait modal kütle katsayısı
- $\delta_{maks}$  : Yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi
- $PF_1$  : Birinci moda ait modal katılım çarpanı
- $\phi_{tepe,1}$  : Birinci normal moda ait yapının en üst katındaki genlik
- $\phi_{i,1}$  : Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik
- $N$  : Yapının toplam kat adedi
- $w_i$  : (i) nolu katın ağırlığı
- $g$  : Yerçekim ivmesi
- $w_i/g$  : (i) nolu katın kütlesi

Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesinde ilk adım, birinci moda ait modal katılım çarpanı ( $PF_1$ ) ve birinci moda ait modal kütle çarpanının ( $\alpha_1$ ) hesaplanmasıdır. Bu değerler bulunduktan sonra, kapasite eğrisinin üzerindeki her noktaya ait spektral ivme ( $S_a$ ) ve spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) değerleri hesaplanarak yapıya ait kapasite spektrumu oluşturulmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

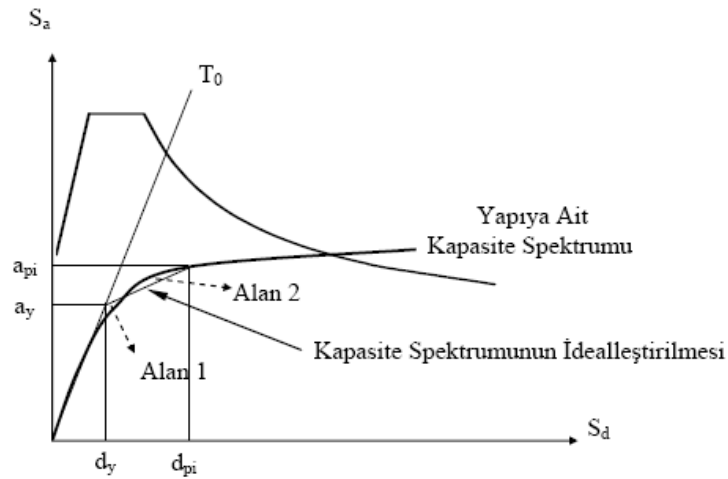
Kapasite spektrumunun elde dilmesinden sonra, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüş olan talep spektrumu ile kapasite spektrumu aynı grafik üzerine çizilebilir. Bu adım gerçekleştirildikten sonra, eşit yerdeğiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini bir performans noktası seçilmektedir. Seçilen performans noktasına ait spektral ivme-spektral yerdeğiştirme koordinat değerleri  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  olarak Şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Tahmini performans noktasının belirlenmesi

Diğer bir adım ise, kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesidir. İdealleştirme işlemi, spektral talebin uygun bir şekilde azaltılması ve efektif sönüm değerinin belirlenebilmesi için gereklidir.

Yapıya ait kapasite spektrumu üzerinde, eşit yerdeğiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini olarak belirlenen performans noktası da dikkate alınarak, kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilebilir. İdealleştirme işlemi yapılırken, kapasite spektrumu eğrisinin altında kalan alan (Alan 2) ile iki doğru parçası ile idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alanın (Alan 1) eşit olmasına dikkat edilmelidir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Kapasite spektrumunun idealleştirilme işlemi

Şekil 5.6' da gösterilen terimler aşağıda açıklanmıştır:

$a_y$  : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral ivme değeri

$d_y$  : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral yerdeğiştirme değeri

$a_{pi}$  : Tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri

$d_{pi}$  : Tahmini performans noktasına ait spektral yerdeğiştirme değeri

Sonraki adımda, Denklem (5.11) ve Denklem (5.12)' den yararlanarak elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik değerleri ( $\mu$ ) hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$\alpha = \frac{\left( \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left( \frac{a_y}{d_y} \right)} \quad (5.11)$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (5.12)$$

Hesaplanan elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik ( $\mu$ ) değerlerinden yararlanılarak yapının efektif sönüm değeri ( $\beta_{eff}$ ) ve efektif periyodu ( $T_{eff}$ ) hesap edilir.

FEMA 440' da efektif viskoz sönüm değerleri, yapıların elastik ötesi davranışlarını temsil eden histeretik model tipine ve elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) değerine bağlı olarak verilmektedir. Yatay yerdeğiştirmelerin artmasıyla birlikte yatay rijitliklerin azaldığı betonarme yapılarda, histeretik model olarak azalan rijitlik modeli kullanılmaktadır. Buna göre, efektif sönüm değeri ( $\beta_{eff}$ ), süneklik oranının ( $\mu$ ) farklı değerleri için aşağıda verilen denklemler ile hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$1.0 < \mu < 4.0 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (5.13a)$$

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (5.13b)$$

$$\mu > 6.5 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = E \left[ \frac{F(\mu - 1) - 1}{F(\mu - 1)^2} \right] \left( \frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (5.13c)$$



Yukarıdaki denklemlerde,  $\beta_0$  başlangıç sönüm oranı %5 olarak tanımlanmaktadır. Denklemlerdeki diğer katsayılar ise, Tablo 5.3' e bağlı olarak belirlenebilir.

Tablo 5.3 Efektif sönümün belirlenmesinde kullanılan katsayılar

Histeretik Model Tipi	$\alpha$ (%)	A	B	C	D	E	F
Azalan Rijitlik	0	5.1	-1.1	12	1.4	20	0.62
	2	5.3	-1.2	11	1.6	20	0.51
	5	5.6	-1.3	10	1.8	20	0.38
	10	5.3	-1.2	9.2	1.9	21	0.37
	20	4.6	-1.0	9.6	1.3	23	0.34

Efektif periyodu ( $T_{eff}$ ) değerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler ise aşağıda verilmektedir (FEMA 440, 2004).

$$1.0 < \mu < 4.0 \quad \text{için} \quad T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (5.14a)$$

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5 \quad \text{için} \quad T_{eff} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (5.14b)$$

$$\mu > 6.5 \quad \text{için} \quad T_{eff} = \left\{ K \left[ \sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0 \quad (5.14c)$$

Efektif periyodun ( $T_{eff}$ ) bulunmasında kullanılan katsayılar Tablo 5.4' de verilmektedir.

Tablo 5.4 Efektif periyodun belirlenmesinde kullanılan katsayılar

Histeretik Model Tipi	$\alpha$ (%)	G	H	I	J	K	L
Azalan Rijitlik	0	0.17	-0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
	2	0.18	-0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
	5	0.18	-0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
	10	0.17	-0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
	20	0.13	-0.027	0.11	0.11	1.00	0.20

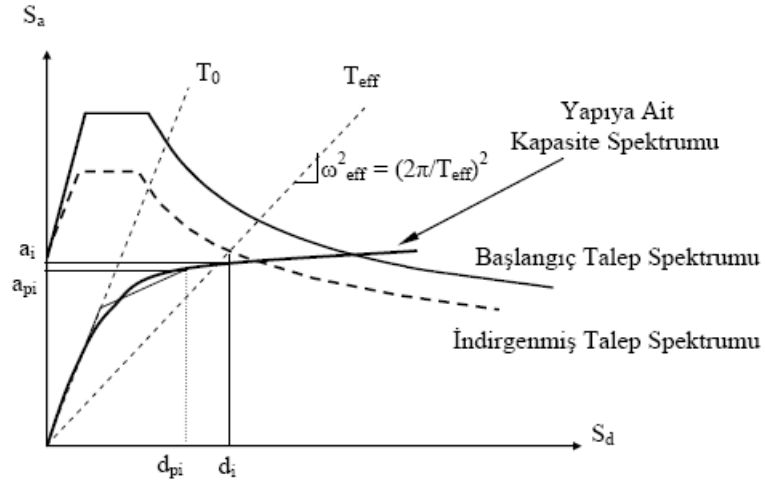
Hesaplanan efektif sönüme ( $\beta_{eff}$ ) bağılı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirgemek için kullanılan sönüm katsayısı  $B(\beta_{eff})$ , Denklem (5.15)' e bağılı olarak belirlenmektedir.

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{eff} (\%)} \quad (5.15)$$

Sönüm katsayısı  $B(\beta_{eff})$  kullanılarak, spektral ivme değerleri Denklem (5.16) ile indirgenmektedir (FEMA 440, 2004).

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{eff})} \quad (5.16)$$

İndirgenmiş spektral ivme değerleri kullanılarak, davranış spektrumu indirgenebilir. İndirgenen davranış spektrumu ile efektif periyodun ( $T_{eff}$ ) kesiştiği noktanın spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ) okunur. ( $d_i$ ), maksimum yerdeğiştirme değeridir. Maksimum spektral ivme değeri ( $a_i$ ) değeri ise, kapasite spektrumu üzerinde ( $d_i$ ) spektral yerdeğiştirme değerine karşılık gelen ( $a_i$ ) değeridir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Performans noktasının belirlenmesi

Belirlenen bu spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ), başlangıçta tahmin edilen spektral yerdeğiştirme değerine kabul edilebilir derecede yakın ise ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$ ) performans noktasının koordinatları ( $d_i, a_i$ ) olarak belirlenir. Aksi taktirde, ( $d_i, a_i$ ) noktası veya tahmini olarak seçilecek başka bir nokta performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrarlanır.

Bulunan bu spektral değerler, Denklem (5.17) ve (5.18) kullanılarak, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi değerine ( $\delta_{maks}$ ) dönüştürülür.

$$V_T = \alpha_1 S_a W \quad (5.17)$$

$$\delta_{maks} = PF_{1\%tepe,1} \phi S_d \quad (5.18)$$

## **BÖLÜM ALTI**

### **ÖRNEK UYGULAMALAR**

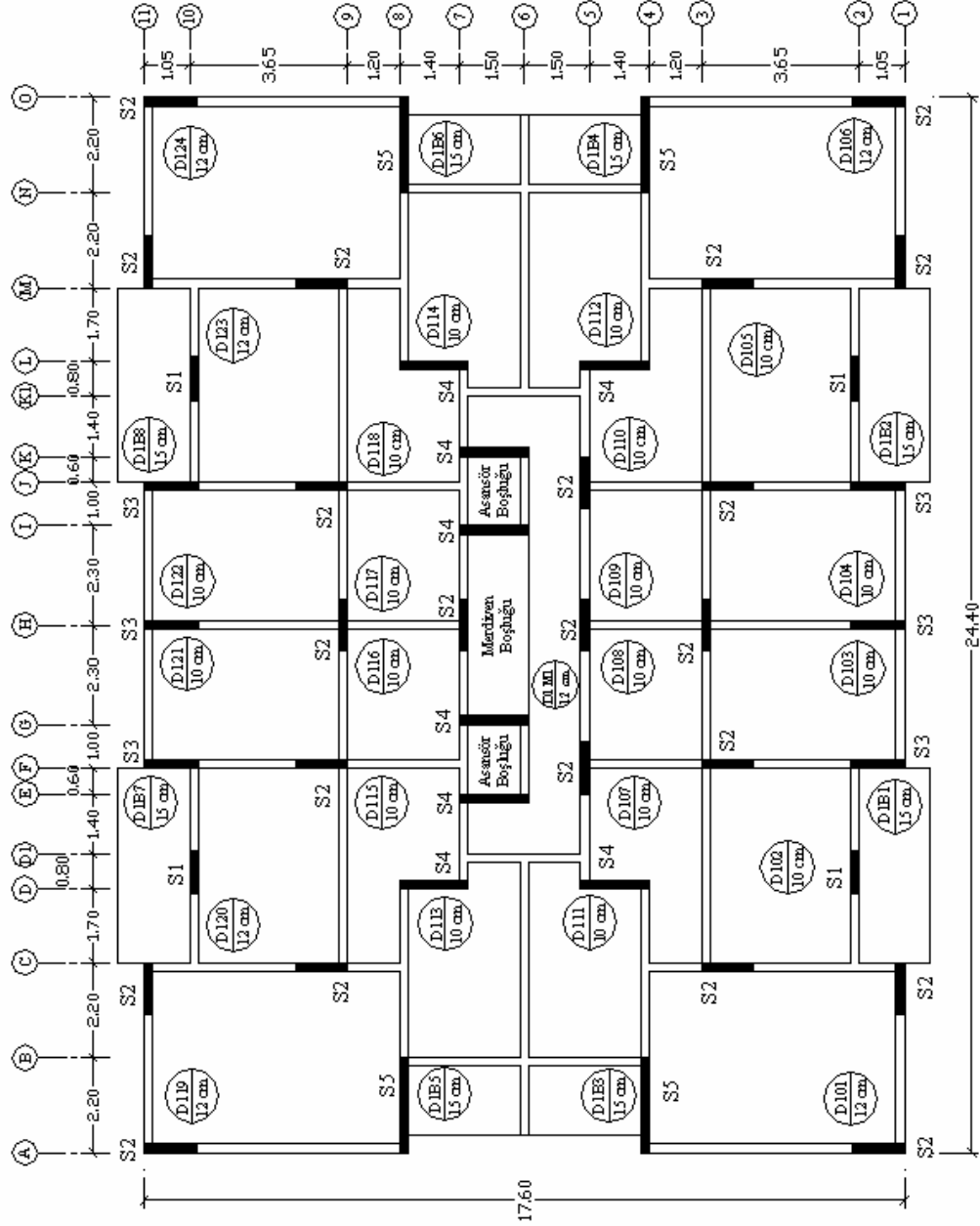
Bu bölümde, yapının performans değerlendirmesini yapmak üzere, projesi 1975 Deprem Yönetmeliğine göre Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı dikkate alınmıştır. Performans seviyelerindeki farklılıkları görmek üzere, mevcut yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak yapının performansı belirlenmiştir. Yanlış zeminde tasarlanmış yapının deprem performansına etkisi irdelenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak, Bölüm Beş' te ayrıntılı olarak verilen FEMA 356' da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40' da yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans seviyesi belirlenmiştir. Yapıya etkileyen deprem kuvveti, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile hesaplanmış ve yapıya uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, grafik ve tablolar halinde verilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

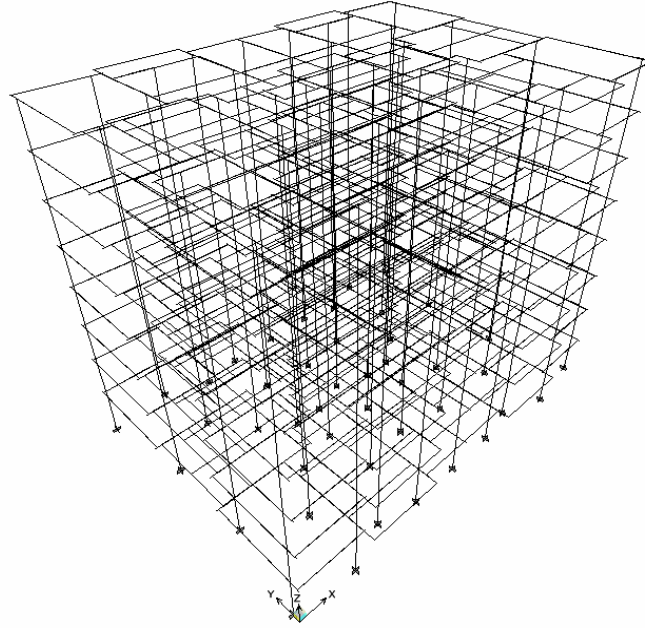
#### **6.1 Seçilen Sekiz Katlı Betonarme Perde Sistemli Yapı**

Çalışmada performans değerlendirmesini yapmak üzere, projesi 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yapılmış sekiz katlı betonarme perde sistemli bir yapı dikkate alınmıştır. Yapının beton sınıfı C18, beton çeliği S420 olarak seçilmiştir. Yapı birinci derecede deprem bölgesinde olup, yapı önem katsayısı  $I=1,0$  ve etkin yer ivmesi  $A_0=0,40$  tır. Kat yükseklikleri tüm katlarda 2,70 m' dir. Binanın tüm katlarında kirişler 20/50 cm' dir. Perdeler S1=20/100, S2=20/120, S3=20/125, S4=20/160 ve S5=20/220 cm boyutlarında olup tüm katlar boyunca aynıdır.

**6.1.1 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Kalıp Planı ve 3D Modeli**



Şekil 6.1 Seçilen yapının kalıp planı



Şekil 6.2 Yapının 3D modeli

### 6.1.2 Seçilen Yapının Özellikleri

Tez çalışması kapsamında incelenen betonarme sekiz katlı perde sistemli yapıya ait özellikler, aşağıda tablo halinde sunulmuştur. Deprem performansını belirlemek için yapı her iki doğrultu için analiz edildiğinden, Z1 zeminde tasarlanmış yapı X doğrultusu için Z1-X, Y doğrultusu için Z1-Y olarak ve Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak tasarlanmış yapı X doğrultusu için Z4-X, Y doğrultusu için Z4-Y olarak simgelenmiştir.

Tablo 6.1 Yapı özellikleri

<b>Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı</b>	
Kat Yüksekliği (m), Tüm Katlarda	2,70
Deprem Bölgesi	1
Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	0,40
Yapı Önem Katsayısı, I	1
Beton Sınıfı	C18
Beton Çeliği Sınıfı	S420

### 6.1.3 Seçilen Yapının Kiriş ve Perde Elemanların Enkesitlerinde Donatı Alanları

Seçilen yapının kiriş elemanların enkesitlerinde donatı alanları EK-1' de ve perde elemanların enkesitlerinde donatı alanları ise EK-2' de verilmiştir.

### 6.1.4 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Deprem Hesabında Dikkate Alınan Değerler

İncelenen yapının deprem hesabında dikkate alınan değerleri, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3' de gösterilmiştir.

Tablo 6.2 X doğrultusu için deprem hesabında dikkate alınan değerler

<b>Katlar</b>	<b>Kat Kütleleri (ton)</b>	<b>Eşdeğer Deprem Yükleri (ton)</b>	<b>Yapının Birinci Doğal Titreşim Periyodu (sn)</b>	<b>Yapının Çatlamış Kesitli Birinci Doğal Titreşim Periyodu (sn)</b>
8	317,98	59,22	0,512	0,689
7	443,74	72,32		
6	443,74	61,99		
5	443,74	51,65		
4	443,74	41,32		
3	443,74	30,99		
2	443,74	20,66		
1	443,74	10,33		

Tablo 6.3 Y doğrultusu için deprem hesabında dikkate alınan değerler

<b>Katlar</b>	<b>Kat Kütleleri (ton)</b>	<b>Eşdeğer Deprem Yükleri (ton)</b>	<b>Yapının Birinci Doğal Titreşim Periyodu (sn)</b>	<b>Yapının Çatlamış Kesitli Birinci Doğal Titreşim Periyodu (sn)</b>
8	317,98	59,22	0,565	0,744
7	443,74	72,32		
6	443,74	61,99		
5	443,74	51,65		
4	443,74	41,32		
3	443,74	30,99		
2	443,74	20,66		
1	443,74	10,33		

## 6.2 İncelenen Yapıların Modellenmesinde ve Hesaplarında Yapılan Kabuller

İncelenen örnek yapının elastik ötesi itme analizi ile doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi, taşıyıcı elemanların modellenmesi esnasında yapılan kabuller aşağıdaki gibidir:

- 1) Plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının doğrusal elastik olduğu kabul edilmiştir.
- 2) Kullanılan bilgisayar programında doğrusal olmayan davranışın sadece çubuk elemanlarda tanımlanabilmesi nedeniyle, perdeler kendileriyle aynı enkesit özelliklerine sahip eşdeğer kolon olarak modellenmiş ve perdelerin eğilme etkisi altındaki davranışlarının tam olarak elde edilebilmesi için rijit kiriş kullanılmıştır.
- 3) Kirişlerde plastikleşmenin tek eksenli eğilme momenti ile eşdeğer kolon olarak modellenmiş perdelerde ise iki eksenli eğilme momenti ile meydana geldiği kabul edilmiştir.

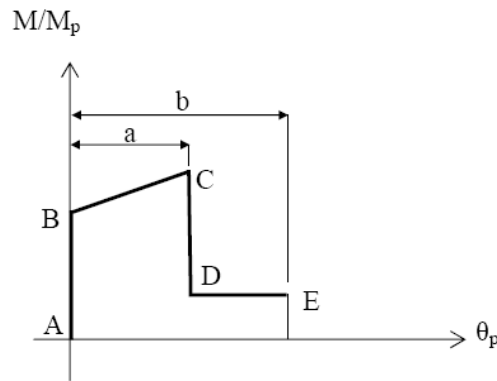


- 4) Elemanların çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356' da önerilen değerler kullanılmıştır.

Tablo 6.4 Kiriş, kolon ve perde elemanlara ait çatlamış kesit rijitlikleri

Eleman Tipi	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Eksenel Rijitliği
Kirişler	$0,5 E_c I_g$	$0,4 E_c A_w$	-----
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $\geq 0,5 A_g f_{ck}$ olan kolonlar	$0,7 E_c I_g$	$0,4 E_c A_w$	$E_c A_g$
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $< 0,3 A_g f_{ck}$ olan veya eksenel kuvveti çekme olan kolonlar	$0,5 E_c I_g$	$0,4 E_c A_w$	$E_c A_g$
Perdeler – Çatlamamış	$0,8 E_c I_g$	$0,4 E_c A_w$	$E_c A_g$
Perdeler – Çatlamış	$0,5 E_c I_g$	$0,4 E_c A_w$	$E_c A_g$

- 5) Kiriş, kolon ve perde elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen rijit plastik olarak kabul edilmiştir. Bu bağıntıya ait plastik moment ( $M_p$ ) ve maksimum plastik dönme değerleri ( $\theta_p$ ) için ATC 40' daki değerlerden yararlanılmıştır. Kiriş, kolon ve perde elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntıları Şekil 6.3' de ve bu bağıntılara ait değerler Tablo 6.5' de verilmiştir.



Şekil 6.3 Kiriş, kolon ve perde elemanların moment-plastik dönme bağıntıları

Tablo 6.5 Kiriş, kolon ve perde elemanların moment-plastik dönme bağıntılarına ait sayısal değerler

		Kirişler	Kolonlar Perdeler
Nokta	M/M <sub>p</sub>	θ/θ <sub>p</sub>	θ/θ <sub>p</sub>
E-	-0,2	-0,035	-0,025
D-	-0,2	-0,02	-0,015
C-	-1,1	-0,02	-0,015
B-	-1	0	0
A	0	0	0
B	1	0	0
C	1,1	0,02	0,015
D	0,2	0,02	0,015
E	0,2	0,035	0,025

Tablo 6.6 Kiriş elemanlar için sınır değerler

			Modelleme Parametreleri	
			Plastik Dönme Değeri (radyan)	
			a	b
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Enine Donatı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$		
≤ 0,0	s ≤ d/3 V <sub>s</sub> ≥ 0,75V	≤ 3	0,025	0,05
≤ 0,0		≥ 6	0,020	0,04
≥ 0,5		≤ 3	0,020	0,03
≥ 0,5		≥ 6	0,015	0,02

Tablo 6.7 Kolon elemanlar için sınır değerler

			Modelleme Parametreleri	
			Plastik Dönme Değeri (radyan)	
			a	b
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Enine Donatı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$		
≤ 0,1	s ≤ d/3 V <sub>s</sub> ≥ 0,75V	≤ 3	0,020	0,030
≤ 0,1		≥ 6	0,015	0,025
≥ 0,4		≤ 3	0,015	0,025
≥ 0,4		≥ 6	0,010	0,015

Tablo 6.8 Perde elemanlar için sınır değerler

			Modelleme Parametreleri	
			Plastik Dönme Değeri (radyan)	
			a	b
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_{ck}}$	Perde Uç Bölge Donatısı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_{ck}}}$		
$\leq 0,10$	$s \leq d/3$ $V_s \geq 0,75V$	$\leq 3$	0,015	0,020
$\leq 0,10$		$\geq 6$	0,010	0,015
$\geq 0,25$		$\leq 3$	0,009	0,012
$\geq 0,25$		$\geq 6$	0,005	0,010

### 6.3 Seçilen Yapı İçin Performans Hedefinin Tanımlanması

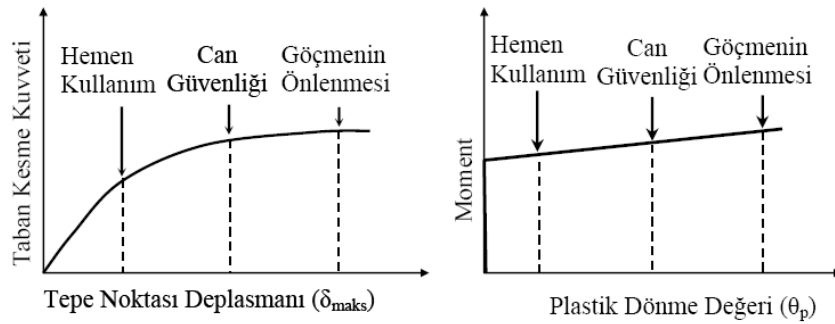
Tez çalışması kapsamında seçilen örnek yapı için, 50 yıllık süreç içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan tasarım depremi etkisi altında can güvenliği (CG) performans seviyesi hedeflenmiştir (Tablo 6.9).

Tablo 6.9 Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri

<b>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</b>	<b>Deprem Aşılma Olasılığı</b>		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	<b>HK</b>	<b>CG</b>
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kıışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	<b>HK</b>	-	<b>CG</b>
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	<b>CG</b>	<b>GÖ</b>
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	<b>HK</b>	<b>GÖ</b>
<b>Diğer Binalar:</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	<b>CG</b>	-

## 6.4 İncelenen Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Yapıların performanslarının değerlendirilmesi, performans noktasına kadar statik olarak itilmiş olan yapının göreceli kat ötelemeleri, maksimum plastik dönmeleri gibi değerlerin, ilgili performans seviyelerine ait sınır değerler ile karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır (İrtem ve Türker, 2002). Yapı sistemlerinin performans seviyelerinin belirlenmesinde kabul kriterleri Genel Kabul Kriterleri ve Elemanlara Ait Kabul Kriterleri olarak iki başlık altında toplanmaktadır.



Şekil 6.4 Performans seviyesinin belirlenmesi

### 6.4.1 Genel Kabul Kriterleri

Genel kabul kriterleri, yapının düşey ve yatay yük taşıma kapasitelerini ve yatay yerdeğiştirmeleri ile ilgili sınır değerleri tanımlamaktadır.

#### 6.4.1.1 Düşey Yükler

Yapının düşey yük taşıma kapasitesi, bütün performans seviyeleri için eksiksiz olarak sağlanmalıdır. Elemanların düşey yük taşıma kapasitelerini yitirmesi durumunda, yapı bu yükleri diğer elemanlara dağıtabilmelidir.

#### 6.4.1.2 Yatay Yükler

Deprem yükleri altında, önemli sayıda yapı elemanının dayanımlarını kaybetmesi durumunda, yapı sisteminin yatay yük taşıma kapasitesi etkilenebilir. Yatay

yerdeřtiřirmelere baęlı olarak dūřey yūklardan dolayı oluřan ikinci mertebe etkilerini de içeren yapının yatay yūk tařıma kapasitesinin, maksimum kapasitenin %20' sinden fazla dayanım kaybetmemesi gereklidir. Daha būyūk dayanım kayıplarının oluřması durumunda, yapının gūlendirilmesi yoluna gidilmelidir.

#### 6.4.1.3 Maksimum Gōreli Kat Ötelemeleri

Tablo 6.10' da değişik performans seviyeleri için gōreli kat Őtelemelerine ait sınır durumlar tanımlanmaktadır (ATC 40). Tabloda yer alan maksimum gōreli kat Őtelemeleri, performans noktasına statik olarak itilmiş yapının katları arasındaki rōlatif yerdeğiştirme değerleridir. Gōmenin Őnlenmesi performans seviyesinin sağlanması için herhangi bir kattaki maksimum gōreli kat Őtelemesi  $0,33 \frac{V_i}{P_i}$  değerini aşmamalıdır. Bu ifadede  $V_i$  dikkate alınan kattaki toplam kesme kuvveti,  $P_i$  ise aynı kattaki toplam dūřey yūk değeridir.

Tablo 6.10 Yapı performans seviyeleri ve aralıklarına ait maksimum gōreli kat Ötelemesi değerleri

	<b>Performans Seviyeleri ve Aralıkları</b>			
<b>Maksimum Gōreli Kat Ötelemesi</b>	<b>Hemen Kullanım</b>	<b>Hasar Kontrol</b>	<b>Can Gūvenlięi</b>	<b>Gōmenin Önlenmesi</b>
	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$

#### 6.4.2 Elemanlara Ait Kabul Kriterleri

Değişik performans seviyeleri için taşıyıcı sistem elemanlarına ait limit plastik dōnme değerleri Tablo 6.11, Tablo 6.12 ve Tablo 6.13' de verilmiştir (FEMA 356, 2000).

Tablo 6.11 Eğilme etkisindeki kirişler için sınır değerler (FEMA 356)

Durumlar			Modelleme Parametreleri		Kabul Kriterleri				
			Plastik Dönme Açıları, Radyan		Plastik Dönme Açısı, Radyan				
					Performans Seviyesi				
					IO	Eleman Tipi			
Birincil		İkincil							
a	b			LS	CP	LS	CP		
Eğilme Etkisindeki Kirişler									
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$							
$\leq 0,0$	Kuşatılmış	$\leq 3$	0,025	0,05	0,01	0,02	0,025	0,02	0,05
$\leq 0,0$	Kuşatılmış	$\geq 6$	0,02	0,04	0,005	0,01	0,02	0,02	0,04
$\geq 0,5$	Kuşatılmış	$\leq 3$	0,02	0,03	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
$\geq 0,5$	Kuşatılmış	$\geq 6$	0,015	0,02	0,005	0,005	0,015	0,015	0,02

Tablo 6.12 Eğilme etkisindeki kolonlar için sınır değerler (FEMA 356)

Durumlar			Modelleme Parametreleri		Kabul Kriterleri				
			Plastik Dönme Açıları, Radyan		Plastik Dönme Açısı, Radyan				
					Performans Seviyesi				
					IO	Eleman Tipi			
Birincil		İkincil							
a	b			LS	CP	LS	CP		
Eğilme Etkisindeki Kolonlar									
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$							
$\leq 0,1$	Kuşatılmış	$\leq 3$	0,02	0,03	0,005	0,015	0,02	0,02	0,03
$\leq 0,1$	Kuşatılmış	$\geq 6$	0,016	0,024	0,005	0,012	0,016	0,02	0,024
$\geq 0,4$	Kuşatılmış	$\leq 3$	0,015	0,025	0,003	0,012	0,015	0,02	0,025
$\geq 0,4$	Kuşatılmış	$\geq 6$	0,012	0,02	0,003	0,01	0,012	0,015	0,02

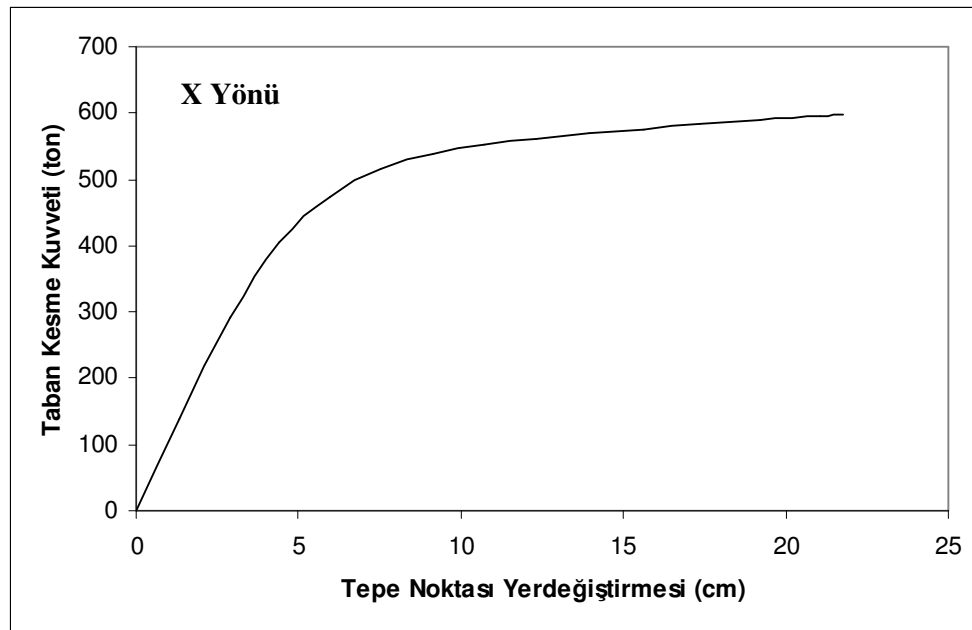
Tablo 6.13 Eğilme etkisindeki perdeler için sınır değerler (FEMA 356)

Durumlar		Kabul Kriterleri					
		Plastik Dönme Açısı, Radyan					
		Performans Seviyesi					
		IO	Eleman Tipi				
Birincil			İkincil				
LS	CP		LS	CP			
Eğilme Etkisindeki Perdeler							
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c'}$	Perde Uç Donatısı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$					
$\leq 0,0$	Yönetmeliğe uygun	$\leq 3$	0,01	0,02	0,025	0,02	0,05
$\leq 0,0$		$\geq 6$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,04
$\geq 0,5$		$\leq 3$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
$\geq 0,5$		$\geq 6$	0,005	0,005	0,015	0,015	0,02
$\leq 0,0$		$\leq 3$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
$\leq 0,0$		$\geq 6$	0,015	0,005	0,01	0,01	0,015
$\geq 0,5$		$\leq 3$	0,05	0,01	0,01	0,01	0,015
$\geq 0,5$		$\geq 6$	0,0015	0,005	0,005	0,005	0,01

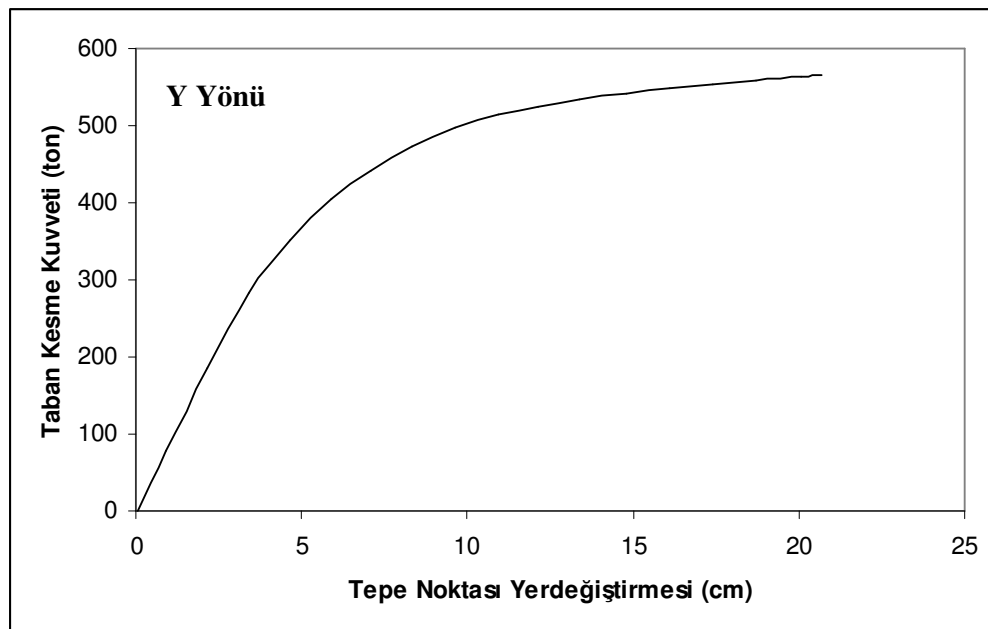
### 6.5 İncelenen Yapının Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

Yapının deprem yüklerini temsil eden yatay yükler olarak eşdeğer deprem yükleri (Tablo 6.2, 6.3) kullanılmıştır. Yapının X ve Y doğrultusu için yapılan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrileri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6' da gösterilmiştir. Yapının X doğrultusu için göçme anındaki taban kesme kuvveti  $V_{göçme,x} = 598,061$  ton, tepe noktası yerdeğiştirmesi  $\delta_{göçme,x} = 21,76$  cm'dir. Yapının Y doğrultusu için göçme anındaki taban kesme kuvveti  $V_{göçme,y} = 566,430$  ton, tepe noktası yerdeğiştirmesi  $\delta_{göçme,y} = 20,672$  cm'dir.

Yapılara ait kapasite eğrilerinin elde edilmesinde ETABS programından yararlanılmıştır.



şekil 6.5 Yapının X doğrultusu için elde edilen kapasite eğrisi



şekil 6.6 Yapının Y doğrultusu için elde edilen kapasite eğrisi



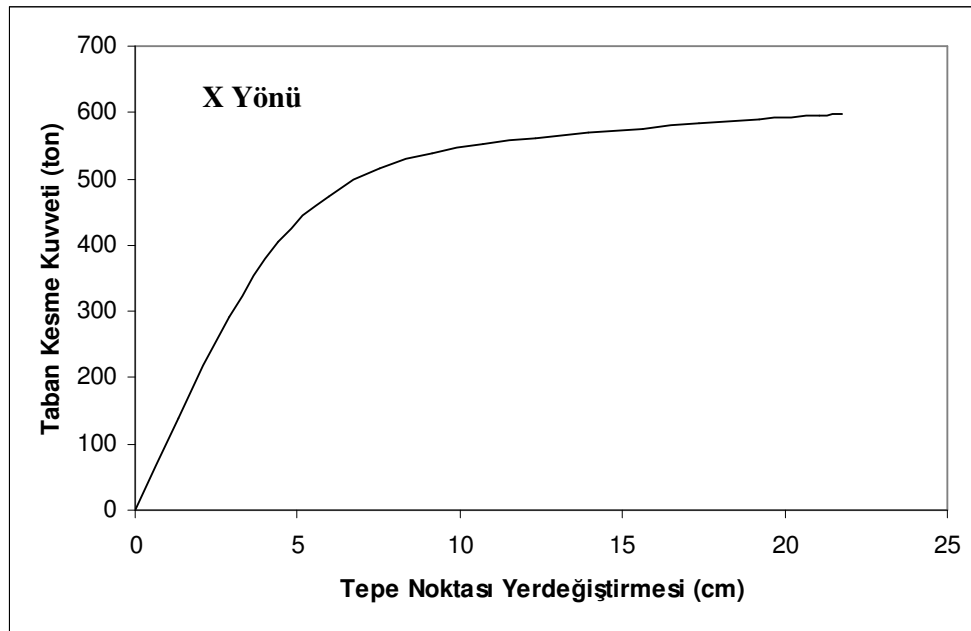
## 6.6 İncelenen Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi

### 6.6.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi İle Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi

Deplasman Katsayıları Yöntemi, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, yerdeğiştirme sayısal bir şekilde belirlenmektedir.

Çalışma kapsamında, örnek olması açısından Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için Deplasman Katsayıları Yöntemi ile performans noktasının belirlenmesine ait hesap adımları verilmiştir.

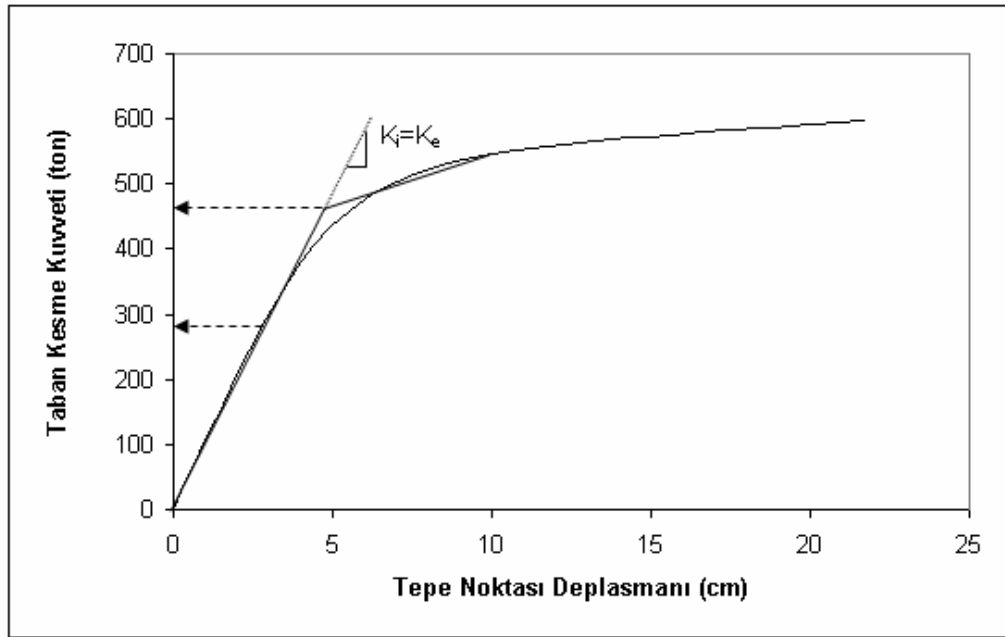
Bu yöntemde önce  $V_T$  taban kesme kuvveti ile  $\delta_{maks}$  tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Yapının X doğrultusu için elde edilen kapasite eğrisi

Kapasite eğrisinin elde edilmesinden sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği ( $K_s$ ) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve  $K_e$  eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması koşulları esas alınır.

Yapının X doğrultusu için idealleştirilmiş kapasite eğrisi, Şekil 6.8' de verilmiştir. Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, yapının efektif periyodu Denklem (5.1) kullanılarak  $T_e=T_i=0,689$  saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.8 Yapının X doğrultusu için idealleştirilmiş kapasite eğrisi

Yapının performans seviyesinin kontrolünün yapılacağı hedef deplasmanı ( $\delta_t$ ), Denklem 6.1' de verilmiştir.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (6.1)$$

Denklem 6.1' in kullanılmasıyla betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının yerdeğiştirme talebi  $\delta_T = 8,446$  cm olarak hesap edilmiştir. Yapının dayanım talebinin bulunması için, yapının yerdeğiştirme talebine kadar statik olarak itilmesi gereklidir. Yapıya uygulanan elastik ötesi statik artımsal itme analizi sonucu, yapının dayanım talebi  $V_T = 529,94$  ton olarak bulunmuştur.

Tez çalışması kapsamında, Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak analizi yapılmış örnek yapıların Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçları Tablo 6.14' de verilmiştir.

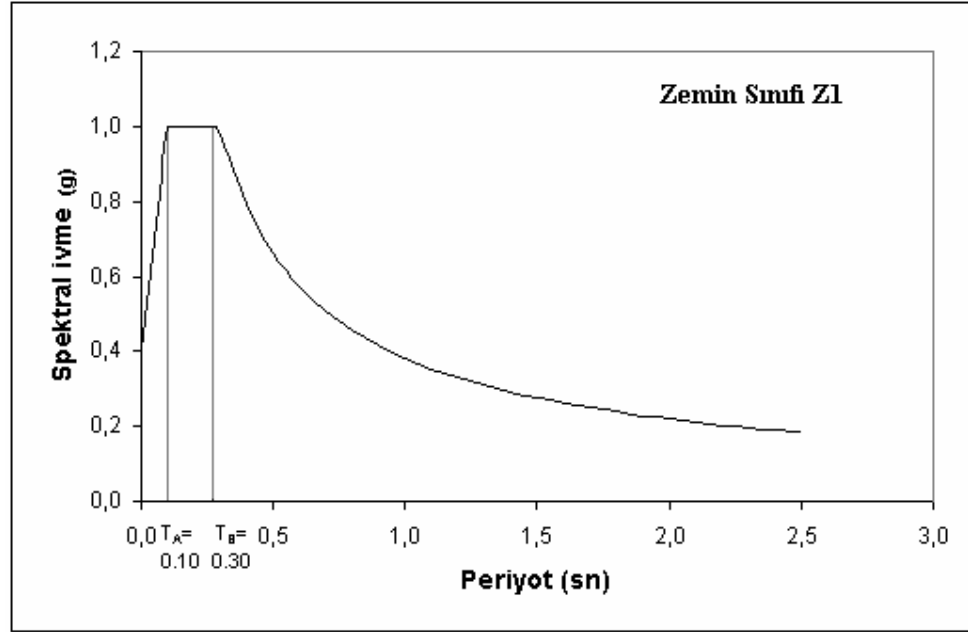
Tablo 6.14 Deplasman katsayıları yöntemi sonuçları

Yapı Tipi	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	S <sub>a</sub> (g)	T <sub>e</sub> (sn)	$\bar{\delta}_{maks}$ (cm)	V <sub>T</sub> (ton)
Z1-X	1,3403	1,030	1,009	0,514	0,689	8,446	529,94
Z1-Y	1,3595	1,030	1,011	0,484	0,744	9,425	494,08
Z4-X	1,3403	1,107	1,055	1,000	0,689	18,465	586,92
Z4-Y	1,3595	1,031	1,069	1,000	0,744	20,602	566,35

### 6.6.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Yapının Performans Noktasının Belirlenmesi

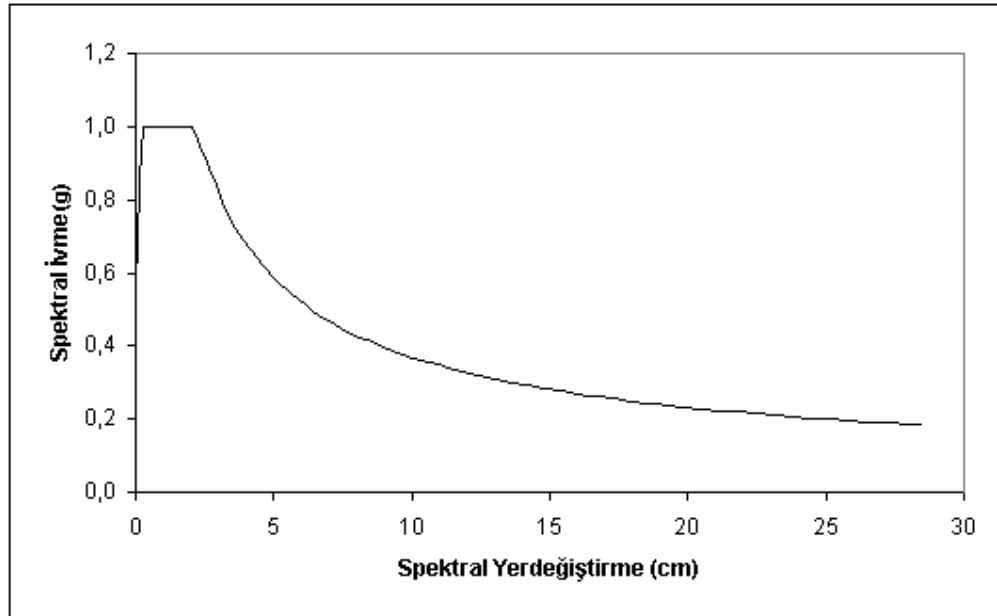
Yapılara ait performans noktaları, Bölüm 5.2' de ayrıntılı olarak açıklanan Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Örnek olmak üzere, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının belirlenmesine ait hesap adımları verilmiştir.

İlk aşama olarak, dikkate alınan deprem hareketini temsil etmek üzere talep spektrumunun tanımlanmasıdır. Tez kapsamında birinci derecede deprem bölgesi ve Z1 zemin sınıfı için ABYYHY 1998' de yer alan %5 sönümlü elastik talep spektrumu kullanılmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 %5 sönümlü elastik talep spektrumu

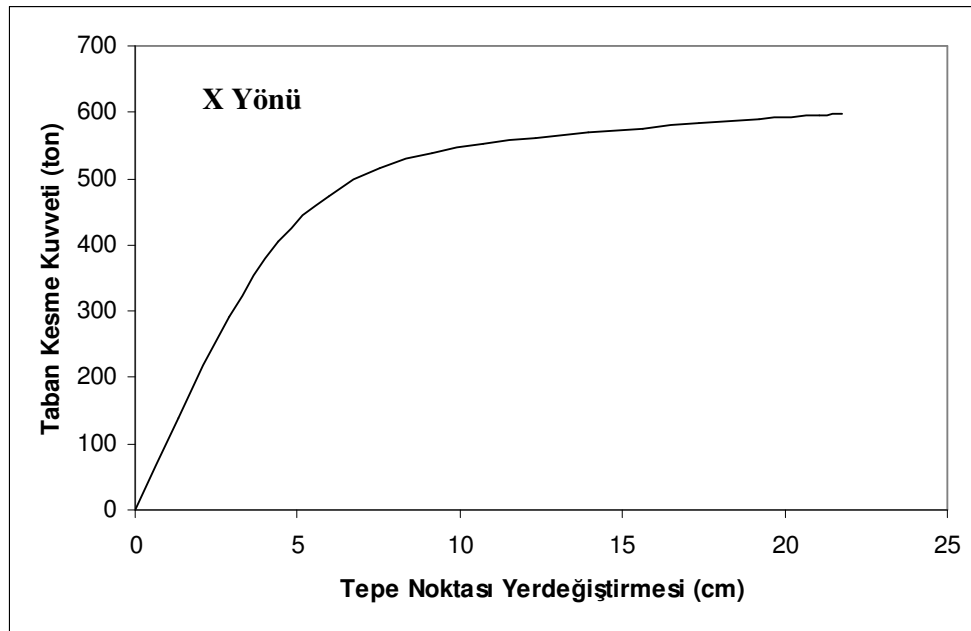
Spektral İvme-Periyot ( $S_a-T$ ) formatında verilen %5 sönümlü elastik talep spektrumu, daha sonra yapıya ait kapasite spektrumu ile karşılaştırılmak üzere Denklem 5.6 kullanılarak Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme formatına (ADRS) dönüştürülür (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüş talep spektrumu

Her yük değeri için, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve buna karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile yapının kapasite eğrisi oluşturulur (Şekil 6.11).

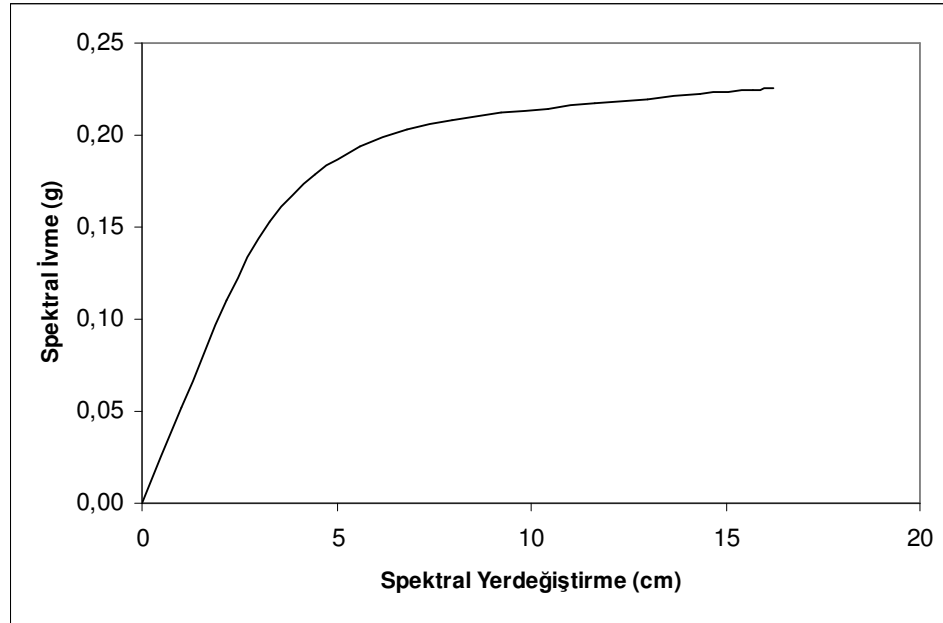
Yapının kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılmak üzere spektral formata dönüştürülür. Tek serbestlik dereceli sisteme ait talep spektrumu ile karşılaştırılmak üzere çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisi, Denklem (5.7) ve (5.8)' ün yardımıyla eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülür.



Şekil 6.11 Z1 zeminde tasarlanmış yapının X doğrultusuna ait kapasite eğrisi

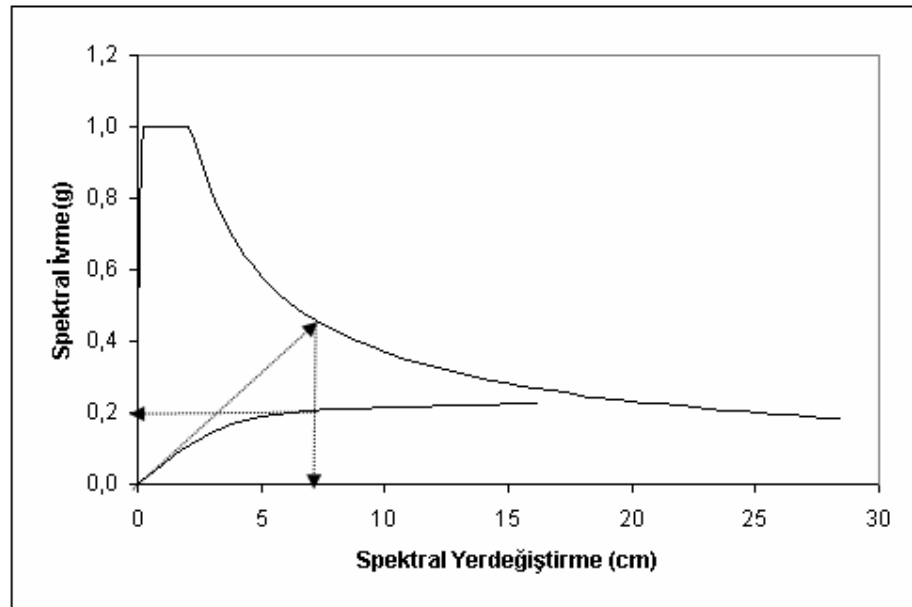
Z1 zeminde tasarlanmış yapının X doğrultusu için Denklem (5.7) ve (5.8)' de yer alan birinci moduna ait modal katılım çarpanı  $PF_1$  ve modal kütle çarpanı  $\alpha_1$ , Denklem (5.9) ve (5.10) ile hesaplanmıştır ve  $PF_1 = 1,3403$  ve  $\alpha_1 = 0,7739$  olarak bulunmuştur.

Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için kapasite spektrumu Şekil 6.12' de gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Z1 zeminde tasarlanmış yapının X doğrultusuna ait kapasite spektrumu

Kapasite spektrumunun elde edilmesinden sonra, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüş olan talep spektrumu ile kapasite spektrumu aynı grafik üzerine çizilir ve eşit yerdeğiştirme yaklaşımından faydalanılarak tahmini bir nokta performans noktası olarak seçilir (Şekil 6.13).

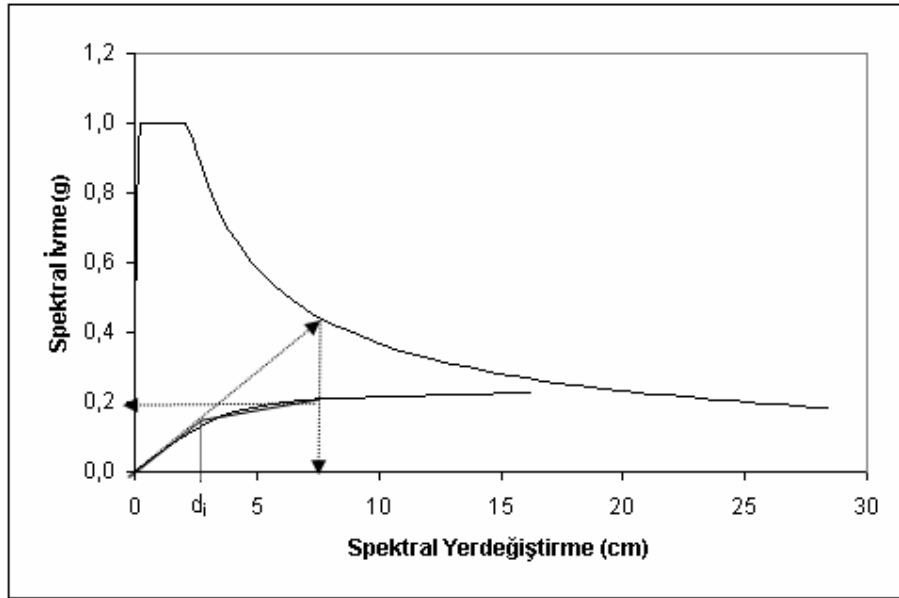


Şekil 6.13 Tahmini performans spektrumunun belirlenmesi

Buna göre tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri  $a_{pi} = 0,210g$  ve spektral yerdeğiştirme değeri  $d_{pi} = 7,1$  cm olarak belirlenmiştir.

Bir sonraki aşama, kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesidir. İdealleştirme işlemi, spektral talebin uygun bir şekilde azaltılması ve efektif sönüm değerinin belirlenebilmesi için gereklidir.

Yapıya ait kapasite spektrumu üzerinde, eşit yerdeğiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini olarak belirlenen performans noktası da dikkate alınarak, kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

Kapasite eğrisinin idealleştirme işlemi tamamlandıktan sonra, Denklem (5.11) ve (5.12)' den yararlanarak elastik sonrası rijitlik ve süneklik değerleri  $\alpha = 0,129$  ve  $\mu = 2,290$  olarak hesaplanmıştır.

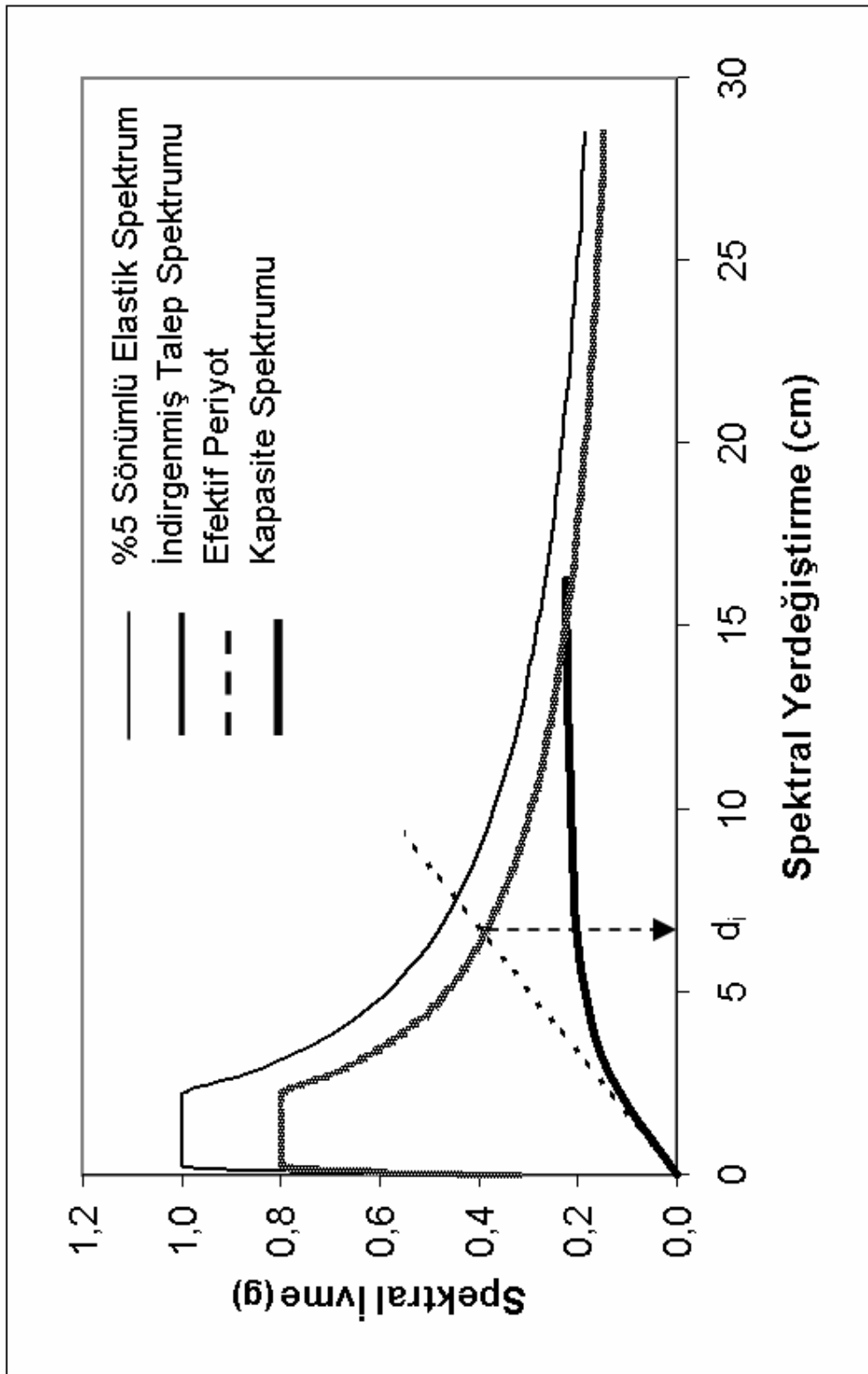
Hesaplanan elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik ( $\mu$ ) değerlerinden yararlanılarak yapının efektif sönüm değeri  $\beta_{eff} = \%11,04$  ve efektif periyodu  $T_{eff} = 0,825$  sn olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan efektif sönüme ( $\beta_{\text{eff}}$ ) bağlı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirgemek için kullanılan sönüm katsayısı  $B(\beta_{\text{eff}}) = 1,251$  olarak belirlenmiştir.

Sönüm katsayısı  $B(\beta_{\text{eff}})$  kullanılarak, başlangıçta %5 sönümlü elastik talep spektrumunun spektral ivme değerleri  $(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{\text{eff}})} = \frac{(S_a)_{\%5}}{1,251}$  indirgenmiştir.

İndirgenen davranış spektrumu ile efektif periyodun ( $T_{\text{eff}}$ ) kesiştiği noktanın spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ) okunur. ( $d_i$ ), maksimum yerdeğiştirme değeri. Maksimum spektral ivme değeri ( $a_i$ ) değeri ise, kapasite spektrumu üzerinde ( $d_i$ ) spektral yerdeğiştirme değerine karşılık gelen ( $a_i$ ) değeri (Şekil 6.15).





Şekil 6.15 Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusuna ait performans noktasının belirlenmesi

Belirlenen bu spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ), başlangıçta tahmin edilen spektral yerdeğiştirme değerine kabul edilebilir derecede yakın olduğu için ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$ ) performans noktasının koordinatları ( $d_i = 7,1$  cm ve  $a_i = 0,21g$ ) olarak belirlenmiştir.

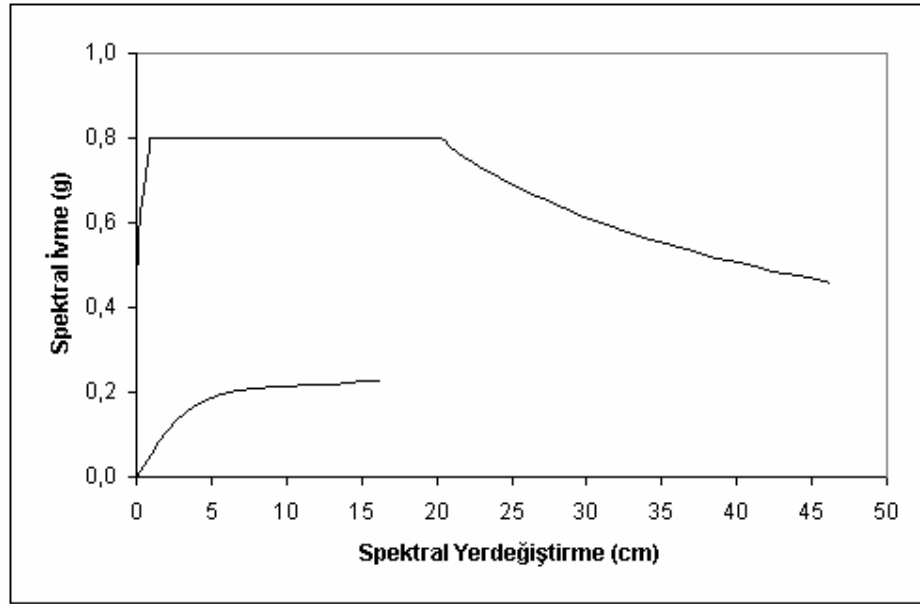
Bulunan bu spektral değerler, Denklem (5.17) ve (5.18) kullanılarak, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi değerine ( $\delta_{maks}$ ) dönüştürülür. Buna göre Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusuna ait toplam taban kesme kuvveti  $V_T = 545,92$  ton ve maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi ise  $\delta_{maks} = 9,516$  cm olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X ve Y doğrultularına ait performans noktaları elde edilmiştir ve Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçları Tablo 6.15' de verilmiştir.

Tablo 6.15 Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X ve Y doğrultularına ait Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçları

<b>Yapı Tipi</b>	<b>PF<sub>1</sub> <math>\phi</math> tepe,1</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b>T<sub>eff</sub> (sn)</b>	<b>B<sub>eff</sub> (%)</b>	<b>S<sub>a</sub> (g)</b>	<b>S<sub>d</sub> (cm)</b>	<b><math>\delta_{maks}</math> (cm)</b>	<b>V<sub>T</sub> (ton)</b>
<b>Z1-X</b>	1,3403	0,774	0,825	11,04	0,210	7,10	9,516	545,92
<b>Z1-Y</b>	1,3595	0,761	0,865	10,60	0,205	8,60	11,692	524,04

Tez çalışması kapsamında, aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak performans noktası belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapının her iki noktası için ayrı ayrı hesabı yapılarak çizilmiş indirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu keşişmemiştir (şekil 6.16). Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.



Şekil 6.16 Z4 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X yönüne ait indirgenmiş talep spektrumu-kapasite spektrumu

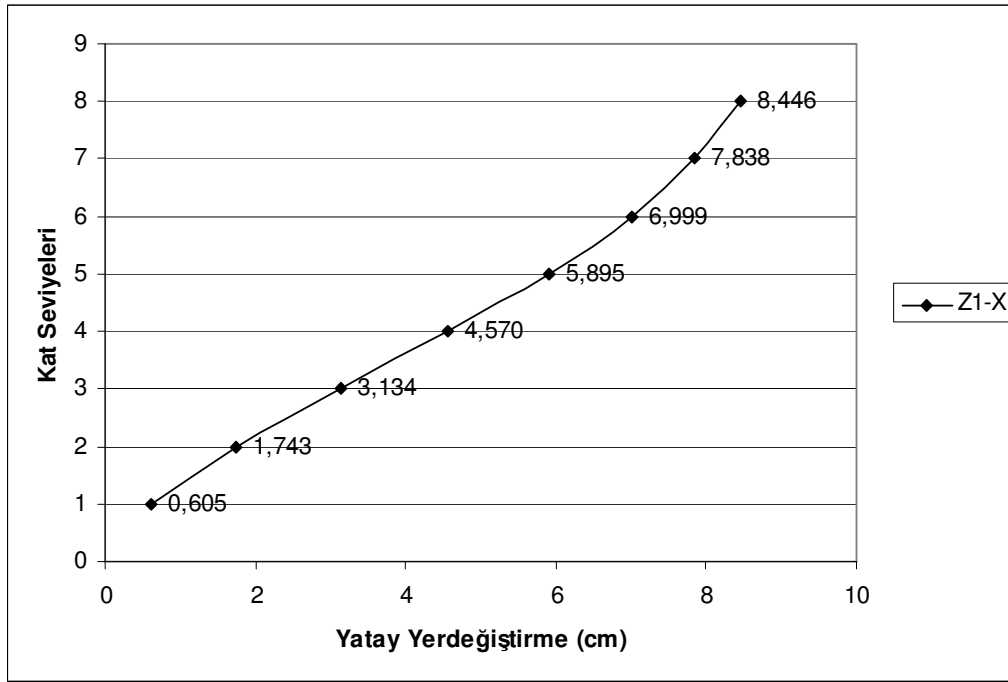
## 6.7 İncelenen Yapının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi İle Bulunan Kapasitelerine Bağlı Performans Seviyesinin Belirlenmesi

### 6.7.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları

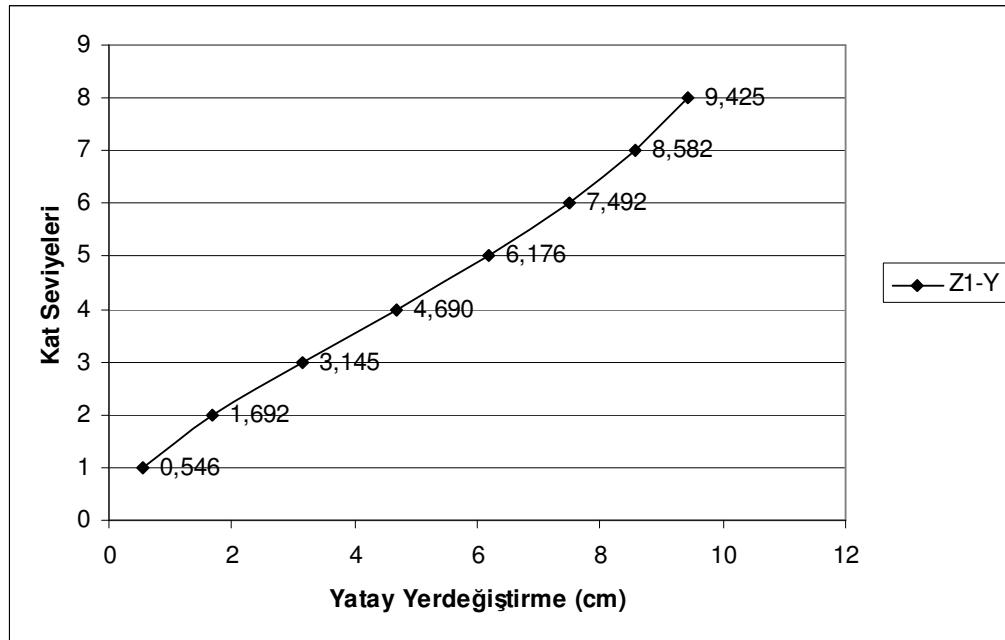
Performans seviyesinin belirlenmesi amacıyla, incelenen yapı Deplasman Katsayıları Yöntemi ile performans noktasına kadar statik olarak itilmiştir. Uygulanan elastik ötesi statik itme analizi sonucu elde edilen yatay kat deplasmanları, görelî kat ötelenmeleri, yapıda maksimum plastik kesit dönmesinin meydana geldiği aksdaki plastik kesit dağılımları ve aynı aksda kat seviyesine bağlı olarak plastik kesit dönme değerleri, Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak tasarlanmış yapılar arasında karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

6.7.1.1 Z1 Zeminde Tasarlanmış Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları

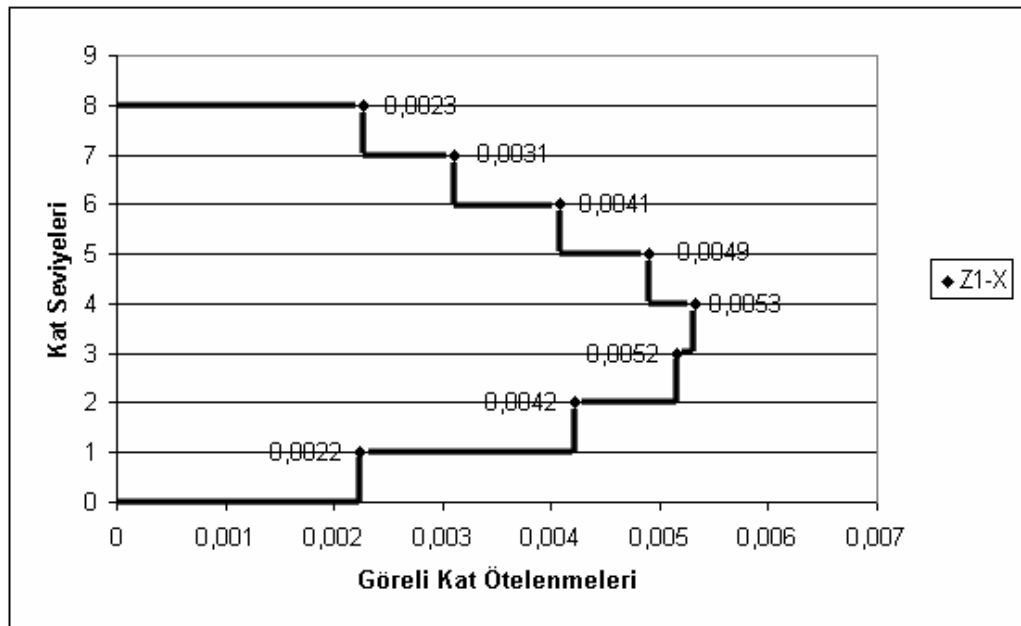
Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının her iki doğrultusu için yatay kat yerdeştirmeleri Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’ de, görelı kat ötelenmeleri Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’ de verilmiştir. Performans noktasına statik olarak itilen yapının plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksta plastik kesit dağılımları Şekil 6.21’ de ve maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksa ait plastik kesit dönme değerleri Şekil 6.22’ de gösterilmiştir.



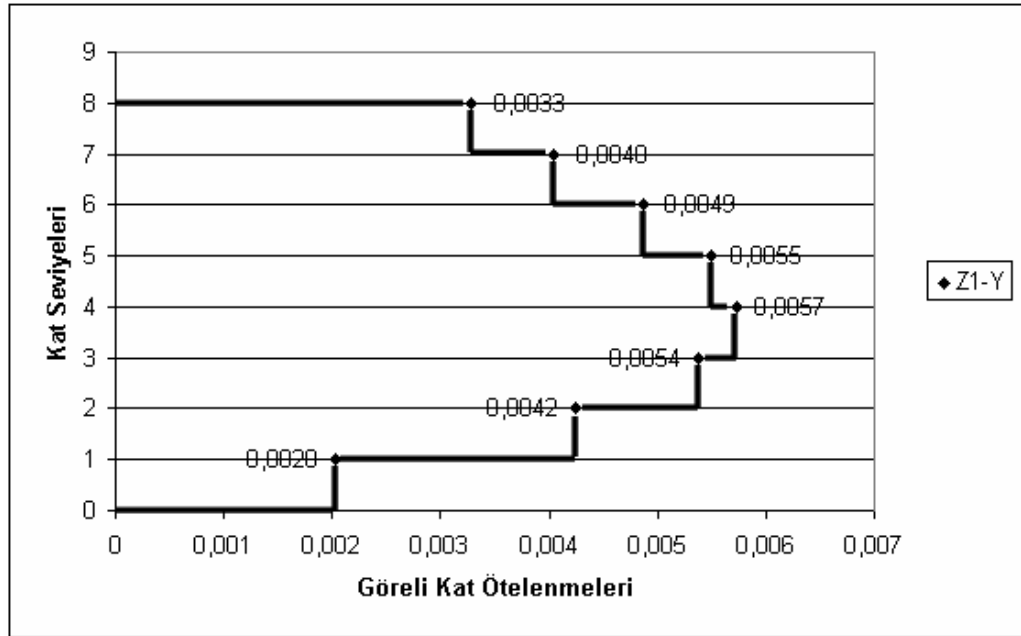
Şekil 6.17 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-X’ in yatay kat yerdeğtirmeleri



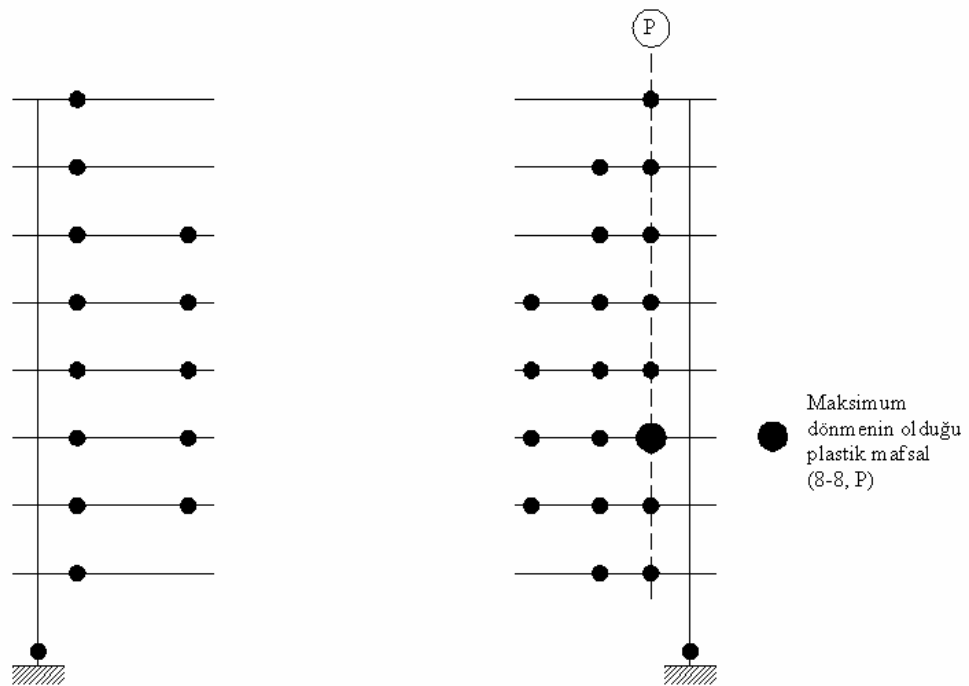
Şekil 6.18 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-Y' nin yatay kat yerdeğiştirmeleri



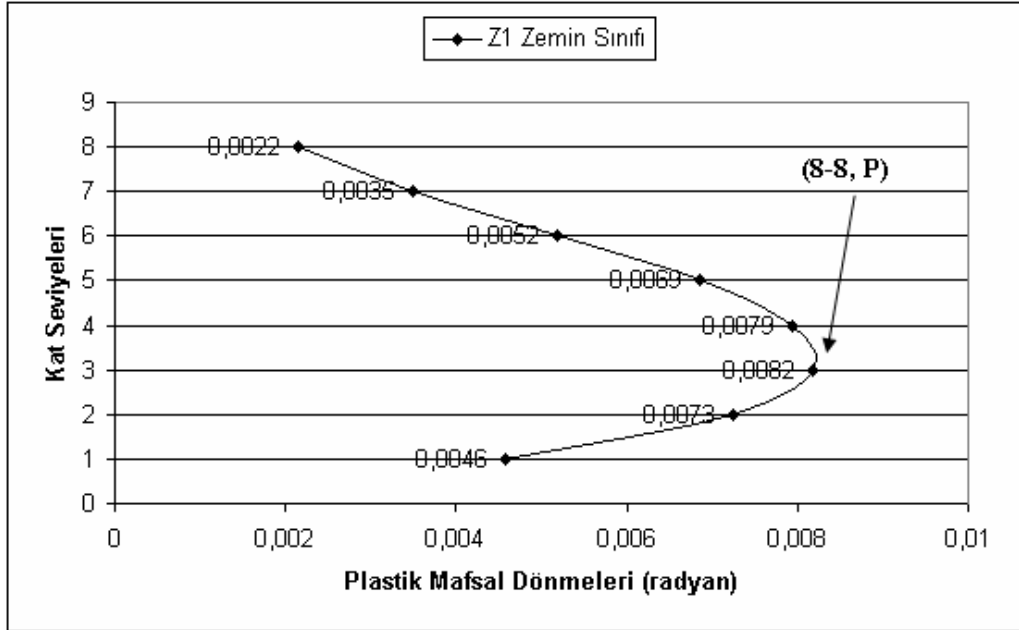
Şekil 6.19 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-X' in görel kat ötelenmeleri



Şekil 6.20 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-Y' nin göreceli kat ötelenmeleri



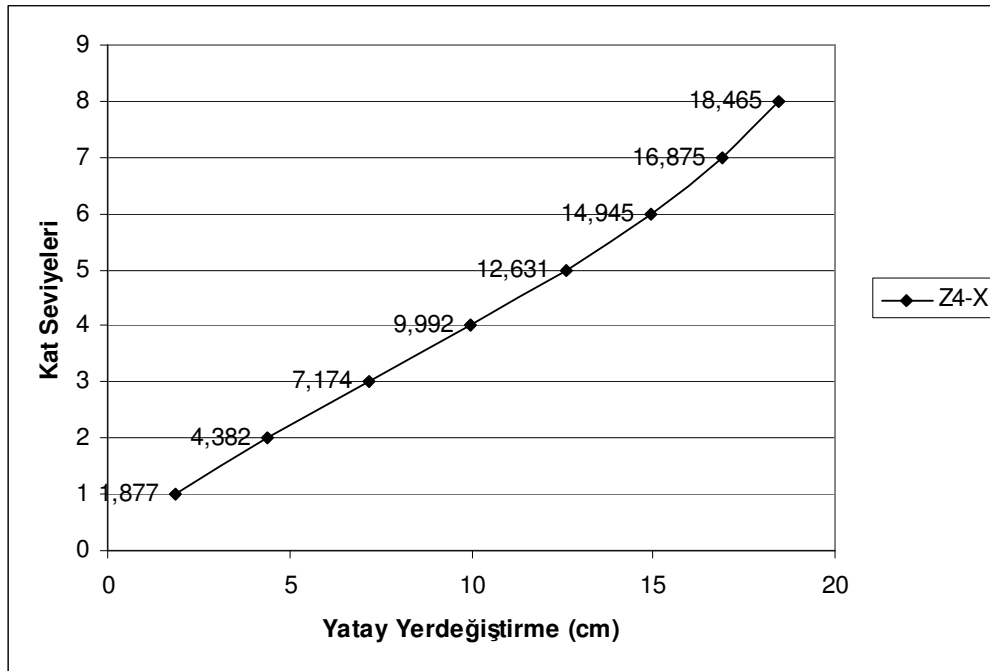
Şekil 6.21 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesinde oluşan plastik mafsalları dağılımları



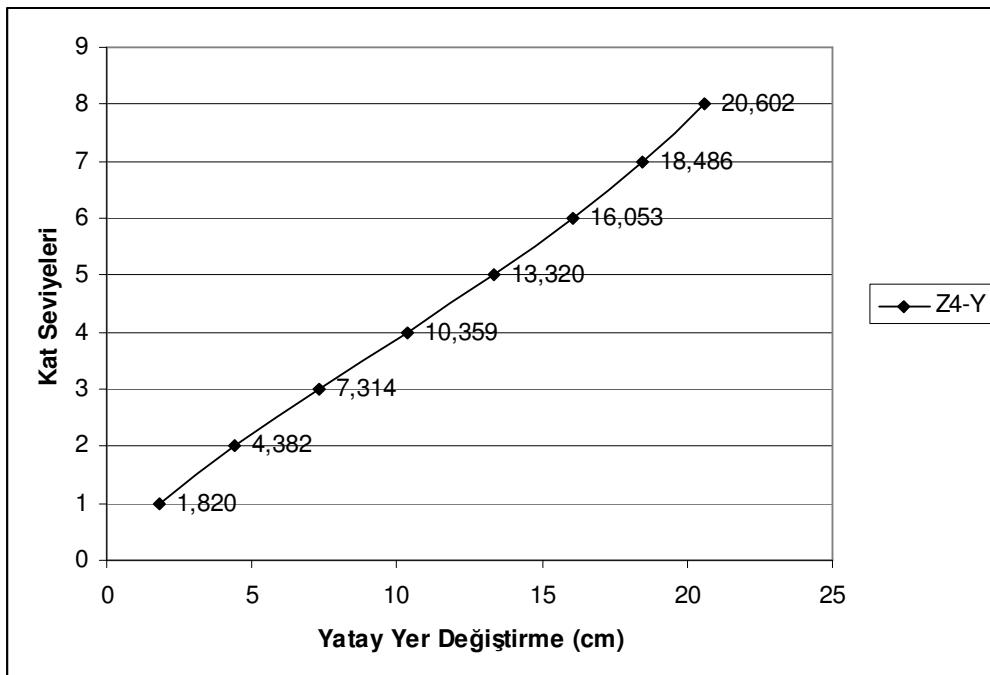
Şekil 6.22 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesi P-P aksında plastik kesit dönmeleri

#### 6.7.1.2 Z4 Zeminde Tasarlandığı Varsayılan Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Deplasman Katsayıları Yöntemi Sonuçları

Z4 zeminde tasarlandığı varsayılan betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının her iki doğrultusu için yatay kat yerdeğiştirmeleri Şekil 6.23 ve Şekil 6.24' de, görelî kat ötelenmeleri Şekil 6.25 ve Şekil 6.26' da verilmiştir. Performans noktasına statik olarak itilen yapının plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksta plastik kesit dağılımları Şekil 6.27' de ve maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksa ait plastik kesit dönme değerleri Şekil 6.28' de gösterilmiştir.

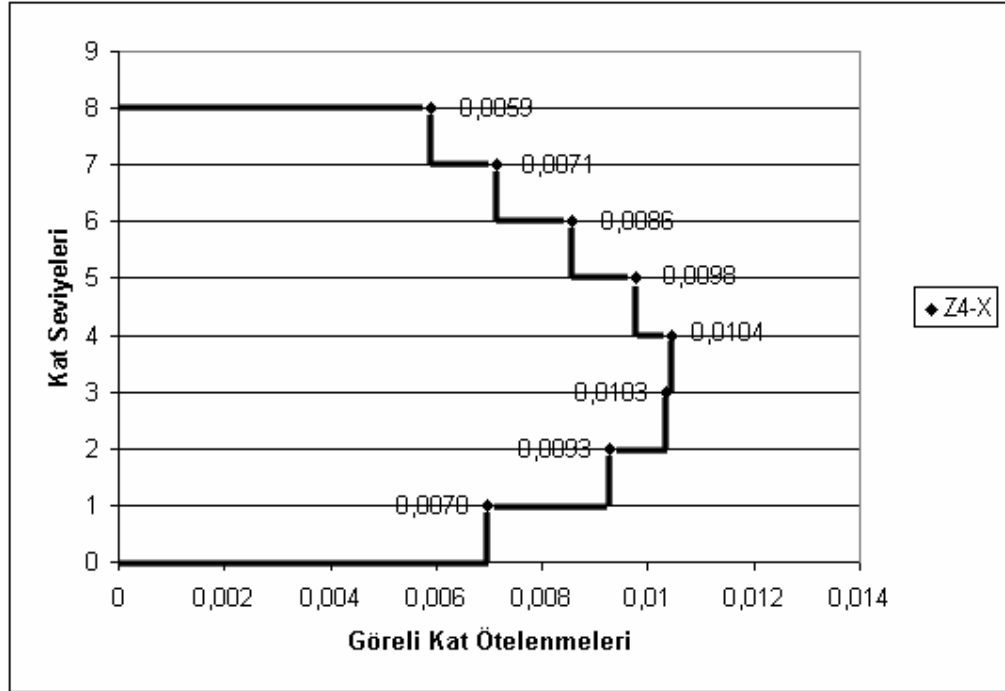


Şekil 6.23 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z4-X' in yatay kat yerdeğiştirmeleri

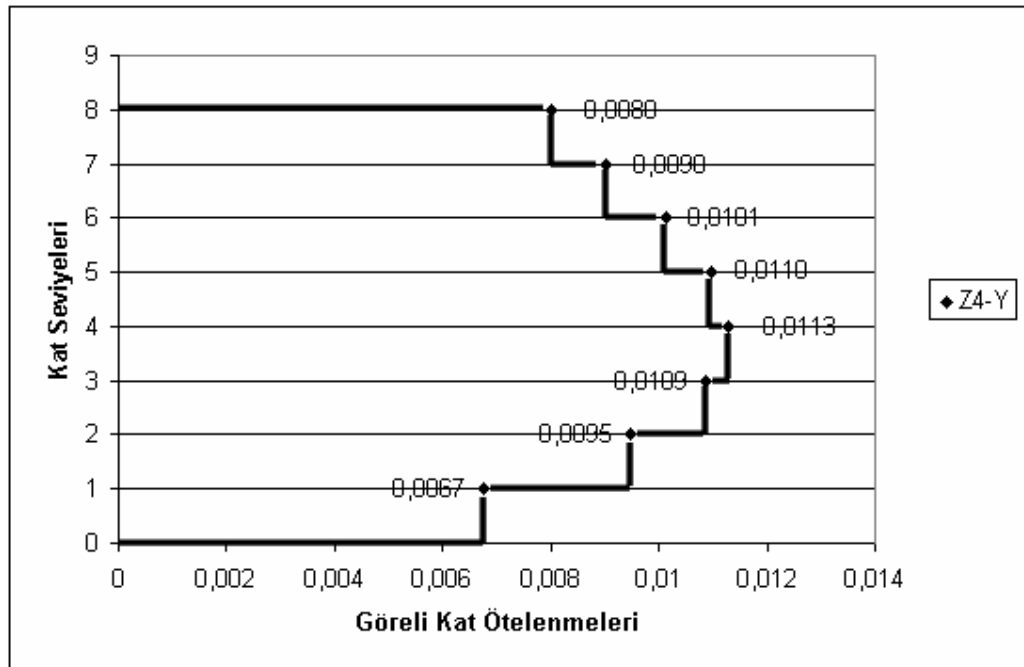


Şekil 6.24 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z4-Y' nin yatay kat yerdeğiştirmeleri

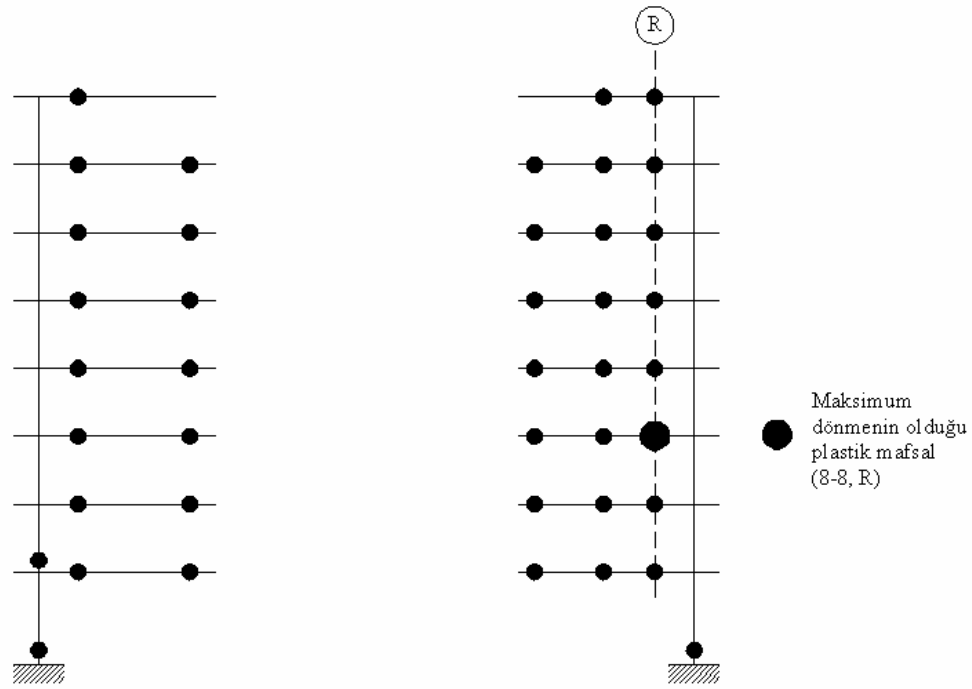




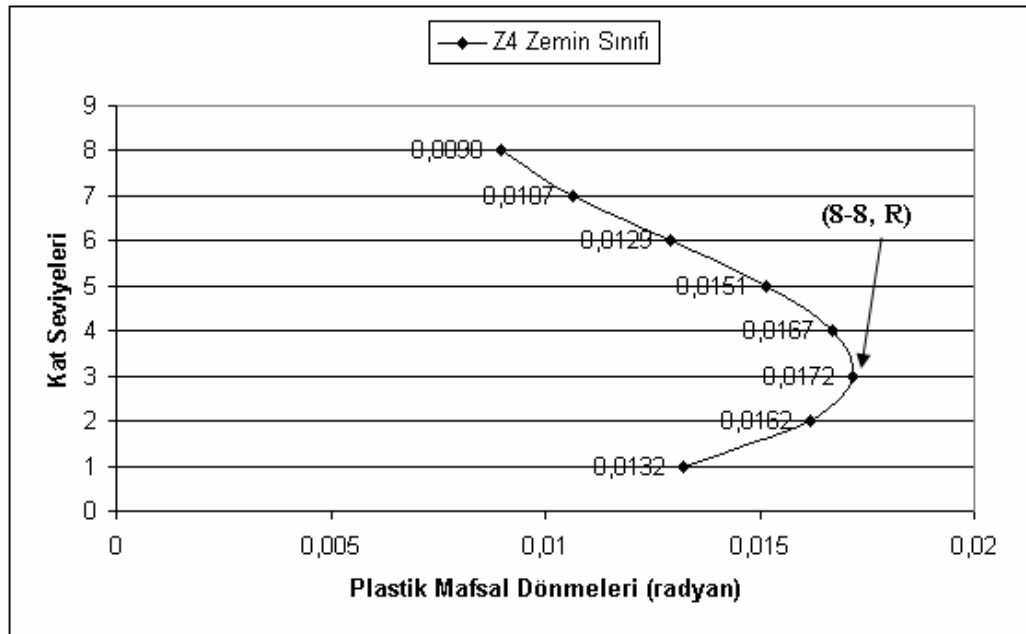
Şekil 6.25 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z4-X' in görel kat ötelenmeleri



Şekil 6.26 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z4-Y' nin görel kat ötelenmeleri



Şekil 6.27 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesinde oluşan plastik mafsalları



Şekil 6.28 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesi R-R aksında plastik kesit dönmeleri







Tablo 6.19 Z4-Y için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme Kuvveti (ton)	Mafsallaşan Eleman Sayıları								
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOPLAM
0	0,044	0	2116	0	0	0	0	0	0	0	2116
1	0,731	61,63	2114	2	0	0	0	0	0	0	2116
2	0,904	77,14	2104	12	0	0	0	0	0	0	2116
3	1,713	147,95	2091	25	0	0	0	0	0	0	2116
4	2,401	205,99	2063	53	0	0	0	0	0	0	2116
5	3,111	261,02	2021	95	0	0	0	0	0	0	2116
6	3,874	310,58	1982	134	0	0	0	0	0	0	2116
7	4,585	349,05	1934	181	1	0	0	0	0	0	2116
8	5,345	383,77	1881	231	4	0	0	0	0	0	2116
9	6,119	412,22	1847	265	4	0	0	0	0	0	2116
10	6,864	435,29	1811	291	14	0	0	0	0	0	2116
11	7,564	454,13	1777	312	27	0	0	0	0	0	2116
12	8,359	472,51	1750	321	45	0	0	0	0	0	2116
13	9,104	487,66	1712	345	59	0	0	0	0	0	2116
14	9,894	500,79	1678	366	70	2	0	0	0	0	2116
15	10,762	512,32	1656	366	91	3	0	0	0	0	2116
16	11,484	519,73	1638	358	116	4	0	0	0	0	2116
17	12,281	526,41	1621	354	135	6	0	0	0	0	2116
18	12,981	531,33	1609	342	156	9	0	0	0	0	2116
19	13,714	536,05	1591	315	189	21	0	0	0	0	2116
20	14,771	542,33	1572	305	209	30	0	0	0	0	2116
21	15,644	547,01	1550	294	224	48	0	0	0	0	2116
22	16,613	551,57	1539	274	249	54	0	0	0	0	2116
23	17,392	554,75	1524	272	257	63	0	0	0	0	2116
24	18,204	557,86	1520	252	265	79	0	0	0	0	2116
25	18,902	560,38	1514	239	262	101	0	0	0	0	2116
26	19,733	563,27	1502	234	261	119	0	0	0	0	2116
27	20,602	566,35	2116	0	0	0	0	0	0	0	2116

Performans seviyelerine göre, Z1 zeminde tasarlanmış yapının ve Z4 zeminde tasarlandığı varsayılan yapının her iki doğrultuları için maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 6.20' de gösterilmiştir.

Tablo 6.20 Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçlarına göre maksimum görelî kat ötelenmeleri açısından yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi

Yapı	Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi (%)	Performans Seviyeleri
Z1-X	0,53	< IO
Z1-Y	0,57	< IO
Z4-X	1,04	IO-LS
Z4-Y	1,13	IO-LS

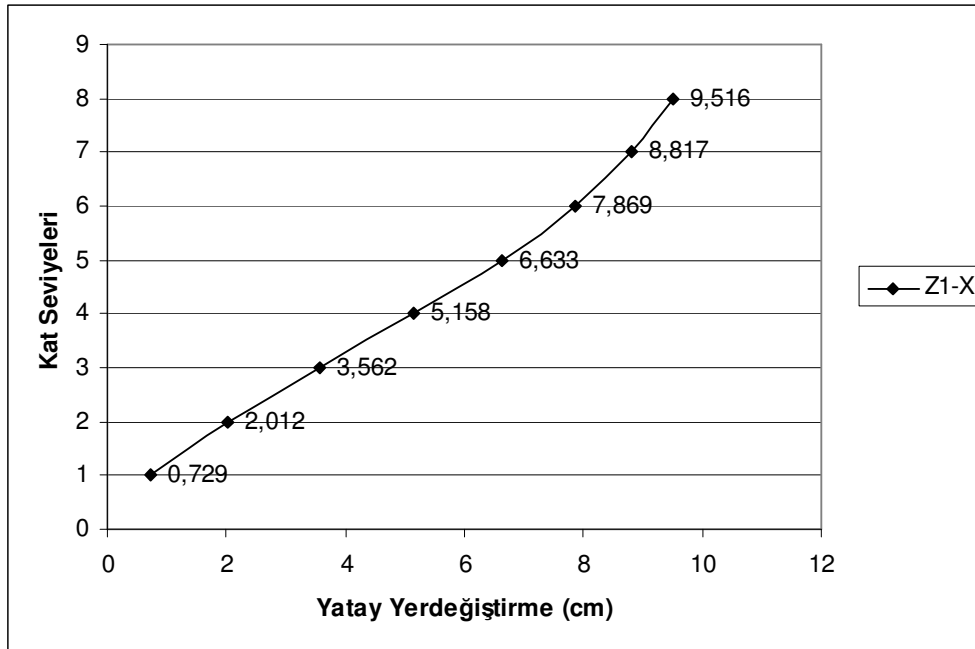
Tablo 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19' da verilen Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçlarına göre yapıların performans değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının performans seviyesi, hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zeminde tasarlandığı varsayılan yapının performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi, (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi performans seviyesi (CP=GÖ) arasında olduğu belirlenmiştir.

### 6.7.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları

Performans seviyesinin belirlenmesi amacıyla, incelenen yapı Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasına kadar statik olarak itilmiştir. Uygulanan elastik ötesi statik itme analizi sonucu elde edilen yatay kat deplasmanları, görelî kat ötelenmeleri, yapıda maksimum plastik kesit dönmesinin meydana geldiği akstaki plastik kesit dağılımları ve aynı aksta kat seviyesine bağlı olarak plastik kesit dönme değerleri, Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak tasarlanmış yapılar arasında karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

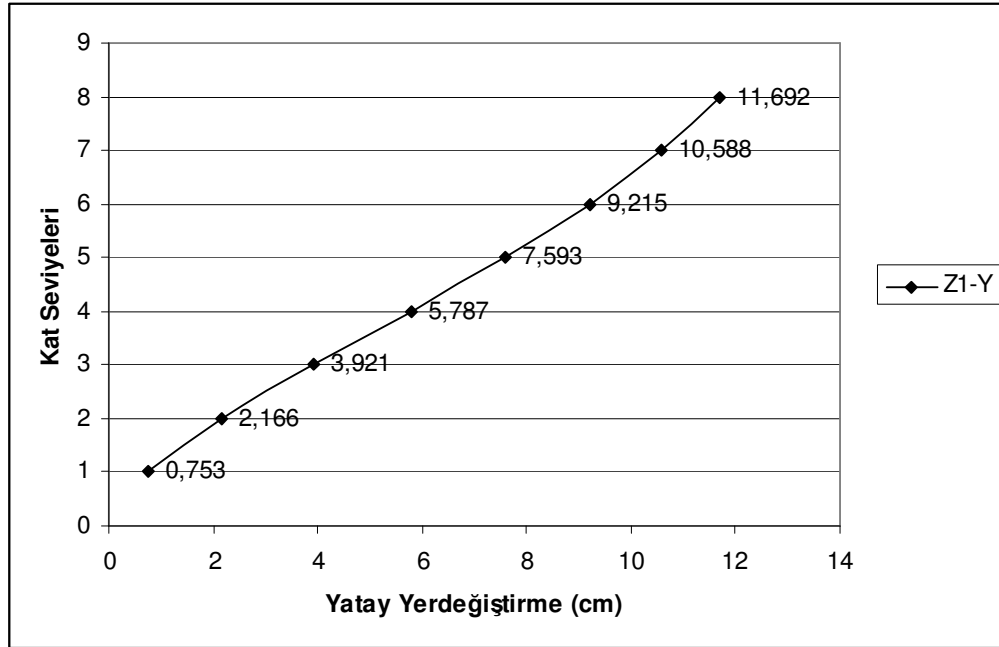
6.7.2.1 Z1 Zeminde Tasarlanmış Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapı İçin Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları

Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının her iki doğrultusu için yatay kat yerdeğiştirmeleri Şekil 6.29 ve Şekil 6.30' de, görelı kat ötelenmeleri Şekil 6.31 ve Şekil 6.32' de verilmiştir. Performans noktasına statik olarak itilen yapının plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksta plastik kesit dağılımları Şekil 6.33' de ve maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu aksa ait plastik kesit dönme değerleri Şekil 6.34' de gösterilmiştir.

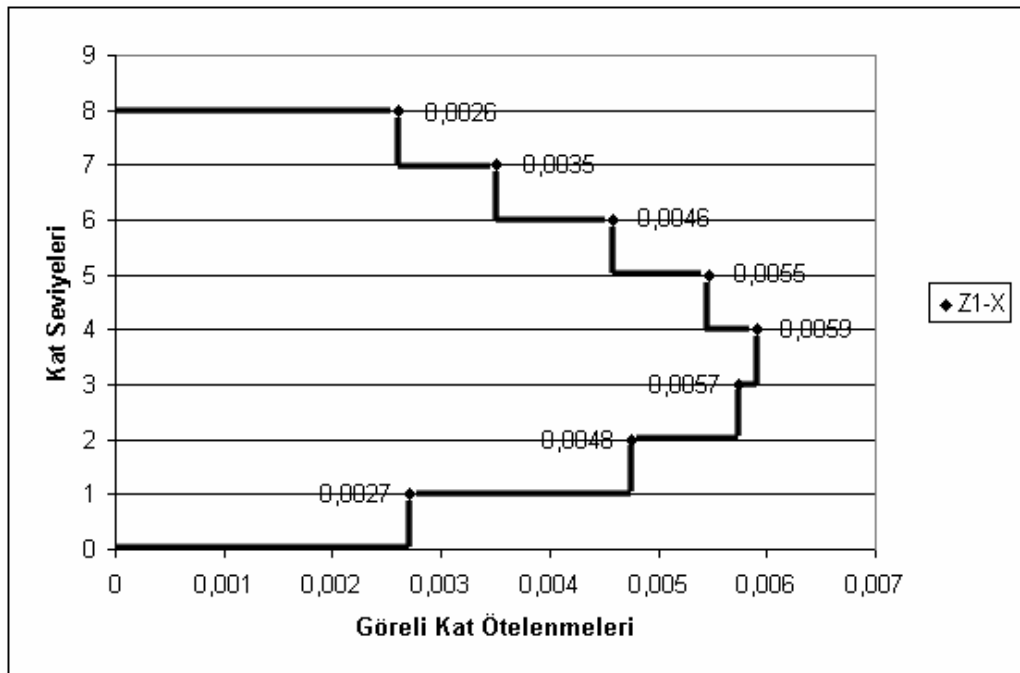


Şekil 6.29 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-X' in yatay kat yerdeğiştirmeleri

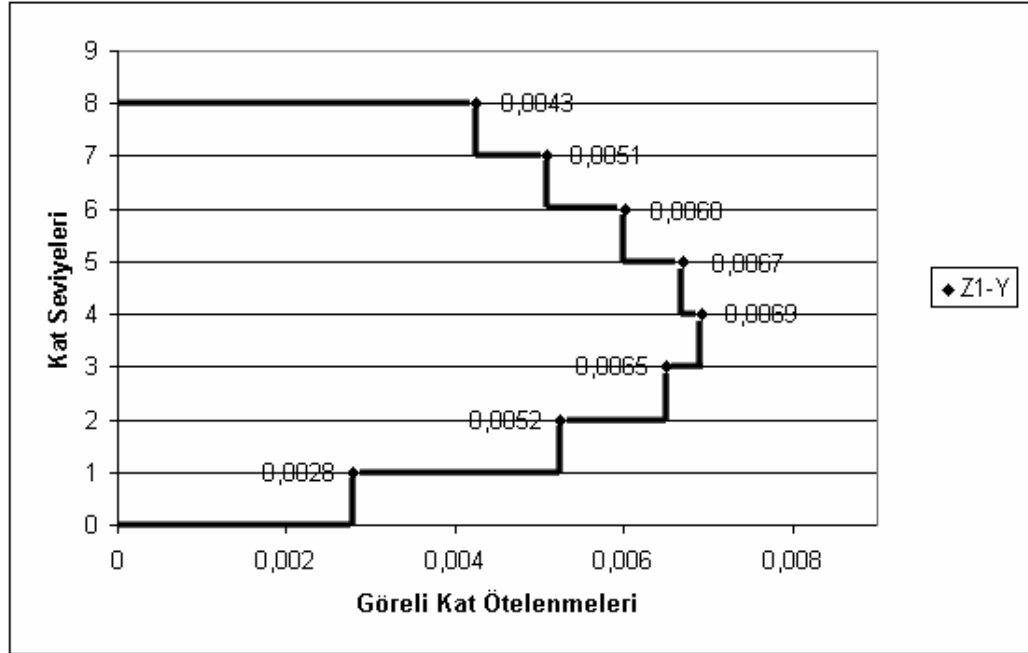




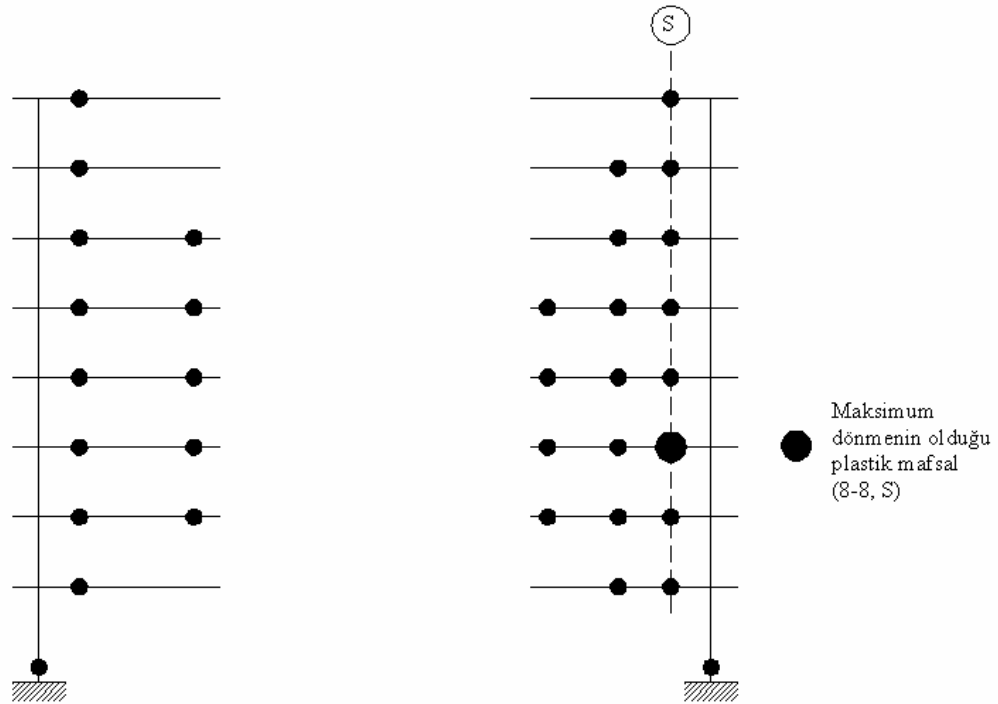
Şekil 6.30 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-Y' nin yatay kat yerdeğiştirmeleri



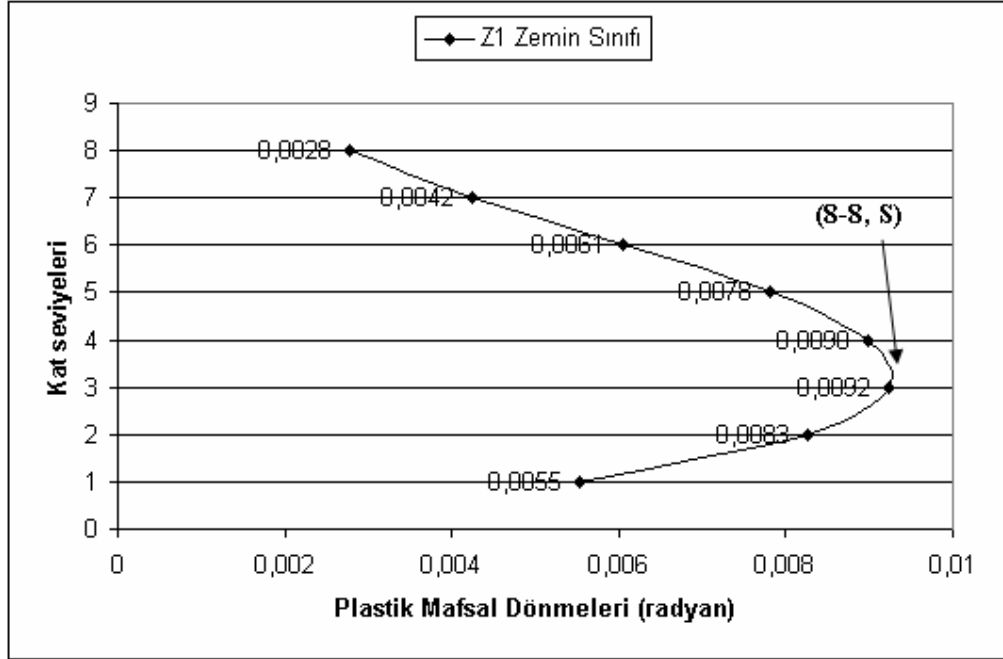
Şekil 6.31 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-X' in görelü kat ötelenmeleri



Şekil 6.31 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile belirlenen performans noktasına göre Z1-Y' nin görel kat ötelenmeleri



Şekil 6.32 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesinde oluşan plastik mafsalları dağılımları



Şekil 6.33 Yapının maksimum plastik kesit dönmesinin bulunduğu 8-8 çerçevesi S-S aksında plastik kesit dönmeleri

#### 6.7.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Seçilen Örnek Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Performans seviyelerine göre, Z1 zeminde tasarlanmış yapının X doğrultusu için plastik kesit sayıları Tablo 6.21' de, Y doğrultusu için plastik kesit sayıları Tablo 6.22' de gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında, aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak performans noktası belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapının her iki noktası için ayrı ayrı hesabı yapılarak çizilmiş indirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu kesişmemiştir (Şekil 6.16). Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.



Tablo 6.22 Z1-Y için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme Kuvveti (ton)	Mafsallaşan Eleman Sayıları								TOPLAM
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0,045	0,00	2116	0	0	0	0	0	0	0	2116
1	0,513	41,97	2114	2	0	0	0	0	0	0	2116
2	0,905	77,15	2107	9	0	0	0	0	0	0	2116
3	1,462	126,20	2099	17	0	0	0	0	0	0	2116
4	2,027	174,82	2087	29	0	0	0	0	0	0	2116
5	2,550	218,00	2065	51	0	0	0	0	0	0	2116
6	3,055	256,95	2037	79	0	0	0	0	0	0	2116
7	3,578	292,51	2009	107	0	0	0	0	0	0	2116
8	4,109	324,04	1982	134	0	0	0	0	0	0	2116
9	4,585	349,05	1953	163	0	0	0	0	0	0	2116
10	5,126	374,30	1912	202	2	0	0	0	0	0	2116
11	5,623	394,73	1881	231	4	0	0	0	0	0	2116
12	6,119	412,22	1855	257	4	0	0	0	0	0	2116
13	6,649	428,91	1828	279	9	0	0	0	0	0	2116
14	7,226	445,43	1801	299	16	0	0	0	0	0	2116
15	7,778	459,33	1779	312	25	0	0	0	0	0	2116
16	8,247	470,07	1765	315	36	0	0	0	0	0	2116
17	8,757	480,82	1736	330	50	0	0	0	0	0	2116
18	9,330	491,70	1712	345	59	0	0	0	0	0	2116
19	9,895	500,79	1690	360	64	2	0	0	0	0	2116
20	10,418	508,16	1670	363	80	3	0	0	0	0	2116
21	10,940	514,38	1656	366	91	3	0	0	0	0	2116
22	11,485	519,73	1651	362	99	4	0	0	0	0	2116
23	11,692	524,04	2116	0	0	0	0	0	0	0	2116

Performans seviyelerine göre, Z1 zeminde tasarlanmış yapının her iki doğrultusu için maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 6.23' de gösterilmiştir.

Tablo 6.23 Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçlarına göre maksimum görelî kat ötelemeleri açısından yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi

Yapı	Maksimum Görelî Kat Ötelemesi (%)	Performans Seviyeleri
Z1-X	0,59	< IO
Z1-Y	0,69	< IO

Tablo 6.21 ve 6.22' de verilen Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçlarına göre yapının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için performans seviyesi,

hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu, Y doğrultusu için performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi (CP=GÖ) performans seviyesi arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak performans noktası belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapının her iki noktası için ayrı ayrı hesabı yapılarak çizilmiş indirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu kesişmemiştir (Şekil 6.16). Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.

## **6.8 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Tez çalışması kapsamında Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılan yapı için doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen yapı kapasite eğrilerini esas alan, Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' nden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' ne göre yapıların belirlenen performans noktasına ait yerdeğiştirme talepleri, dayanım talepleri, maksimum plastik dönme değerleri ve maksimum görelî kat ötelemesi açısından karşılaştırılmaları Bölüm 6.7.1' de verilmiştir.

### ***6.8.1 Seçilen Örnek Z1 Zeminde Tasarlanmış Yapı ve Aynı Yapının Z4 Zemin Sınıfı Üzerinde Yapıldığı Varsayılan Yapı için Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması***

Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılan yapı için Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' ne ait sonuçlar Tablo 6.24' de verilmiştir.

Tablo 6.24 Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılan yapı için Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' ne ait sonuçlar

YAPI	Deplasman Katsayıları Yöntemi				Kapasite Spektrumu Yöntemi			
	Yer Değiştirme Talebi (cm)	Dayanım Talebi (ton)	Maksimum Plastik Dönme (rad)	Maksimum Göreli Kat Ötelemesi (%)	Yer Değiştirme Talebi (cm)	Dayanım Talebi (ton)	Maksimum Plastik Dönme (rad)	Maksimum Göreli Kat Ötelemesi (%)
Z1-X	8,446	529,94	0,0082	0,53	9,516	545,92	0,0092	0,59
Z1-Y	9,425	494,08		0,57	11,692	524,04		0,69
Z4-X	18,465	586,92	0,0172	1,04	-	-	-	-
Z4-Y	20,602	566,35		1,13	-	-		-

Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçlarına göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının performans seviyesi, hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zeminde tasarlandığı varsayılan yapının performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi, (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi performans seviyesi (CP=GÖ) arasında olduğu belirlenmiştir. Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçlarına göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için performans seviyesi, hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu, Y doğrultusu için performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi (CP=GÖ) performans seviyesi arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak performans noktası belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapının her iki noktası için ayrı ayrı hesabı yapılarak çizilmiş indirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu kesişmemiştir (Şekil 6.16). Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, 1975 Deprem Yönetmeliğine göre Z1 zeminde tasarlanmış yapının deprem performansı, Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans seviyesi belirlenmiştir. Ayrıca mevcut yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak yapının performansı belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında Z1 zeminde tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sistemli yapı ve aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılan yapı için doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen yapı kapasite eğrilerini esas alan, Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi'nden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçlarına göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının performans seviyesi, hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zeminde tasarlandığı varsayılan yapının performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi, (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi performans seviyesi (CP=GÖ) arasında olduğu belirlenmiştir.
- Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçlarına göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının X doğrultusu için performans seviyesi, hemen kullanım performans seviyesi (IO=HK) ile can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) arasında olduğu, Y doğrultusu için performans seviyesi can güvenliği performans seviyesi (LS=CG) ile göçmenin önlenmesi (CP=GÖ) performans seviyesi arasında olduğu belirlenmiştir. Aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak performans noktası belirlenmeye çalışılmıştır.



Ancak, yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapının her iki noktası için ayrı ayrı hesabı yapılarak çizilmiş indirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu kesişmemiştir (Şekil 6.16). Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.

- Deplasman Katsayıları Yöntemi sonuçlarına göre, Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının maksimum plastik dönme değeri ve maksimum görelî kat ötelemesi, aynı yapının Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılanın maksimum plastik dönme değerinden ve maksimum görelî kat ötelemesinden daha küçük değerler verdiği görülmüştür.
- Z1 zeminde tasarlanmış betonarme sekiz katlı perde sistemli yapının yerdeğiştirme talebi, dayanım talebi, maksimum plastik dönme değeri ve maksimum görelî kat ötelemesi değerleri, Kapasite Spektrumu Yöntemi ile analiz edildiğinde, Deplasman Katsayıları Yöntemine göre daha büyük değerler verdiği görülmüştür.
- Yanlış zemine göre tasarlanmış yapının performans seviyesinde farklılıklar görülmüştür ve bu durumun yapının güvenliği açısından büyük tehlikeye yol açabileceği görülmüştür.
- Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi ile gereken özen ve dikkat verildiği takdirde, yapıların göçme anına kadar davranışının nasıl olacağı büyük bir yaklaşıkla belirlenebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Applied Technology Council. (1996). *ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (V.1)*. Washington DC.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (1998). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- Celep, Z., Kumbasar, N. (2000). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Beta Dağıtım, İstanbul.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2006). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. (2003). Evaluation of modal pushover analysis using generic frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.32, 417-442.
- Chopra, A.K. (1995). Theory and Applications to Earthquake Engineering. *Dynamic of Structures*. Prentice Hall, New Jersey.
- CSI ETABS Nonlinear Version 8.4.8. (2004). *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems Manuals*. Computers and Structures Inc. Berkeley California.
- Çakıroğlu, A., Özer, E. (1980). *Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemler*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Elnashi A.S. (2000). Advanced inelastic static (pushover) analysis for Seismic design and assessment. *G.Penelis International Symposium on Concrete and Masonry Structures*, 23-24.
- Ersoy, U., Özcebe, G. (2001). *Betonarme*. Evrim Yayınevi, İstanbul.

Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC.

Federal Emergency Management Agency. (2004). *FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Washington DC.

İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U. (2004). Türk deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme yapıların performansının değerlendirilmesi. *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliği Gelişmeler Kongresi*. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Lawson R.S., Vance V. ve Karwinkler H. (1994). Nonlinear static pushover analysis-why, when, and how?. *Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering*, Vol I., 283-292.

Özer E. (2006). *Yapı sitemlerinin lineer olmayan analizi ders notları*. 8 Şubat 2006, <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>.

Türk Standartları. (2000). *TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü.

Uçar, T. (2005). *Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

**EK-1**

Ek-1 Seçilen yapının kiriş elemanların enkesitlerinde donatı alanları

AKS	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
1-1	1. Açıklık	1	5,65	9,55	5,65	8,42
		2	5,65	9,55	5,65	8,42
		3	5,65	9,55	5,65	8,42
		4	4,52	8,01	5,65	8,42
		5	4,52	6,47	3,39	5,34
		6	3,39	4,93	2,26	3,80
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
1-1	2. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	4,52	2,26	2,26
		7	3,39	4,52	2,26	2,26
		8	3,39	4,52	2,26	2,26
1-1	3. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	4,52	2,26	2,26
		7	3,39	4,52	2,26	2,26
		8	3,39	4,52	2,26	2,26
1-1	4. Açıklık	1	9,55	5,65	6,88	4,52
		2	9,55	5,65	6,88	4,52
		3	9,55	5,65	6,88	4,52
		4	8,01	4,52	6,88	4,52
		5	6,47	4,52	5,34	3,39
		6	4,93	3,39	3,80	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
2-2	1. Açıklık	1	2,26	6,88	3,39	5,65
		2	2,26	6,88	3,39	5,65
		3	2,26	6,88	3,39	5,65
		4	2,26	6,88	3,39	4,52
		5	2,26	6,88	3,39	3,39
		6	2,26	5,34	3,39	3,39
		7	2,26	3,80	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
2-2	2. Açıklık	1	6,88	4,52	5,65	4,52
		2	6,88	4,52	5,65	4,52
		3	6,88	4,52	5,65	4,52
		4	6,88	4,52	4,52	3,39
		5	6,88	3,39	3,39	3,39
		6	5,34	3,39	3,39	3,39
		7	3,80	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
2-2	3. Açıklık	1	4,52	6,88	4,52	5,65
		2	4,52	6,88	4,52	5,65
		3	4,52	6,88	4,52	5,65
		4	4,52	6,88	3,39	4,52
		5	3,39	6,88	3,39	3,39
		6	3,39	5,34	3,39	3,39
		7	2,26	3,80	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
2-2	4. Açıklık	1	6,88	2,26	5,65	3,39
		2	6,88	2,26	5,65	3,39
		3	6,88	2,26	5,65	3,39
		4	6,88	2,26	4,52	3,39
		5	6,88	2,26	3,39	3,39
		6	5,34	2,26	3,39	3,39
		7	3,80	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
3-3	1. Açıklık	1	4,52	3,39	2,26	2,26
		2	4,52	3,39	2,26	2,26
		3	4,52	3,39	2,26	2,26
		4	4,52	3,39	2,26	2,26
		5	4,52	3,39	2,26	2,26
		6	3,39	3,39	2,26	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
3-3	2. Açıklık	1	3,39	7,92	2,26	5,65
		2	3,39	7,92	2,26	5,65
		3	3,39	7,92	2,26	5,65
		4	3,39	5,65	2,26	4,52
		5	3,39	4,52	2,26	4,52
		6	3,39	4,52	2,26	4,52
		7	3,39	4,52	2,26	4,52
		8	3,39	4,52	2,26	4,52
3-3	3. Açıklık	1	7,92	3,39	5,65	2,26
		2	7,92	3,39	5,65	2,26
		3	7,92	3,39	5,65	2,26
		4	5,65	3,39	4,52	2,26
		5	4,52	3,39	4,52	2,26
		6	4,52	3,39	4,52	2,26
		7	4,52	3,39	4,52	2,26
		8	4,52	3,39	4,52	2,26
3-3	4. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	3,39	2,26	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
4-4	1. Açıklık	1	3,39	5,65	5,65	2,26
		2	3,39	5,65	5,65	2,26
		3	3,39	5,65	5,65	2,26
		4	3,39	5,65	5,65	2,26
		5	3,39	4,52	4,52	2,26
		6	3,39	4,52	4,52	2,26
		7	3,39	3,39	3,39	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
4-4	2. Açıklık	1	5,65	3,39	2,26	5,65
		2	5,65	3,39	2,26	5,65
		3	5,65	3,39	2,26	5,65
		4	5,65	3,39	2,26	5,65
		5	4,52	3,39	2,26	4,52
		6	4,52	3,39	2,26	4,52
		7	4,52	3,39	2,26	3,39
		8	3,39	3,39	2,26	2,26

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
5-5	1. Açıklık	1	6,79	9,55	4,52	9,55
		2	6,79	9,55	4,52	9,55
		3	6,79	9,55	4,52	9,55
		4	6,79	9,55	3,39	6,47
		5	6,79	7,92	3,39	4,52
		6	5,65	5,65	3,39	3,39
		7	4,52	3,39	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39
5-5	2. Açıklık	1	9,55	14,83	9,55	12,94
		2	9,55	14,83	9,55	12,94
		3	9,55	14,83	9,55	12,94
		4	9,55	14,83	6,47	9,86
		5	7,92	10,81	4,52	8,33
		6	5,65	10,81	3,39	6,79
		7	3,39	6,79	3,39	6,79
		8	3,39	6,79	3,39	6,79
5-5	3. Açıklık	1	14,83	8,01	12,94	9,55
		2	14,83	8,01	12,94	9,55
		3	14,83	8,01	12,94	9,55
		4	14,83	8,01	9,86	6,47
		5	10,81	6,47	8,33	4,93
		6	10,81	5,65	6,79	3,39
		7	6,79	3,39	6,79	3,39
		8	6,79	3,39	6,79	3,39
5-5	4. Açıklık	1	8,01	6,79	9,55	4,52
		2	8,01	6,79	9,55	4,52
		3	8,01	6,79	9,55	4,52
		4	8,01	6,79	6,47	3,39
		5	6,47	6,79	4,93	3,39
		6	5,65	6,79	3,39	3,39
		7	3,39	5,65	3,39	3,39
		8	3,39	4,52	3,39	3,39
6-6	1. Açıklık	1	3,80	3,80	4,62	4,62
		2	3,80	3,80	4,62	4,62
		3	3,80	3,80	4,62	4,62
		4	3,80	3,80	4,62	4,62
		5	3,80	3,80	4,62	4,62
		6	3,80	3,80	4,62	4,62
		7	3,80	3,80	4,62	4,62
		8	3,80	3,80	4,62	4,62

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
6-6	2. Açıklık	1	3,80	3,80	4,62	4,62
		2	3,80	3,80	4,62	4,62
		3	3,80	3,80	4,62	4,62
		4	3,80	3,80	4,62	4,62
		5	3,80	3,80	4,62	4,62
		6	3,80	3,80	4,62	4,62
		7	3,80	3,80	4,62	4,62
		8	3,80	3,80	4,62	4,62
6-6	3. Açıklık	1	3,39	2,26	3,39	3,39
		2	3,39	2,26	3,39	3,39
		3	3,39	2,26	3,39	3,39
		4	3,39	2,26	3,39	3,39
		5	2,26	2,26	3,39	3,39
		6	2,26	2,26	3,39	3,39
		7	2,26	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
6-6	4. Açıklık	1	2,26	3,39	3,39	3,39
		2	2,26	3,39	3,39	3,39
		3	2,26	3,39	3,39	3,39
		4	2,26	3,39	3,39	3,39
		5	2,26	2,26	3,39	3,39
		6	2,26	2,26	3,39	3,39
		7	2,26	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
6-6	5. Açıklık	1	3,80	3,80	4,62	4,62
		2	3,80	3,80	4,62	4,62
		3	3,80	3,80	4,62	4,62
		4	3,80	3,80	4,62	4,62
		5	3,80	3,80	4,62	4,62
		6	3,80	3,80	4,62	4,62
		7	3,80	3,80	4,62	4,62
		8	3,80	3,80	4,62	4,62
6-6	6. Açıklık	1	3,80	3,80	4,62	4,62
		2	3,80	3,80	4,62	4,62
		3	3,80	3,80	4,62	4,62
		4	3,80	3,80	4,62	4,62
		5	3,80	3,80	4,62	4,62
		6	3,80	3,80	4,62	4,62
		7	3,80	3,80	4,62	4,62
		8	3,80	3,80	4,62	4,62



KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
7-7	1. Açıklık	1	4,52	2,26	3,39	3,39
		2	4,52	2,26	3,39	3,39
		3	4,52	2,26	3,39	3,39
		4	3,39	2,26	3,39	3,39
		5	3,39	2,26	3,39	3,39
		6	3,39	2,26	3,39	3,39
		7	3,39	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
7-7	2. Açıklık	1	2,26	2,26	3,39	3,39
		2	2,26	2,26	3,39	3,39
		3	2,26	2,26	3,39	3,39
		4	2,26	2,26	3,39	3,39
		5	2,26	2,26	3,39	3,39
		6	2,26	2,26	3,39	3,39
		7	2,26	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
7-7	3. Açıklık	1	2,26	9,14	3,39	10,18
		2	2,26	9,14	3,39	10,18
		3	2,26	7,60	3,39	9,05
		4	2,26	6,06	3,39	7,92
		5	2,26	4,52	3,39	6,79
		6	2,26	4,52	3,39	6,79
		7	2,26	4,52	3,39	6,79
		8	2,26	4,52	3,39	6,79
7-7	4. Açıklık	1	9,14	2,26	10,18	3,39
		2	9,14	2,26	10,18	3,39
		3	7,60	2,26	9,05	3,39
		4	6,06	2,26	7,92	3,39
		5	4,52	2,26	6,79	3,39
		6	4,52	2,26	6,79	3,39
		7	4,52	2,26	6,79	3,39
		8	4,52	2,26	6,79	3,39
7-7	5. Açıklık	1	2,26	2,26	3,39	3,39
		2	2,26	2,26	3,39	3,39
		3	2,26	2,26	3,39	3,39
		4	2,26	2,26	3,39	3,39
		5	2,26	2,26	3,39	3,39
		6	2,26	2,26	3,39	3,39
		7	2,26	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
7-7	6. Açıklık	1	2,26	4,52	3,39	3,39
		2	2,26	4,52	3,39	3,39
		3	2,26	4,52	3,39	3,39
		4	2,26	4,52	3,39	3,39
		5	2,26	3,39	3,39	3,39
		6	2,26	3,39	3,39	3,39
		7	2,26	3,39	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
8-8	1. Açıklık	1	3,39	5,65	5,65	2,26
		2	3,39	5,65	5,65	2,26
		3	3,39	5,65	5,65	2,26
		4	3,39	5,65	5,65	2,26
		5	3,39	4,52	4,52	2,26
		6	3,39	4,52	4,52	2,26
		7	3,39	4,52	3,39	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
8-8	2. Açıklık	1	5,65	3,39	2,26	5,65
		2	5,65	3,39	2,26	5,65
		3	5,65	3,39	2,26	5,65
		4	5,65	3,39	2,26	5,65
		5	4,52	3,39	2,26	4,52
		6	4,52	3,39	2,26	4,52
		7	4,52	3,39	2,26	3,39
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
9-9	1. Açıklık	1	4,52	3,39	2,26	2,26
		2	4,52	3,39	2,26	2,26
		3	4,52	3,39	2,26	2,26
		4	4,52	3,39	2,26	2,26
		5	4,52	3,39	2,26	2,26
		6	3,39	3,39	2,26	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
9-9	2. Açıklık	1	3,39	7,92	2,26	5,65
		2	3,39	6,79	2,26	5,65
		3	3,39	6,79	2,26	5,65
		4	3,39	5,65	2,26	4,52
		5	3,39	4,52	2,26	4,52
		6	3,39	4,52	2,26	4,52
		7	3,39	4,52	2,26	4,52
		8	3,39	4,52	2,26	4,52

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
9-9	3. Açıklık	1	7,92	3,39	5,65	2,26
		2	6,79	3,39	5,65	2,26
		3	6,79	3,39	5,65	2,26
		4	5,65	3,39	4,52	2,26
		5	4,52	3,39	4,52	2,26
		6	4,52	3,39	4,52	2,26
		7	4,52	3,39	4,52	2,26
		8	4,52	3,39	4,52	2,26
9-9	4. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	3,39	2,26	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
10-10	1. Açıklık	1	2,26	6,88	3,39	5,65
		2	2,26	6,88	3,39	5,65
		3	2,26	6,88	3,39	5,65
		4	2,26	6,88	3,39	4,52
		5	2,26	6,88	3,39	3,39
		6	2,26	5,34	3,39	3,39
		7	2,26	3,80	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
10-10	2. Açıklık	1	6,88	4,52	5,65	4,52
		2	6,88	4,52	5,65	4,52
		3	6,88	4,52	5,65	4,52
		4	6,88	4,52	4,52	3,39
		5	6,88	3,39	3,39	3,39
		6	5,34	3,39	3,39	3,39
		7	3,80	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
10-10	3. Açıklık	1	4,52	6,88	4,52	5,65
		2	4,52	6,88	4,52	5,65
		3	4,52	6,88	4,52	5,65
		4	4,52	6,88	3,39	4,52
		5	3,39	6,88	3,39	3,39
		6	3,39	5,34	3,39	3,39
		7	2,26	3,80	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
10-10	4. Açıklık	1	6,88	2,26	5,65	3,39
		2	6,88	2,26	5,65	3,39
		3	6,88	2,26	5,65	3,39
		4	6,88	2,26	4,52	3,39
		5	6,88	2,26	3,39	3,39
		6	5,34	2,26	3,39	3,39
		7	3,80	2,26	3,39	3,39
		8	2,26	2,26	3,39	3,39
11-11	1. Açıklık	1	5,65	9,55	4,52	6,88
		2	5,65	9,55	4,52	6,88
		3	5,65	9,55	4,52	6,88
		4	4,52	8,01	4,52	6,88
		5	4,52	6,47	3,39	5,34
		6	3,39	4,93	2,26	3,80
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
11-11	2. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	4,52	2,26	2,26
		7	3,39	4,52	2,26	2,26
		8	3,39	4,52	2,26	2,26
11-11	3. Açıklık	1	4,52	3,39	2,26	2,26
		2	4,52	3,39	2,26	2,26
		3	4,52	3,39	2,26	2,26
		4	4,52	3,39	2,26	2,26
		5	4,52	3,39	2,26	2,26
		6	4,52	3,39	2,26	2,26
		7	4,52	3,39	2,26	2,26
		8	4,52	3,39	2,26	2,26
11-11	4. Açıklık	1	9,55	5,65	8,42	5,65
		2	9,55	5,65	8,42	5,65
		3	9,55	5,65	8,42	5,65
		4	8,01	4,52	8,42	5,65
		5	6,47	4,52	5,34	3,39
		6	4,93	3,39	3,80	2,26
		7	3,39	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
A-A	1. Açıklık	1	8,01	9,55	5,34	5,65
		2	8,01	9,55	6,88	5,65
		3	8,01	9,55	6,88	5,65
		4	8,01	9,55	5,34	5,65
		5	8,01	8,01	5,34	4,52
		6	6,47	8,01	3,80	3,39
		7	6,47	6,47	2,26	2,26
		8	4,93	4,93	2,26	2,26
A-A	2. Açıklık	1	9,55	8,01	5,65	5,65
		2	9,55	8,01	5,65	5,65
		3	9,55	8,01	5,65	5,65
		4	9,55	8,01	5,65	5,65
		5	8,01	8,01	4,52	4,52
		6	8,01	6,47	3,39	3,39
		7	6,47	6,47	2,26	2,26
		8	4,93	4,93	2,26	2,26
B-B	1. Açıklık	1	13,45	13,45	6,03	6,03
		2	13,45	13,45	7,16	7,16
		3	13,45	13,45	9,11	9,11
		4	13,45	13,45	9,11	9,11
		5	13,45	13,45	7,57	7,57
		6	13,45	13,45	6,03	6,03
		7	11,44	11,44	6,03	6,03
		8	11,44	11,44	6,03	6,03
C-C	1. Açıklık	1	5,65	6,79	4,52	4,52
		2	5,65	6,79	4,52	4,52
		3	5,65	6,79	4,52	4,52
		4	5,65	6,79	4,52	4,52
		5	4,52	5,65	4,52	3,39
		6	4,52	4,52	3,39	3,39
		7	4,52	3,39	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39
C-C	2. Açıklık	1	6,79	2,26	4,52	3,39
		2	6,79	2,26	4,52	3,39
		3	6,79	2,26	4,52	3,39
		4	6,79	2,26	4,52	3,39
		5	5,65	2,26	3,39	3,39
		6	4,52	2,26	3,39	3,39
		7	3,39	2,26	3,39	3,39
		8	3,39	2,26	3,39	3,39

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
C-C	3. Açıklık	1	2,26	6,79	3,39	4,52
		2	2,26	6,79	3,39	4,52
		3	2,26	6,79	3,39	4,52
		4	2,26	6,79	3,39	4,52
		5	2,26	5,65	3,39	4,52
		6	2,26	4,52	3,39	3,39
		7	2,26	3,39	3,39	3,39
		8	2,26	3,39	3,39	3,39
C-C	4. Açıklık	1	6,79	5,65	4,52	4,52
		2	6,79	5,65	4,52	4,52
		3	6,79	5,65	4,52	4,52
		4	6,79	5,65	4,52	4,52
		5	5,65	4,52	4,52	4,52
		6	4,52	4,52	3,39	3,39
		7	3,39	4,52	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39
D1-D1	1. Açıklık	1	3,39	3,39	3,39	3,39
		2	3,39	3,39	3,39	3,39
		3	3,39	3,39	3,39	3,39
		4	3,39	3,39	3,39	3,39
		5	3,39	3,39	3,39	3,39
		6	3,39	3,39	3,39	3,39
		7	3,39	3,39	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39
F-F	1. Açıklık	1	13,45	9,14	11,44	8,01
		2	13,45	9,14	11,44	8,01
		3	13,45	9,14	11,44	8,01
		4	11,44	7,60	9,42	6,47
		5	9,42	6,06	7,41	4,93
		6	9,42	4,52	5,40	3,39
		7	7,41	4,52	3,39	3,39
		8	5,40	4,52	3,39	3,39
F-F	2. Açıklık	1	9,14	6,79	8,01	5,65
		2	9,14	6,79	8,01	5,65
		3	9,14	6,79	8,01	5,65
		4	7,60	6,79	6,47	5,65
		5	6,06	6,79	4,93	4,52
		6	4,52	5,65	3,39	4,52
		7	4,52	5,65	3,39	3,39
		8	4,52	4,52	3,39	3,39

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
F-F	3. Açıklık	1	5,65	8,01	2,26	6,88
		2	5,65	8,01	2,26	6,88
		3	5,65	8,01	2,26	6,88
		4	5,65	6,47	2,26	5,34
		5	5,65	4,93	2,26	3,80
		6	4,52	3,39	2,26	2,26
		7	4,52	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
F-F	4. Açıklık	1	8,01	12,32	6,88	10,30
		2	8,01	12,32	6,88	10,30
		3	8,01	12,32	6,88	10,30
		4	6,47	10,30	5,34	8,29
		5	4,93	8,29	3,80	6,28
		6	3,39	8,29	2,26	4,27
		7	3,39	6,28	2,26	2,26
		8	3,39	4,27	2,26	2,26
H-H	1. Açıklık	1	6,79	4,52	4,52	2,26
		2	6,79	4,52	4,52	2,26
		3	6,79	4,52	4,52	2,26
		4	5,65	4,52	4,52	2,26
		5	5,65	4,52	4,52	2,26
		6	4,52	4,52	3,39	2,26
		7	4,52	4,52	2,26	2,26
		8	3,39	4,52	2,26	2,26
H-H	2. Açıklık	1	4,52	3,39	2,26	2,26
		2	4,52	3,39	2,26	2,26
		3	4,52	3,39	2,26	2,26
		4	4,52	3,39	2,26	2,26
		5	4,52	3,39	2,26	2,26
		6	4,52	3,39	2,26	2,26
		7	4,52	3,39	2,26	2,26
		8	4,52	3,39	2,26	2,26
H-H	3. Açıklık	1	3,39	4,52	2,26	2,26
		2	3,39	4,52	2,26	2,26
		3	3,39	4,52	2,26	2,26
		4	3,39	4,52	2,26	2,26
		5	3,39	4,52	2,26	2,26
		6	3,39	4,52	2,26	2,26
		7	3,39	4,52	2,26	2,26
		8	3,39	4,52	2,26	2,26

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
H-H	4. Açıklık	1	4,52	6,79	2,26	4,52
		2	4,52	6,79	2,26	4,52
		3	4,52	6,79	2,26	4,52
		4	4,52	5,65	2,26	4,52
		5	4,52	5,65	2,26	4,52
		6	4,52	4,52	2,26	3,39
		7	4,52	4,52	2,26	2,26
		8	4,52	3,39	2,26	2,26
J-J	1. Açıklık	1	13,45	9,14	11,44	8,01
		2	13,45	9,14	11,44	8,01
		3	13,45	9,14	11,44	8,01
		4	11,44	7,60	9,42	6,47
		5	9,42	6,06	7,41	4,93
		6	9,42	4,52	5,40	3,39
		7	7,41	4,52	3,39	3,39
		8	5,40	4,52	3,39	3,39
J-J	2. Açıklık	1	9,14	6,79	8,01	5,65
		2	9,14	6,79	8,01	5,65
		3	9,14	6,79	8,01	5,65
		4	7,60	6,79	6,47	5,65
		5	6,06	6,79	4,93	4,52
		6	4,52	5,65	3,39	4,52
		7	4,52	4,52	3,39	3,39
		8	4,52	4,52	3,39	3,39
J-J	3. Açıklık	1	5,65	8,01	2,26	6,88
		2	5,65	8,01	2,26	6,88
		3	5,65	8,01	2,26	6,88
		4	5,65	6,47	2,26	5,34
		5	5,65	4,93	2,26	3,80
		6	4,52	3,39	2,26	2,26
		7	4,52	3,39	2,26	2,26
		8	3,39	3,39	2,26	2,26
J-J	4. Açıklık	1	8,01	6,88	6,88	10,30
		2	8,01	6,88	6,88	10,30
		3	8,01	6,88	6,88	10,30
		4	6,47	5,34	5,34	8,29
		5	4,93	3,80	3,80	6,28
		6	3,39	2,26	2,26	4,27
		7	3,39	2,26	2,26	2,26
		8	3,39	2,26	2,26	2,26

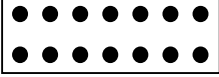
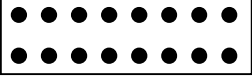
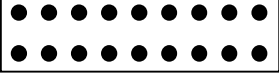
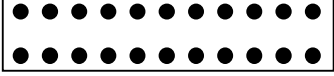
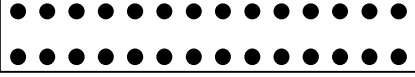


KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
K1-K1	1. Açıklık	1	3,80	3,80	4,62	4,62
		2	3,80	3,80	4,62	4,62
		3	3,80	3,80	4,62	4,62
		4	3,80	3,80	4,62	4,62
		5	3,80	3,80	4,62	4,62
		6	3,80	3,80	4,62	4,62
		7	3,80	3,80	4,62	4,62
		8	3,80	3,80	4,62	4,62
M-M	1. Açıklık	1	5,65	6,79	4,52	5,65
		2	5,65	6,79	4,52	5,65
		3	5,65	6,79	4,52	5,65
		4	5,65	6,79	4,52	4,52
		5	4,52	5,65	4,52	3,39
		6	4,52	4,52	3,39	3,39
		7	4,52	3,39	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39
M-M	2. Açıklık	1	6,79	2,26	5,65	3,39
		2	6,79	2,26	5,65	3,39
		3	6,79	2,26	5,65	3,39
		4	6,79	2,26	4,52	3,39
		5	5,65	2,26	3,39	3,39
		6	4,52	2,26	3,39	3,39
		7	3,39	2,26	3,39	3,39
		8	3,39	2,26	3,39	3,39
M-M	3. Açıklık	1	2,26	6,79	3,39	4,52
		2	2,26	6,79	3,39	4,52
		3	2,26	6,79	3,39	4,52
		4	2,26	6,79	3,39	4,52
		5	2,26	5,65	3,39	3,39
		6	2,26	4,52	3,39	3,39
		7	2,26	3,39	3,39	3,39
		8	2,26	3,39	3,39	3,39
M-M	4. Açıklık	1	6,79	5,65	4,52	4,52
		2	6,79	5,65	4,52	4,52
		3	6,79	5,65	4,52	4,52
		4	6,79	5,65	4,52	4,52
		5	5,65	4,52	3,39	4,52
		6	4,52	4,52	3,39	3,39
		7	3,39	4,52	3,39	3,39
		8	3,39	3,39	3,39	3,39

KİRİŞ	AÇIKLIK	KAT	Kiriş Donatısı Alanları (cm <sup>2</sup> )			
			ÜST SOL	ÜST SAĞ	ALT SOL	ALT SAĞ
N-N	1. Açıklık	1	13,45	13,45	6,03	6,03
		2	13,45	13,45	7,16	7,16
		3	13,45	13,45	9,11	9,11
		4	13,45	13,45	9,11	9,11
		5	13,45	13,45	7,57	7,57
		6	13,45	13,45	6,03	6,03
		7	11,44	11,44	6,03	6,03
		8	11,44	11,44	6,03	6,03
O-O	1. Açıklık	1	8,01	9,55	5,65	5,65
		2	8,01	9,55	5,65	5,65
		3	8,01	9,55	5,65	5,65
		4	8,01	9,55	5,65	5,65
		5	8,01	8,01	5,65	4,52
		6	8,01	8,01	4,52	3,39
		7	6,47	6,47	3,39	2,26
		8	4,93	4,93	2,26	2,26
O-O	2. Açıklık	1	9,55	8,01	5,65	5,65
		2	9,55	8,01	5,65	5,65
		3	9,55	8,01	5,65	5,65
		4	9,55	8,01	5,65	5,65
		5	8,01	8,01	4,52	4,52
		6	8,01	8,01	3,39	3,39
		7	6,47	6,47	2,26	2,26
		8	4,93	4,93	2,26	2,26

**EK-2**

Ek-2 Seçilen yapının perde elemanların enkesitlerinde donatı alanları

<b>Katlar</b>	<b>Perde Boyutları</b>	<b>Donatı</b>
Tüm Katlarda	20 x 100	 14Φ14
Tüm Katlarda	20 x 120	 16Φ14
Tüm Katlarda	20 x 125	 18Φ14
Tüm Katlarda	20 x 160	 22Φ14
Tüm Katlarda	20 x 220	 28Φ14