

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN SİSMİK
DEĞERLENDİRMESİ**

Ender ÇAVDAR

Eylül, 2005

İZMİR

BETONARME BİNALARIN SİSMİK DEĞERLENDİRMESİ

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

Ender ÇAVDAR

**Eylül, 2005
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Ender ÇAVDAR, tarafından **Doç. Dr. Serap KAHRAMAN** yönetiminde hazırlanan “**BETONARME BİNALARIN SİSMİK DEĞERLENDİRMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren ve çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serap KAHRAMAN'a göstermiş olduğu yakın ilgi ve yardımlardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür eder, saygılar sunarım.

Ender ÇAVDAR

BETONARME BİNALARIN SİSMİK DEĞERLENDİRMESİ

ÖZ

Sunulan çalışmada, mevcut betonarme yapıların depreme karşı sismik performanslarının belirlenmesinde kullanılan lineer olmayan statik analiz yöntemi “Kapasite Spektrum Yöntemi” anlatılmıştır.

Tez çalışması dokuz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm yapılan çalışmaya giriş, Kapasite Spektrum Yöntemi’nin tarihçesi ve lineer olmayan statik analiz ile ilgili yapılmış olan çalışmaları içermektedir.

İkinci bölümde, mühendis tarafından bina üzerinde yapılmasında faydalı olan eksik ve hataları belirleme işlemleri (yatay ve düşey düzensizlikler, veri toplama, saha gözlemleri, malzeme testleri) anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, dünyaca büyük kabul görmüş sismik güvenlik değerlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölümde, yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri ve bunların kombinasyonlarından oluşan yapı performans seviyeleri tanımlanmıştır. Aynı zamanda uygun performans seviyesinin seçim yöntemi anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, deprem yer sarsıntısı hasar seviyeleri, zemin etkileri ve tepki spektrumunu oluşturmak için gerekli olan öğeler izah edilmiştir.

Altıncı bölümde; yük artımı analizi, indirgenmiş tepki spektrumu ve performans noktası konuları anlatılmış.

Yedinci bölümde, yapısal elemanların istenilen performans seviyesi limitlerini aşıp aşmadığını kontrol etmek için gerekli yapısal tepki limitleri anlatılmıştır.

Sekizinci bölümde, yük artımı analizi ve performans yöntemi ile ilgili SAP2000 programı ile yapılmış bilgisayar uygulamaları mevcuttur.

Dokuzuncu bölümde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Sismik Değerlendirme, Kapasite Spektrum Yöntemi, ADRS (İvme-Deplasman Tepki Spektrum) formatı.

SEISMIC EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

In this M. Sc. Thesis work, “Capacity Spectrum Method” which is nonlinear static analysis method used for determining the seismic performance of the existing reinforced buildings, was explained.

This M. Sc. Thesis consists of nine parts. First chapter includes introduction to the study, the history of the Capacity Spectrum Method and studies which were performed nonlinear static analysis.

In the second chapter, determination methods of deficiencies and mistakes (horizontal and vertical irregularities, data collection, field observations, material tests) on the building which should be performed by an engineer were described.

In the third chapter, the evaluating methods which were between the most accepted seismic safety evaluation methods all over the world were explained.

In the fourth chapter, structural and non-structural performance levels and the building performance levels which are the combination of them were explained. Also, the procedures of the selecting appropriate performance level were described.

In the fifth chapter, earthquake ground shaking hazard levels, ground effects and necessary elements to form response spectrum were explained.

In the sixth chapter, pushover analysis, reduced response spectrum and performance point were explained.

In the seventh chapter, the required structural response limits to control whether the structural elements exceed the desired performance limits or not were explained.

In the eighth chapter, computer simulations performed with Sap2000 about pushover analysis and performance method were given.

Conclusions of the thesis work were summarized in ninth chapter in detail.

Keywords: Seismic Evaluation, Capacity Spectrum Method, Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS) format.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	1
1.2 Çalışmanın Alanı ve Kapsamı.....	2
1.3 Kapasite Spektrum Yönteminin Tarihçesi ve Mevcut Çalışmalar	3
BÖLÜM İKİ-YAPISAL SİSTEMDEKİ EKSİKLİKLERİN	
BELİRLENMESİ.....	6
2.1 Tipik Eksiklik Konfigürasyonları	6
2.1.1 Genel.....	6
2.1.2 Yetersiz Yük Kullanımı (Eksik Yük Kombinasyonları)	6
2.1.3 Yapısal Düzensizlikler	7
2.1.4 Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş.....	8
2.1.5 Kısa Kolon	9
2.1.6 Çarpışma Etkisi	9
2.2 Veri Toplama.....	9
2.3 Saha Gözlemleri.....	10
2.4 Malzeme Testleri.....	10
2.4.1 Karot Testi.....	11
2.4.2 Beton Tabancası (Çekici) Testi.....	11
2.4.3 Agrega Testi.....	11
2.4.4 Betonarme Çeliği Testi.....	12

BÖLÜM ÜÇ-DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

ve TÜRKİYE’DE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....13

3. Değerlendirme Yöntemleri.....	13
3.1 Sismik İndeks Yöntemi.....	13
3.2 FEMA 310 Analiz Prosedürü.....	14
3.3 Potansiyel Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi için Aletsiz Hızlı Muayene (ATC-21)	15
3.4 Deplasman Katsayıları Yöntemi.....	16
3.5 Değerlendirme Yöntemleri Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	18

BÖLÜM DÖRT-PERFORMANS AMAÇLARI ve SEVİYELERİ.....21

4.1 Performans Amaçları	22
4.2 Performans Seviyeleri.....	22
4.2.1 Yapısal Sistem Performans Seviyeleri	23
4.2.1.1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1.....	23
4.2.1.2 Kontrollü Hasar (Sınırlı Hasar) Performans Seviyesi SP-2.....	23
4.2.1.3 Can Güvenliği Performans Seviyesi SP-3.....	23
4.2.1.4 Sınırlı Güvenlik Seviyesi SP-4.....	24
4.2.1.5 Yapısal Stabilitate (Yıkımın Önlenmesi) Performans Seviyesi SP-5.....	24
4.2.1.6 Yapısal Sistem Hasarının Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi SP-6.....	24
4.2.2 Yapısal Olmayan Sistem Performans Seviyeleri.....	25
4.2.2.1 İşlevsel Performans Seviyesi NP-A	25
4.2.2.2 Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B.....	25
4.2.2.3 Can Güvenliği Performans Seviyesi NP-C.....	25
4.2.2.4 Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi NP-D	26
4.2.2.5 Yapısal Olmayan Sistem Hasarının Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi NP-E	26
4.2.3 Yapı Performans Seviyeleri.....	26

4.2.3.1 İşlevsel Performans Seviyesi 1-A.....	26
4.2.3.2 Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B.....	27
4.2.3.3 Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C.....	27
4.2.3.4 Yapısal Stabilitate (Yıkımın Önlenmesi) Performans Seviyesi 5-E.....	27
4.3 Deprem Yer Hareketi.....	28
4.4 Performans Amaçları.....	28
4.5 Temel Güvenlik Amacı.....	29
4.6 Diğer Performans Amaçları.....	29
4.7 Performans Amaçlarının Tayin Edilmesi	30
4.7.1 Başlangıç Performans Amacı.....	30
4.7.2 Son Performans Amaçları	31
BÖLÜM BEŞ-SİSMİK RİSK.....	32
5.1 Deprem Yer Sarsıntısı Risk Seviyeleri.....	32
5.1.1 Servis Depremi (SE)	32
5.1.2 Dizayn Depremi (DE)	32
5.1.3 Maksimum Deprem (ME)	32
5.2 Zemin Etkileri.....	33
5.2.1 Zemin Sıvılaşması.....	33
5.2.2 Toprak Kayması.....	34
5.3 Yer Sarsıntısı Ana Kriterleri	36
5.3.1 Bölge Jeolojisi ve Zemin Karakteristikleri.....	36
5.3.1.1 Genel	36
5.3.1.2 Zemin Profil Tipi.....	36
5.3.1.3 Zemin Sınıflandırması	37
5.3.1.4 Ortalama Zemin Özellikleri.....	38
5.3.2 Bölge Sismisite Karakteristikleri.....	39
5.3.2.1 Sismik Bölge Katsayısı.....	39
5.3.2.2 Yakın Fay Katsayısı.....	39
5.3.3 Zemin Elastik Tepki Spektrumu.....	40
5.3.3.1 Spektral Çevre Haritaları	41

5.3.3.2 Bölge Özel Risk Analizi Çalışmaları.....	41
5.3.3.3 Elastik Tepki Spektrumunun Oluşturulması.....	42
BÖLÜM ALTI-LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ	48
6.1 Kapasite Spektrum Yöntemi	48
6.2 Lineer Olmayan Analiz için Basitleştirilmiş Yöntemler	48
6.2.1 Kapasite.....	48
6.2.2 Talep (Deplasman)	49
6.2.3 Performans	49
6.3 Kapasiteyi Belirlemek için Ardışık İşlemler	49
6.4 Talep Spektrumunu Belirlemek için Ardışık İşlemler.....	53
6.5 Talep Spektrumunun Kapasite Spektrum	
Yöntemi Kullanılarak Hesaplanması	54
6.5.1 Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal Oluşumu	55
6.5.2 Kapasite Spektrumunun Bilineer Hale Getirilmesi.....	58
6.5.3 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Tepki	
Spektrumunun İndirgenmesi	59
6.5.4 Spektral İndirgemenin Belirlenmesi.....	63
6.5.5 Talep Spektrumunun Geliştirilmesi.....	67
6.5.6 Kapasite Spektrumu ile Tepki Spektrumunun Kesişimi.....	68
6.5.7 Prosedür A Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplaması.....	69
6.5.8 Prosedür B Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplaması	72
6.5.9 Prosedür C Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplaması	76
6.6 Kapasite Spektrum Yöntemi'ni Geliştirmeye Yönelik Çalışmalar.....	81
BÖLÜM YEDİ-TEPKİ LİMİTLERİ.....	86
7.1 Beklenen Performansı Tanımlayan Limitler.....	86
7.2 Global Bina Kabul Limitleri.....	87
7.2.1 Ağırlık Yükleri.....	87
7.2.2 Yanal Yükler.....	87
7.2.3 Yatay Deformasyonlar.....	89
7.3 Elemanların Kabul Limitleri.....	90

7.3.1 Birincil, İkincil Elemanlar ve Parçalar.....	90
7.3.2 Elemanların Deformasyon Kapasitesi	90
BÖLÜM SEKİZ-ÖRNEK UYGULAMALAR.....	92
8.1 Giriş.....	92
8.2 Uygulama I	92
8.2.1 Yapısal Özellikler	92
8.2.2 Mafsal Özelliklerinin Tayini.....	95
8.2.3 Düzensizlik Kontrolü	96
8.2.4 Yük Artımı Analizi	97
8.3 Uygulama II	102
8.3.1 Yapısal Özellikler	102
8.3.2 Düzensizlik Kontrolü	103
8.3.3 Yük Artımı Analizi	104
BÖLÜM DOKUZ-SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	110
SEMBOL LİSTESİ.....	112
KAYNAKLAR.....	115

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Amaç

Depremler seyrek tekrarlandıkları için sürekli gündemde olmayan, ancak meydana geldiklerinde toplumları derinden etkileyen doğal afetlerdir. Son on yılda özellikle kentsel yerleşim bölgelerinde büyük can kayıplarına neden olan depremler toplumumuzda derin izler bırakmıştır. Doğal olarak, gerek yeni inşa edilecek, gerekse mevcut yapıların depreme karşı dayanıklılığı toplumumuz için büyük önem kazanmıştır.

Meydana gelen depremler, ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümünün 1998 yılında yürürlüğe giren *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik* tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip olmadıklarını ortaya koymuştur. Bunun başlıca nedenleri; proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detayları, taşıyıcı eleman boyut ve yerleşimleri açılarından önemli farklılıkların bulunması, projelerde göz önüne alınan deprem yüklerinin az olması, sünekliği sağlayan detayların eksik olması şeklinde sıralanabilir. Bu nedenlerden dolayı, mevcut hasar görmemiş betonarme binaların olabilecek bir depreme maruz kalmadan önce deprem dayanımlarının belirlenmesi ve gerekiyorsa güçlendirme yapılarak performanslarının yeterli düzeye getirilmesi gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Alanı ve Kapsamı

Deprem sonrasında yapılarda gözlemlenen hasarların, yönetmeliklerin tanımladığı eşdeğer deprem yükleri altında tasarlanan yapısal elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile doğrudan ilgili olmadığı, özellikle kolon yerleşim ve detaylandırma hataları sonucunda deprem kuvvetlerinin neden olduğu yatay yer değiştirmelerin elastik sınırları aşmasıyla meydana geldiği uzun süredir bilinmektedir (Aydınoglu, 2003). Yönetmeliklerdeki tasarım yöntemlerinde binaların deprem esnasında lineer davranış gösterdikleri kabul edilmektedir. Bu yaklaşım, hesaplarda mühendislerin işini kolaylaştırmakla birlikte deprem esnasında lineer olmayan davranış gösteren binalarda oluşan gerçek kuvvetleri doğru olarak ifade edememektedir. Bu kuvvetlerin kullanılmasıyla yapılan değerlendirmelerin yaklaşık sonuçları, uygun güçlendirme stratejisi seçimi ve güçlendirme maliyetinin belirlenmesinde yanlış sonuçlar verebilmektedir. Binalarda gerçekçi ve yeterli olmayan, güvensiz güçlendirme tasarımları veya gerekli olmayan güçlendirme yapılmasına neden olmaktadır.

Deprem mühendisliğinde son on yılda meydana gelen gelişmeler, mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve yeni yapıların deprem tasarımında yer değiştirmeye göre tasarım ilkesinin dikkate alınmasını öngörmektedir. Bu amaçla; yapıların tasarımı, deprem güvenliğinin belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi için performans esaslı yeni prosedürler geliştirilmektedir. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri bu çalışmalarda önemli yer tutmaktadır. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri; temel olarak yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının lineer olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir (İrtem ve diğer., 2004).

Sunulan çalışmada; mevcut betonarme yapıların depreme karşı sismik performanslarının belirlenmesinde kullanılan ATC-40'ta (Applied Technology

Council 40) tanımlanan lineer olmayan statik analiz yöntemi *Kapasite Spektrum Yöntemi* anlatılmaktadır. Ele alınan yöntemde; mevcut bir yapının deprem güvenliğinin saptanmasında izlenecek yol ve değerlendirme gereksinimine yönelik dikkat edilmesi gereken kriterler anlatılmaktadır.

1.3 Kapasite Spektrum Yönteminin Tarihçesi ve Mevcut Çalışmalar

Kapasite Spektrum Yöntemi ilk defa yapıların sismik tehlikelere karşı dayanımlarını tahmin etmek için hızlı değerlendirme prosedürü olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu prosedürde yük artımı (pushover) eğrisi şeklindeki yapının kapasitesi ile indirgenmiş tepki spektrumu şeklindeki yapı talebi kıyaslanmaktadır. İki eğrinin grafik kesişimi yapının yaklaşık tepkisini (maksimum deplasmanı) vermektedir. Yapının lineer olmayan davranışının etkilerini hesap edebilmek için elastik tepki spektrumu eşdeğer viskoz sönümlere kullanılarak modifiye edilmektedir. Kapasite Spektrum Yöntemi ile elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerin deprem deformasyonları, eşdeğer elastik tek serbestlik dereceli sistemlerin ardışık iteratif prosedürleri kullanılarak yaklaşık olarak elde edilmektedir. Böylece elastik olmayan sistemlerin dinamik analizine gerek kalmamaktadır (Freeman ve diğer., 1975).

Elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerde Kapasite Spektrum Yöntemi'nin doğruluğu, talep spektrumunu oluşturmak için seçilen ivme tepki spektrumuna ve eşdeğer viskoz sönüm oranlarını hesaplamakta kullanılan sönüm modeline bağlıdır. Yapının lineer olmayan davranışını en iyi şekilde ifade edecek sönüm modeli seçilmelidir.

ATC-40'ta belirtilen A tipi idealize edilmiş çevrimsel sönüm modeli kullanıldığı zaman geniş periyot aralıkları için sistemin deplasman taleplerinin önemli ölçüde az tahmin edildiği saptanmıştır. R_μ - μ - T_n eşitlikleri (Newmark-Hall, 1982; Chopra, 1995) kullanılarak elastik tasarım spektrumundan elde edilen elastik olmayan tasarım spektrumunu, talep spektrumu gibi kullanarak Kapasite Spektrum Yöntemi'nin geliştirilmesi amaçlanmıştır (Fajfar, 1999; Chopra ve Goel, 2000).

Bilineer çevrimsel osilatörler kullanarak eşit lineer sistemler için tanımlanan dokuz sönüm modeli kıyaslandığında; tüm yaklaşık modellerin geniş süneklik aralıkları için eşdeğer viskoz sönümleri fazla hesapladığı, Ortalama Rijitlik ve Enerji (ASE) Modeli'nin tüm süneklik aralıkları için düşük hata değerleri verdiği görülmüştür (Iwan ve Gates, 1979).

Deplasman tabanlı sismik talep değerlendirmesi ve inelastik tasarım konuları incelenirken sönüm modelleri kıyaslanmış ve süneklik oranı 4'ten az olan yapılarda Ortalama Rijitlik ve Enerji (ASE) Modeli'nin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği saptamıştır (Xue, 2001).

Yüksek modların göz önüne alınması bakımından esas olarak spektrum analizine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, modal eşdeğer deprem yüklerinin hesabı için elastik ivme spektrumunu esas almakta ve yüksek modların etkilerini de içeren global yük artımı eğrilerinin uygun bir mod birleştirme kuralı ile elde edilmesini amaçlamaktadır (Elnashai, 2002).

Modal Yük Artımı Analizi (Modal Pushover Analysis – MPA) Yöntemi'nde, göz önüne alınan her bir mod için ilgili mod şekli ile orantılı yük dağılımı esas alınarak bağımsız olarak yapılan yük artımı analizi sonucunda modal yük artımı eğrileri elde edilmektedir. Daha sonra bu eğrilerin koordinatları, ilgili modlar için tanımlanan eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemlerin koordinatlarına dönüştürülmekte ve her bir mod için modal deprem talepleri hesaplanmaktadır. Daha sonra modal deprem talepleri uygun bir mod birleştirme kuralı ile birleştirilerek deprem talepleri elde edilmektedir (Chopra ve Goel, 2001).

Kapasite Spektrum Yöntemi'nin doğruluğunu arttırmak için sözde (pseudo) ivme tepki spektrumu (PSa) yerine gerçek ivme tepki spektrumunu (Sa) kullanarak tasarım spektrumunun oluşturulmasının tavsiye edildiği bir çalışmada ATC-40'ın önerdiği sönüm modeli Kowalsky çevrimsel modeli, Ortalama Rijitlik ve Enerji (ASE) modeli ve WJE (Wiss, Janney, Elstner) modeli ile kıyaslanmıştır (Lin ve Chang, 2003).

Artımsal Spektrum Analizi Yöntemi (ARSA) ile yönetmeliklerde tanımlanan standart davranış spektrumundan yararlanılarak çok modlu lineer olmayan performans değerlendirmesi yapılabilmektedir. ARSA yönteminin esası *modal kapasite diyagramları* adı verilen ve modal histeresis eğrilerinin *iskelet eğrileri* olarak tanımlanan diyagramların yaklaşık olarak elde edilmesine dayanmaktadır. Bu diyagramlar, çok modlu yük artımı analizinin her adımında hesaplanan lineer olmayan spektral yer değiştirmelere bağlı olarak tanımlanmaktadırlar (Aydınoğlu, 2003).

BÖLÜM İKİ

YAPISAL SİSTEMDEKİ EKSİKLİKLERİN BELİRLENMESİ

2.1 Tipik Eksiklik Konfigürasyonları

2.1.1 Genel

Ülkemizdeki betonarme yapılar çerçevelerden veya perde-çerçeve birleşimlerinden oluşan taşıyıcı sistemlerden meydana gelmektedirler. Bu iki yapı tipinin ortak özelliği düşey ağırlık yüklerinin betonarme çerçeve sistemi tarafından taşınmasıdır. Betonarme çerçeveli yapılar düşey yükleri taşımak ile beraber yatay kuvvet tepki sistemi olarak da kullanılmaktadır. Perde-çerçeve yapılarda perdeler yatay yüklerin karşılanmasında çerçeveler ile beraber veya yalnız başlarına kullanılmaktadırlar. Bazı durumlarda merdiven veya asansör kovaları gibi betonarme duvarlar bazı lokal düşey yükleri taşımaktadırlar. Perde tek başına düşey bir giriş davranışı göstermektedir. Ancak, perdelerin ince kesiti nedeniyle yanal stabilite sorunu ortaya çıkabileceği düşünülse de, kat döşemeleri perdede yeterli yanal rijitlik oluşturarak bu tehlikeyi ortadan kaldırmaktadır. Perdelerde yatay yüklerden dolayı eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, düşey yükler nedeniyle de normal kuvvetler meydana gelmektedir (Celep ve Kumbasar, 2000).

2.1.2 Yetersiz Yük Kullanımı (Eksik Yük Kombinasyonları)

Yapıya etkiyen tüm ağırlık ve deprem yüklerinin belirlenmesi varolan betonarme yapıların değerlendirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Deprem yüklerinin sadece yatay düzlemde ve binanın birbirine dik iki eksenini doğrultusunda ayrı ayrı etkidikleri varsayılmaktadır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksenlerinin göz önüne alınan yatay deprem doğrultuları ile çakışmadığı durumlarda A4 düzensizliğindeki koşullar uygulanmaktadır. Deprem yükleri ile diğer yüklerin ortak etkisi altında binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak iç kuvvetlerinin taşıma gücü ilkesine göre hesabında kullanılacak yük katsayıları, ilgili yapı yönetmeliklerinden alınmaktadır (ABYYHY, 1998).

2.1.3 Yapısal Düzensizlikler

1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te (ABYYHY-98) binalarda görülebilecek plandaki ve düşey doğrultudaki düzensizlik durumları açıklanmaktadır. Yapıda bu düzensizliklerden bir veya birkaçının bulunması halinde yapıda istenmeyen etkiler oluşmaktadır.

Yapı planının asimetrik olması durumunda yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmamakta ve deprem esnasında burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Burulma düzensizliği, herhangi bir katta, maksimum görelî yer değiştirmenin ortalama görelî yer değiştirmeye oranı olarak hesaplanan bir burulma düzensizliği katsayısına bağılı olarak tanımlanmaktadır.

Yüklerin zemine aktarımı açısından düşey taşıyıcı elemanların tüm katlar boyunca sürekliliği çok önemlidir. İş yeri olarak kullanılan zemin katlarda daha geniş mekan elde etmek için düşey taşıyıcıların kesildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca üst katlarda iç mekanı büyütmek amacıyla dışarıya doğru 1,5-2,0 metrelik çıkmalar çok sık yapılmaktadır. Bunların bazılarında iç mekandaki kolon dış duvar içine alınarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulmaktadır. Bu durum düşey yüklerin zemine iletilmesini dolaylı olarak engellendiği için önemli bir düzensizlik ortaya çıkarmaktadır.

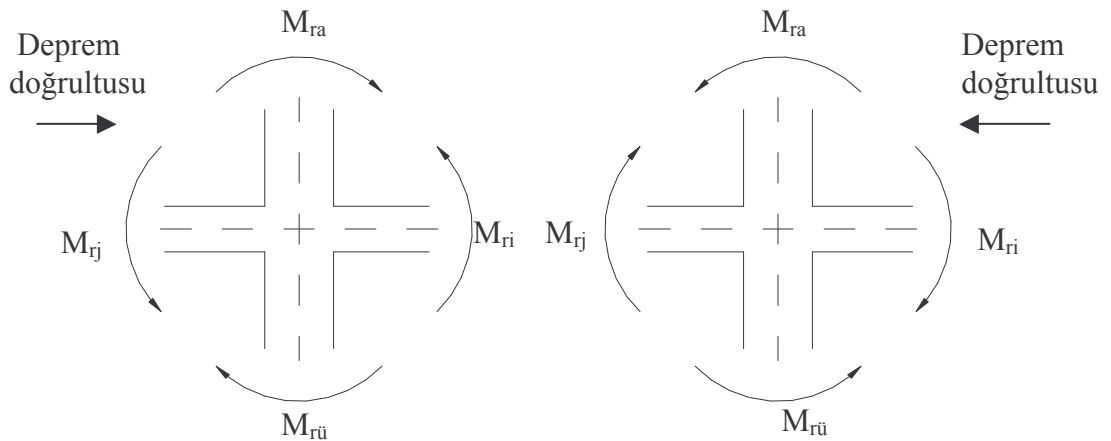
Betonarme binalarda, çerçeve sisteminin dışında düzenlenen geniş balkonların ağır betonarme parapetlerle çevrilmesi halinde kütle merkezi yukarı kaymakta ve deprem etkisi artmaktadır.

Genellikle cadde veya sokak seviyesindeki zemin katın ticari amaçla düzenlenmesi için zemin kat diğer katlardan daha yüksek yapılmaktadır. Hem ön cephedeki, hem de iç açıklıklardaki bölme duvarlar kaldırılmaktadır. Böylece zemin katın rijitliği ve dayanımı diğer katlara oranla belirgin şekilde azalır ve yumuşak kat meydana getirir (Özcebe, 2004).

2.1.4 Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş

Optimum sismik performansın elde edilebilmesi için çerçeve elemanlarındaki kesme dayanımlarının eğilme dayanımlarından büyük olması ve kolonların eğilme dayanımlarının kirişlerin eğilme dayanımlarından büyük olması gerekmektedir. Bu, sistemin enerji yutabilme kapasitesini arttırmaktadır. Eğer betonarme çerçeve sistemlerde kirişler kolonlardan güçlü olur ise ilk olarak kolon-kiriş bağlantılarında kolon uçları mafsallaşır ve kolonlarda lineer olmayan yer değiştirmeler oluşur. Bunun sonucunda da birkaç salınımdan sonra kolonlar düşey yük taşıma kapasitelerini kaybederler. Bu nedenle sadece çerçeveden veya perde-çerçeve birleşimlerinden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olmalıdır (Şekil 2.1).

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1,2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Kolon-kiriş düğüm noktaları

2.1.5 Kısa Kolon

Betonarme binalarda, çerçevelerin yarım yükseklikte bölme duvarlarla doldurulması, bant pencere oluşturulması, merdiven sahanlıklarında ara kirişler kullanılması kısa kolon oluşumunun başlıca nedenleridir. Kısa kolonlar depremde çoğunlukla ağır hasar görürler.

2.1.6 Çarpışma Etkisi

Bitişik durumdaki binalar için geçerlidir. Eğer bitişik durumdaki binaların kat adetleri ve döşeme seviyeleri farklıysa çarpışma etkisi ortaya çıkmaktadır. Sadece döşeme seviyelerinin farklı olması da çarpışma etkisi yaratmaya yeterli olabilmektedir. Çarpışmada binaların üst katları daha fazla hasar görür. Çarpışma etkisi ara kat çökmelerine neden olabilmektedir. Bu nedenle binalar arasında yeterli deprem derzi bulunmalıdır.

2.2 Veri Toplama

Betonarme binaların sismik değerlendirmesi doğru veri toplamaya bağlıdır. Veri toplama işlemi mevcut projeyi, arazi çalışmalarını, malzeme testlerini ve dokümanları içermektedir. Veri toplama işlemi çizimlerin uygunluğuna ve değerlendirilen performans seviyesine göre binadan binaya farklılıklar arz etmektedir. Ön değerlendirme, detaylı değerlendirme, analizler ve son güçlendirme projelerinin hazırlanması için kesin bina bilgileri gerekmektedir. Potansiyel kaynaklar; bina sahibi, mühendisler odası, yerel yönetimler, yapının mimar ve mühendisinden elde edilebilir. Yapı çizimlerinin gözden geçirilmesi arazi çalışmalarını kolaylaştırır ve yapıyı daha kapsamlı anlamamızı sağlar. Ayrıca bina dokümanlarının, bilgilerinin varolması bina değerlendirmesinin ekonomik olmasını sağlayıcı bir faktördür. Çoğu proje için aşağıda belirtilen konularda bilgi toplanmak yeterli olmaktadır:

- Bina geometrisi, konfigürasyonu ve kütlesi (yapısal, mimari ve mekanik sistem durumları),
- Temel, duvar, çerçeve yanal yük taşıyıcı elemanları ve bağlantı noktaları,
- Yapısal elemanların konfigürasyonu, boyutları,
- Yapısal sistemde kullanılan beton ve çelik malzeme özellikleri,
- Yapısal olmayan elemanların ankraj durumları,
- Yapısal hesaplar,
- Bölgenin sismik özellikleri,
- Zemin raporu,
- Bina mülk değeri.

2.3 Saha Gözlemleri

Saha gözlemleri, bina değerlendirmesi yapan mühendisler için son derece önemlidir. Saha gözlemleri gerekli değerlendirmeler ve öncül amaçlara göre çeşitlilik gösterir. Çoğu proje için tipik saha gözlemleri aşağıdaki gibidir.

- Orijinal çizimlerin doğruluğunun kontrolü veya orijinal çizimler mevcut değil ise temel bina bilgilerinin belirlenmesi.
- Orijinal çizim ve dokümanlarda olmayan ana değişikliklerin belirlenmesi.
- Görünür beton çatlağı gibi yapısal hasarların belirlenmesi. Büyük depremler veya düşük kalite inşaat sonucu yapısal hasarlar veya binada güç tükenmesi gibi zararlar oluşabilmektedir. Binanın taşıma kapasitesi azalabilir.
- Asma tavanlar, ince bölme duvarlar, kaplamalar, mekanik sistemler gibi yapısal olmayan elemanların yıkılma tehlikesinin belirlenmesi.

2.4 Malzeme Testleri

Orijinal inşaat dokümanları mevcut ise ve saha gözlemleri sırasında olumsuz bir durum ile karşılaşılmadıysa dokümanlardaki malzeme bilgileri kullanılarak ön değerlendirme tamamlanabilir. Bununla birlikte ayrıntılı değerlendirme ve analiz tekniği için bina sistemi ve bağlantı noktaları tam olarak saptanmalıdır. Eğer orijinal

inşaat dokümanları ve malzeme bilgileri yeterli değil ise beton ve betonarme çeliğinin dayanımını belirlemek için malzeme testi programı uygulanmalıdır.

Tipik detaylı test programı; panchometer ile betonarme demiri varlığının ve aralıklarının kontrolü, beton çekirdek (karot) testi, beton tabancası (çekici) testi, beton agregasının birim ağırlık testi ve betonarme çeliği testlerinden oluşmaktadır. Değerlendirmeyi yapan mühendis her projenin özelliğine göre gerekli testleri belirler.

2.4.1 Karot Testi

Yapı betonunun kalitesini belirlemek için yapıdaki taşıyıcı elemanlara karot testi uygulanmalıdır. Karot testi ile betonun basınç dayanımı, nemi, granülometri - agrega - çimento dozajı, malzeme ve işçilik, birim hacim ağırlık hakkında gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir. Karot numuneleri; perde, çerçeve ve diyafram gibi kritik elemanlardan alınmalıdır. Karot alımı esnasında yapıya zarar verildiği için her kat seviyesinden 2 tane, her bina için en az 8 tane numune alınması yeterlidir. Ancak test sonuçları farklılık gösteriyorsa ek karot numuneleri alınabilir (Kahraman ve Bozdağ, 2004).

2.4.2 Beton Tabancası (Çekici) Testi

Yapıya zarar vermemek için sınırlı sayıda karot numunesi alındığından beton dayanımını belirlemek için uygulanır. Her kat seviyesi için en az 8 test, her bina için ise en az 16 test yapılmalıdır. Beton tabancası testi sonuçları karot testi sonuçları ile karşılaştırılmalıdır.

2.4.3 Agregat Testi

Betonarme yapılarda kaliteli agrega kullanılıp kullanılmadığı beton agregasının birim ağırlık testi yapılarak belirlenmektedir. Basınç testi için alınan karot numuneleri agrega testi için kullanılabilir.

2.4.4 Betonarme elięi Testi

Çelięin dayanım ve deformasyon kapasitesinin belirlenebilmesi için betonarme çeliği testi yapılmalıdır. Her çeşit donatıdan (kolon, kiriş, perde, döşeme ana donatıları ve etriyeleri) uer numune alınmalıdır. Çelięin içindeki karbon oranının belirli bir yüzdeye kadar artması ile alaşımın dayanım, elastisite modülü ve sertlik gibi özellikleri doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak bazı özellikleri de örneğin süneklik ve enerji yutabilme yeteneği azalmaktadır. Bu nedenle çeliğin karbon muhtevası belirlenmelidir (Baradan, 2000).

BÖLÜM ÜÇ

DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ ve TÜRKİYE’DE YAPILAN ÇALIŞMALAR

3. Değerlendirme Yöntemleri

İnceleme/değerlendirme çalışmaları için dünya çapında kullanılan kabul görmüş hızlı değerlendirme ve detaylı değerlendirme yöntemleri mevcuttur. Binanın yerinde incelenerek bilgi toplanması, bina tipinin belirlenmesi, arazi çalışmaları değerlendirme yöntemlerinin ortak yanları olarak ortaya çıkmaktadır.

3.1 Sismik İndeks Yöntemi

Sismik İndeks Yöntemi, Japonya’da betonarme yapıların depreme karşı dayanımlarını belirlemek için kullanılan hızlı değerlendirme yöntemidir. Yöntem giderek daha gerçekçi sonuç veren ve daha çok zaman alan üç aşamadan oluşmaktadır. İncelemenin ilk aşamasında yapının taşıyıcı sistemi, yaşı, geometrisi ve fiziksel durumu incelenmektedir. Bu incelemeler sonucu elde edilen veriler ışığında yapının deprem performansını gösteren I_s indeksi belirlenmektedir. I_s indeksi, daha önceki deprem verilerinden elde edilmiş olan I_{so} karşılaştırma indeksi ile kıyaslanarak yapının deprem güvenliği tahmin edilmektedir. Bu karşılaştırma tüm kritik katlar ve iki asal deprem doğrultusu için ayrı ayrı yapılmaktadır. $I_s > I_{so}$ durumunda yapının depreme karşı güvenli olduğu, tersi durumda ($I_s < I_{so}$) ise yapının deprem güvenliğinin belirsiz olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. I_s indeksi,

$$I_s = E_0 \cdot G \cdot S_D \cdot T \quad (3.1)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır. (3.1) ifadesinde E_O , yapının temel davranışını etkileyen temel indeks değeridir. E_O temel indeksi taşıma gücü ile hesaplanan C ve sünekliği ifade eden F indekslerinin çarpımıyla elde edilmektedir. G , zeminin yer hareketi indeksidir. S_D , yapının fiziksel özelliklerine ve geometrisine göre belirlenen indekstir. T indeksi ise zamana bağlı oluşan etkilere göre belirlenmektedir.

Karşılaştırma indeksi I_{so} ise

$$I_{so} = E_S \cdot G \cdot Z \cdot U \quad (3.2)$$

bağıntısı ile elde edilebilmektedir. (3.2) bağıntısında E_S temel sismik karşılaştırma indekstir. Birinci seviyede inceleme için 0,8, ikinci seviye için ise 0,6 alınmalıdır. Z , deprem bölgesi indekstir. Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde genel olarak 1,0 alınmaktadır. Yapının bulunduğu bölgenin deprenselliğine göre azaltılabilmektedir. Ancak Z katsayısının hiçbir zaman 0,7'den küçük alınmaması önerilmektedir. G zemin indeksi, zemin büyütmesi oluşturacak nitelikte zemin durumu ve topografik koşullarla ilgili olan büyüklüktür. G indeksi zemin durumuna göre 1,0 ile 1,1 arasında değişen değerler alabilmektedir. Zemin koşulları kötüleştikçe G katsayısının değeri büyümektedir. U , yapı önem indekstir. Her yapı için yapının önem derecesi ve deprem sonucu oluşabilecek etkilerin boyutu göz önüne alınarak özel olarak belirlenmelidir. Deprem sırasında insanların barınak olarak kullanacağı yerler, tehlikeli madde depoları gibi yapılarda U katsayısının 1,25, konut ve benzeri yapılarda 1,0 olarak alınması önerilmektedir (Boduroğlu ve Özdemir, 1996).

3.2 FEMA 310 Analiz Prosedürü

FEMA 310 da Sismik İndeks Yöntemi gibi üç aşamalı bir yöntemdir. İlk aşamada yapı; taşıyıcı sistem, temeller, taşıyıcı olmayan elemanlar, yapının malzeme kalitesi, yapıdaki düzensizlikler, yüklerin aktarımı, zayıf kat, yumuşak kat, zayıf kolon-güçlü kiriş, mevcut yapı çatlakları, zemin sıvılaşması, toprak kayması, bitişik bina gibi durumları içinde barındıran bir kontrol listesi aracılığıyla ele alınmaktadır. İkinci

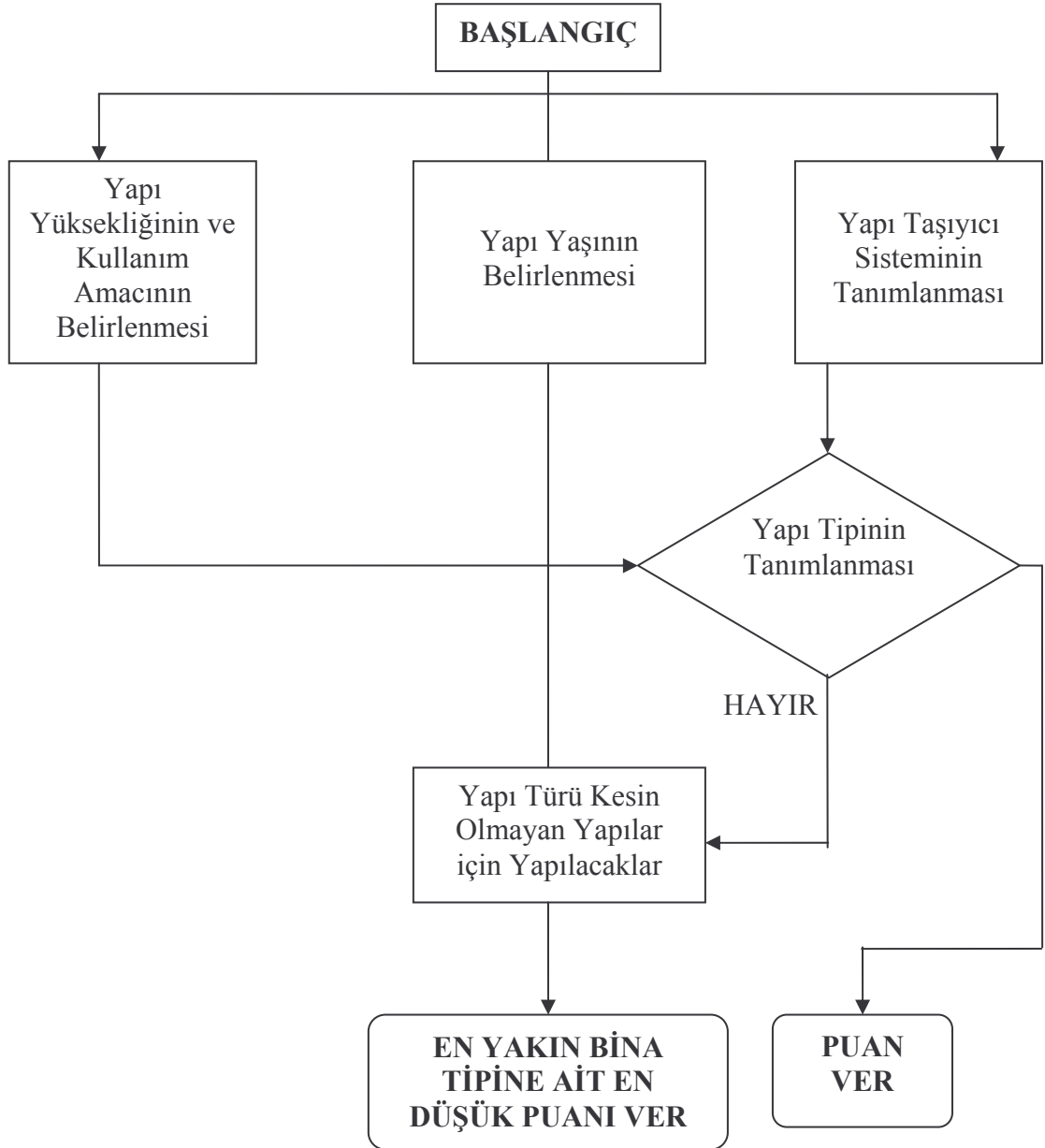
aşamada ise yapı; her kat için lineer statik analiz ve lineer dinamik analize göre hesaplanan kayma gerilmelerinin sınır kayma gerilmeleri ile karşılaştırılması yoluyla incelenmektedir. Bu aşama ayrıntılı inceleme/değerlendirme çalışmaları için bilgi toplamaktan oluşmaktadır. Üçüncü aşamada ise lineer olmayan statik ve dinamik analiz yapılması önerilmektedir.

3.3 Potansiyel Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi için Aletsiz Hızlı Muayene (ATC-21)

ATC-21 hızlı tarama yöntemi, yapıların dışarıdan değerlendirilerek yapı deprem güvenliğinin belirlenmesi ve bunun daha ayrıntılı yöntemlere yol göstermesi amacıyla kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanması sırasında yapının fotoğrafları, kullanım amacı, taşıyıcı sistem türü ve mimari özelliklerinin bulunduğu bir veri toplama formu hazırlanmaktadır. Hazırlanan veri toplama formuna göre hesaplanan yapısal puanın, meydana gelebilecek bir depremdeki binanın davranışını temsil etmesi esas alınmaktadır. Yöntemin uygulanmasında herhangi bir mühendislik hesabı yapılmamaktadır.

İlk olarak yapı türü için *Yapı Hasar Ana Puanı* tanımlanmaktadır. Yapının taşıyıcılığına ve bulunduğu bölgeye bağlı olarak verilen bu puan bölgede meydana gelebilecek olası bir depremde oluşacak önemli hasar olasılığını yansıtmaktadır. Önemli hasar; gerekli onarım ve güçlendirmenin yapı değerinin yaklaşık %60'ına varması olarak kabul edilebilmektedir.

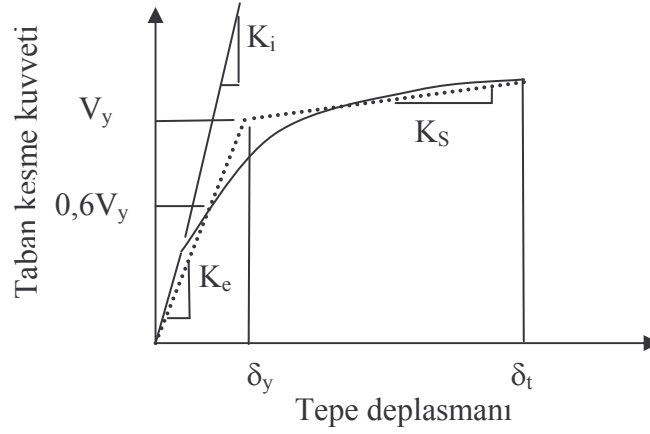
Mühendisler tarafından yapıdaki düzensizlikler (kısa kolon, düşey düzensizlikler, planda düzensizlikler, yumuşak kat, ...) göz önüne alınarak yapının ana puanından azaltmalar sonucunda yapının taşıyıcı sisteminin depreme dayanıklılığını temsil eden bir puan elde edilmektedir. Yüksek puan değeri iyi deprem davranışını göstermektedir. Düşük değer ise yetersiz deprem davranışı ve olası hasara karşılık gelmekte, daha ayrıntılı değerlendirme yapılmasını gerektirmektedir. ATC-21 Yöntemi ile yapılan değerlendirmede izlenen yolun şematik gösterimi Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 ATC-21 yöntemi ile hızlı değerlendirme prosedürü (Kahraman ve Bozdağ, 2004).

3.4 Deplasman Katsayıları Yöntemi

Performans tabanlı diğer bir yöntem ise FEMA 273’de anlatılan *Deplasman Katsayıları Yöntemi*’dir. Bu yöntemde; talep deplasmanı, istatistiksel analizlere dayanan bazı düzeltme çarpanları kullanılarak elastik tepki spektrumundan elde edilen elastik olmayan tepki spektrumu ile belirlenmektedir (Sucuoğlu ve diğer., 2002).



Şekil 3.2 Deplasman katsayıları yöntemine göre kapasite eğrisinin gösterimi

Şekil 3.2’de hedef deplasmanının deplasman katsayıları yöntemi ile belirlenmesi gösterilmektedir. Şekildeki V_y ve δ_y sırayla akma noktasındaki taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı, δ_t ise hedef deplasmanıdır. Bu yöntemde kapasite eğrisi elde edildikten sonra, yapının etkin periyodu

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.3)$$

ifadesi ile, hedef deplasmanı da

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.4)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir. (3.3) denkleminde;

T_i : yapının elastik dinamik analiz ile bulunan birinci doğal periyodu,

K_i : elastik başlangıç rijitliği,

K_e : elastik etkin rijitliktir.

(3.4) denkleminde;

C_0 : yapının çatı deplasmanını spektral deplasman ile ilişkilendiren katsayı,

C_1 : lineer-elastik davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayı,

C_2 : histeresis şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayısı,

C_3 : ikinci mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış deplasmanları temsil eden katsayı,
 S_a : yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir.

3.5 Değerlendirme Yöntemleri Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

1999 yılında Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde art arda yaşanan, büyük can ve mal kaybına neden olan iki büyük deprem sonrasında İstanbul'da deprem gerçeği dikkate alınarak; İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi işbirliği ile Deprem Master Planı hazırlanmıştır. Master Plan ile İstanbul'un depreme karşı güvenli hale getirilmesi için gerek mevcut yapı stoğunun gerekse tüm kentsel, kamusal mekanların ve altyapı tesislerinin değerlendirilmesi ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapılar için teknik, hukuki, sosyal ve mali açılardan uygunluk arz eden gerekli güçlendirme ilkelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2004).

İstanbul'da deprem riskinin belirlenmesi için gerekli temel veriler ve risk değerlendirmelerinin yer aldığı raporlar çalışmanın temellerini oluşturmaktadır. Mevcut durum altında; probabilistik ve deterministik deprem tehlikesi, olası zemin problemleri ayrıntılı olarak incelenmektedir. Kentin mevcut durumu hakkında tam bir bilgi sahibi olmak amacıyla binalar, kentsel altyapı (ulaşım ağı, doğalgaz, su, elektrik ve telekomünikasyon şebekeleri) ve sanayi tesisleri hakkındaki mevcut bilgiler derlenerek deprem performansı açısından değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Bina, altyapı ve endüstriyel tesislerin beklenen performansları ve sosyal kayıplar değerlendirilmektedir.

Çalışmalarda yapılmış deprem riski sıralamasında göz önüne alınan unsurlar; deprem yer hareketi (şiddet, 0,2 sn ve 1,0 sn periyotlu spektral ivmeler), zemin problemleri (sıvılaşma ve heyelan potansiyeli yüksek yerler), bina hasarları (ağır hasar ve toptan göçme sınıfı), can kaybı, kapalı yol oranları (acil yardım ve kurtarma etkinliği açısından), endüstriyel bölgelerde oluşabilecek yangın, tehlikeli madde sızıntıları ve patlamalardır.

İstanbul'daki bina türü yapıların deprem dayanımlarının incelenmesindeki temel amaç; olası büyük bir depremde binaların hasar görme olasılıklarının tekil bina bazında tahmin edilmesi ve özellikle hasar görme olasılığı can kaybına neden olabilecek derecede yüksek olan binaların ve bu binaların bulunduğu bölgelerin saptanmasıdır.

Binaların deprem dayanımlarını inceleme çalışmaları üç kademeli olarak öngörülmüştür. Birinci kademe inceleme/değerlendirme çalışmaları, *sokaktan inceleme* olarak da nitelendirilen *envanter ve ön değerlendirme* çalışmalarına karşı gelmektedir. Bu çalışmaların amacı, binanın dışından bakılarak kısa sürede toplanabilecek sınırlı sayıdaki verinin rasyonel bir biçimde değerlendirilmesi ile kentteki tüm binalar için deprem performansları bakımından bir *ön sıralama* yapılmasıdır. Bu aşama; binaların kat adetleri, komşu binalarla aralarındaki dilatasyon genişlikleri, açıklık sayıları, hiperstatiklik dereceleri, fiziksel durumları, bulundukları bölgenin topografya bilgileri, ayrıca yumuşak kat, kısa kolon, planda ve yükseklik boyunca düzensizliklerinin olup olmaması gibi deprem açısından risk unsuru olan özelliklerinin belirlenmesi için veri toplamaktan ibarettir.

İkinci kademe inceleme/değerlendirme çalışmalarında; birinci kademe aşamasında yapılan öncelik sıralamasında en başta yer alan binalar veya bu tür binaların çoğunlukta olduğu bölgelerden başlamak üzere daha ayrıntılı olan inceleme/değerlendirme çalışmaları yapılacaktır. Bu kademedeki çalışmaların amacı, olabildiğince çok sayıda bina hakkında nihai kararın verilebilmesine olanak sağlayacak performans değerlendirmelerini güvenilir bir biçimde yapmak ve üçüncü kademe çalışmalarına olabildiğince az sayıda bina bırakmaktır. Bu amaçla, yapının düşey yük taşıyıcı elemanlarının boyutları ve yanal rijitliğine katkıda bulunan elemanların boyutları gibi temel parametrelere bakılarak can güvenliği performans kriterini sağlamayacak türdeki binalar mümkün olduğunca doğru olarak belirlenecektir.

Üçüncü kademe ayrıntılı inceleme/değerlendirme çalışmaları; özellikle çok katlı konut ve iş yeri binaları ile önemli kamu binalarını kapsamak üzere, her tekil bina için, deprem mühendisliği konusunda yetkinliği tescil edilmiş mühendislik firmaları tarafından, belirlenen yöntemlere ve performans hedeflerine göre yapılacak ayrıntılı analizleri içerecektir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2004). Bu amaçla, yapıların matematik modellerinin kurulması ve analizlerinin yapılması suretiyle yanal ötelenmeleri ve dayanımları kontrol edilerek deprem açısından yeterli olup olmadıkları araştırılacaktır.

Mevcut yapıların depreme karşı performanslarını tahmin etmekte kullanılacak bu yöntemlerin işlevsel hale getirilmesi; seçilecek bir bölgede yapı stoğunun nitelikleri dikkate alınarak çok sayıda mevcut yapı için uygulanıp, elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılarak, gereken düzeltmelerin yapılmasıyla sağlanabilecektir.

BÖLÜM DÖRT

PERFORMANS AMAÇLARI ve SEVİYELERİ

4.1 Performans Amaçları

Performans amaçları; binaların beklenen depreme karşı gösterecekleri davranışı, yani sismik performanslarını tanımlamaktadırlar. Sismik performans, beklenen bir deprem etkisi altında kabul edilebilir maksimum hasar durumunun belirlenmesi şeklinde de tanımlanabilmektedir. Bir performans amacı birçok yer hareketi hasar seviyesini içerebilmektedir. Bu durum *İkili veya Çoklu Performans Amacı* olarak tanımlanmaktadır.

Bir binanın değerlendirmesinde; mühendis ile yapı sahibi, uygun performans amacını belirledikten sonra mühendis, analizlerde kullanılacak sismik talebi, binanın yapısal ve yapısal olmayan sistemlerinin tasarımı ve değerlendirmesinde kullanılacak kabul edilebilirlik kriterlerini belirlemektedir. Güçlendirilmiş yapıların çoğunda, seçilmiş bir tehlike seviyesi kadar bir yer sarsıntısı meydana geldiği zaman uygulamada bir yanlışlık yapılmamış ise belirlenen performans seviyesine ulaşılması umulsa da binanın inşası esnasında yapılan yanlışlıklar nedeniyle bu garanti edilememektedir.

Bu bölümde yapısal ve yapısal olmayan sistemler ve bunların kombinasyonlarından oluşan yapı performans seviyeleri tanımlanmaktadır. Standart deprem hasar seviyeleri ve uygun performans seviyesinin seçim yöntemi anlatılmaktadır.

4.2 Performans Seviyeleri

Yeteri kadar bilgi sahibi olunan belirli bir bina ve belirli bir yer hareketi için sınırlandırılmış hasar durumları performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Bu sınırlayıcı durumlar; binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarların yarattığı can güvenliği tehdidi ve deprem sonrası yapı kullanılabilirliği olarak tanımlanmaktadır. Bina performans seviyeleri yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonları şeklinde ifade edilmektedir. Yapısal ve yapısal olmayan sistemlerin hasar performans seviyeleri birbirlerinden bağımsız olarak belirlenmektedir. Yapısal performans seviyeleri isim ve rakam ile tayin edilmektedir. Yapısal olmayan performans seviyeleri ise isim ve harf ile tayin edilmektedir.

Tablo 4.1 Yapı performans seviyeleri

YAPI PERFORMANS SEVİYELERİ						
Yapısal Olmayan Sistem Performans Seviyeleri	Yapısal (Taşıyıcı) Sistem Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrollü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 Yapısal Stabilitate	SP-6 Hasar Gözönüne Alınmaz
NP-A İşlevsel	1A İşlevsel	2A	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez
NP-B Hemen Kullanım	1B Hemen Kullanım	2B	3B	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez
NP-C Can Güvenliği	1C	2C	3C Can Güvenliği	4C	5C	6C
NP-D Azaltılmış Hasar	Önerilmez	2D	3D	4D	5D	6D
NP-E Hasar Gözönüne Alınmaz	Önerilmez	Önerilmez	3E	4E	5E Yapısal Stabilitate	Uygulanamaz

4.2.1 Yapısal Sistem Performans Seviyeleri

Yapısal sistem performans seviyeleri SP-n ile simgelenmektedirler. Yapı performans seviyelerinden *hemen kullanım*, *can güvenliği*, *yapısal stabilite performans seviyeleri* hasar durumlarını ayırmaktadırlar ve tanımlanan teknik kriterlere göre değerlendirme ve güçlendirme prosedürleri için doğrudan

kullanılabilmektedirler. Diğer performans seviyeleri, değerlendirme ve güçlendirme için yapı sahibinin ve mühendisin bina durumunu saptamasını kolaylaştırır ve yorum yapabilme imkanı sunarlar.

4.2.1.1 SP-1: *Hemen Kullanım Performans Seviyesi*

Çok sınırlı yapısal hasarların meydana geldiği son deprem durumudur. Binanın deprem öncesi karakteristiklerinin, düşey ve yatay kuvvet kapasitelerinin neredeyse aynı kalmasıdır. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliğini tehdit eden bir risk yoktur. Bina giriş-çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

4.2.1.2 SP-2: *Kontrollü Hasar (Sınırlı Hasar) Performans Seviyesi*

Bu seviye net ve açık bir seviye değil deprem sonrası hasar durumu için tanımlanan bir seviyedir. Bu aralık, *hemen kullanım* sınırı ile *can güvenliği* sınırı arasındaki hasar durumlarında yorum yapılabilmesini sağlamaktadır. Onarım süresinin minimize edilmesi *kontrollü hasar* seviyesine göre tasarım yapılarak sağlanabilmektedir. Önemli mimari nitelikteki tarihi binaların ve değerli eserlerin korunması hasar kontrolü bu seviyeyi kullanmaya bir örnek olabilir. Bu aralığın kabul kriterleri *hemen kullanım ve can güvenliği seviyeleri* için elde edilen değerlerin interpolasyonu ile elde edilebilmektedir.

4.2.1.3 SP-3: *Can Güvenliği Performans Seviyesi*

Yapıda deprem sonrası kayda değer hasarların meydana geldiği durumdur. Fakat bazı kısıtlamalar dışında kısmi veya toptan göçme meydana gelmez. Hasar seviyesinin yapısal stabilite seviyesinden düşük olduğu, yapı ana bileşenlerinin yıkılmadığı veya işlevsiz hale gelmediği durumdur. Deprem esnasında yapısal hasarların can güvenliğini tehdit etmesi ile oluşabilecek zarar çok azdır. Onarım ekonomik olmasa da binanın tekrar kullanımından önce kesinlikle geniş çaplı yapısal onarımlar gerekmektedir. Bu performans seviyesi yönetmeliklere göre yapılmış yeni binaların performans seviyesinden daha düşük bir seviyeyi ifade etmektedir.

4.2.1.4 SP-4: Sınırlı Güvenlik Seviyesi

Sınırlı Güvenlik Seviyesi, net ve açık bir düzey olmayıp deprem sonrası *yapısal stabilite sınırından* daha fazla *can güvenliği* sınırından daha az hasar durumunda yorum yapılabilmesini sağlamaktadır. Bazı durumlarda *can güvenliği* seviyesinde yapılacak bir güçlendirme yapısal yeterliliklerin tümünü karşılayamamakta veya ekonomik olarak verimli olmamaktadır. Bu seviyede sadece yapının bazı kritik yapısal eksikleri giderilmektedir.

4.2.1.5 SP-5: Yapısal Stabilite (Yıkımın Önlenmesi) Performans Seviyesi

Yapısal Stabilite Performans Seviyesi; yapıda çok önemli yapısal hasarın oluştuğu, taşıyıcı sistemin kısmen veya toptan göçmeye ulaşma sınırına geldiği, sistemin yatay yük taşıma potansiyelinin önemli ölçüde azaldığı, kısaca deprem sonrası yapı hasarı için sınır bir durumdur. Buna rağmen sistemin yükünü taşıyan tüm önemli yapı bileşenleri ağırlık yüklerini taşıyabilecek durumdadır. Yapı stabilitesini tamamen kaybetmemesine karşın deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle her an yıkılma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu durumda olan binaların teknik ve ekonomik olarak onarılabilmesi düşük bir olasılıktır. Bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı son noktadır.

4.2.1.6 SP-6: Yapısal Sistem Hasarının Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi

Bu seviye tam anlamıyla bir performans seviyesi değildir. Yapısal olmayan elemanların, bina taşıyıcı sistemi dışındaki her şeyin (duvarlar, asma tavanlar, yüzey kaplamaları, eşyalar, ...) sismik değerlendirmesi ve güçlendirilmesi için bir seviye ifade etmektedir. Binanın içerisindeki ekipmanların ayrıca korunması gerektiği bu seviye ile ifade edilmektedir. İçerisinde önemli araç gerecin (bilgisayar odası, laboratuvar, ...) bulunduğu binaların korunması bu seviyeyi kullanmaya bir örnek olarak verilebilir.

4.2.2 Yapısal Olmayan Sistem Performans Seviyeleri

NP-n ile simgelenmektedirler. Yapısal olmayan performans seviyeleri; yapı taşıyıcı sistemi dışında yapıda bulunan her şeyin hasar durumlarını açıklamaya yararlar. Doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamalarındaki teknik kıstasları belirlemek için kullanılmaktadırlar.

4.2.2.1 NP-A: İşlevsel Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanların ve sistemlerin sarsıntı sonrası yer ve fonksiyonlarının aynı kaldığı performans seviyesidir. Ancak tüm makine ve ekipmanlar çalışır durumda olduğunda bile çok ufak düzenlemeler gerekebilmektedir. Bina dışındaki elektrik, su, havagazı sistemleri, taşımacılık ve iletim hatları önemli derecede hasar görebilmektedir. Bu gibi sistemler içeriye alınmalı planlama bu esaslara göre yapılmalıdır.

4.2.2.2 NP-B: Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Hemen Kullanım Performans Seviyesi, yapısal olmayan elemanların ve sistemlerin genellikle yerinde durduğu, ufak aksaklıkların ve cisimlerde yer değiştirmenin olduğu deprem hasar düzeyini göstermektedir. Sarsıntı sonrasında makinelerin ve ekipmanların kullanım ve fonksiyonlarında sınırlamalar olabilmektedir. Elektrik, su, havagazı sistemleri kullanılmaz durumda olabilmektedir.

4.2.2.3 NP-C: Can Güvenliği Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanlarda ve sistemlerde kayda değer maddi hasarların meydana geldiği fakat yapının içinde ve dışında çok ağır zarar ve yıkılmanın olmadığı yapısal olmayan performans seviyesidir. İkincil zararlar olarak düşünülen yüksek basınç, toksik madde ve/veya yangın borularının kırılmadan kalabildiği durumdur. Yapısal olmayan sistemler, araç-gereç ve makineler eski yerlerine

yerleştirilmeden veya onarılmadan kullanılamazlar. Deprem sırasında yapısal olmayan hasarların oluşturacağı can güvenliği riski çok az orandadır.

4.2.2.4 NP-D: *Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi*

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi; parapetler, dış duvarlar, ağır asma tavanlar gibi yapısal olmayan yapı bileşenlerinin kısmi veya tam yıkılarak çok sayıda insanın ölmesine veya önemli ölçüde yaralanmasına sebep olabildiği fakat toptan göçmenin ve yıkılmanın olmadığı performans seviyesidir. Sarsıntı sonrası bu durumdaki binalar içinde ve çevresinde insanlar için büyük bir tehdit oluşturmazlar.

4.2.2.5 NP-E: *Yapısal Olmayan Sistem Hasarının Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi*

Tam bir performans seviyesi olmamakla birlikte genel durum için tasarım olanağı sunmaktadır. Yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme etkilediği kabulü ile betonarme hesaplar yapılmaktadır. Fakat deprem esnasında iç duvarların yük taşıdığı bir gerçektir. Bu gibi elemanların hasar görmemesi isteniyor ise tasarım bu performans seviyesine göre yapılmalıdır.

4.2.3 *Yapı Performans Seviyelerinin Belirlenmesi*

Bir binadaki hasar sınırlaması için yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesiyle *Yapı Performans Seviyeleri* oluşmaktadır. Olası kombinasyonlar Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

4.2.3.1 1A: *İşlevsel Performans Seviyesi*

Bu seviye bina işlevselliği ile ilgili bir performans seviyesi olup bina hasarı sınırlandırılmıştır. Bina kullanımında can güvenliği problemi yoktur, onarım gerekmez, bina kullanılabilir durumdadır. Bu amaçla bina dışındaki elektrik, su,

havagazı sistemleri, taşımacılık ve iletim hatları gibi hayati önem taşıyan servislerin hizmetleri korunmalı ve planlama bu esaslara göre yapılmalıdır.

4.2.3.2 1B: Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Bu performans seviyesi temel özellikler için en yaygın kullanılan performans seviyesidir. Bina alanları ve iskeletin yanı sıra yapısal sisteminin deprem sonrası kullanılabileceğinin umut edildiği fakat yapısal olmayan sistemlerde bir miktar hasarın olabileceği performans seviyesidir. Binanın, normal işlevinde kullanmadan önce temizlenmesi, elektrik, su, havagazı sistemlerinin iyileştirilmesi gerekebilmektedir. Can güvenliği riski çok düşüktür.

4.2.3.3 3C: Can Güvenliği Performans Seviyesi

Yapısal ve yapısal olmayan hasarlardan dolayı meydana gelebilecek can güvenliği riskini minimum düzeyde tutmayı amaçlayan bir performans seviyesidir. Sarsıntı anında mobilyalar ve eşyalar kontrollü değildir. Sarsıntı sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi yönetmeliklere göre yapılmış yeni binaların performans seviyesinden daha düşük bir seviyeyi ifade etmektedir.

4.2.3.4 5E: Yapısal Stabilité (Yıkımın Önlenmesi) Performans Seviyesi

Bu performans seviyesi sadece bina ana çerçevesi veya düşey yük taşıyan sistem için tanımlanmaktadır. Sadece düşey yük altında stabiliteyi gerektirmektedir. Yapının ana sarsıntı sonrası gelen artçılar tarafından yıkılma olasılığı çok yüksektir. Yıkılan ve düşen parçalardan dolayı yapının içinde ve yakın çevresinde can güvenliği tehdidi yüksektir. Yapısal olmayan elemanlar işlevini kaybetmiş, yapısal sistem ise büyük zarar görmüş durumdadır.

4.3 Deprem Yer Hareketi

Performans amaçlarını şekillendirebilmek için deprem yer hareketi ile talep edilen performans seviyesi birleştirilmektedir. Deprem yer hareketi; *probabilistik yaklaşım* ile belirli bir bölgedeki sarsıntının oluşma olasılığına bağlı olarak veya *deterministik yaklaşım* ile belirli bir fay hattı için tanımlı tek bir magnitüdün neden olacağı maksimum sarsıntının beklenen değeri olarak açıklanabilir. Yer hareketinin belirlenmesi tasarım için kesinlikle gereklidir. Aşağıdaki deprem yer hareketi için ifade edilen üç seviye Beşinci Bölüm’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Servis Depremi (SE): 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir.

Dizayn Depremi (DE): 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir.

Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %5 olan yer hareketi veya daha önce olmuş, bilinen maksimum yer hareketidir.

4.4 Performans Amaçları

Sismik performans amacı; Tablo 4.2’te gösterildiği gibi büyüklüğü verilen deprem yer hareketi için talep edilen yapı performans seviyesinin seçilmesi ile saptanmaktadır. İkili veya çoklu performans amacı ise Tablo 4.3’de gösterildiği gibi farklı seviyedeki deprem yer hareketleri için iki veya daha fazla yapı performans seviyesinin seçimi ile saptanmaktadır.

Tablo 4.2 Performans amacının saptanması

Performans Amacının Saptanması				
Deprem yer hareketi	Yapı Performans Seviyesi			
	İşlevsel	Hemen Kullanım (IO)	Can Güvenliği (LS)	Yapısal Stabilité (CP)
Servis Depremi (SE)				
Dizayn Depremi (DE)			*	
Maksimum Deprem (ME)				

Tablo 4.3 Çoklu performans amacının saptanması

Çoklu Performans Amacının Saptanması				
Deprem yer hareketi	Yapı Performans Seviyesi			
	İşlevsel	Hemen Kullanım (IO)	Can Güvenliği (LS)	Yapısal Stabilitate (CP)
Servis Depremi (SE)	*			
Dizayn Depremi (DE)			*	
Maksimum Deprem (ME)				

4.5 Temel Güvenlik Amacı

Temel Güvenlik Amacı, Tablo 4.4'te gösterildiği gibi bir ikili performans amacı olup Dizayn Depremi Seviyesi için Can Güvenliği Seviyesi'nin (3C); Maksimum Deprem Seviyesi için ise Yapısal Stabilitate Seviyesi'nin (5E) seçilmesi ile saptanmaktadır.

Tablo 4.4 Temel güvenlik performans amacı

Performans Amacının Saptanması				
Deprem yer hareketi	Yapı Performans Seviyesi			
	İşlevsel	Hemen Kullanım (IO)	Can Güvenliği (LS)	Yapısal Stabilitate (CP)
Servis Deprem (SE)				
Dizayn Depremi (DE)			*	
Maksimum Deprem (ME)				*

4.6 Diğer Performans Amaçları

Tablo 4.1'de gösterilen yapı performans seviyeleri farklı deprem seviyeleri ile eşleştirilerek çeşitli performans amaçlarının elde edilmesi mümkündür. Yapılar için performans amaçları işlevsellik, güvenlik ve maliyet dikkate alınarak belirlenmektedir. Geçmişte kullanılmış ve çeşitli kullanım amaçlarına göre oluşturulmuş örnek performans amacı kombinasyonları Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Önemli yapılar için performans amacı örnekleri

Yapı Örnekleri					
Sismik Tehlike	Triservices/ Hayati	Kaliforniya Hastanesi/ Hayati	VA Hastanesi	Örnek A	Örnek B
Birleştirilmiş Performans Seviyeleri					
SE	1B				
DE		1B		1A	1B
ME	3C	5E	1A	1C	

Tablo 4.6 Normal yapılar için performans amacı örnekleri

Yapı Örnekleri				
Sismik Tehlike	Yeni Binalar	Güncel Geçerli Güçlendirmeler	Yüksek Kullanım Amacı	Minimum Tasarım Süresi
Birleştirilmiş Performans Seviyeleri				
SE				
DE	2C	3D	3C	1C
ME	5E		3D	

Tablo 4.7 Ekonomik duruma göre performans amacı örnekleri

Yapı Örnekleri			
Sismik Tehlike	Örnek A: Kısa süreli onarım	Örnek B	Örnek C
Birleştirilmiş Performans Seviyeleri			
SE	3D		
DE			5E
ME		5E	

4.7 Performans Amaçlarının Belirlenmesi

4.7.1 Başlangıç Performans Amacı

Değerlendirme ve güçlendirme için performans seviyesinin; özel yapılar için yapı sahibi ve mühendis tarafından, halka açık yapılar ve kamu binaları için yerel yönetimler tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikli değerlendirilmesi gereken yapıların performans seviyelerinin hızlı saptanabilmesi için bunların yerel yönetimlerce yapılması daha uygundur. Mühendisler tarafından, sismik amaçların, zemin durumunun, teknik konuların önceden belirlenmesi tasarım ekibinin başlangıç performans seviyesini belirlemelerine yardımcı olmaktadır. Tablo 4.8 hazırlık çalışmaları için tahmini performans durumlarını göstermektedir.

Tablo 4.8 Sismik performans tahminleri

A. Yapısal Sistemlerin Deprem Performansı					
Deprem Etkileri	Hasar/Risk				
	S-1 Çok Sınırlı	S-2 Az önemli- Orta	S-3 Önemli	S-4 Büyük- Kapsamlı	S-5 Oldukça Önemli
	İhmal edilebilir	Orta-düşük	Düşük	Orta	Önemli
Düşük-Orta (SE)					
Orta-Şiddetli (DE)					
Şiddetli-Çok şiddetli (ME)					

B. Binanın Tekrar Kullanılabilmesi için Gereken Süre					
Deprem Etkileri	Hasar/Risk				
	Acil (Saatler Önemli)	Kısa Süre (Hafta-Ay)	Orta Süre (Aylar-Bir yıl)	Uzun Süre (Bir yıldan uzun)	Çok Uzun (Belki Asla)
Düşük-Orta (SE)					
Orta-Şiddetli (DE)					
Şiddetli-Çok şiddetli (ME)					

C. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Performansı					
Deprem Etkileri	Hasar/Risk				
	N-A	N-B	N-C	N-D	N-E
	İhmal edilebilir	Az-Orta	Orta	Fazla	Çok önemli
Düşük-Orta (SE)					
Orta-Şiddetli (DE)					
Şiddetli-Çok şiddetli (ME)					

D. Yapısal Olmayan Sistemlerin Fonksiyonlarında Süreklilik					
Deprem Etkileri	Hasar/Risk				
	Acil (Saatler- Bir gün sonrası)	Kısa Süre (Hafta-Ay)	Orta Süre (Aylar-Bir yıl)	Uzun Süre (Bir yıldan uzun)	Çok uzun (Belki Asla)
Düşük-Orta (SE)					
Orta-Şiddetli (DE)					
Şiddetli-Çok şiddetli (ME)					

4.7.2 Son Performans Amaçları

Başlangıç performans amacı yapı sahibi ve mühendis tarafından maliyet, tarihi koruma, binanın yaşı ve diğer unsurlar dikkate alınarak değiştirilebilmekte ve son halini almaktadır. Değerlendirme ve güçlendirme tasarımında kullanılan son performans amacı; rapor ve çizimlerle ifade edilmelidir.

BÖLÜM BEŞ

SİSMİK RİSK

5.1 Deprem Yer Sarsıntısı Risk Seviyeleri

5.1.1 Servis Depremi (SE)

Servis Depremi probabilistik olarak 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %50 olan yer sarsıntısı seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem seviyesi, dizayn depremi seviyesinin yaklaşık yarısıdır. Servis Depremi, yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı en yüksek, büyüklüğü az olan depremi ifade etmektedir. Bu depremin dönüş periyodu yaklaşık 75 yıldır.

5.1.2 Dizayn Depremi (DE)

Dizayn Depremi probabilistik olarak 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %10 olan yer sarsıntısı seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Bu depremin dönüş periyodu yaklaşık 500 yıldır. Bu seviye 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te ve Amerikan standartlarında uygulanan risk seviyesidir.

5.1.3 Maksimum Deprem (ME)

Maksimum Deprem deterministik olarak jeolojik durumu bilinen bir bölgede meydana gelebilecek maksimum seviyedeki yer sarsıntısı olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde (CBSC) bu sarsıntının şiddeti 50 yıllık periyotta aşılma olasılığı %5 olan yer sarsıntısının seviyesi olarak

tanımlanmaktadır. Bu seviye dizayn depremi seviyesinin 1,25-1,5 katı kadardır. Probabilistik olarak maksimum depremin dönüş periyodu 1000 yıl kadardır.

5.2 Zemin Etkileri

Deprem sırasında, yapısal davranışı kontrol eden yapı özelliklerinin yanısıra, depremin özellikleri ve zeminin dinamik yapısına bağlı yerel zemin koşulları da hasar dağılımında belirleyici etkenlerdir. Yapı değerlendirmesi, yapı-zemin etkileşimi bir arada düşünülerek yapılmalıdır. Yapının, zemin davranışına ve doğal konumunda ortaya çıkan değişikliklere ne ölçüde tepki vereceği belirlenmelidir. Ülkemiz için deprem bölgeleri haritası olmakla birlikte deprem sırasında yerel zemin yapısına bağlı olarak meydana gelebilecek sıvılaşma, farklı oturma, zemin büyütmesi, heyelanlar vb. yerel tehlikeler bu haritada yer almamaktadır. Zeminle ilgili problemlerin çözümünde öncelikle zemin özelliklerinin bilinmesi, ilgili bağıntılarda kullanılması gerekmektedir (Celep ve Kumbasar, 2000).

Deprem esnasında zeminde oluşabilecek başlıca problemler:

- *Zemin sıvılaşması*
- *Toprak kayması*
- *Yüzey çatlakları* olarak sıralanabilir.

Sıvılaşma ve toprak kayması tehlikelerinin kesinleştirip, belirlenmesi ayrıntılı çalışma gerektirmektedir. Yüzey çatlakları olan bölgelerde özel tasarım yapılmalı veya bu tür bölgelerden uzaklaşılmalıdır.

5.2.1 Zemin Sıvılaşması

Deprem sırasında yapılarda meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden birisi suya doygun kumlu zeminlerde sıvılaşmanın meydana gelmesidir. Bu tür zeminler şiddetli ve uzun süre sarsıldıklarında bünyelerindeki yeraltı suyundan dolayı taşıma kapasitelerinin büyük bir kısmını kaybetmektedirler. Sıvılaşma; yapının kaymasına, yanal ötelenmesine, zemin çökmesine sebep olabilmektedir. Geçici yüzey deformasyonu, temelin veya temelin bir bölümünün yana veya aşağı hareketine yol açabilmektedir. Bu nedenle bu tür potansiyele sahip bölgelerin

belirlenmesi ve detaylı olarak incelenmesi oluşabilecek hasarların azaltılması için gerekli olmaktadır.

Zeminde sıvılaşmayla karşılaşılması çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük seviyeleriyle tanımlanabilmektedir. Tablo 5.1 hangi sıvılaşma seviyesinin ne kadar zemin ivmesi için düşünülebileceğini göstermektedir.

Tablo 5.1 Yer sarsıntısı ivme değerlerine karşılık olası sıvılaşma düzeyleri

Sıvılaşma Hassasiyeti	Etkin Pik İvme Seviyeleri (g)	
	Sıvılaşma olası	Sıvılaşma görülebilir
Çok Yüksek	> 0	0,15
Yüksek	0,15	0,20
Orta	0,20	0,30
Düşük	0,40	Önemsiz
Çok Düşük	Önemsiz	Önemsiz

Bölgenin sıvılaşma hassasiyeti çok yüksek olduğunda sıvılaşma herhangi bir sarsıntı seviyesinde oluşabilmekte buna karşılık zeminin sıvılaşma hassasiyeti çok düşük olduğunda yüksek zemin ivme değerlerinde bile sıvılaşma beklenmemektedir. Tablo 5.1'deki *Sıvılaşma ihtimali olası* başlığı %15 veya daha büyük sıvılaşma olasılığı olan zemini ifade etmektedir. Bu tür zeminlerde sıvılaşmanın düşünölmeye başlanacağı etkin pik ivme değeri (EPA) 0,2g'dir. Tablodaki *Sıvılaşma ihtimali görülebilir* başlığı ise %50 veya daha büyük sıvılaşma olasılığının beklendiğı zemini ifade etmektedir. Bu tür zeminlerde sıvılaşmanın düşünölmeye başlanacağı etkin pik ivme değeri ise 0,3g'dir. Yeraltı su seviyesinin yüksekliğı (3,0-6,0 m derinlikte) ve yer sarsıntısının büyüklüğü ($M_w \geq 6,5$) gibi etkenler etkin pik ivme değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Geoteknik mühendislerinin zemin sınıfını, zeminin geoteknik durumlarını ve sıvılaşma hassasiyetlerini belirleyerek, zeminde meydana gelebilecek kalıcı deformasyonu ve bina temelinde yaratacağı etkileri değerlendirmeleri gerekmektedir.

5.2.2 Toprak Kayması

Deprem titreşimleri zeminin statik kayma mukavemeti parametrelerinin dinamik durumda daha küçük değere ulaşmasına neden olmakta, kayma hareketini

kolaylaştıran depremden kaynaklanan yanal yükler nedeniyle şevlerin stabilitesi aniden bozulabilmekte ve toprak kayması meydana gelmektedir. Kayan kütlenin kaymaya başlaması için gerekli olan ivme *kritik ivme* veya *akma ivmesi* olarak adlandırılmaktadır. Heyelan olduğu ortama bağlı olarak ciddi etkilere yol açabilmekte; büyük kayaların kayması ile üzerindeki yapıların da durumu değişmektedir. Bu olay, risk değerlendirmesini etkileyeceğinden göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 5.2 Yer sarsıntısı seviyeleri için muhtemel toprak kaymalarına neden olan akma ivmesi değerleri

Eğim açısına karşılık etkin pik ivme değerleri (g)							
Jeolojik Grup	0 -5°	5 -10°	10 -15°	15 -25°	25 -35°	35 -45°	> 45°
Kuru Durum (Yeraltı su seviyesi eğimin altında)							
Mukavemetli kaya (Kristalin kaya ve iyi mukavemetli kumtaşı)	–	–	–	0,7	0,5	0,3	> 0
Zayıf dayanımlı kaya ve toprak (Kumlu topraklar ve zayıf mukavemetli kumtaşı)	–	–	0,5	0,4	0,2	0,1	> 0
Argillaceous kayası (killi şist, killi toprak, zayıf sıkıştırılmış dolgular)	–	0,3	0,2	0,1	> 0	> 0	> 0
Islak Durum (Yeraltı su seviyesi yüzeyde)							
Mukavemetli kaya (Kristalin kaya ve iyi mukavemetli kumtaşı)	–	–	0,5	0,4	0,2	0,1	> 0
Zayıf dayanımlı kaya ve toprak (Kumlu topraklar ve zayıf mukavemetli kumtaşı)	–	0,3	0,2	0,1	> 0	> 0	> 0
Argillaceous kayası (killi şist, killi toprak, zayıf sıkıştırılmış dolgular)	–	0,1	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0

Toprak kayması, arazinin heyelan hassasiyeti (zemin tipi, içsel sürtünme açısı), şevin eğim açısı, yeraltı su seviyesinin yüksekliği ve kritik ivme ile birlikte tasarım sırasında göz önüne alınmalıdır. Tablo 5.2 toprak kaymasının hangi durumlarda önemli olabileceğini göstermektedir.

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere kuru zeminlerde mukavemetli kaya için etkin pik ivme değeri (EPA) 15°-25° için 0,7g’yi, 25°-35° için 0,5g’yi, 35°-45° için 0,3g’yi aştığında ve >45° için herhangi bir ivme değerinde toprak kayması ile

karşılaşılabilmektedir. 5° 'den küçük eğimlerde ivme değeri ne olursa olsun toprak kayması beklenmemektedir.

5.3 Yer Sarsıntısı Ana Kriterleri

5.3.1 Bölge Jeolojisi ve Zemin Karakteristikleri

5.3.1.1 Genel

Her araziye Bölüm 5.3.1.3'deki sınıflandırma prosedürleri kullanılarak kendi verisine uygun bir zemin profil tipi atanmaktadır. Zemin özellikleri yeterince ayrıntılı olarak belirlenemiyorsa zemin profil tipi S_D olarak alınıp kullanılabilir. S_E ve S_F zemin tipleri zemin özellikleri bilinmeden atanmamalıdır.

5.3.1.2 Zemin Profil Tipi

Zemin profil tipleri S_A , S_B , S_C , S_D ve S_E Tablo 5.3'te gösterildiği gibi belirlenmektedir.

Tablo 5.3 Zemin profil tipi

Zemin profil tipi	Zemin profil ismi/ görsel tanımlama	Üst 30,00m'deki ortalama zemin özellikleri		
		Kayma dalgası Hızı V_S , (m/sn)	Standart penetrasyon deneyi N (veya kohezyonsuz zemin katmanları için N_{CH}), (vuruş/m)	Drenajsız kayma dayanımı S_U , (kN/m^2)
S_A	Sert kaya	$V_S > 1500$	Kabul edilmez.	
S_B	Kaya	$750 < V_S \leq 1500$	Kabul edilmez.	
S_C	Çok yoğun toprak ve yumuşak kaya	$350 < V_S \leq 750$	$N > 165$	$S_U > 100$
S_D	Sert toprak	$180 < V_S \leq 350$	$50 \leq N \leq 165$	$50 \leq S_U \leq 100$
S_E	Yumuşak toprak	$V_S < 180$	$N < 50$	$S_U < 50$
S_F	Bu tür zeminler özel değerlendirme gerektirir.			

Zemin profil tipi S_F için bölgenin özel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. S_F tipi zeminler:

- Bazı sıvılaşabilen zeminler, yüksek hassasiyetli killer ve zayıf çimentolaşmış zeminler,
- Kalınlıkları 3,0 m'den fazla turbalıklar ve/veya yüksek organik killer,
- Çok yüksek plastisiteli killerle birlikte plastisite indeksi 75'den büyük ve derinlikleri 7,5 m'den fazla olan zeminler,
- Çok kalın (3,5 m'den derin) yumuşak/orta sertlikteki killerdir.

5.3.1.3 Zemin Sınıflandırması

Bölgenin zemin profil tipi aşağıdaki adımlar kullanılarak belirlenmektedir.

1. Adım: Öncelikle zeminin Bölüm 5.3.1.2'de S_F zemin profili için tanımlanan dört kategoriye göre incelenerek, S_F tipi özel değerlendirme gerektiren zemin olup olmadığı belirlenmelidir. Zemin bu dört kategoriden herhangi birini sağladığında bölgenin zemin profili S_F olarak tanımlanmakta ve özel durum değerlendirmesini yapılmaktadır.

2. Adım: Kil tabakası toplam kalınlığının 3,0 m'den fazla olup olmadığı kontrol edilmelidir. Drenajsız kayma dayanımı $S_U < 25 \text{ kN/m}^2$, nem içeriği $\omega_{MC} \geq \%40$ ve plastisite indeksi $PI > 20$ ise katman yumuşak kildir. Bu kriterlerin tümü sağlanıyorsa arazinin zemin profili S_E olarak tanımlanır.

3. Adım: Diğer zemin profil tipleri Tablo 5.3'teki V_S , N , N_{CH} , S_U ortalama zemin özellikleri kullanılarak tespit edilmektedirler.

Kohezyonsuz zemin katmanları ($PI < 20$) için N_{CH} , kohezyonlu zemin katmanları için S_U kullanılmaktadır. Eğer N_{CH} ve S_U farklı ise zemin profili için büyük olan kullanılmalıdır.

5.3.1.4 Ortalama Zemin Özellikleri

Tablo 5.3'teki V_s , N , N_{CH} ve S_u ortalama zemin özellikleri aşağıdaki ifadeler yardımı ile hesaplanmaktadır. Zemin profilleri çok büyük farklılıklar içeriyorlarsa katmanlara ayrılmalıdır. Tabaka kalınlıkları ince ise zemin katmanları $i=1$ 'den $i=n$ 'e kadar bir numara ile sıralanmalıdır. Bu sıralama üst 30,0 m'deki zemine uygulanmaktadır.

Ortalama kayma dalgası hızı V_s ,

$$V_s = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (5.1)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. (5.1) ifadesinde;

d_i : i. katmanın kalınlığı, m

d_s : Toplam zemin profili kalınlığı, 30,0 m

V_{si} : i. katmanın m/sn olarak tanımlanan kayma dalgası hızıdır.

Ortalama standart penetrasyon değerleri N , N_{CH}

$$N = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (5.2)$$

$$N_{CH} = \frac{d_{CH}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_{CH,i}}{N_{CH,i}}} \quad (5.3)$$

ifadeleri ile hesaplanabilmektedir. (5.2) ve (5.3) ifadelerinde;

d_{CH} : Tüm kohezyonsuz zemin katmanlarının toplam kalınlığı, m

$d_{CH,i}$: i. katmanın kohezyonsuz zemin kalınlığı, m

N_i : i. katmanın standart penetrasyon direnci,

$N_{CH,i}$: Kohezyonsuz i. katmanın standart penetrasyon direncidir.

Tablo 5.6 Sismik fay tipi

Sismik Fay Tipi	Sismik Fay Tanımlaması	Maksimum moment magnitüdü, M	Kayma oranı, SR (mm/yıl)
A	Yüksek sismik aktivitesi bulunan, büyük magnitüdlü depremler meydana getirebilecek faylar	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	A ve C dışındaki tüm faylar	Uygulanamaz.	Uygulanamaz.
C	Düşük sismik aktivitesi bulunan, büyük magnitüdlü depremler meydana getiremeyecek faylar	$M < 6,5$	$SR < 2$

Bölge ile sismik kaynağın odak noktasının yüzeydeki izdüşümü olan episantr arasındaki en yakın mesafe minimum mesafe olarak alınmalıdır. *Yakın fay katsayısı*, tabloda gösterilen değerlerden farklı bir değer için interpolasyon yapılarak bulunmalıdır. Tüm sismik kaynaklardan elde edilen değerlerden en büyük olanı *yakın fay katsayısı* olarak tasarım için kullanılmalıdır.

5.3.3 Zemin Elastik Tepki Spektrumu

Bir zemin için elastik tepki spektrumu,

- Bölge sismik katsayısı (Tablo 5.7 ve Tablo 5.8)
- Spektral çevre haritaları
- Bölge özel risk analizi

yöntemlerden biri veya birkaçı kullanılarak C_A ve C_V olarak adlandırılan iki sismik katsayısının tahmin edilmesiyle oluşturulmaktadır.

Tüm durumlarda elastik tepki spektrumu, lineer olmayan statik analiz işlemlerine kolay katılabilmesi için standart bir şekilde tanımlanmaktadır. C_A ve C_V sismik katsayıları kullanılarak elastik tepki spektrumunun ortaya çıkarılması bölüm 5.3.3.3'te anlatılmaktadır.

5.3.3.1 Spektral Çevre Haritaları

Spektral çevre haritaları; yalnız S_B sınıfı (kaya) zeminler için kullanılmaktadırlar. Bu haritalar deprem risk seviyeleri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Haritalar kullanılarak C_A ve C_V sismik katsayıları hesaplanmakta, C_A ve C_V 'den yararlanılarak zeminin elastik tepki spektrumu oluşturulmaktadır.

Zemin sınıfı S_B olarak belirlendiğinde, C_A değeri g cinsinden, 0,3 saniye periyodundaki spektral tepki ivme değerinin 0,4 katı olarak alınmaktadır. C_V değeri ise g cinsinden, 1,0 saniye periyodundaki spektral tepki ivme değerine eşit alınmaktadır. Alternatif olarak S_B türü zeminlerde maksimum deprem için C_A ve C_V değerleri

$$C_A = 0,4.S_{MS} \quad (5.5)$$

$$C_V = S_{M1} \quad (5.6)$$

ifadeleri ile elde edilebilmektedir. (5.5) ve (5.6) denklemlerinde,

S_{MS} : B sınıfı bölge için kısa periyottaki spektral ivme değeri

S_{M1} : B sınıfı bölge için 1,0 saniye periyottaki spektral ivme değeridir.

5.3.3.2 Bölgeye Özel Risk Analizi Çalışmaları

Bölge özel risk çalışmaları S_F tipi zemin sınıfında bulunan binalar için yapılan çalışmalardır. S_E tipi zemin sınıfında bulunan binalar için de önerilmektedir. Bölge özel risk çalışmaları, aktif faylara çok yakın binalar veya özel binalar (hastaneler, taban izolatörlü binalar, ...) için yapılmaktadır. Bu çalışmaların tümü Bölüm 5.1'de belirtilen deprem risk seviyelerini daha iyi ve kapsamlı ifade edebilmek için yapılmaktadır. C_A değeri g cinsinden, 0,3 saniye periyodundaki spektral tepki ivme değerinin 0,4 katı olarak alınmalıdır. C_V değeri ise g cinsinden, 1,0 saniye periyodundaki spektral tepki ivme değerine eşit veya daha büyük alınmalıdır.

Herhangi bir risk seviyesi için C_A ve C_V değerleri Tablo 5.7 ve 5.8'deki değerlerin %80'inden daha az ve %100'den daha fazla alınmamalıdır.

Tablo 5.7 Sismik katsayı, C_A

Zemin Profil Tipi	Sarsılma Şiddeti, Z.E.N					
	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40	> 0,40
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1,0(ZEN)
S_C	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40	1,0(ZEN)
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44	1,1(ZEN)
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36	0,9(ZEN)
S_F	Geoteknik araştırma ve dinamik zemin hesapları gerekir.					

Tablo 5.8 Sismik katsayı, C_V

Zemin Profil Tipi	Sarsılma Şiddeti, Z.E.N					
	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40	> 0,40
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1,0(ZEN)
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56	1,4(ZEN)
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64	1,6(ZEN)
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96	2,4(ZEN)
S_F	Geoteknik araştırma ve dinamik zemin hesapları gerekir.					

Tablo 5.7 ve 5.8'deki Z değeri, sismik bölge katsayısı tablosundan; N değeri, yakın fay katsayısı tablosundan atanmaktadır. E değeri ise sarsılma şiddetini belirlemek için kullanılmaktadır. *Servis depremi* için 0,5, *dizayn depremi* için 1,0, *maksimum deprem* için üçüncü deprem bölgesi için 1,5, dördüncü deprem bölgesi için 1,25 alınmalıdır. C_A ve C_V 'nin tablolardaki değerleri dışındaki değerler için lineer interpolasyon yapılmalıdır.

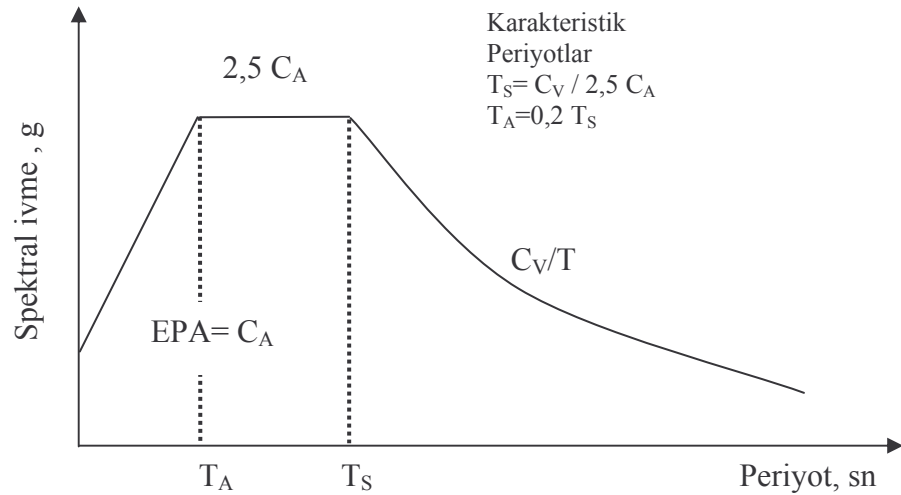
5.3.3.3 Elastik Tepki Spektrumunun Oluşturulması

Deprem yönetmelikleri; yapı analizinde, mühendislerin dikkate alması gereken kuvvetli yer hareketini tasarım spektrumu yoluyla tanımlamaktadırlar. Yakın zamanda sismik dalgaların üretimi, yayılımı, zemin büyütmesi ve uzaklık ile deprem dalgasının sönümlenmesi gibi sismolojik ve mühendislik çalışmalarının yanı sıra, risk analizleri ve deprem mühendisliği hesaplamalarında kullanılan ivme-hız-yerdeğiştirme gibi zemin hareketi ile ilgili parametreler tasarım spektrumunun gelişmesi üzerinde büyük rol oynamıştır. Olasılık hesapları ve azalım ilişkileri

çerçevesinde istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar *sismik tehlike hesapları* olarak adlandırılmaktadır (Akkar ve Gülkan, 2002).

Deprem ivmesi deprem anında zeminin ne miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Yapılar, zeminden ayrı bir kütleye sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte, yapı içinde yer hareketine ters yönde atalet kuvvetleri oluşmaktadır. Yapının yer hareketine karşı tepkisinden dolayı maksimum ivmesini, hızını ve yerdeğiştirmesini belirlemek mümkündür. Temel olarak, tek serbestlik dereceli elastik bir sistemin kuvvetli yer hareketi altında gösterdiği maksimum tepkinin periyoda bağlı bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesine *tepki spektrumu* denmektedir.

Elastik tepki spektrumunu oluşturan C_A sismik katsayısı zeminin etkin pik ivme değerini göstermektedir. %5 sönümlü kısa periyotlu bir sistemin ivme alanında tepki pikinin ortalama değeri C_A 'nın 2,5 katı bir çarpanla sabitlenmektedir. C_V sismik katsayısı 1,0 saniye periyotlu %5 sönümlü bir sistemin karşılığı olarak ifade edilmektedir. Şekil 5.1 elastik tepki spektrumunun oluşturulmasını göstermektedir.



Şekil 5.1 %5 sönümlü elastik tepki spektrumunun oluşturulması

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak, tanım olarak da %5 sönüm oranı için *elastik tasarım ivme spektrumu*'nun yerçekimi ivmesi g 'ye bölünmesine karşı gelen *Spektral İvme Katsayısı* $A(T)$,

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (5.7)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Denklem (5.7)'deki A_0 , *Etkin Yer İvmesi Katsayısı* 'nı ifade etmektedir ve Tablo 5.8'e göre atanmaktadır. I ise *Bina Önem Katsayısı* olup yapının kullanım amacına göre 1-1,5 arasında değerler almaktadır (Tablo 5.9).

Tablo 5.8 Etkin yer ivmesi katsayısı, A_0

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

Tablo 5.9 Bina önem katsayısı, I

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı, I
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar. a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları). b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu, değerli eşyanın saklandığı binalar (Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb).	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar (Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.)	1,2
4. Diğer binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb).	1,0

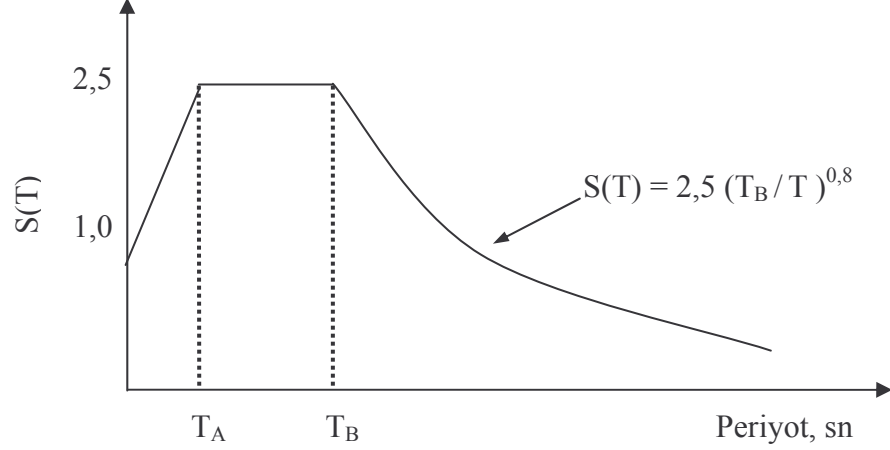
$S(T)$, yapıya etkiyen toplam deprem yükünün hesabında kullanılan *Spektrum Katsayısı* olup zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak

$$S(T) = 1 + 1,5 T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.8a)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (5.8b)$$

$$S(T) = 2,5 (T_B / T)^{0,8} \quad (T > T_B) \quad (5.8c)$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 ABYYHY'e göre spektrum katsayısının periyoda göre değişimi

Denklem (5.8)'deki *Spektrum Karakteristik Periyotları*, T_A ve T_B , *Yerel Zemin Sınıfları* olarak isimlendirilen Z1, Z2, Z3, Z4'e bağlı olarak Tablo 5.10'dan atanmaktadır.

Tablo 5.10 Spektrum karakteristik periyotları, T_A , T_B

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

Deprem mühendisliğinde kullanılan spektrum tipleri sözde (pseudo) ivme spektrumu (PS_a), sözde (pseudo) hız spektrumu (PS_v) ve yerdeğiştirme spektrumudur (S_d). Bu üç kavram;

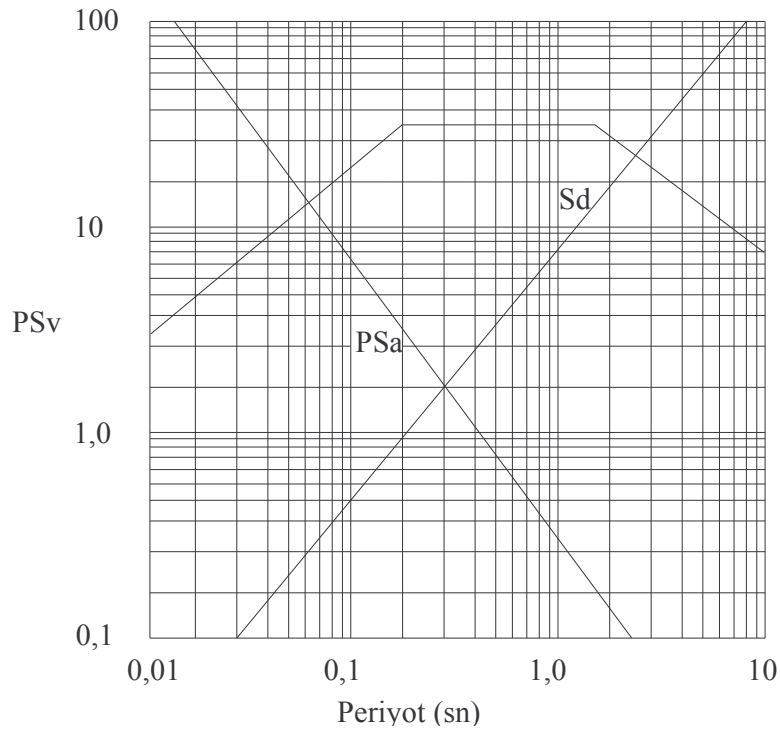
$$PS_a = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 S_d \quad (5.9)$$

$$PS_v = \frac{2\pi}{T} S_d \quad (5.10)$$

ifadeleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

İçlerinden birinin bilinmesi diğerlerinin ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu yüzden genellikle bu üç spektral değer Şekil 5.3'te gösterildiği gibi logaritmik eksenler yardımıyla aynı grafik üzerinde çizilebilmektedir (Veletsos ve Newmark, 1960). Taşıdıkları fiziksel anlamlar açısından ivme spektrumu taban kesme kuvvetiyle, hız spektrumu tek serbestlik dereceli sistemdeki yayın (sistem rijitliğinin) depoladığı enerji ile ilişkilidir. Yerdeğiştirme spektrumu ise sistemin yer hareketi karşısında yaptığı maksimum göreceli yerdeğiştirmeyi göstermektedir (Akkar ve Gülkan, 2002).

Yapıların şiddetli yer hareketlerine maruz kalmaları halinde lineer davranmalarını beklemek, buna göre hesap yapmak gerçekçi bir mühendislik yaklaşımı olmamaktadır. Depremlerde binaların yıkılmayarak, onarılması mümkün olabilecek şekilde lineer olmayan davranış göstermeleri beklenmektedir. Kabul edilen yaklaşım tasarım spektrumunun, yapıların lineer olmayan davranışını temsil edecek şekilde oluşturulmasıdır.



Şekil 5.3 Tipik bir tasarım spektrumunun logaritmik eksenler üzerinde temsili gösterimi

Değerlendirmede kullanılacak tasarım spektrumu için ivme zaman grafiklerinin seçilmesi gerektiğinde en az üç ayrı ivme zaman grafiği seçilmelidir. Ortalama değer üzerine kurulu bir tasarım için yedi ve daha fazla spektrum seçilmesi uygundur.

Deprem ivme kaydı seçimi yapılırken magnitüd, fay karakteristikleri, faya olan uzaklık ve zemin durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Deprem ivme kayıtları yapının bulunduğu zemin özellikleriyle aynı olan zeminlerden alınmalıdır.

BÖLÜM ALTI

LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ

6.1 Kapasite Spektrum Yöntemi

Mevcut betonarme binaların analizi için lineer ve lineer olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Lineer analiz yöntemleri ile, yapıların statik ve dinamik davranışları ve elastik kapasitelerini belirlemek mümkün olmakla birlikte mekanizma durumlarını ve akma sırasında kuvvet dağılımını saptamak olanaksızdır. Lineer olmayan analiz yöntemlerinin temelini ise *Time History Analizi (Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi)* oluşturmaktadır. Fakat bu yöntemin kullanılması uzmanlık gerektirmektedir. Kullanılan basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemlerinden biri de ATC-40'ta anlatılan *Kapasite Spektrum Yöntemi*'dir. Bu yöntemde, kapasite spektrumu ile indirgenmiş tepki spektrumu aynı grafik üzerine çizilerek sistemin yapacağı maksimum deplasman bulunmaktadır. Lineer olmayan analiz binaların göçme anına kadar davranışının ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekte nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşımla göstermektedir. Bina güçlendirildiğinde veya mevcut durumda nasıl davranacağı bu yöntemle belirlenebilmektedir. Grafik gösterim binanın deprem yer hareketine karşı vereceği tepkiyi en iyi şekilde göstermektedir (ATC-40, 1996).

6.2 Lineer Olmayan Analiz için Basitleştirilmiş Yöntemler

6.2.1 Kapasite

Kapasite, yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğini ifade etmektedir. Yapının tüm kapasitesi, yapı bileşenlerinin ayrı ayrı gücüne ve deformasyon yapabilme kapasitesine bağlıdır. Elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesini belirlemek için yük artımı (pushover) gibi lineer olmayan analizler kullanılmaktadır. Bu prosedürde ardışık elastik seriler kullanılarak tüm yapının

kuvvet-deplasman kapasite grafiği oluşturulmaktadır. Yatay yük dağılımı, yapı bileşenleri akmaya ulaşıncaya kadar uygulanmaya devam edilmektedir. Yapının matematik modeli sayesinde akma noktasındaki bileşenlerin indirgenmiş dirençleri hesaplanmaktadır. Bu işleme önceden belirlenen bir sınıra ulaşana veya yapı labil hale gelene kadar devam edilmektedir.

6.2.2 Talep (Deplasman)

Deprem anındaki yer hareketleri zamana bağlı olarak değişen çok karmaşık yatay deplasman davranışları oluşturmaktadırlar. Yapısal tasarım gereksinimlerini belirlemek için her zaman aralığında bu hareketleri izlemek pratik olmamaktadır. Verilen belirli bir yapı ve yer hareketi için *tepki deplasmanı*, yer hareketi süresince binanın tahmini beklenen maksimum karşılığıdır.

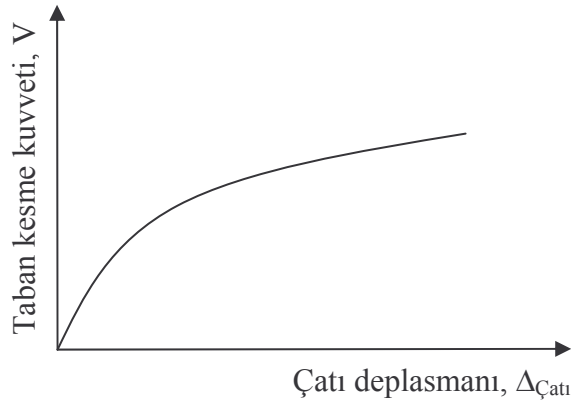
6.2.3 Performans

Performans, kapasitenin talebe karşılık verebilme durumu ile ölçülmektedir. Yapı, depremin talebine karşılık verebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Kapasite eğrisi ve talep deplasmanı belirlendikten sonra performans kontrolü yapılabilmektedir. Performans kontrolü; yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans amaçlarının kabul edilebilir limitleri ötesinde hasar görmelerini engellemek için yapılmaktadır.

6.3 Kapasiteyi Belirlemek için Ardışık İşlemler

Yapı kapasitesi yük artımı eğrisi ile gösterilmektedir. Kuvvet-deplasman eğrisini çizmenin en basit yolu taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanını bir grafik üzerinde işaretlemektir (Şekil 6.1).

Doğal titreşim periyodu bir saniye kadar olan yapılar için kapasite eğrisi; titreşimin birinci (temel) modunun yapının baskın tepkisi olduğu varsayılarak birinci modu ifade edecek şekilde oluşturulmaktadır. Temel modu bir saniyeden fazla olan, çok esnek yapılarda ise yüksek mod etkileri analizlerde göz önüne alınmalıdır.



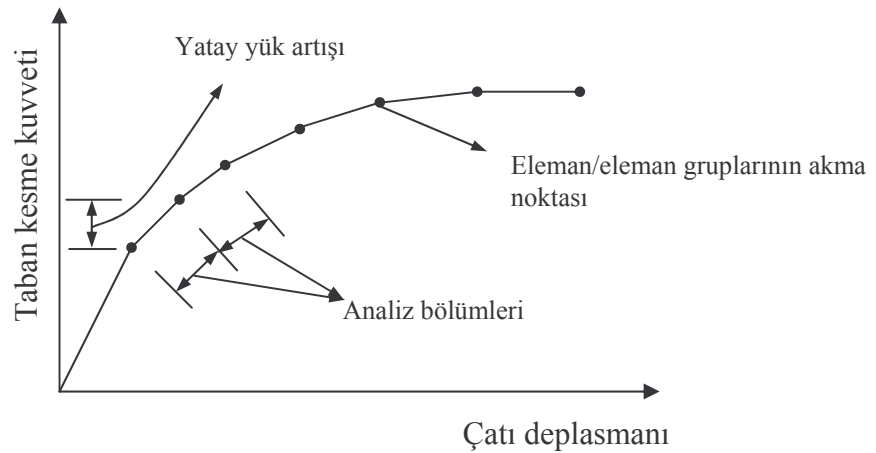
Şekil 6.1 Taban kesme kuvveti, çatı deplasmanı

Aşağıdaki işlem sırası kapasite eğrisinin nasıl oluşturulacağını anlatmaktadır.

- Modelleme kurallarına dikkat edilerek yapının bilgisayar modeli oluşturulur. Yapı, gerçeğine en yakın şekilde bilgisayar ortamına aktarılır.
- Yapıdaki her bir eleman modelleme kurallarına göre birincil veya ikincil elemanlar olarak tanımlanır.
- *Yük artımı analizi* adından da anlaşılacağı gibi tarif edilen bir yük örneğinin yapı limit bir seviyeye ulaşınca kadar arttırılarak yatay yönde uygulanmasıdır. Kat yatay kuvvetleri kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezine birinci mod şekliyle etkitilmektedir. Bu analiz aynı zamanda ağırlık yükünü de içermektedir. Yük artımı analizinin uygulandığı birçok kompleks seviye vardır.
 - i. Tekil konsantre yük yapının üstüne uygulanmaktadır (Genelde tek katlı binalarda uygulanır).
 - ii. Yatay yükler, deprem yönetmeliğindeki eşdeğer deprem yükü gibi her kata ağırlıkları oranında uygulanırlar ($F_x = [w_x h_x / \sum w_x h_x] V$).
 - iii. Yatay yükler, yapı elastik modelinin birinci mod şekline ve kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezine uygulanırlar ($F_x = [w_x \phi_x / \sum w_x \phi_x] V$). Kapasite eğrisi genellikle yapıların birinci mod şekline uygulanır. Bu durum doğal titreşim periyodu bir saniye kadar olan yapılar için geçerlidir.
 - iv. Bu seviye ilk mafsall oluşumuna kadar aynı iii. seviye gibi davranmaktadır. İlk mafsaldan sonra yük artımındaki her artış deforme olmuş şekle göre ayarlanmalıdır (Zayıf kat bulunan binalarda kullanılmaktadır).
 - v. iii ve iv'e benzer fakat her bir elemanın akmasının belirlenmesi için daha yüksek mod titreşim etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekir. Yüksek

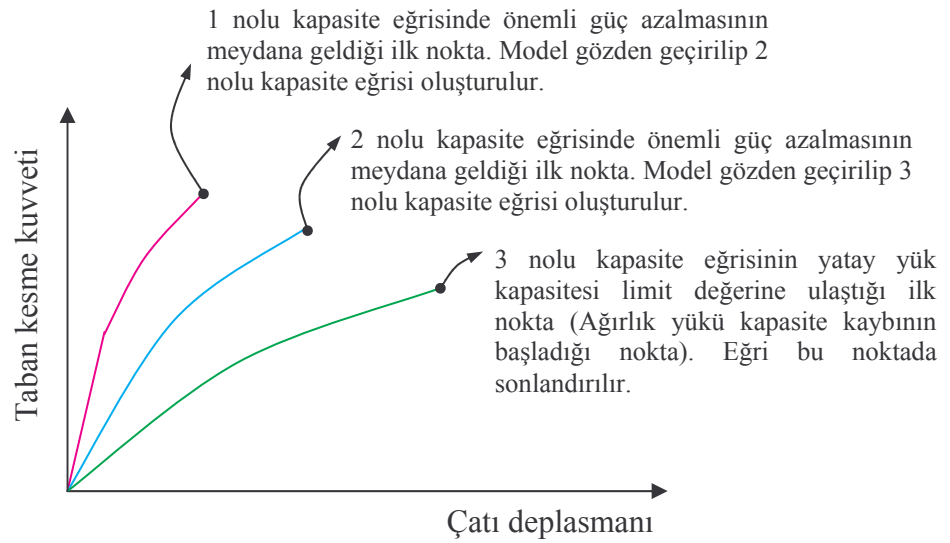
modların etkileri *Yüksek Mod Yük Artımı Analiz* ile belirlenmektedir (Yüksek veya düzensiz binalarda kullanılmaktadır).

- Yatay ve düşey yükün gerekli kombinasyonları için eleman kuvvetleri hesaplanır.
- Bazı eleman/eleman grupları için yatay yük seviyesi eleman dayanımının %10'u kadar bir kuvvet olarak ayarlanır. Fakat çoğu yapı için i. ve ii. madde yeterlidir. Taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı kaydedilir.
- Mafsallaşan elemanların rijitlikleri çok küçük veya sıfır alınarak model tekrar kontrol edilir.
- Başka bir eleman/eleman grubu akma sınırına ulaşana kadar yatay yük arttırılmaya devam edilir. Elemanlara etkiyen kuvvetlerin büyüklük ve yönlerindeki artış miktarı her adımda eşit olmalıdır. Fakat yatay yük artışının her uygulanması sıfır başlangıç koşullarından başlayan ayrı analizlerdir. Bu nedenle elemanların akmaya ulaştığı kuvvet değerlerini belirlemek için önceki artışlardaki kuvvet toplamalarına eklenmesi gerekmektedir. Aynı şekilde elemanların konumunu belirlemek için o anki analizdeki konumların önceki artışlardaki konum toplamalarına eklenmesi gerekmektedir.
- Taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanındaki artışı görebilmek için yatay kuvvetin ve buna karşılık gelen çatı deplasmanının artışına devam edilir.
- $P-\Delta$ etkilerinden dolayı yapı düzensiz bir seviyeye gelinceye kadar (yapı eleman/eleman gruplarının tamamıyla yıkılmaya başlaması) önceki üç adım tekrar edilir. Bu durumdaki yapı düşey taşıma kapasitesini de kaybediyor demektir. Bu nokta yük artımının son noktasıdır (Şekil 6.2).

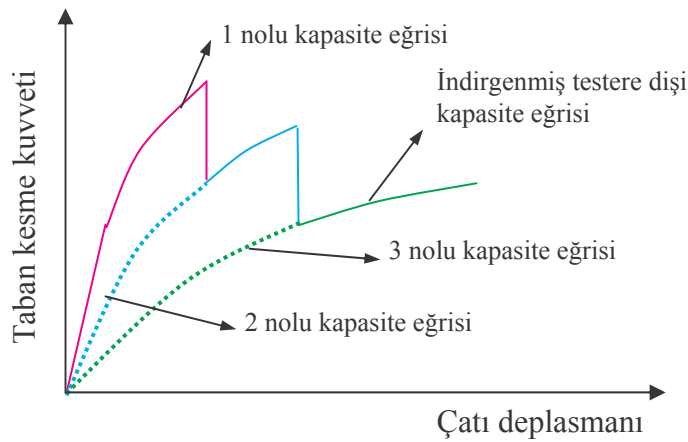


Şekil 6.2 Kapasite eğrisi (ATC-40,

- Bazı durumlarda elemanlar yatay yük taşıma kapasitelerinin tamamını veya önemli bir bölümünü kaybetse dahi deforme olmaya devam edebilirler. Mühendisler bu noktadan sonra da yüklemeye devam edip perdeli yapılar gibi özel yapılarda perde davranışı ve yapının yıkılımı hakkında görsel bilgi edinebilirler. Bir önceki adımda yatay yük taşıma kapasitelerini kaybeden elemanları eleyerek veya rijitliklerini azaltarak üçüncü adımdan başlayarak prosedür tekrarlanır. Bu şekilde yapı tüm gücünü kaybedene kadar birçok ilave yük artımı eğrileri oluşturulabilmektedir (Şekil 6.3). Son kapasite eğrisi kapasite eğrilerinin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu eğri testere dişi şeklindedir (Şekil 6.4).



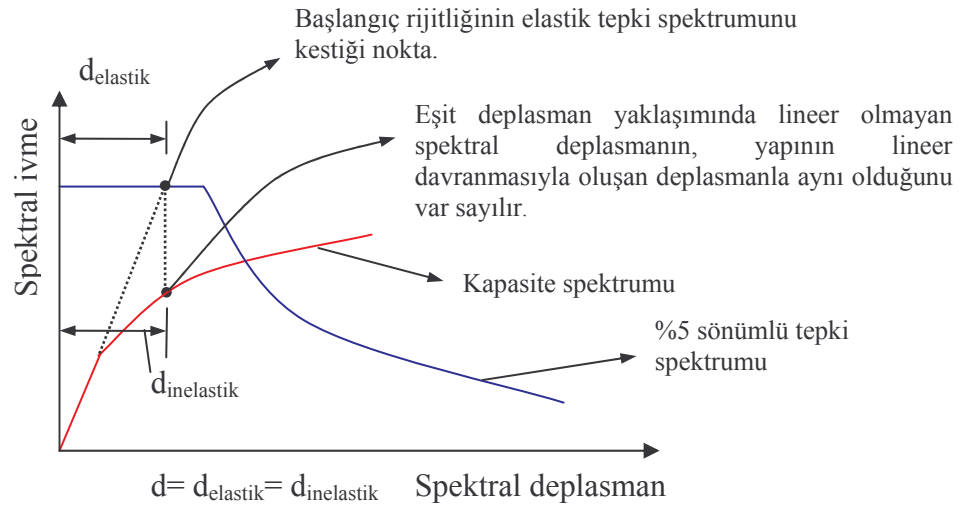
Şekil 6.3 Çoklu kapasite eğrisi (ATC-40, 1996).



Şekil 6.4 Testere dişi kapasite eğrisi (ATC-40, 1996).

6.4 Talep Spektrumunu Belirlemek için Ardışık İşlemler

Değerlendirme için kullanılacak performans amaçlarının tespit edilmesi kadar belirli bir deprem için olası maksimum deplasmanın saptanması da önemlidir. *Kapasite Spektrum Yöntemi* ile talep spektrumu ve kapasite spektrumu üzerinde *Performans Noktası* diye adlandırılan bir nokta hesaplanmaktadır. Bu nokta, yapının sismik kapasitesini yani belirli bir depremle zorlanan yapının cevabını, maksimum deplasmanını göstermektedir.



Şekil 6.5 Eşit deplasman yaklaşımı

Performans noktasının yeri *eşit deplasman yaklaşımı* ile tahmin edilebilmektedir. Şekil 6.5'te görüldüğü üzere bu yaklaşım inelastik spektral deplasmanın elastik davranışını sürdürdüğü varsayımına dayanmaktadır. Bazı durumlarda özellikle geniş periyot aralıklarında ($T > 1,0$ sn) *basit eşit deplasman yaklaşımı* kapasite spektrum yöntemiyle aynı akma sonuçlarını vermektedir. Diğer durumlarda özellikle kısa periyot aralıklarında ($T < 0,5$ sn) basit yaklaşımdan elde edilen deplasmanlar kapasite spektrum yönteminden farklı sonuçlar (daha az) verebilmektedir. Eşit deplasman yaklaşımı genellikle tekrarlanan kapasite spektrum prosedürlerinde başlangıç deneme noktasını öngörmek için kullanılmaktadır (ATC-40, 1996).

6.5 Talep Spektrumunun Kapasite Spektrum Yöntemi Kullanılarak Hesaplanması

Performans noktasının bulunabilmesi için:

1. *Nokta, kapasite spektrum eğrisinin üzerinde olmalıdır.*
2. *Nokta, %5 sönümlü elastik tepki spektrumundan indirgenmiş talep spektrumunun üzerinde olmalıdır.*

Bu yöntemde etkin sönüme bağlı bir terim olarak spektral indirgeme faktörleri verilmektedir. Etkin uygun sönümlenme, kapasite eğrisinin şekline, tahmini deplasmana ve çevrim alanına göre hesaplanmaktadır. Bina gerçek histeresis çevrimlerindeki olası kusurlar (güç azalması, dayanım etkileri) eşdeğer viskoz sönüm değerleri ile teorik olarak hesaplanabilmektedir.

Genel olarak performans noktasının belirlenmesi yukarıdaki iki kriterin sağlanması ile ortaya çıkmaktadır. Aşağıda bu iteratif işlemi standart hale getirip adım adım performans noktasını bulmak için minimum matematiksel ifade içeren A, B, C prosedürleri ve yöntemin kavramsal ifadesi anlatılmaktadır. Bu prosedürler aynı kavram ve matematiksel ilişkilere dayalıdır, fakat grafik teknikleri farklılık göstermektedir (ATC-40, 1996).

Prosedür A: Bu prosedür kavramın doğrudan uygulamasıdır. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir. Grafikten çok analitik bir yöntemdir. Formülleştirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına adapte edilebilmektedir.

Prosedür B: Kapasite eğrisinin bilineer modellenmesi olanağını sağlayan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlarla bulunabilmektedir. Prosedür B, Prosedür A gibi analitik bir yöntem olup programlanmaya en uygun olanıdır.

Prosedür C: Performans noktasını bulmak için kullanılan grafik bir yöntemdir. El ile analiz için en uygun yöntem olmakla birlikte programlanmaya uygun değildir.

6.5.1 Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal Oluşumu

(Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi)

Kapasite spektrum yönteminin kullanılabilmesi için taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanından oluşan kapasite eğrisinin İvme-Deplasman Tepki Spektrumu (ADRS) formatında olan kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüşümü yapabilmek

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (6.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (6.2)$$

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (6.3)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \phi_{\text{çatı},1}} \quad (6.4)$$

bağıntıları ile olanaklıdır. (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) ifadelerinde

PF_1 : 1. doğal mod için modal katılım katsayısı

α_1 : 1. doğal mod için modal kütle katsayısı

w_i/g : i. seviyedeki topaklanmış kütle

ϕ_{i1} : i. seviyedeki modun şekli

N : Yapının kat adedi

V : Taban kesme kuvveti

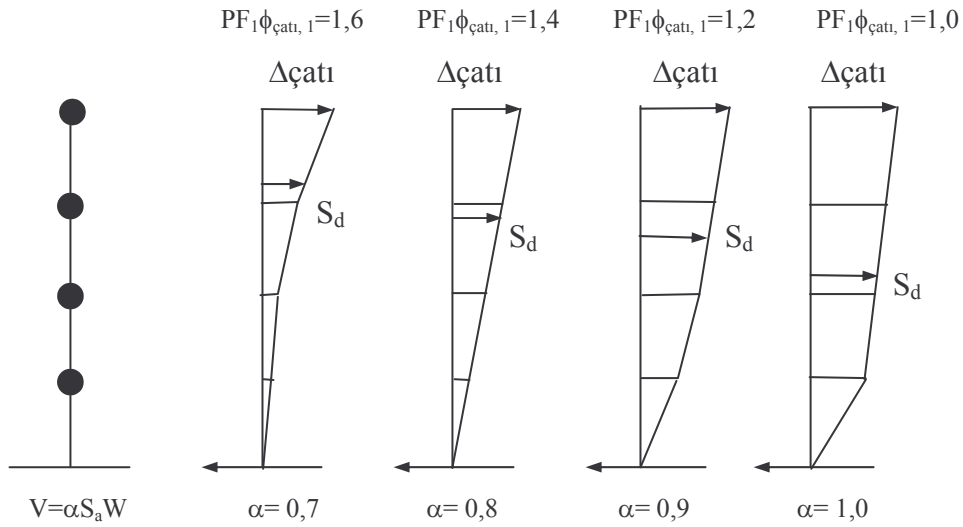
W : Zati yük+ Hareketli yük

$\Delta_{\text{Çatı}}$: Çatı deplasmanı

S_a : Spektral ivme

S_d : Spektral deplasmanı ifade etmektedir.

Kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülürken öncelikle Şekil 6.6’da gösterilen *modal katılım katsayısı* (PF_I) ve *kütle katsayısı* (α_I); (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak elde edilir. Daha sonra kapasite eğrisinin üzerindeki her nokta ($V_i, \Delta_{\text{çatı}}$); (6.3) ve (6.4) denklemleri kullanılarak S_a, S_d noktalarına dönüştürülmektedir. Şekil 6.6’da modal katılım katsayısı ve modal kütle katsayısı örnekleri verilmektedir.



Şekil 6.6 Modal katılım katsayısı ve modal kütle katsayısı örneği

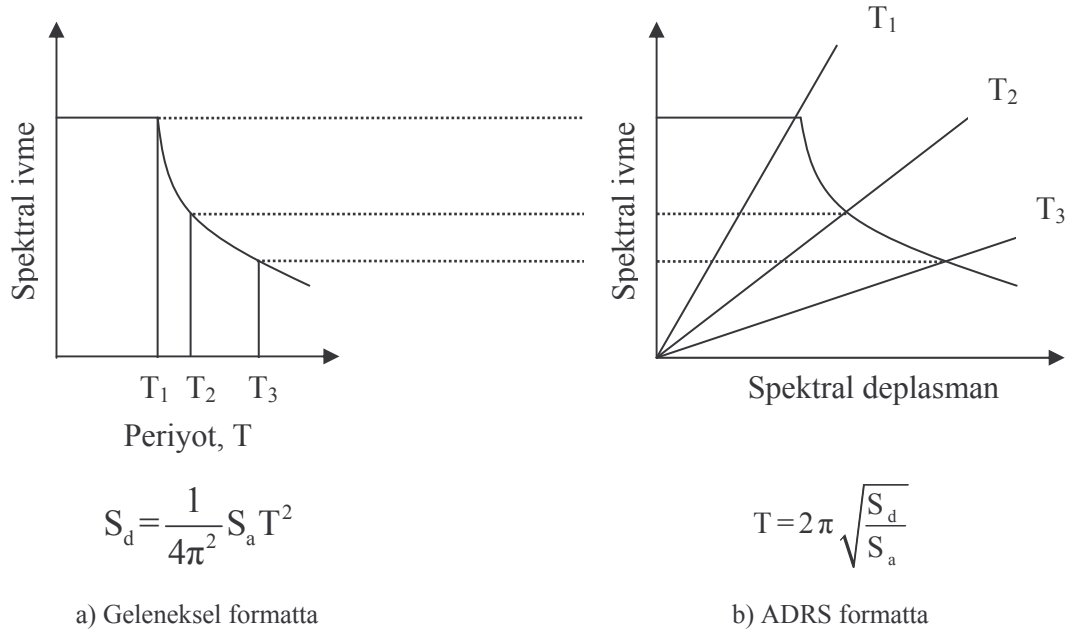
Şekil 6.7’de aynı spektrum iki format için de gösterilmektedir. ADRS formatında periyotlar orijinden sürekli çizgiler olarak dağılmaktadır. ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktanın periyodu

$$T=2\pi(S_d/S_a)^{1/2} \quad (6.5)$$

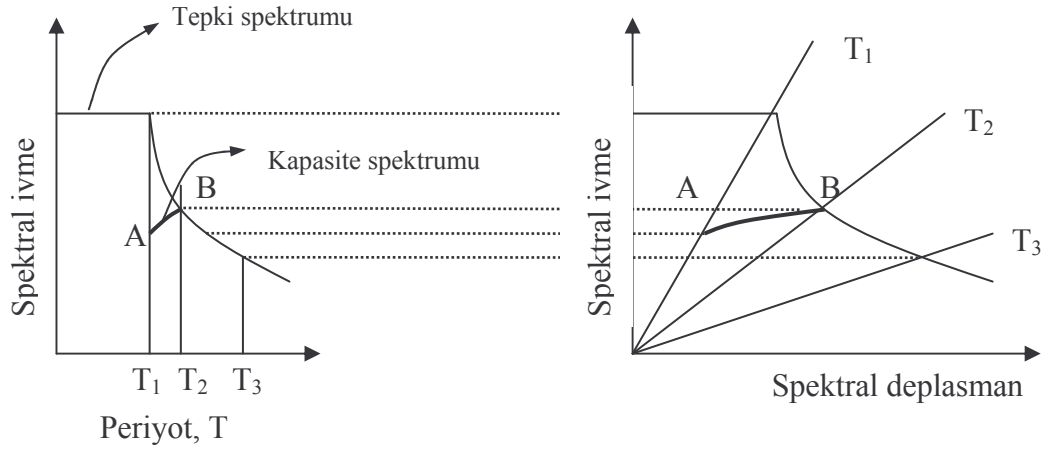
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Benzer olarak ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki S_d ,

$$S_d = S_a T^2 / 4\pi^2 \quad (6.6)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.



Şekil 6.7 Tepki spektrumları

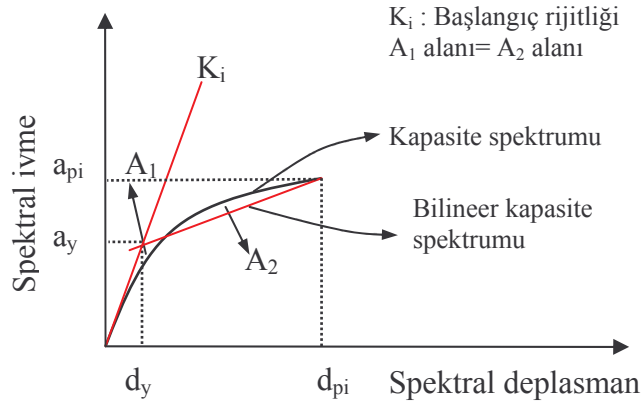


Şekil 6.8 Kapasite spektrumu ile tepki spektrumunun geleneksel ve ADRS formatlarında birlikte gösterimi

Şekil 6.8'deki kapasite spektrumunun A noktasındaki periyodu T_1 'dir. B noktasına ulaşıldığında ise periyodu T_2 'dir. Yapının periyodu, yapı lineer olmayan davranış göstermeye başladığı zaman artmaktadır. Periyodun artması geleneksel spektrum ve ADRS formatlı spektrum üzerinde belirgin olarak görülmektedir.

6.5.2 Kapasite Spektrumunun Bilineer Hale Getirilmesi

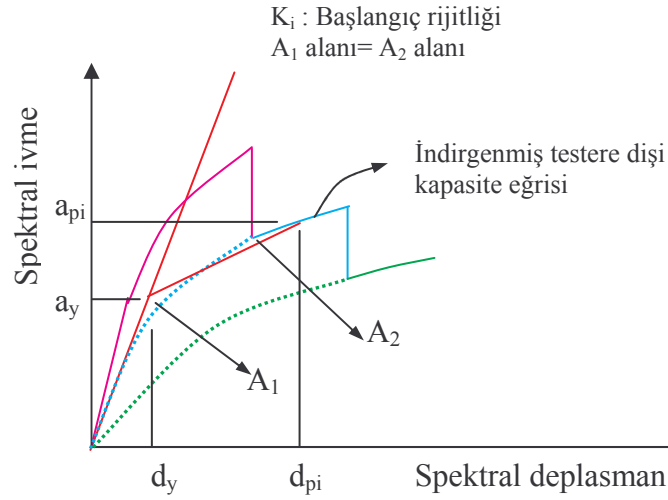
Bilineer kapasite spektrumunun oluşturulabilmesi için etkin sönüm ve uygun indirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Spektrum eğrisinin oluşturulması için a_{pi} , d_{pi} noktasının tanımlanması gerekmektedir. Bu nokta, *deneme performans noktası* olup, indirgenmiş talep spektrumunu oluşturmak için mühendis tarafından tahmin edilmesi gereken bir değerdir. Talep spektrumu ile kapasite spektrumu tahmin edilen a_{pi} ve d_{pi} noktasında kesişir ise bu nokta *Performans Noktası*'dır. İlk tahmin edilen nokta a_{p1} , d_{p1} ; ikinci nokta a_{p2} , d_{p2} olarak adlandırılır. Genellikle a_{p1} , d_{p1} tahmini için eşit deplasman yaklaşımı kullanılmaktadır.



Şekil 6.9 Kapasite spektrumunun bilineer gösterimi

Şekil 6.9 kapasite spektrumunun bilineer gösterimi için bir örnektir. Bilineer gösterimi oluşturabilmek için orijinden başlangıç rijitliği de düşünülerek bir doğru çizilmektedir. Daha sonra belirlenen deneme noktasından (a_{pi} , d_{pi}) geriye ikinci bir doğru çizilir. İkinci doğru A_1 ve A_2 alanları eşit olacak şekilde a_y , d_y noktasında ilk doğruyu keser. Bunun sebebi her bir eğrinin eşit enerji sönümlemesini sağlamaktır. Bilineer spektrum bu şekilde oluşturulur.

İndirgenmiş testere dişi kapasite spektrumu için bilineer kapasite spektrumunun oluşturulması Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.10 İndirgenmiş testere dişi kapasite spektrumu için bilineer kapasite spektrumunun gösterimi

6.5.3 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Tepki Spektrumunun İndirgenmesi

Yapıyı inelastik sınıra doğru zorlayan deprem yer hareketi meydana gelirken oluşan sönüm, yapının ana (viskoz) sönümünün ve çevrimsel (histeretik) sönümünün bileşkesidir. Çevrimsel sönüm, deprem kuvvetlerine (taban kesme kuvveti) karşılık yapının deplasman yapmasıyla oluşan çevrim alanlarıyla ilişkilidir. Çevrimsel sönümleme, eşdeğer viskoz sönümlemeye dönüştürülerek hesaplanmaktadır.

Eşdeğer viskoz sönümleme β_{eq} ,

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0,05 \quad (6.7)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. (6.7) bağıntısında

β_0 : Eşdeğer viskoz sönümleme olarak ifade edilen çevrimsel sönüm
0,05 : %5 viskoz sönümlemedir.

β_0 terimi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Chopra, 1995).

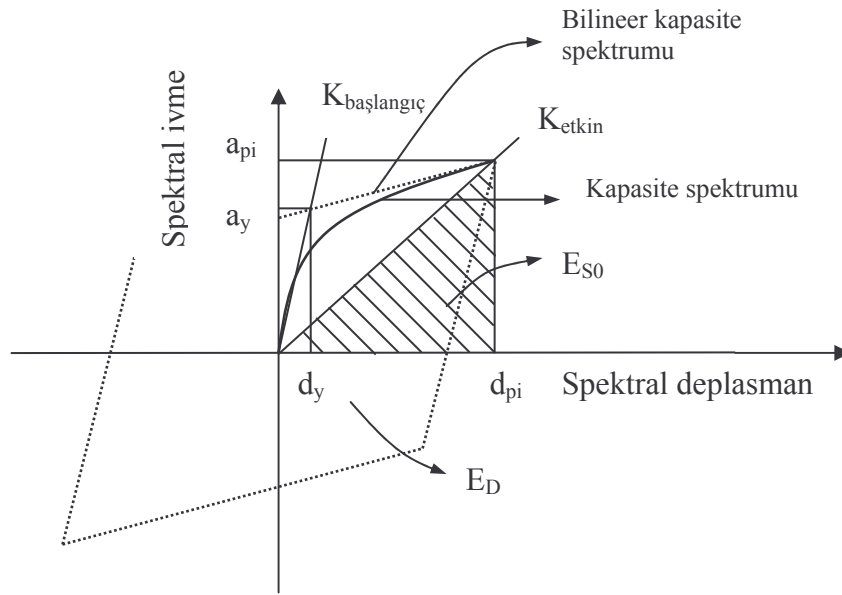
$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \leq 0,45 \quad (6.8)$$

(6.8) denklemindeki;

E_D : Sönümle yutulan enerji (= Histeretik çevrimle çevrili alan : Şekil 6.11'deki büyük paralelkenarın alanı)

E_{S0} : Maksimum şekil değiştirme enerjisi (= Taralı üçgenin alanı : $a_{pi} \cdot d_{pi}/2$)

Denklem 6.6'daki E_D , E_{S0} 'ın fiziksel ifadesi Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



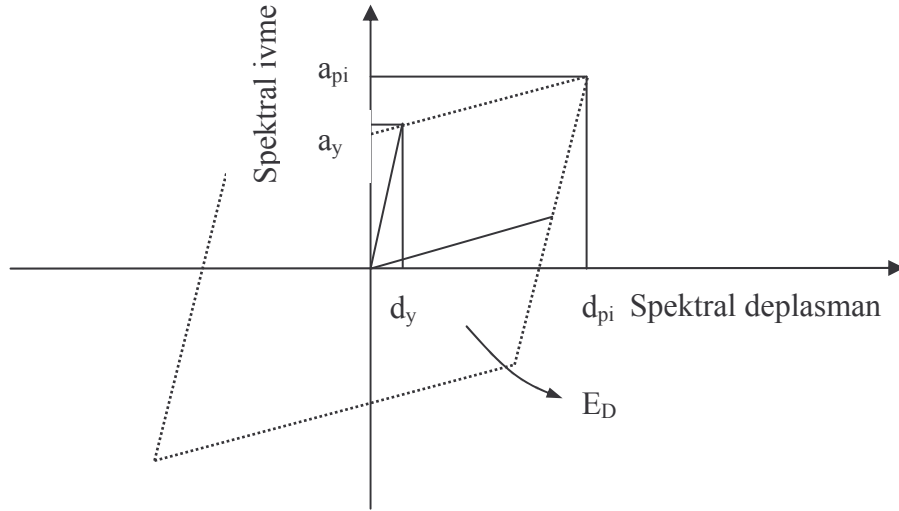
Şekil 6.11 Spektral indirgeme için sönümün ifadesi

E_D , yapının tek bir histeretik çevrim yapması esnasında harcanan enerjidir. E_{S0} , yapı hareketinin bir kez meydana gelmesi için harcanan maksimum şekil değiştirme enerjisidir.

Şekil 6.11'e bağlı olarak E_{S0}

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2 \quad (6.9)$$

olarak elde edilebilmektedir.

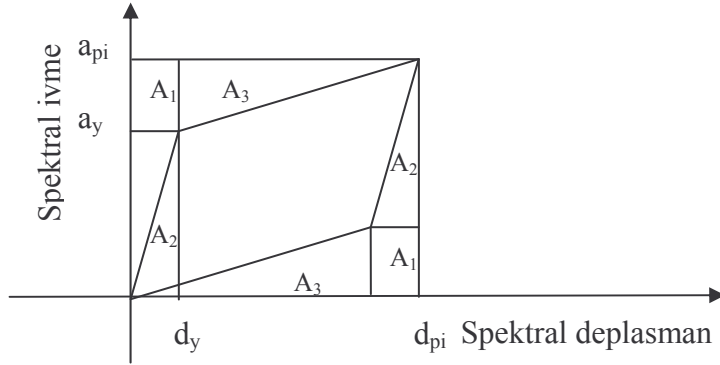


Şekil 6.12 E_D ile sönümlenen enerjinin elde edilmesi

Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'e göre E_D

$$\begin{aligned}
 E_D &= 4 \cdot (a_{pi} d_{pi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3) \\
 &= 4 \cdot [a_{pi} d_{pi} - a_y d_y - (d_{pi} - d_y)(a_{pi} - d_y) - 2d_y(a_{pi} - a_y)] \\
 &= 4 \cdot (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})
 \end{aligned}$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.



Şekil 6.13 E_D ile sönümlenen enerjinin elde edilmesi

Şekil 6.13'deki alan formülleri:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= (a_{pi} - a_y) \cdot d_y \\
 A_2 &= (a_y \cdot d_y) / 2 \\
 A_3 &= [(a_{pi} - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)] / 2
 \end{aligned}$$

β_0 , aynı zamanda aşağıdaki şekilde de yazılabilmektedir:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}/2} = \frac{2}{\pi} \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}} \quad (6.10)$$

$$\beta_0 = \frac{0,637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (6.11)$$

β_0 , kritik sönüm yüzdesi olarak yazıldığında

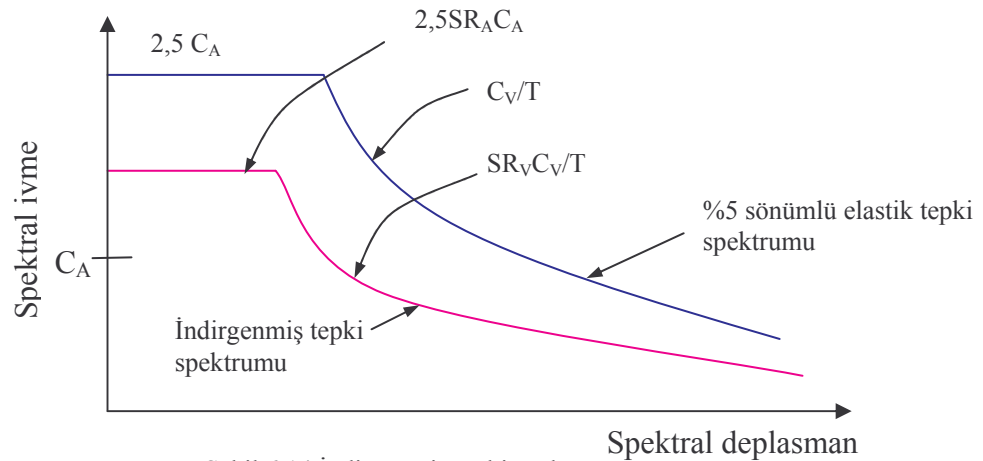
$$\beta_0 = \frac{63,7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (6.12)$$

ve (6.7) ifadesinde β_0 'ı yerine yazıldığında *Newmark-Hall eşitliği* olarak da isimlendirilen

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63,7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (6.13)$$

bağıntısı elde edilir.

Şekil 6.14'te görüleceği üzere; %5 sönümlü elastik tepki spektrumunu indirmek için spektral indirgeme faktörleri (SR_A ve SR_V) kullanılmaktadırlar. SR_A ivme değeri için SR_V ise hız değeri için spektral indirgeme faktörüdür. Spektral indirgeme faktörleri için β_{eq} değeri denklem (6.13)'teki Newmark-Hall eşitliğinden hesaplanmaktadır.



Şekil 6.14 İndirgenmiş tepki spektrumu

Sünek binalar için kısa yer sarsıntılarında (önemli hasar meydana getirmeyen salınımlar) ve viskoz sönümün %30'dan küçük olduğu durumlarda Şekil 6.11'deki

gösterim kabul edilebilir bir yaklaşımdır. Sünek olmayan yapılar için aradaki farkın bir katsayı ile düzeltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle denklem (6.13)'e aşağıdaki gibi modifikasyon faktörü (κ) eklenmiştir. Bunun sonucu etkin sönüm, β_{eff} :

$$\beta_{\text{eff}} = \kappa \beta_0 + 5 = \frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (6.14)$$

olarak ifade edilmektedir.

κ faktörü bina kesin histeretik alanının ölçüsüdür. Şekil 6.11'deki paralelkenarın alanıdır. κ faktörü binanın yapısal davranışına (yapının sismik direnç sisteminin niteliği ve yer sarsıntısı dayanıklılığına) bağlıdır. Bunun için yapı tipleri üç grup olarak belirlenmektedir. Tablo 6.1'deki A tipi, tüm durumlarda Şekil 6.10'daki çevrimlere en yakın davranışı göstermektedir. Bu tip için yüksek sönüm oranları hariç $\kappa = 1,0$ olarak alınmaktadır. B tipinde $\kappa = 2/3$ olarak alınır ve orta sönümlü bir paralelkenar alanını ifade etmektedir. Zayıf bir histeretik davranışı gösteren C tipi için κ değeri $1/3$ olarak alınmaktadır (ATC-40, 1996).

Tablo 6.1 Sönüm modifikasyon faktörü değerleri

Yapısal Davranış Tipi	β_0 (%)	κ
A Tipi	$\leq 16,25$	1,0
	$> 16,25$	$1,13 - \frac{0,51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
B Tipi	≤ 25	0,67
	> 25	$0,845 - \frac{0,446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
C Tipi	> 0	0,33

6.5.4 Spektral İndirgemenin Belirlenmesi

%5 sönümlü elastik tepki spektrumunu indirgemek için kullanılan spektral indirgeme faktörleri SR_A (ivme bölgesi) ve SR_V (hız bölgesi)

$$SR_A = \frac{3,21-0,681\ln(\beta_{eff})}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21-0,681\ln\left[\frac{63,7\kappa(a_y d_{pi}-d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}+5\right]}{2,12} \quad (6.15)$$

$$SR_V = \frac{2,31-0,41\ln(\beta_{eff})}{1,65}$$

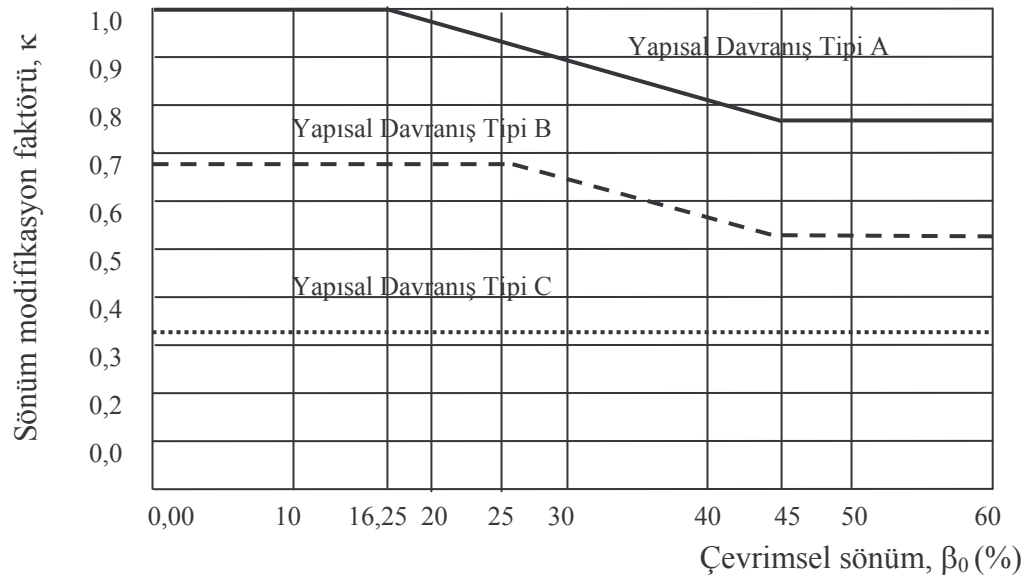
$$SR_V = \frac{2,31-0,41\ln\left[\frac{63,7\kappa(a_y d_{pi}-d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}+5\right]}{1,65} \quad (6.16)$$

bağıntıları kullanılarak elde edilmektedir. SR_A ve SR_V değerleri, Tablo 6.2'deki değerlere eşit veya büyük olmalıdır.

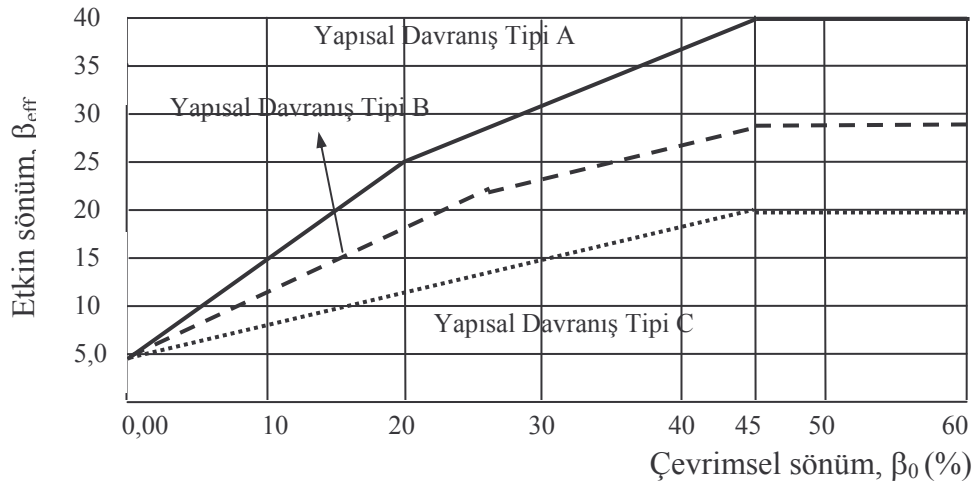
Tablo 6.2 Kabul edilebilir minimum SR_A ve SR_V değerleri

Yapısal Davranış Tipi	SR_A	SR_V
A Tipi	0,33	0,50
B Tipi	0,44	0,56
C Tipi	0,56	0,67

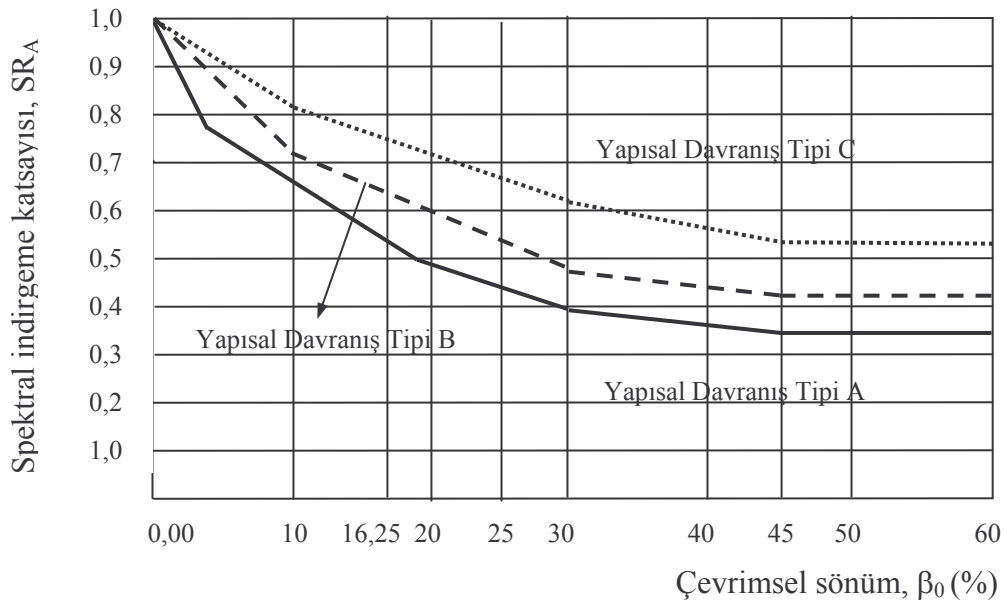
A, B, C yapı tiplerinin spektral indirgeme faktörleri üzerindeki etkileri Şekil 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18'de β_0 'a karşılık sırasıyla κ , β_{eff} , SR_A , SR_V 'ye bağlı olarak gösterilmektedir.



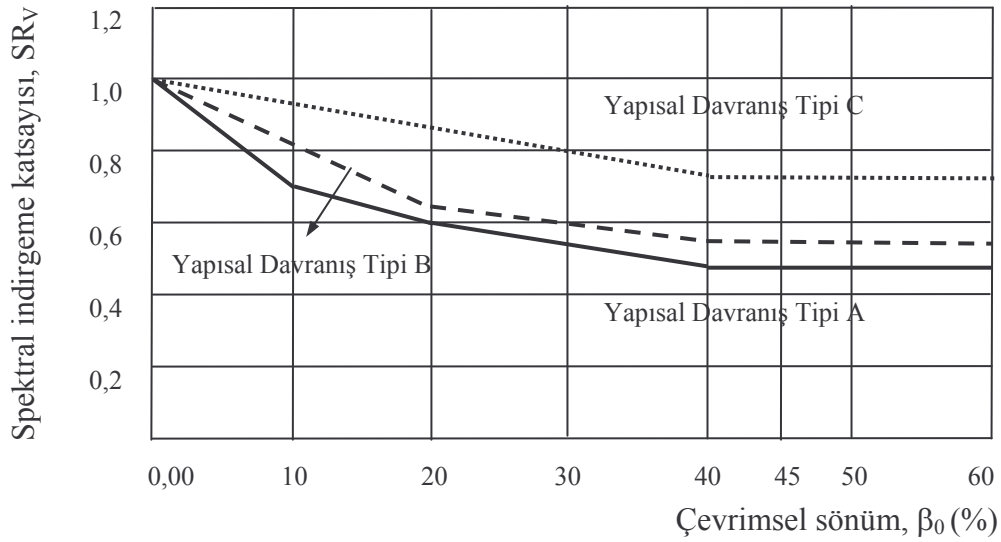
Şekil 6.15 Yapısal davranış tipleri A, B, C için κ sönüm faktörü



Şekil 6.16 Yapısal davranış tipleri A, B, C için β_{eff} efektif sönüm

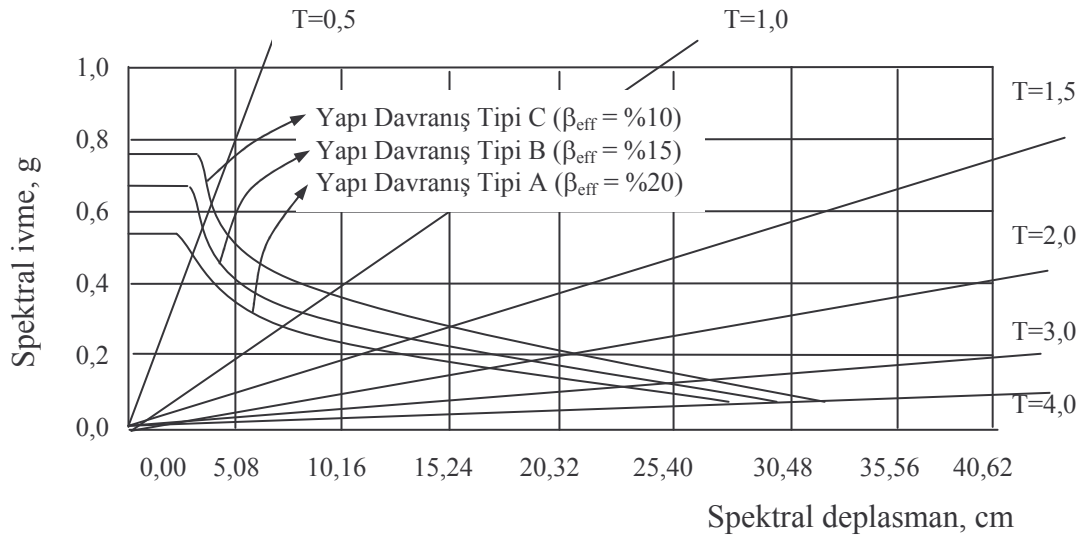


Şekil 6.17 Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı, SR_A



Şekil 6.18 Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı, SR_V

Şekil 6.19 β_0 ve A, B, C yapısal davranış tipleri için ADRS formatındaki tepki spektrumlarının arasındaki farklılıkları göstermektedir. Şekildeki tepki spektrumlarını oluşturmakta kullanılan C_A ve C_V sismik katsayıları 0,4, zemin profili S_B , Z.E.N çarpımı 0,4 ve çevrimsel sönüm (β_0) %15 olarak alınmıştır.



Şekil 6.19 A, B, C Yapısal davranış tipleri için ADRS tepki spektrumu örneği

(6.15) ve (6.16) bağıntıları kullanılarak elde edilen Spektral indirgeme faktörleri SR_A ve SR_V Tablo 6.3’de verilmektedir.

Tablo 6.3 Spektral indirgeme katsayıları, SR_A ve SR_V

	A Tipi Yapısal Davranış			B Tipi Yapısal Davranış			C Tipi Yapısal Davranış		
β_0	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V
0	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00
5	10	0,78	0,83	8	0,83	0,87	7	0,91	0,93
15	20	0,55	0,66	15	0,64	0,73	10	0,78	0,83
25	28	0,44	0,57	22	0,53	0,63	13	0,69	0,76
35	35	0,38	0,52	26	0,47	0,59	17	0,61	0,70
≥ 45	40	0,33	0,50	29	0,44	0,56	20	0,56	0,67

Yapısal davranış tipleri; sismik direnç sisteminin önemli (birincil) elamanlarının kalitesi ve sarsılma süresine göre Tablo 6.4'ten seçilmektedir. Tablonun ilk kolonu, en yeni taşıyıcı sistem elemanları ile yatay yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmış yeni binaları, ikinci kolon, taşıyıcı sistem elemanları yatay yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmış orta yaşlı binaları, üçüncü kolon ise taşıyıcı sistem elemanları yatay yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmamış eski binaları ifade etmektedir.

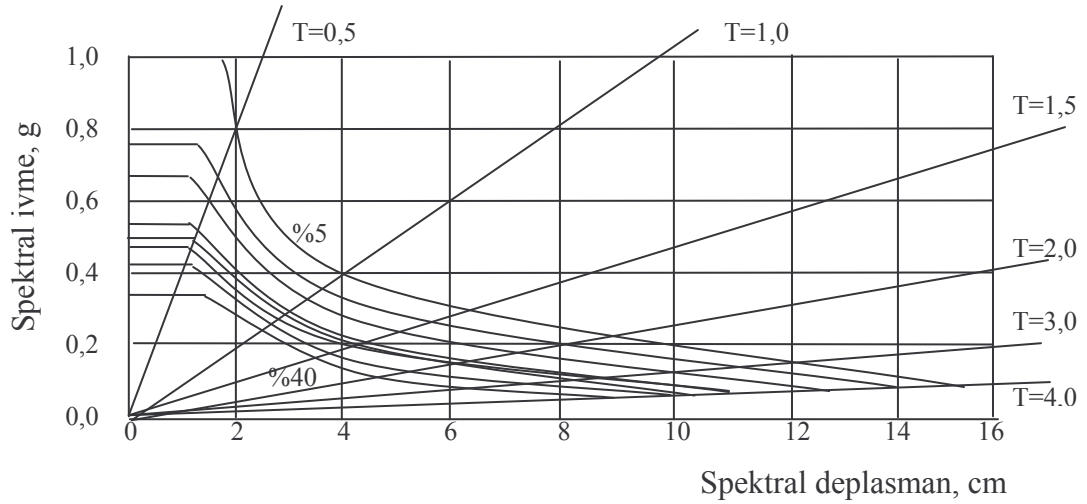
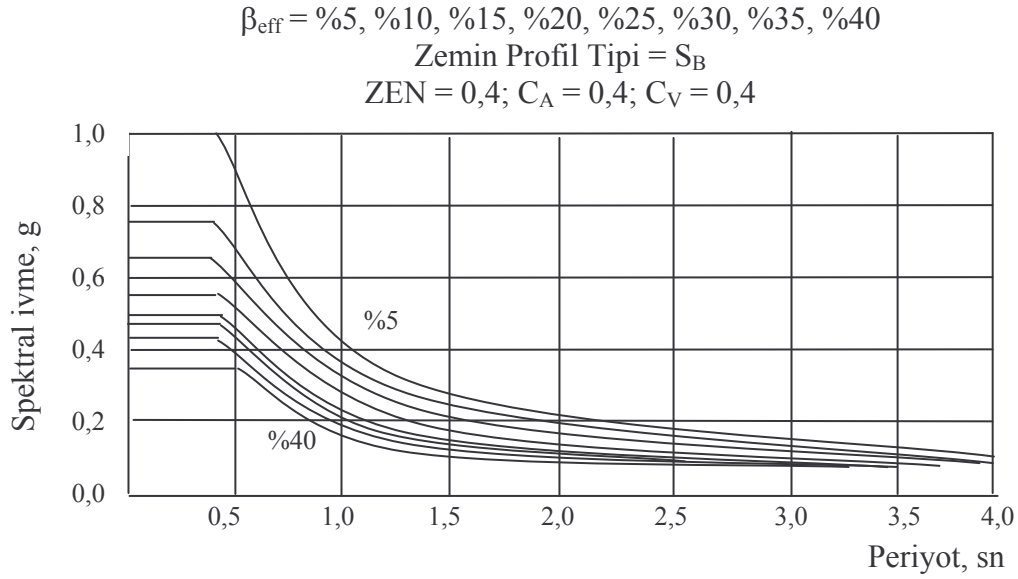
Tablo 6.4 Yapısal davranış tipleri

Sarsılma Süresi	Yeni Binalar	Orta Yaşlı Binalar	Çok Yaşlı Binalar
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	C Tipi

6.5.5 Talep Spektrumunun Geliştirilmesi

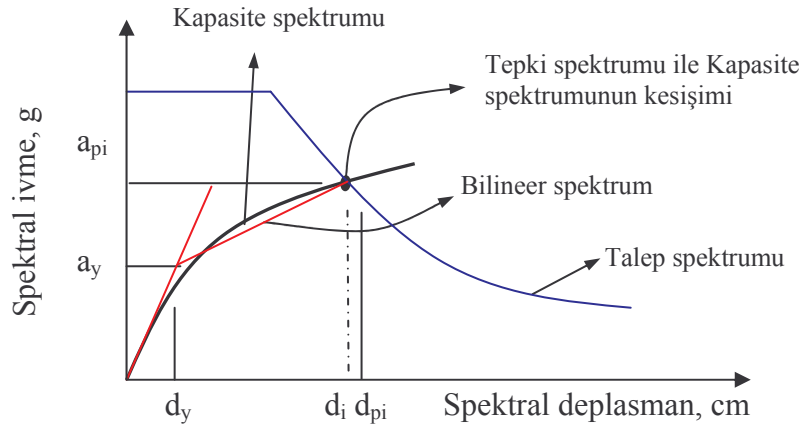
%5 sönümlü tepki spektrumu, Beşinci Bölüm'deki bilgiler kullanılarak elde edilmektedir. %5 sönümlü indirgenmiş tepki spektrumu diğer adıyla talep spektrumu Şekil 6.14'te gösterilmektedir. Standart S_a -T formatındaki tepki spektrumunu Bölüm 6.5.1'deki (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) denklemleri kullanılarak S_a - S_d (ADRS) formatına dönüştürülür.

Şekil 6.20 tepki spektrumu ailesi için bir örnektir. Her spektrum eğrisi farklı bir etkin sönüm seviyesi için verilen deprem yer sarsıntısı seviyesine göre çizilmiştir. Şekil 6.21 aynı tepki spektrumu ailesini ADRS formatında göstermektedir.



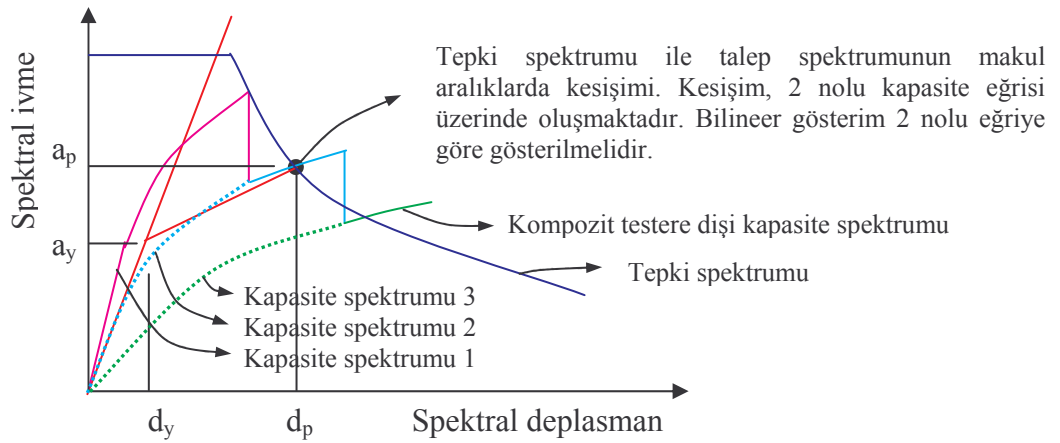
6.5.6 Kapasite Spektrumu ile Tepki Spektrumunun Kesişimi

Kapasite spektrumunun tepki spektrumunu kestiği d_i noktası a_{pi} , d_{pi} deneme performans noktasının d_{pi} deplasmanının $\pm\%5$ 'i kadar ise ($0,95d_{pi} \leq d_i \leq 1,05d_{pi}$) deneme noktası Performans Noktası olarak alınabilir. Kapasite spektrumu ile tepki spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir tolerans içinde olmadığından yeni bir nokta seçilerek işlem tekrarlanmaktadır. Şekil 6.22 kavramın görsel ifadesidir. *Performans noktası*, deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal deplasmanı ifade etmektedir.



Şekil 6.22 Tepki ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir tolerans içinde kesişimi

Eğer kapasite spektrumu testere dişi şeklinde ise %5 sönümlü talep spektrumunun indirgeme faktörünü belirlemek için kullanılan kapasite spektrumunun bilineer gösterimi yalnızca bir kapasite spektrum eğrisinden oluşturulmalı, kompozit bir eğri olmamalıdır. Analizin kabul edilebilir olması için bilineer spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişim noktalarının aynı olması gerekmektedir (Şekil 6.23).



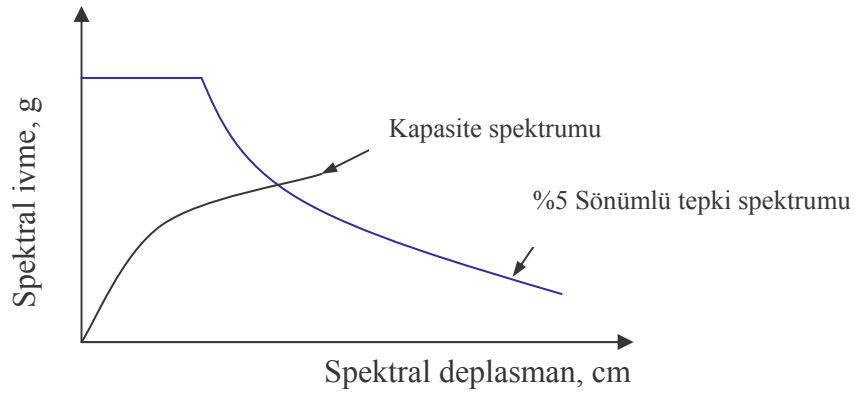
Şekil 6.23 Tepki ve testere dişi kapasite spektrumunun kabul edilebilir tolerans içinde kesişimi

6.5.7 Prosedür A Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplanması

Bu yöntem kullanılarak performans noktasına yakınsanırken yapılan iterasyonlar el ile veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem daha önce sözü edilen

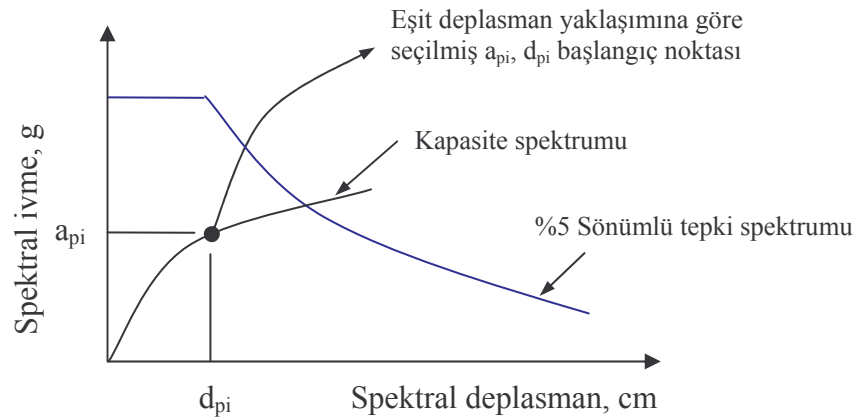
prensipilerin en sade şekilde uygulamasıdır. Yöntem adımları aşağıda tanımlanmaktadır:

1. **Adım:** Dördüncü Bölüm’de anlatılan yöntemler kullanılarak bölge için uygun olan %5 sönümlü elastik tepki spektrumu çizilir.
2. **Adım:** Kapasite eğrisi, Bölüm 6.5.1’deki (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) denklemleri kullanılarak kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu Şekil 6.24’deki gibi %5 sönümlü tepki spektrumu ile aynı şekil üzerine çizilir.



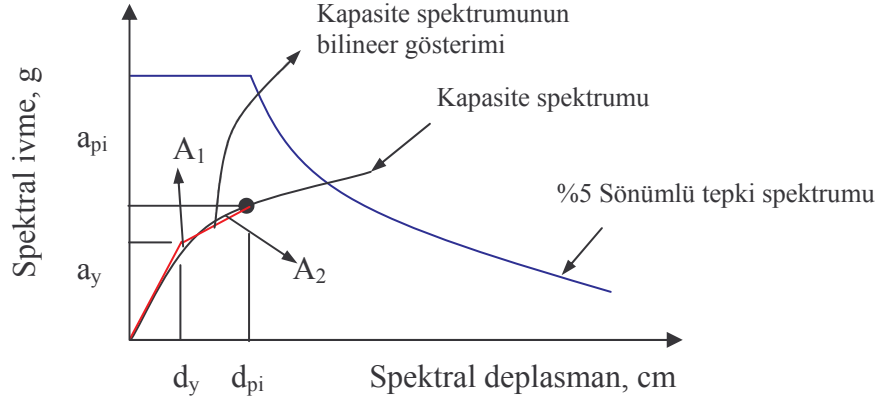
Şekil 6.24 Kapasite spektrumu A prosedürü 2. Adım

3. **Adım:** Şekil 6.25’deki gibi koordinatları a_{pi} , d_{pi} olan bir deneme noktası seçilir. İlk nokta (a_{pi} , d_{pi}) eşit deplasman yaklaşımıyla veya kapasite spektrumunun bitiş noktası olarak seçilebilir.



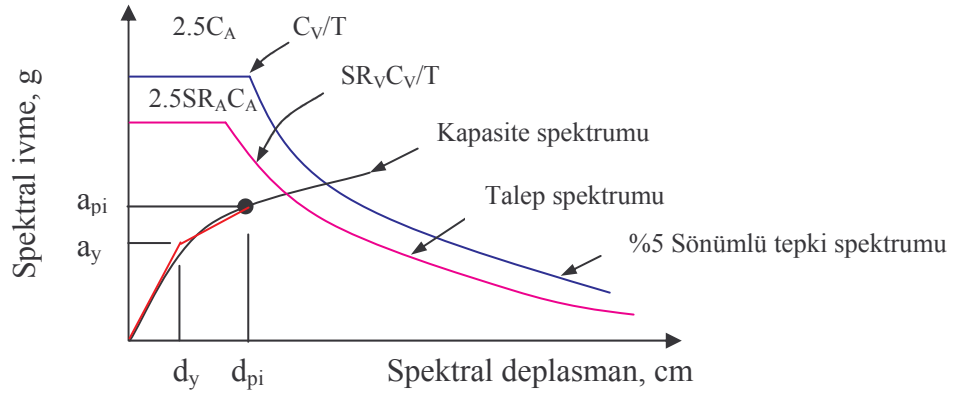
Şekil 6.25 Kapasite spektrumu A prosedürü 3. Adım

4. **Adım:** Bölüm 6.5.2’de anlatıldığı gibi kapasite spektrumunun bilineer gösterimi oluşturulur (Şekil 6.26).



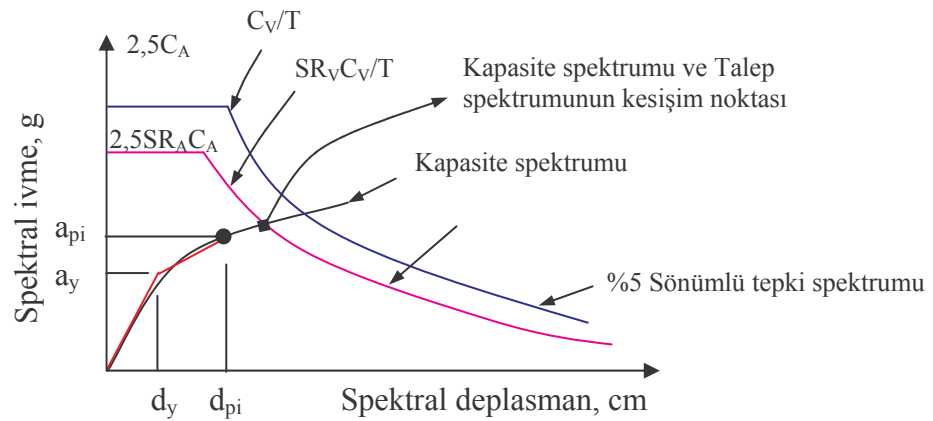
Şekil 6.26 Kapasite spektrumu A prosedürü 4. Adım

5. **Adım:** Denklemler (6.15) ve (6.16) ile spektral azaltma faktörleri hesaplanarak talep spektrumu oluşturulur. Şekil 6.27’de gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile aynı şekil üzerine çizilirler.



Şekil 6.27 Kapasite spektrumu A prosedürü 5. Adım

6. **Adım:** Talep spektrumunun, kapasite spektrumunu a_{pi} , d_{pi} noktalarında kesip kesmediği veya Şekil 6.22’de gösterilen d_i deplasmanının kabul edilebilir toleransta olup olmadığı belirlenir (Şekil 6.28).



Şekil 6.28 Kapasite spektrumu A prosedürü 6. Adım

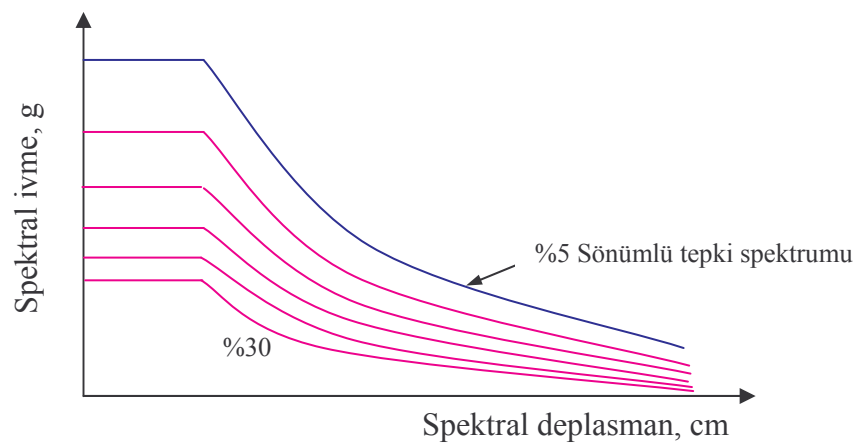
7. **Adım:** Talep spektrumunun kapasite spektrumunu kabul edilebilir toleransta kesmediği durumda yeni bir nokta seçilir. Dördüncü adıma geri dönülerek prosedür tekrarlanır. Yeni seçilen nokta altıncı adımdaki kesişim noktası olabilir.
8. **Adım:** Talep spektrumu kapasite spektrumunu kabul edilebilir toleransta kestiğinde deneme noktası (a_{pi} , d_{pi}); (a_p , d_p) Performans Noktası olur. d_p , deprem esnasında yapıda oluşacak maksimum deplasmanı ifade eder.

6.5.8 Prosedür B Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplanması

Bu prosedürde bilineer kapasite eğrisinin başlangıç ve akma sonrası eğimlerinin sabit kaldığı ve aynı zamanda a_y , d_y noktasının da sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu basit yaklaşım fazla sayıda eğri çizmeden direkt çözüme götürmektedir. Çünkü etkin sönümü (β_{eff}) etkiler ve sadece d_{pi} 'ye bağlıdır. Yöntem aşağıda adım adım tanımlanmaktadır:

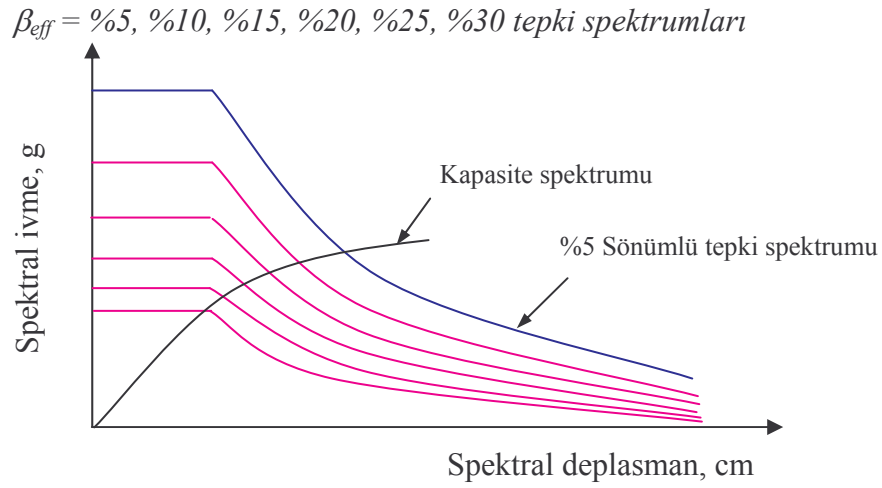
1. **Adım:** Dördüncü Bölüm'de anlatılan yöntemler kullanılarak bölge için uygun olan %5 sönümlü elastik tepki spektrumu çizilir.
2. **Adım:** %5 sönümlü tepki spektrumu ile %10, %15, %20, %25, %30 sönümler için olan tepki spektrumları aynı şekil üzerine çizilirler (Şekil 6.29).

$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



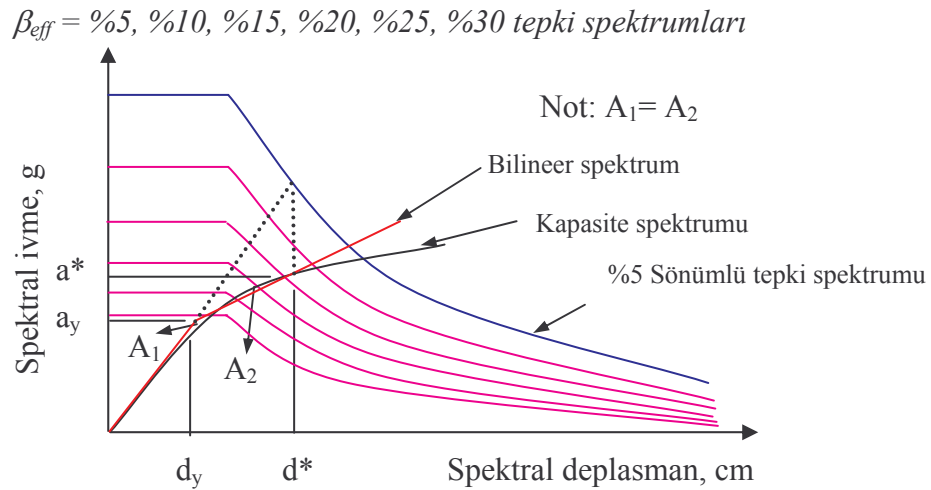
Şekil 6.29 Kapasite spektrumu B prosedürü 2. Adım

3. **Adım:** Bölüm 6.5.1'deki (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) denklemleri kullanılarak kapasite eğrisini kapasite spektrumuna dönüştürülür ve tepki spektrumu ailesinin olduğu şekil üzerine çizilir (Şekil 6.30).



Şekil 6.30 Kapasite spektrumu B prosedürü 3. Adım

4. **Adım:** Şekil 6.31'de gösterildiği gibi kapasite spektrumu bilineer olarak oluşturulmaktadır. Bilineer eğrinin başlangıç eğimi binanın başlangıç rijitliğine eşittir. Bilineer spektrumun ikinci doğrusunun (akma sonrası) kapasite eğrisini kestiği noktanın (a^* , d^*) deplasmanı; %5 sönümlü tepki spektrumuyla birinci doğrunun kesiştirildiği noktanın deplasmanı ile aynıdır (eşit deplasman kabulüne göre). İkinci doğrunun eğimi, bu a^* , d^* noktası sabit kalmak kaydıyla A_1 , A_2 alanları eşit olacak şekilde bulunur.



Şekil 6.31 Kapasite spektrumu B prosedürü 4. Adım

- 5. Adım:** a^* , d^* noktasına yakın farklı deplasmanlar için etkin sönümler hesaplanır. Bilineer kapasite spektrumunun ikinci doğrusunun eğimi

$$\text{İkinci doğru eğimi} = \frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \quad (6.18)$$

ifadesi yardımı ile hesaplanmaktadır.

İkinci doğru üzerindeki herhangi bir nokta için eğim denklemi

$$\text{İkinci doğru eğimi} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (6.19)$$

ifadesi ile elde edilmektedir.

Eğim her noktada eşit olduğundan (6.18) ve (6.19) eşitlendiğinde

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (6.20)$$

bağıntısı elde edilmektedir. (6.20) bağıntısı a_{pi} için çözümlenir ve buna a_{pi}' denir ise:

$$a_{pi}' = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y \quad (6.21)$$

ifadesi elde edilmektedir. Bu değer (6.14) eşitliğindeki a_{pi} değerini ifade etmektedir.

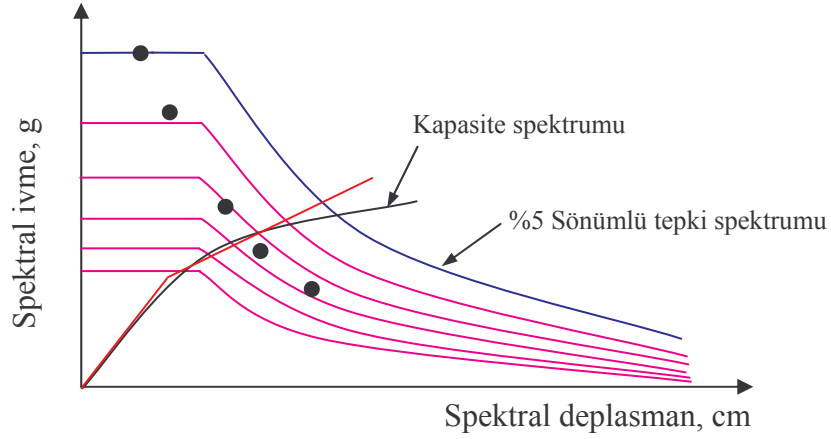
(6.12) bağıntısında yerine konduğunda etkin sönüm (β_{eff}) için

$$\beta_{eff} = \frac{63,7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}')}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (6.22)$$

bağıntısına dönüşmektedir. Denklem (6.22), Tablo 6.1'deki κ değeri ve çeşitli d_{pi} değerleri kullanarak çözümlenir.

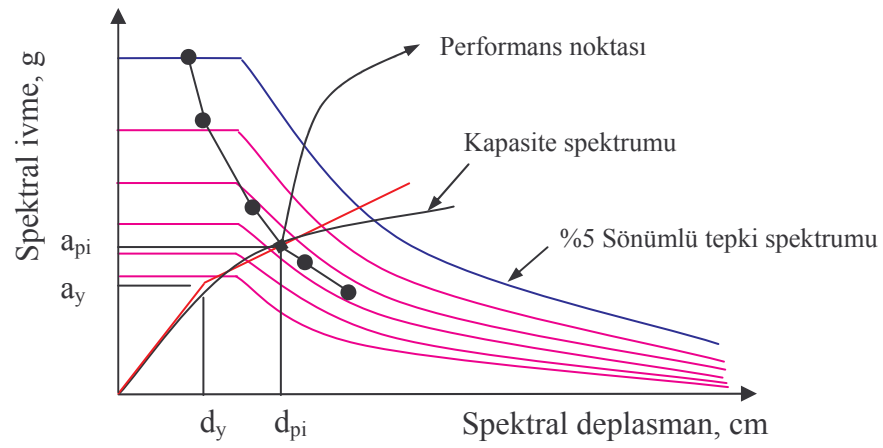
- 6. Adım:** Beşinci adımdaki her bir d_{pi} değeri için bulunan β_{eff} sonuçları, kapasite spektrumunun ve tepki spektrumlarının bulunduğu şekil üzerine işaretlenir.
- 7. Adım:** Şekil 6.33'te gösterildiği gibi altıncı adımda bulunan noktalar doğru parçaları ile birleştirilir. Bu doğru parçaları ile kapasite spektrumunun kesiştiği nokta performans noktasını vermektedir. Eğer performans noktası a^* , d^* noktası üzerinde ise bu yöntem diğer yöntemlerle aynı sonucu verir. Performans noktası a^* , d^* noktasından çok uzakta çıktığında nokta A ve C yöntemleriyle de kontrol edilmelidir.

$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



Şekil 6.32 Kapasite spektrumu B prosedürü 6. Adım

$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



Şekil 6.33 Kapasite spektrumu B prosedürü 7. Adım

B prosedüründe birçok d_{pi} , β_{eff} noktası işaretlenmektedir. Bunların içinde önemli olan tek nokta kapasite spektrumu üzerinde olanıdır. Bu nokta kapasite spektrumu ile uygun sönümlü talep spektrumunun kesişimini diğer adıyla *talep deplasmanını* ifade etmektedir. β_{eff} noktaları ne kadar fazla ise performans noktasının yeri de o denli hassas bulunmaktadır. Bunun için yukarıda anlatılan adımlar aşağıdaki maddeler halinde bilgisayar ortamına aktarılabilir:

- I. %5 sönümlü tepki spektrumu ve kapasite spektrumu aynı şekil üzerine çizilir.
- II. Şekil 6.9'da gösterildiği gibi bilinear kapasite spektrumu oluşturulur.

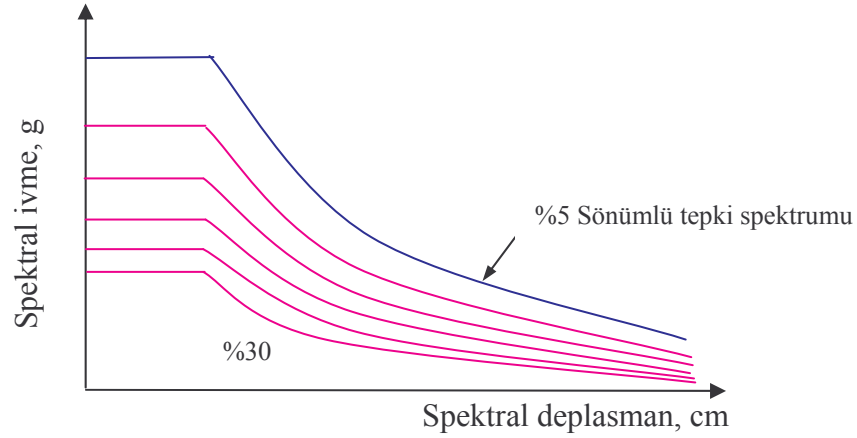
- III. d_{pi} değerleri seçilir. a_{pi} ve β_{eff} değerleri (6.21) ve (6.22) denklemleri kullanılarak hesaplanır.
- IV. %5 sönümlü tepki spektrumunun sabit ivmeden sabit hıza geçtiği noktadaki T_S periyodu, $T_S = C_V / (2,5C_A)$ formülü kullanılarak hesaplanır.
- V. d_{pi} 'nin her değerine karşılık gelen periyotları $T = 2\pi(d_{pi}/a_{pi})^{1/2}$ formülü kullanılarak hesaplanır.
- VI. Her periyoda karşılık gelen %5 sönümlü eğri üzerindeki spektral ivme değerleri ($S_{a\%5}$), $T \leq T_S$ için $S_{a\%5} = 2,5C_A$ formülü ile $T > T_S$ için $S_{a\%5} = C_V/T$ formülü ile hesaplanır.
- VII. $S_{a\%5}$ 'lere karşılık gelen %5 sönümlü spektral deplasmanları ($S_{d\%5}$), $S_{d\%5} = S_{a\%5}(T/2\pi)^2$ formülü kullanılarak hesaplanır.
- VIII. Her bir deplasman için $T \leq T_S$ ise (6.15) denklemini kullanılarak SR_A spektral indirgeme faktörü, $T > T_S$ ise (6.16) denklemini kullanılarak SR_V spektral indirgeme faktörü hesaplanır.
- IX. Her T (veya d_{pi}) için $S_a = SR_X S_{a\%5}$ ve $S_d = SR_X S_{d\%5}$ 'ler hesaplanır. Buradaki SR_X 'ler için $T \leq T_S$ ise $SR_X = SR_A$, $T > T_S$ ise $SR_X = SR_V$ formülleri kullanılır.
- X. Dokuzuncu adımdaki S_a , S_d noktalarını birleştiren bir çizgi çizilir. Çizginin kapasite spektrumu ile kesiştiği noktanın deplasmanı yapının aranılan tepki deplasmanıdır.

6.5.9 Prosedür C Yardımı ile Performans Noktasının Hesaplanması

Performans noktasını bulmak için kullanılan grafik bir yöntemdir. Yöntem adımları aşağıda tanımlanmıştır.

1. **Adım:** Dördüncü Bölüm'de anlatılan yöntemler kullanılarak bölge için uygun olan %5 sönümlü elastik tepki spektrumu çizilir.
2. **Adım:** Şekil 6.34'deki gibi %5 sönümlü tepki spektrumu ve indirgenmiş spektrum ailesi aynı şekil üzerine çizilir. $\beta_{eff} = \%5$ etkin sönüm değeri binaların yapısal davranış tipi için maksimum değer olarak uygundur.

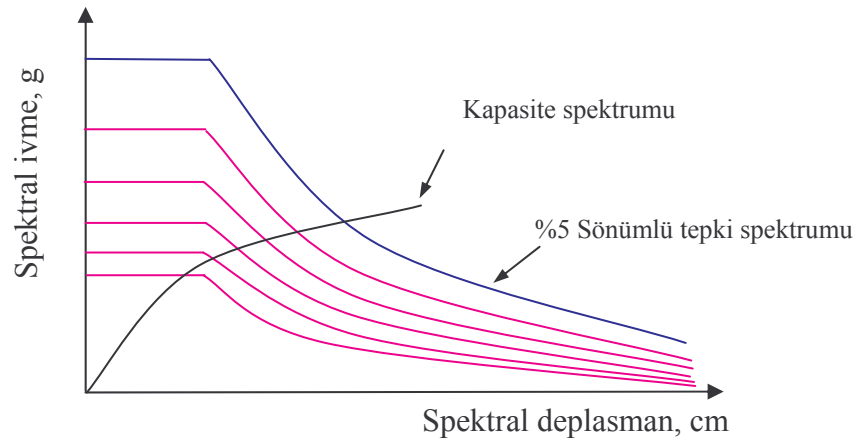
$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



Şekil 6.34 Kapasite spektrumu C prosedürü 2. Adım

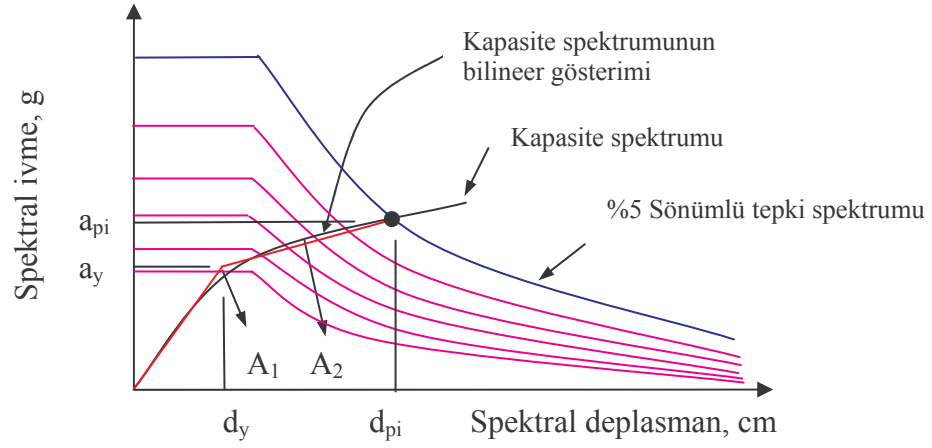
- 3. Adım:** Kapasite eğrisi Bölüm 6.5.1'deki (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) denklemleri kullanılarak kapasite spektrumuna dönüştürülür ve talep spektrum ailesinin olduğu şekil üzerine çizilir (Şekil 6.35).

$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ talep eğrileri



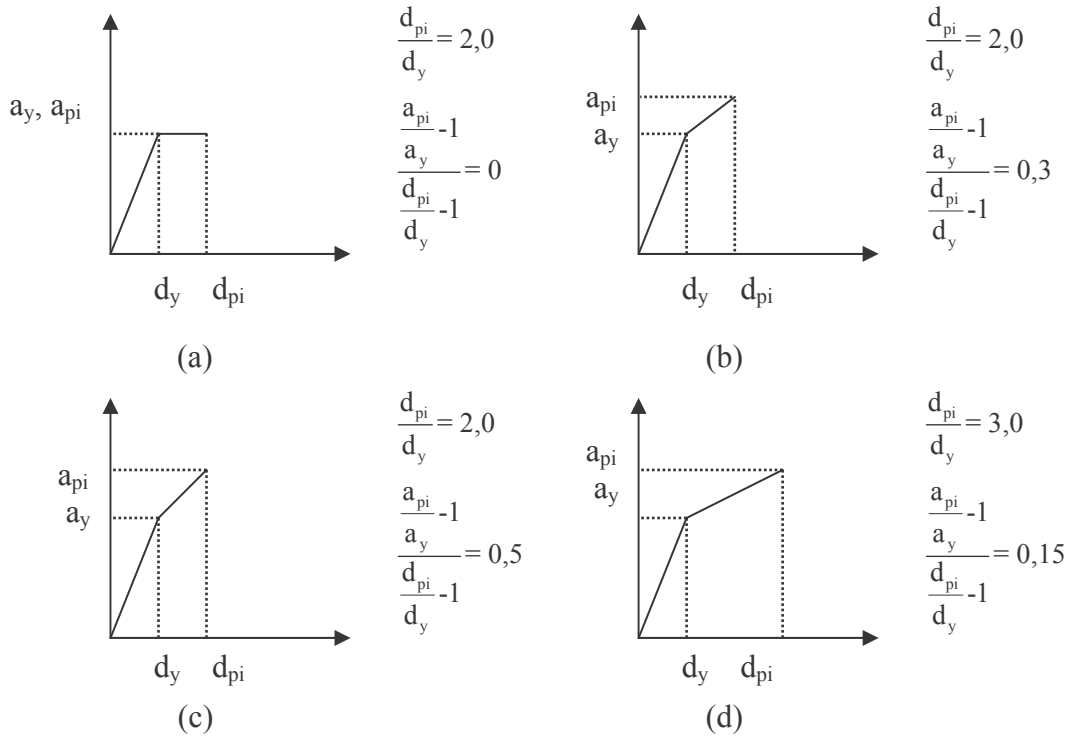
Şekil 6.35 Kapasite spektrumu C prosedürü 3. Adım

- 4. Adım:** Şekil 6.36'daki gibi kapasite spektrumu bilineer olarak oluşturulur. Başlangıç noktası (a_{pi} , d_{pi}), kapasite spektrumunun uç noktası veya %5 sönümlü spektrumla kesiştiği nokta olarak seçilir.



Şekil 6.36 Kapasite spektrumu C prosedürü 4. Adım

5. Adım: d_{pi}/d_y ve $[(a_{pi}/a_y)-1]/[(d_{pi}/d_y)-1]$ oranları belirlenir. İkinci oran akma rijitliğinin başlangıç rijitliğine oranıdır. Şekil 6.37 kapasite spektrumunun farklı oranlara göre bilineer gösterimine örnektir.



Şekil 6.37 Örnek eğim oranları

6. Adım: Beşinci adımdaki oranlar Tablo 6.5, 6.6 ve 6.7’de bina tiplerine göre elde edilmişlerdir. Tablodaki etkin sönüm değerleri (β_{eff}) (6.14) denkleminde elde edilmiştir.

Tablo 6.5 A tipi yapısal davranış için etkin sönüm β_{eff} oranları

	$[(a_{pi}/a_v)-1]/[(d_{pi}/d_v)-1]$						
d_{pi}/d_v	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0
10	10	12	16	21	30	37	40
8	11	14	18	23	31	37	40
6	13	16	20	25	33	37	40
4	16	19	23	28	34	37	40
3	16	19	23	27	33	36	39
2	16	19	22	25	29	31	33
1,5	13	16	18	20	23	24	24
1,25	11	12	13	15	16	17	18

Tablo 6.6 B tipi yapısal davranış için etkin sönüm β_{eff} oranları

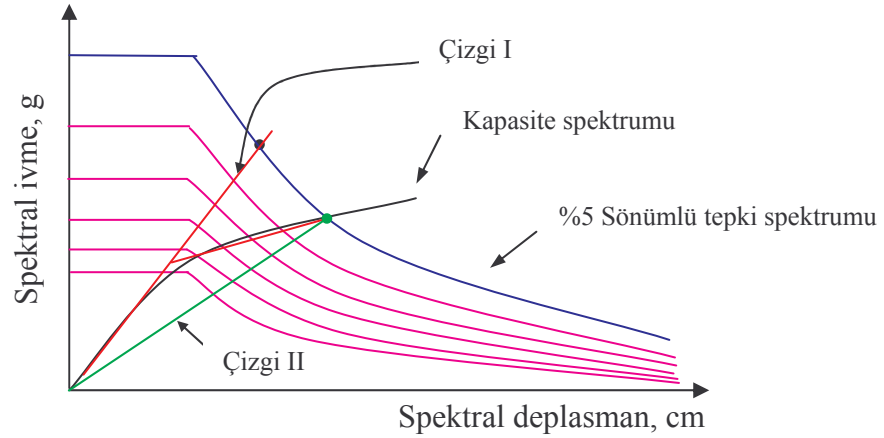
	$[(a_{pi}/a_v)-1]/[(d_{pi}/d_v)-1]$						
d_{pi}/d_v	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0
10	9	10	12	16	23	27	29
8	9	11	13	17	24	27	29
6	10	12	25	19	25	27	29
4	11	14	17	21	25	27	29
3	12	14	17	21	25	27	29
2	12	14	16	19	22	24	25
1,5	11	12	14	15	17	18	18
1,25	9	10	10	11	12	13	13

Tablo 6.7 C tipi yapısal davranış için etkin sönüm β_{eff} oranları

	$[(a_{pi}/a_v)-1]/[(d_{pi}/d_v)-1]$						
d_{pi}/d_v	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0
10	7	7	9	10	314	17	20
8	7	8	9	11	15	18	20
6	7	9	10	12	16	18	20
4	8	9	11	13	16	18	20
3	9	10	11	13	16	17	19
2	9	10	11	12	14	15	16
1,5	8	9	9	10	11	11	11
1,25	7	7	8	8	9	9	9

7. **Adım:** Başlangıç rijitlik çizgisi olan Çizgi I çizilerek %5 sönümlü tepki spektrumu kesilir. Şekil 6.38'deki gibi Çizgi II orijinden a_{pi} , d_{pi} noktasına çizilir.

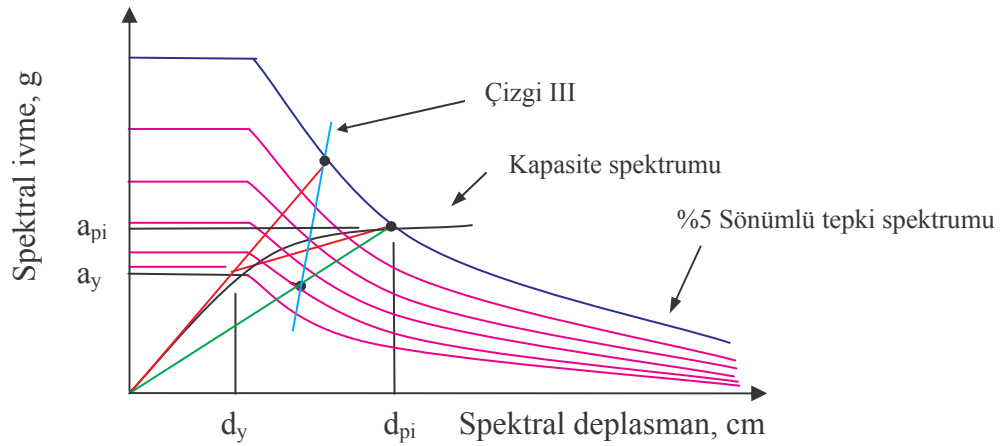
$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ talep eğrileri



Şekil 6.38 Kapasite spektrumu C prosedürü 7. Adım

- 8. Adım:** Çizgi I ile %5 sönümlü tepki spektrumunun kesim noktasından Çizgi II ile altıncı adımda tanımlanan β_{eff} karşılık gelen indirgenmiş spektrumun kesim noktasına Çizgi III çizilir.

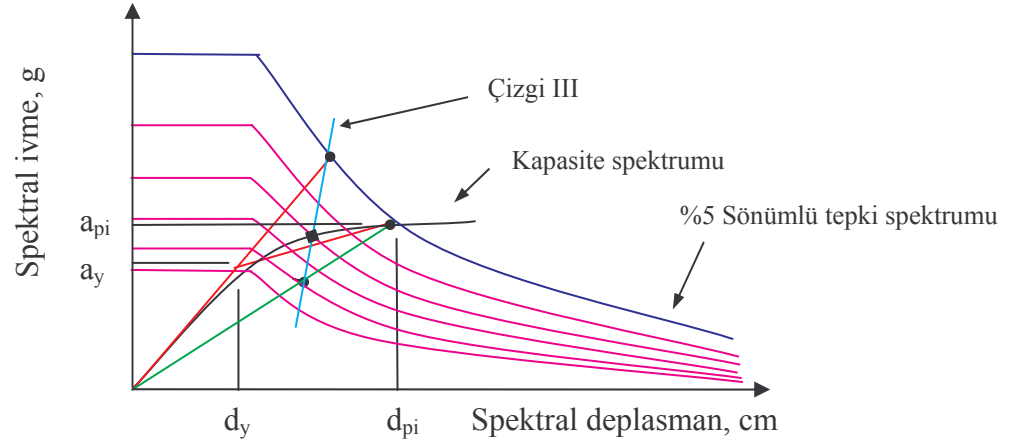
$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



Şekil 6.39 Kapasite spektrumu C prosedürü 8. Adım

- 9. Adım:** Çizgi III'ün kapasite spektrumunu kestiği nokta tahmini performans noktası (a_{p2} , d_{p2}) olarak alınır (Şekil 6.40).
- 10. Adım:** Eğer d_{p2} deplasmanı d_{p1} deplasmanının $\pm\%5$ kadarı ise a_{p2} , d_{p2} noktası performans noktasıdır. Deplasman toleransı sağlamıyorsa onbirinci adım uygulanır.

$\beta_{eff} = \%5, \%10, \%15, \%20, \%25, \%30$ tepki spektrumları



Şekil 6.40 Kapasite spektrumu C prosedürü 9. Adım

11. Adım: Dördüncü adımdan başlayarak prosedür tekrar edilir. İkinci iterasyonda Çizgi II başlangıç noktasından a_{p2} , d_{p2} noktasına çizilir.

6.6 Kapasite Spektrum Yöntemini Geliştirmeye Yönelik Çalışmalar

Elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerde Kapasite Spektrum Yöntemi'nin doğruluğu, talep spektrumunu oluşturmak için seçilen ivme tepki spektrumuna ve eşdeğer viskoz sönüm oranlarını hesaplamakta kullanılan sönüm modellerine bağlıdır. ATC-40'ta belirtilen A tipi idealize edilmiş çevrimsel (histeretik) sönüm modeli kullanıldığı zaman geniş periyot aralıkları için sistemin deplasman taleplerinin önemli ölçüde az tahmin edildiği saptanmıştır. Yöntemin doğruluğunu arttırmak için sözde (pseudo) ivme tepki spektrumu (PS_a) yerine gerçek ivme tepki spektrumunu (S_a) kullanarak talep spektrumunun oluşturulması önerilmektedir (Lin ve Chang, 2003).

Kapasite spektrum yönteminde deplasman tepki spektrumundan (S_d), sözde (pseudo) ivme tepki spektrumu (PS_a) türetilerek talep spektrumu oluşturulmaktadır. $PS_a = w^2 \cdot S_d$ ilişkisine dayanmaktadır. w (hz) sistemin doğal frekansını ifade etmektedir. Elastik tek serbestlik dereceli sistemin viskoz sönüm ve yer hareketi ivme ($\ddot{u}_g(t)$) değerini içeren hareket denklemi:

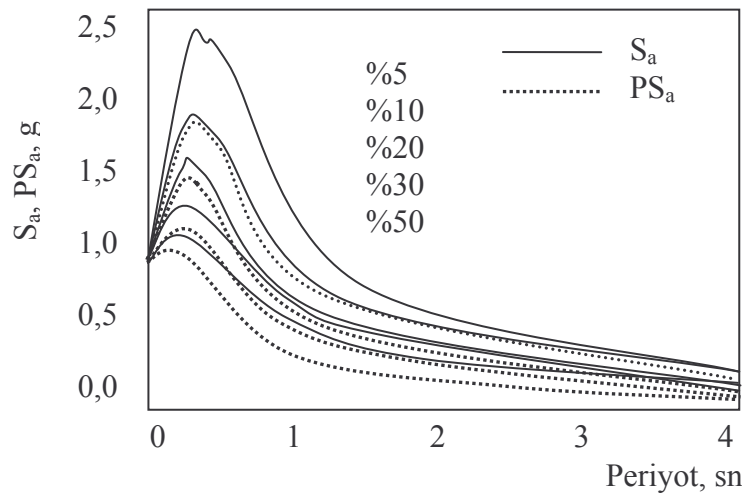
$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (6.23)$$

şeklinde ifade edilebilir. (6.23) denklemindeki m kütleyi, c sönüm katsayısını ifade etmektedir. Deplasman tepki spektrumu $S_d \equiv |u(t)|_{\max}$ 'dur. Gerçek ivme tepki spektrumu ise $S_a \equiv |\ddot{u}(t)|_{\max} = |\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)|_{\max}$ 'dur. Deplasman ve ivme spektrumları (6.23) nolu denklemden Duhamel integrali kullanılarak aşağıdaki denklemler ile ifade elde edilebilmektedir.

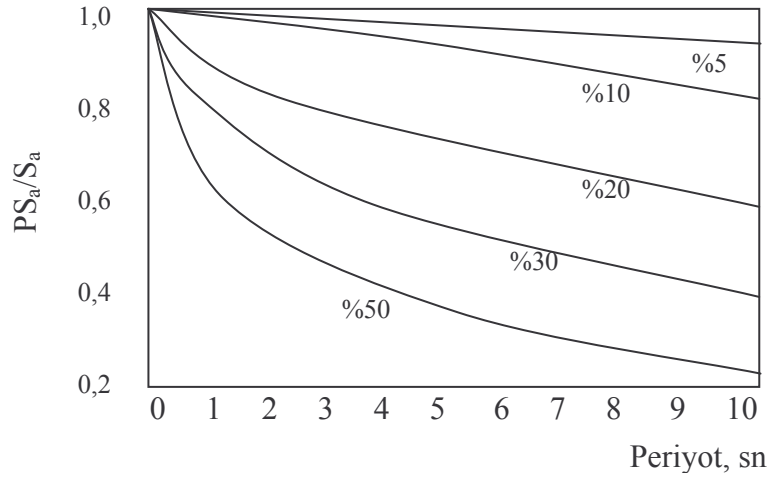
$$S_d \equiv |u(t)|_{\max} = -\frac{1}{\omega\sqrt{1-\xi^2}} \left| \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \right|_{\max} \quad (6.24)$$

$$S_a \equiv |\ddot{u}(t)|_{\max} = \left| \omega^2(1-2\xi^2)u(t) + 2\xi\omega \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_d(t-\tau) d\tau \right|_{\max} \quad (6.25)$$

(6.25) denklemdeki S_a 'yı $PS_a = \omega^2 \cdot S_d$ ile kıyasladığımızda sönümsüz sistemlerde PS_a 'nın S_a 'ya eşit olduğu görülmektedir. Ancak sistemin ξ viskoz sönüm oranı arttığında PS_a ve S_a arasındaki fark artmaktadır. Şekil 6.41 çeşitli viskoz sönüm oranları için S_a ve PS_a arasındaki farkı göstermektedir. Şekil 6.42 ise PS_a/S_a oranlarını vermektedir. Şekilde viskoz sönüm oranları %10'dan küçük ve doğal periyotları 0,15 sn'den az olan sistemlerin PS_a değerleri S_a değerleri ile yaklaşık aynıdır. Ancak yüksek viskoz sönüm oranları için fark görünür bir şekilde artmaktadır. Elastik olmayan tepki spektrumlarını kullanmaya gerek kalmadan PS_a yerine S_a kullanılarak yöntemin doğruluğu artırılabilir.

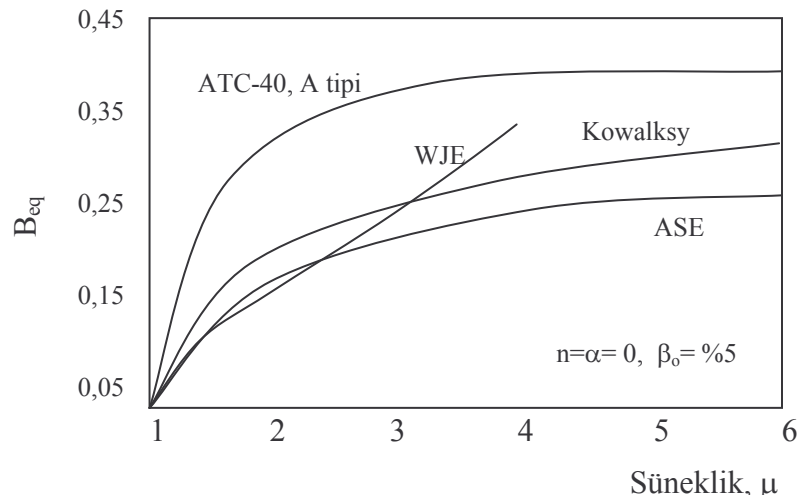


Şekil 6.41 Farklı sönüm oranları için S_a ve PS_a değerleri (Lin ve Chang, 2003).



Şekil 6.42 PS_a/S_a oranları (Lin ve Chang, 2003).

Yöntemin doğruluğunu etkileyen faktörlerden birisi de sistemin sönümünü ifade eden eşdeğer viskoz sönüm modelidir. Sistemin eşdeğer sönüm oranları uygun belirlenemediğinde gerçek ivme tepki spektrumu (S_a) kullanıldığında bile yapının deplasman talebi doğru tahmin edilemez. ATC-40, eşdeğer sönüm oranlarını belirlemede kendi modelini önermektedir. ATC-40'ın modeli Bölüm 6.5.3'te ayrıntılı olarak anlatılan histeretik modele dayanmaktadır.



Şekil 6.43 Farklı sönüm modelleri için eşdeğer viskoz sönüm değerleri

Yöntemin doğruluğunu arttırmak için *Kowalsky histeretik modeli*, *Ortalama Rijitlik ve Enerji (ASE) modeli* ve *WJE modelinin* kıyasladığı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.43'te çeşitli sönüm modellerinin sünekliğe karşılık gelen B_{eq} değerleri çizilmiştir. Şekilde ATC-40'ın kendi sönüm modeli (Denklem (6.14)) kullanılarak

elde edilen eşdeğer viskoz sönüm değerlerinin ASE ve Kowalsky modellerinden daha fazla olduğu görülmektedir. WJE modeli ise $\mu \leq 4$ için gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. Çünkü bu model elastik ve inelastik tepki spektrumları arasındaki ilişkiden türetilmiştir. Ancak bu model $\mu > 4$ için uygun değildir. Kowalsky modeli ise tüm sönümlilik aralıkları için az hatalı sonuçlar vermektedir (Lin ve Chang, 2003).

Sönüm modelinden ve sözde ivme spektrumundan (PSa) kaynaklanan hatalı sonuçlar elastik olmayan tasarım spektrumu kullanılarak giderilebilmektedir. R_μ - μ - T_n eşitlikleri (Newmark-Hall, 1982; Chopra, 1995) kullanarak elastik tasarım spektrumundan elde ettikleri elastik olmayan tasarım spektrumunu, talep spektrumu gibi kullanarak Kapasite Spektrum Yöntemi'nin geliştirilmesi amaçlanmıştır (Chopra ve Goel, 2000).

Chopra ve Goel tarafından önerilen yöntem aşağıda adım adım tanımlanmaktadır:

1. **Adım:** Yapının kapasite eğrisi ve tahmin edilen sönümlilik oranı için elastik olmayan tasarım spektrumu oluşturulur.
2. **Adım:** Her iki eğriyi ivme-deplasman tepki spektrumuna dönüştürerek kapasite spektrumu ve talep spektrumu elde edilir. İndirgenmiş talep spektrumu

$$D_u = \mu * \frac{1}{R_\mu} * \left(\frac{T_n}{2\pi} \right)^2 A_{\xi=0.05} \quad (6.26)$$

ifadesi yardımı ile elde edilmektedir.

(6.26) ifadesinde; $A_{\xi=0.05}$: %5 sönümlü elastik tepki spektrumu, R_μ : yapının lineer olmayan davranışından dolayı kuvvet azaltma faktörüdür.

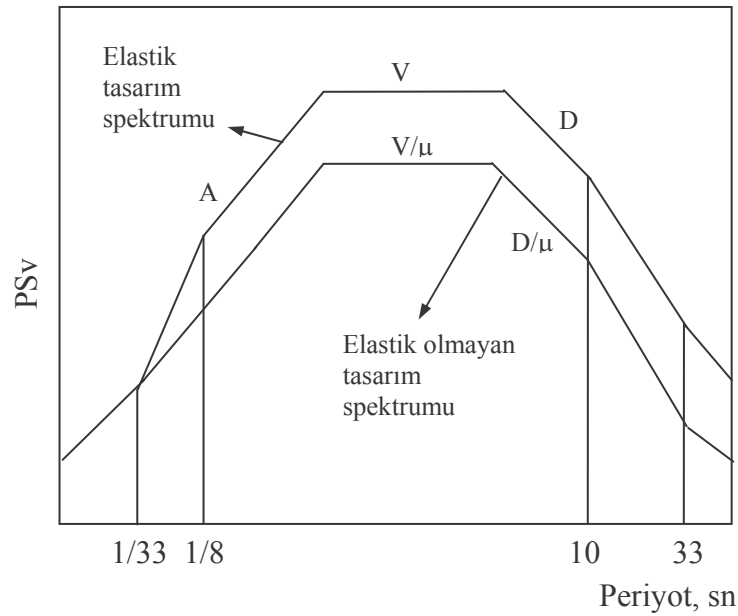
R_μ değerleri için Newmark-Hall tarafından önerilen

$$R_\mu = \begin{cases} 1 & T_n \leq 0,03 \text{sn} \\ \sqrt{2\mu-1} & 0,125 \leq T_n \leq 0,66\sqrt{2\mu-1}/\mu \\ \mu & T_n \geq 0,66 \text{sn} \end{cases} \quad (6.27)$$

ifadesi kullanılmaktadır.

$0,03s_n < T_n < 0,125s_n$ ve $0,66(2\mu-1)^{1/2}/\mu < T_n < 0,66s_n$ aralıkları için lineer interpolasyon yapılır (Şekil 6.44).

3. **Adım:** Kapasite spektrumu ve talep spektrumunun kesişim noktası D_u belirlenir.
4. **Adım:** Eşit enerji ilişkisi kullanılarak kapasite spektrumu bilineer hale getirilip akma deplasmanı D_y elde edilir. Sonra $\mu_{i+1} = D_u / D_y$ hesaplanır.
5. **Adım:** Eğer $\mu_{i+1} \cong \mu_i$ ise D_u istenilen maksimum deplasmandır. Aksi takdirde $\mu_i = \mu_{i+1}$ alınarak yakınsama oluncaya kadar prosedür tekrarlanır.



Şekil 6.44 R_μ - μ - T_n eşitlikleri kullanılarak inelastik tasarım spektrumunun oluşturulması

BÖLÜM YEDİ

TEPKİ LİMİTLERİ

7.1 Beklenen Performansı Tanımlayan Limitler

Bir binanın istenilen performans hedefine ulaşp ulaşmadığını belirlemek için lineer olmayan analizdeki nicelikler uygun performans seviyeleri ile karşılaştırılmalıdır. Bu bölüm, binaların kabul kriterlerini oluşturan yapısal tepki limitlerini içermektedir. Tepki limitleri iki kategoriye ayrılmaktadır.

- *Global bina kabul limitleri:* Bu tepki limitleri düşey yük kapasitesi, yatay yük direnci ve yanal deplasman sınırlarını içermektedir. Bunlar Bölüm 7.2’te anlatılmaktadır.
- *Eleman kabul limitleri:* Her bir elemanın (kolon, kiriş, duvar, diyafram, ...) tepkilerinin kabul edilebilir limitlerde olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bölüm 7.3’te eleman kabul limitleri anlatılmaktadır.

Bölüm Dört’te verilen performans limitleri oldukça geneldir. Bu genel kategoriler performans hedeflerini belirlemek için kullanılmaktadır. Tablo 7.1’de dört yapısal performans seviyesi için çerçeve, perde-çerçeve sistem elemanlarında beklenen hasar tanımları ana hatlarıyla belirtilmektedir (Tablo 7.1 binalardaki yapısal olmayan hasarları da içermektedir). Bu tanımlamalar mevcut binalar için olmasına rağmen, güçlendirilmiş binaların kontrol edilmesinde de benzer şekilde kullanılabilir.

Tablo 7.1’deki hasar tanımları iki çeşit bilgi içermektedir. Birincisi, tamamıyla hasar görmemiş binaların düşey yük taşıma kapasitesinin kesin durumudur. İkincisi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların gözlemlenen hasar büyüklüğünün nicel/nitel

durumlarıdır. Nitel durumlar bir binanın deprem sonrası yıkılma ve ağırlık yükü sisteminin korunması arasındaki sınırı ifade etmektedir. Nicel tanımlamalar ise aynı yapısal sisteme sahip yapıların farklı seviyedeki hasarlarının karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir. Kesin nicel tanımlamalar yapmak mühendis ve yetkililerin işine yarasa da oldukça zordur (ATC-40, 1996).

7.2 Global Bina Kabul Limitleri

7.2.1 Ağırlık Yükleri

Yapının ağırlık yük kapasitesi her performans seviyesi için bozulmadan korunmalıdır. Bir eleman düşey yük taşıma kapasitesini kaybettiğinde yapı yükü mevcut veya güçlendirilmiş sistemde başka bir elemana aktarabilmelidir. Eski betonarme yapıların büyük deprem yer hareketleri esnasında kolonlarda ağırlık yük kapasitelerini kaybetmesine ve göçmesine sebep olan detayları vardır. Geçmiş depremlerde kiriş-kolon birleşim noktalarının, plak-kolon birleşimlerinin öncelikle göçmeye sebep olduğu saptanmıştır (ATC-40, 1996).

7.2.2 Yanal Yükler

Salınım esnasında yanal yüklemeden dolayı çok sayıda taşıyıcı elemanda güç azalmasının meydana gelmesi (mafsallaşması) yapının tüm yanal yük direncini etkileyebilmektedir. Yapı sistemine yanal deplasman boyunca etkiyen düşey yük direncini de içeren yanal yük direnci, yapının maksimum direncinin %20'sinden daha düşük olmamalıdır. Yanal yük direncindeki azalma daha fazla ise güçlendirme yapılmalıdır.

Tablo 7.1 Sünek olmayan betonarme çerçeve ve perde-çerçeve eleman ve bileşenleri için tipik hasar tanımlamaları

Eleman	Hemen Kullanım(IO)	Kontrollü Hasar	Can Güvenliği (LS)	Yapısal Stabilité (CP)
Kolonlar	Çok sınırlı eğilme ve kesme çatlağı var, ayrılma yok. Kalıcı yatay öteleme yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Çok sınırlı eğilme ve kesme çatlağı var, çok az ayrılma var. Kalıcı yatay öteleme yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Binanın alt katlarında mafsallar oluşur. Kolon-kiriş uç noktalarında ayrılma var. Katlar arası kalıcı yanal ötelemeler %2,0'ye ulaşır, bazı bölgelerde kısmen daha da fazla olabilir. Düşey yük kapasitesi korunur.	Binanın alt katlarında oluşan mafsallar kolon-kiriş bölgelerinde önemli ayrılmaya sebep olur. Birleşim bölgesindeki beton çekirdekte ezilme olur. Katlar arası kalıcı yanal ötelemeler %3,5'e ulaşır, bazı bölgelerde kısmen daha da fazla olabilir. Düşey yük kapasitesi neredeyse tüm binada korunur.
Kirişler	Kolon-kiriş birleşimlerinde çok sınırlı ayrılma var. Mafsal bölgesinde çok sınırlı eğilme çatlağı var. Kalıcı deformasyon yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Kolon-kiriş birleşimlerinde sınırlı ayrılma var. Mafsal bölgesinde sınırlı eğilme çatlağı var. Kalıcı deformasyon yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Mafsal bölgesinde ve kolon-kiriş birleşimlerinde ayrılma var. Mafsal bölgesinde ve kolon-kiriş bağlantılarında eğilme ve kesme çatlağı var. Kalıcı düşey deformasyon (L/175) var. Düşey yük kapasitesi korunur.	Mafsal bölgesinde ve kolon-kiriş birleşimlerinde geniş ayrılma var. Mafsal bölgesinde ve kolon-kiriş bağlantılarında geniş eğilme ve kesme çatlağı var. Kalıcı düşey deformasyon (L/75) var. Düşey yük kapasitesi korunur.
Plaklar	Kolon-kiriş veya diğer taşıyıcılarla olan bağlantı yerlerinde çok sınırlı çatlaklar var. Düşey yük kapasitesi korunur.	Kolon-kiriş veya diğer taşıyıcılarla olan bağlantı yerlerinde sınırlı çatlaklar var. Düşey yük kapasitesi korunur.	Kolon-kiriş veya diğer taşıyıcılarla olan bağlantı yerlerinde çatlaklar var. Düşey yük kapasitesi korunur.	Kolon-kiriş veya diğer taşıyıcılarla olan bağlantı yerlerinde geniş çatlaklar var. Plak çeliğinde alan kaybı var. Plak bağlantı yerlerinde plak kalınlığının ¼'ü kadar düşey yer değiştirme var. Fakat çökme yok.
Duvarlar	Duvar plaklarında çok küçük kesme çatlakları var. Duvar sonlarında çok küçük veya hiç çatlak yok. Kalıcı yatay iteleme yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Duvar plaklarında küçük kesme çatlakları var. Duvar sonlarında küçük veya hiç çatlak yok. Kalıcı yatay iteleme yok. Düşey yük kapasitesi korunur.	Kesme duvarlarının özellikle üst ve altlarında geniş ayrılmalar, kesme ve eğilme çatlakları var. %2,0 oranında kalıcı yatay öteleme var. Ara katlarda öteleme daha yüksek. Düşey yük kapasitesi korunur..	Özellikle büyük kalıcı ötelemeler var. Alın altlarında ve duvar boyunca geniş ayrılma, kesme ve eğilme çatlakları var. Duvar ve yapı bileşenlerinde kayma çatlakları var. Ara katlarda %3,5 oranında kalıcı yatay öteleme var. Düşey yük kapasitesi neredeyse tüm binada korunur.
Temeller	Aynı eksen üzerindeki kolonlar arasında ayrılma yoktur.	Aynı eksen üzerindeki kolonlar arasında ayrılma yoktur.	Aynı eksen üzerindeki kolonlar arasında L/150 yaklaşan ayrılma var.	Aynı eksen üzerindeki kolonlar arasında L/60 'a yaklaşan ayrılma var.
Yapısal olmayan elemanlar	Dış yüzey camlarında kırılma yok. İç ve dış kapılar kullanılır durumda. Elektrik ve aydınlatma tesisatında çok sınırlı hasar var. Eşyaların çok azında bozulma var. Merdivenler ve ince iç duvarlarda çok sınırlı çatlaklar var. Asansör ve yapı sistemleri kullanılır durumda. Çatıda çok sınırlı hasar var.	Dış yüzey camlarında kırılma yok. İç ve dış kapılar kullanılır durumda. Elektrik ve aydınlatma tesisatında çok sınırlı hasar İzole edilmiş mobilyaların çok azında bozulma var. İnce iç duvar ve merdivenlerde sınırlı çatlaklar var. Asansör ve çatıda sınırlı hasar var.	Bazı camlarda kırılmalar ve katlarda sınırlı oranlarda kalıcı ayrılmalar var. Dış kapıların çoğu kullanılır durumda. Bazı iç kapılar hasarlı ve kullanım dışı. Bazı sürekli bölmelerde çökmeler var. Aydınlatmalarda hasar var. İç ince duvarlarda çatlaklar var. Asansörler ve yapı sistemleri kullanılmaz durumda. Çatıda büyük oranda hasar var.	Dış yüzey camlarında kırılmalar, katlarda çok büyük derecede kalıcı yer değiştirmeler var. Dış ve iç kapılar hasarlı veya kullanım dışı. Işıklılandırma çökmüş durumda. İç ince duvarlarda çatlaklar var. İç merdivenlerde büyük oranlarda çatlaklar var. Eşyalar kullanılmaz durumda. Asansörler ve yapısal sistemler kullanım dışı. Çatı kısmen yıkılmış durumda.

7.2.3 Yatay Deformasyonlar

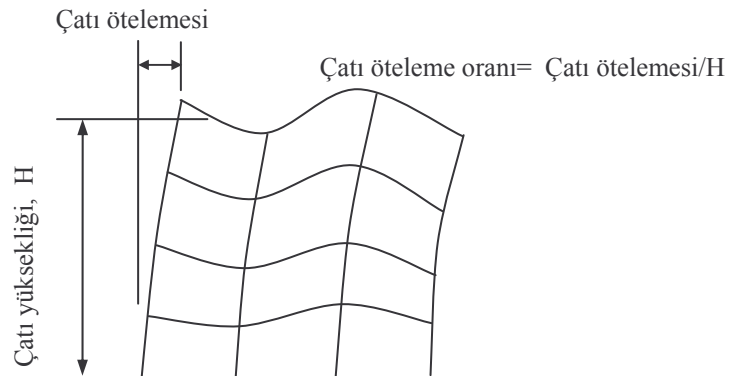
Bölüm Altıda nasıl bulunacağı anlatılan performans noktasının yatay deplasmanı bu bölümdeki deplasman limitleri ile kontrol edilmelidir. Tablo 7.2 çeşitli performans seviyeleri için deplasman limitlerini göstermektedir.

Tablo 7.2’de yer alan, *Maksimum Toplam Öteleme*: performans noktası deplasmanındaki katlar arasındaki göreceli öteleme; *Maksimum Elastik Olmayan Öteleme*: akma noktasından sonra ulaşılabilen maksimum göreceli öteleme olarak tanımlanmaktadır. Şekil 7.1’de çatı ötelemesi ve çatı öteleme oranı gösterilmektedir.

Tablo 7.2. Deformasyon limitleri

Kat Seviyesi Öteleme Limitleri	Performans Seviyeleri			
	Hemen Kullanım	Kontrollü Hasar	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Maksimum Toplam Öteleme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33(V_i/P_i)$
Maksimum Elastik olmayan Öteleme	0,005	0,005-0,015	Limitsiz	Limitsiz

Yapısal stabilite için; V_i : i. katta hesaplanan toplam kayma kuvveti, P_i : i. kattaki toplam ağırlık yükleri olmak üzere $0,33(V_i/P_i)$ değerinin aşılmaması gerekmektedir. Tablo 7.2’de maksimum deformasyonlar, proje takımı tarafından iyi detaylandırılmış çerçeve yapıların laboratuvar testlerinde gözlemlenen hasar limitleridir.



Şekil 7.1 Çatı ötelemesi ve çatı öteleme oranı

7.3 Elemanların Kabul Limitleri

7.3.1 Birincil, İkincil Elemanlar ve Parçalar

Bütün elemanlar performans noktasındaki yanal yükleme direncine bağlı olarak önem derecelerine göre birincil veya ikincil elemanlar diye sınıflandırılmaktadır. Performans noktasında yapıların güç veya yanal rijitliklerinin önemli bir bölümünü karşılayan elemanların birincil, diğer elemanların ikincil olduğu varsayılmaktadır. Birincil elemanlar, birçok kez tekrarlanan deprem yer hareketinin oluşturduğu yatay yüklere direnç göstermelidirler. Bazı elemanlar ise yatay yük taşımazlar bunlar ikincil eleman olarak adlandırılırlar.

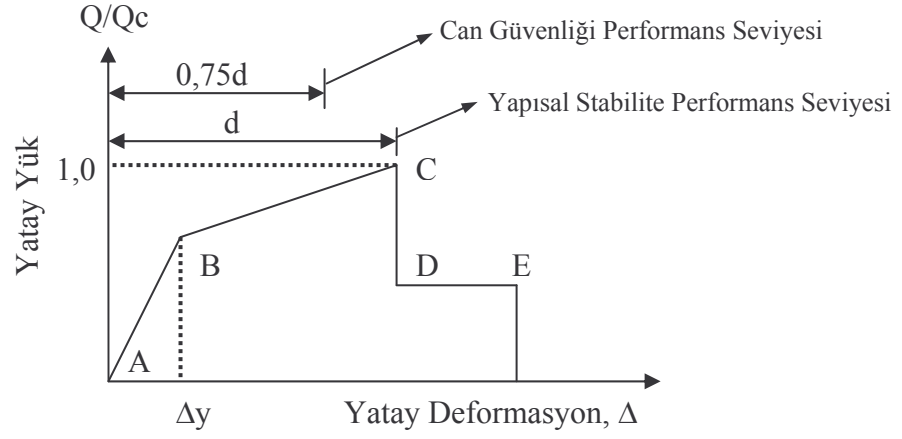
7.3.2 Elemanların Deformasyon Kapasitesi

Hesaplanan eleman deformasyonlarının belirlenmiş performans seviyelerinin deformasyon limitlerini aşmaması gerekmektedir.

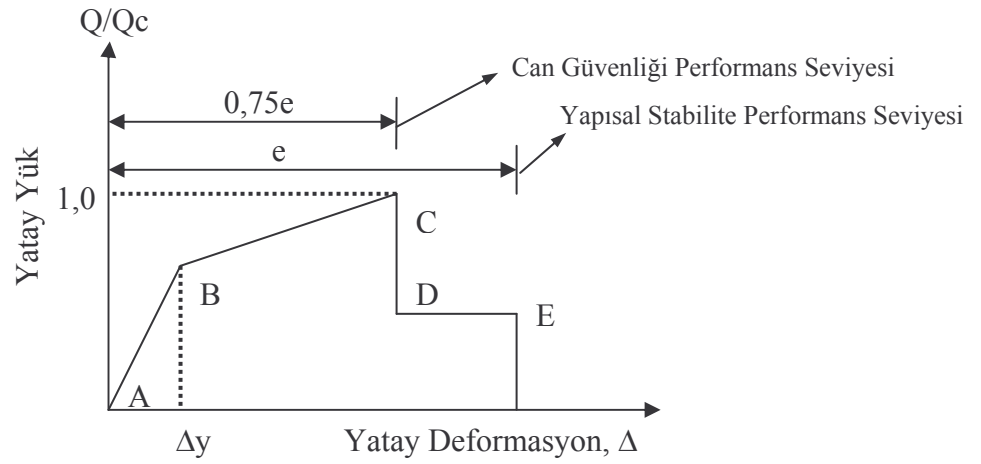
- *Elemanlar ve parçalar için birincil hareketler:* Yapısal stabilite performans seviyesindeki eleman deformasyon kapasitesi, önemli ölçüde yanal yük taşıma direncinin azalmaya başladığı deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Can güvenliği performans seviyesindeki deformasyon kapasitesi, yapısal stabilite deformasyonunun %75'i olarak tanımlanmaktadır.
- *Elemanlar ve parçalar için ikincil hareketler:* Yapısal stabilite performans seviyesindeki eleman deformasyon kapasitesi, düşey yük taşıma kapasitesinin bittiği deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Can güvenliği performans seviyesindeki deformasyon kapasitesi, yapısal stabilite deformasyonunun %75'i olarak tanımlanmaktadır.

Deformasyon kabul limitleri deneylerden elde edilebilmektedir. Şekil 7.2'de basit bir kuvvet-deformasyon ilişkisi gösterilmektedir. C noktası (birincil hareketler, elemanlar ve parçalar ile bağlantılı) önemli kuvvet düşüşünün başladığı deformasyona karşılık gelmektedir. E noktası (ikincil hareketler, elemanlar ve

parçalar ile bağlantılı) düşey yük direncinin kaybolduğu deformasyona karşılık gelmektedir.



(a) Elemanlar için birincil hareketler



(b) Elemanlar için ikincil hareketler

Şekil 7.2 Tipik yük-deformasyon kabul kriteri

BÖLÜM SEKİZ

ÖRNEK UYGULAMALAR

8.1 Giriş

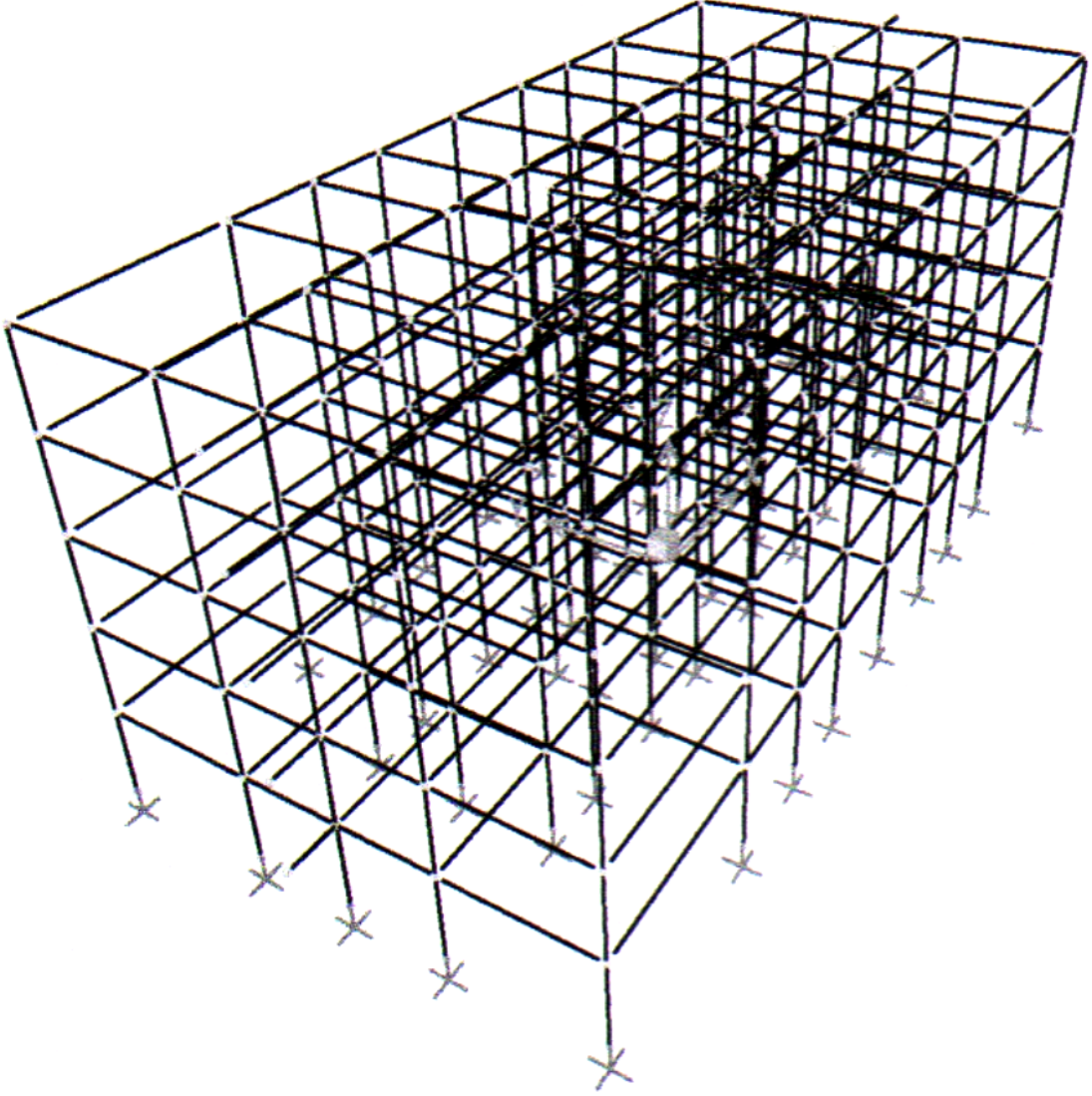
Bu bölümde, Bölüm Altı'da ayrıntılı olarak verilen Kapasite Spektrum Yöntemi'nin seçilen mevcut iki bina üzerinde SAP2000 programı ile uygulaması yapılmıştır. Uygulamada yapıların kapasite eğrileri bulunmuştur. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun aynı şekil üzerine çizilmesi sonucu meydana çıkan *Performans Noktası*'nın bulunması ve elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

8.2 Uygulama I

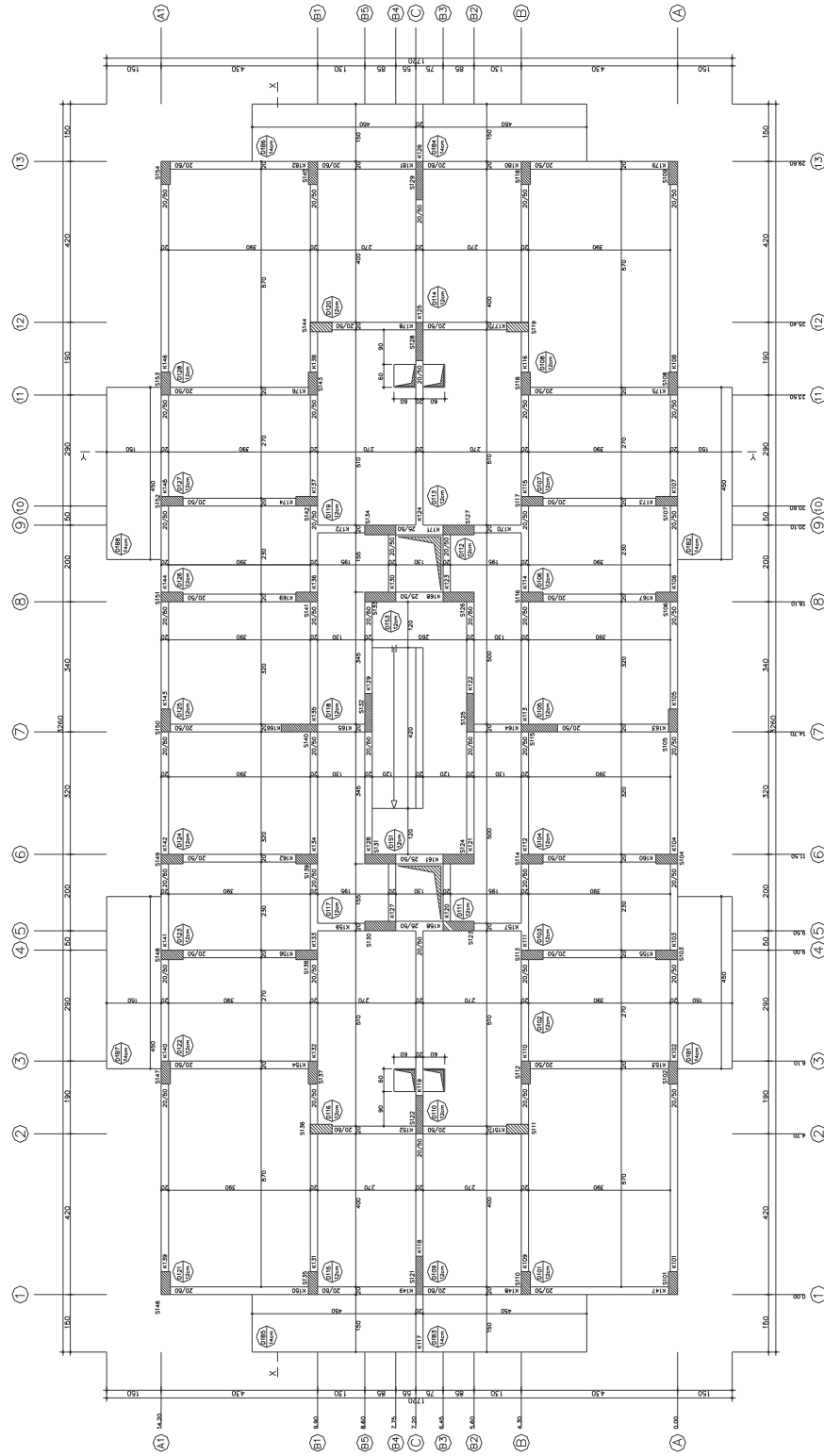
8.2.1 Yapısal Özellikler

İncelenen yapı İzmir Çiğli'de bulunmaktadır. Yapı, zemin ve 4 normal kat olmak üzere toplam beş kattan oluşmaktadır. Yapı hem X hem de Y eksenine göre simetriktir. Her katta dörder daire bulunmaktadır. Yapının tüm katları oturma amaçlı kullanıldığı için kat mimarileri aynıdır. Bina bağımsız konumdadır. Tekil bina olduğu için deprem esnasında çekiçleme etkisi söz konusu değildir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 2,70 m'dir. Bu nedenle komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) yoktur. Döşeme sistemi tüm katlarda 12 cm kalınlıklı kirişli plaklardan oluşmaktadır. Balkon çıkmalarının döşeme kalınlıkları ise 15 cm'dir. Örnek kat planı Şekil 8.2'de verilmektedir. Binanın tüm katlarında kirişler 20x50 cm'dir. Kolonlar 25x60, 25x85, 20x100 cm boyutlarında olup tüm katlar boyunca aynıdır. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu yapı genelinde sağlanmaktadır. Yapının projesi üzerinden beton sınıfı BS25 olarak alınmıştır. Boyuna donatılar ve etriyeler S220 kalitesindedir. Taşıyıcı elemanlarda 8 mm çapında 20 cm aralıklarla enine donatı

kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapı S_D sınıfı zemin üzerine inşa edilmiştir. Şekil 8.1’de yapının 3-boyutlu modeli gösterilmektedir.



Şekil 8.1 Uygulama I’ın SAP2000 ortamında 3-boyutlu modeli



Şekil 8.2 Uygulama I için kat planı

Şekil 8.3'te görüldüğü gibi, eksenel yükün sıfır veya çok düşük düzeyde olduğu durumlarda (B eğrisi), çekme donatısının akmasına karşılık olan M_y momentine ulaşıncaya kadar, eğilme rijitliğinde (eğrinin eğimi) fazla bir değişme olmamaktadır. Akma momentine ulaşıldıktan sonra, eğilme rijitliği sıfıra yaklaşarak hemen hemen sabit kalan bir moment altında eğilerek hızla artmaktadır. Bu durumda B eğrisi şekilde kesik çizgiyle gösterilen C eğrisi ile değiştirildiğinde, moment-eğrilik ilişkisi için az hata içeren basit bir eğri elde edilmektedir. C eğrisinde akmaya ulaşıldıktan sonra momentin sabit kaldığı kabul edildiğinden, elasto-plastik bir malzeme davranışı elde edilmiş olunur.

C eğrisinde 1 olarak işaretlenen noktada, sabit moment altında eğrilik veya birim dönme açısı hızla arttığından, bu davranış mafsal davranışına benzemektedir. Klasik mafsal ile C eğrisi ile simgelenen davranış arasındaki tek fark, klasik mafsalda momentin sıfır olması, C eğrisinin simgelediği mafsalda ise dönmenin sabit bir moment (M_y) altında olmasıdır. Bu tür bir davranışın gözlemlendiği kesit, yani sabit akma momenti altında eğriliğin hızla arttığı nokta, *plastik mafsal* olarak tanımlanmaktadır (Ersoy, 1985).

Deprem esnasında kolonlar, eksenel kuvvet ile eğilme momentinin etkileşimine karşı koyduklarından SAP2000 programında plastik mafsal özellikleri P-M2-M3 olarak; kirişler eğilme momentine karşı koyduklarından plastik mafsal özellikleri M3 olarak atanmaktadır. Perdelerde ise kesme kuvveti hakim durumda olduğundan mafsal özellikleri V2 olarak atanmaktadır.

8.2.3 Düzensizlik Kontrolü

SAP2000 programı ile yapılan dinamik analiz sonucunda X ve Y eksenleri doğrultusunda yapıda oluşan maksimum ve minimum göreceli kat ötelemeleri elde edilmiştir (Tablo 8.1).

Tablo 8.1 Katlardaki görelî kat ötelemeleri ve burulma düzensizliğı katsayıları

Kat No	X Eksenî Doğrultusu				Y Eksenî Doğrultusu			
	Δ_i max (cm)	Δ_i min (cm)	Δ_i ort (cm)	η_{ix}	Δ_i max (cm)	Δ_i min (cm)	Δ_i ort (cm)	η_{iy}
5	0,85	0,19	0,52	1,63	3,16	0,0001	1,58	1,99
4	0,77	0,17	0,47	1,63	2,91	0,0001	1,45	1,99
3	0,62	0,14	0,38	1,63	2,4	0,00007	1,20	1,99
2	0,4	0,09	0,245	1,63	1,65	0,00004	0,82	1,99
1	0,16	0,036	0,098	1,63	0,76	0,00002	0,38	1,99

Tüm katlar için burulma düzensizliğı katsayısı, $\eta_i > 1,2$ olduğundan yapıda burulma düzensizliğı vardır. Yapıda başka bir düzensizlik durumu ile karşılaşılmaştır.

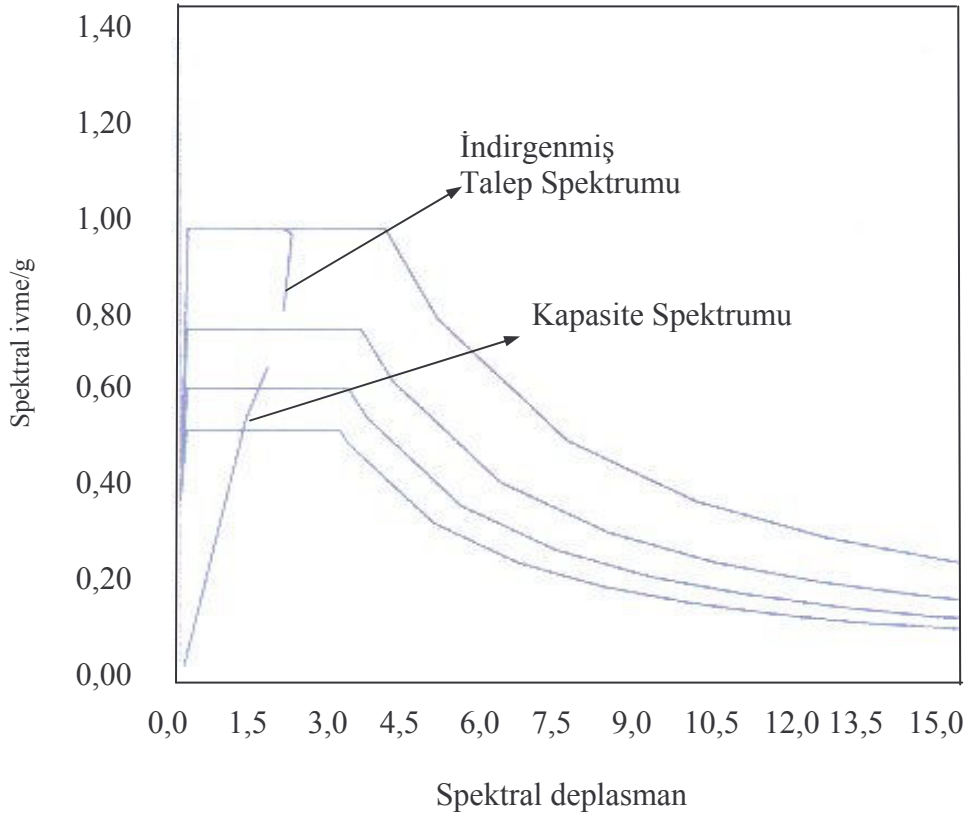
8.2.4 Yük Artımı Analizi

Kapasite spektrum yöntemi için gerekli *yük artımı analizi* Altıncı Bölüm’de verilen prosedürler doğrultusunda örnek yapı için uygulanmıştır. Bu amaçla yapıya öncelikle düşey yöndeki ağırlık yükleri tesir ettirilmiş ve daha sonra bu yükler sabit tutularak binaya amaçlanan yatay deplasman seviyesine ulaşana kadar 2-boyutlu olarak X eksenî yönünde (Acc.dir. X) ve Y eksenî yönünde (Acc.dir. Y) ayrı ayrı düzenli olarak arttırılan statik yatay yük uygulanmıştır. Düşey yön için yapılan analizde P- Δ etkileri göz önüne alınmamıştır. Yapısal davranış tipi ATC-40’a göre B Tipi olarak belirlenmiştir. Tasarım spektrumunu oluşturmakta kullanılan C_A ve C_V sismik katsayıları 0,4 olarak alınmıştır.

Yapının X yönü için kapasite spektrumu, Altıncı Bölüm’deki (6.1), (6.2), (6.3), (6.4), (6.12) denklemleri kullanılarak elde edilen ve Tablo 8.2’de verilen hesap değerlerine göre Şekil 8.3’te çizilmiştir.

Tablo 8.2 X yönü için yük artımı hesap değerleri

Adım	T_{eff}	β_{eff}	$S_d(C)$	$S_a(C)$	$S_d(D)$	$S_a(D)$	α	$PF.\phi$
0	0,283	0,050	7,7E-03	0,000	1,989	1,000	1,000	1,000
1	0,283	0,050	0,047	0,023	1,989	1,000	0,824	1,318
2	0,297	0,052	1,275	0,580	2,172	0,988	0,832	1,280
3	0,314	0,087	1,694	0,693	2,004	0,819	0,831	1,276

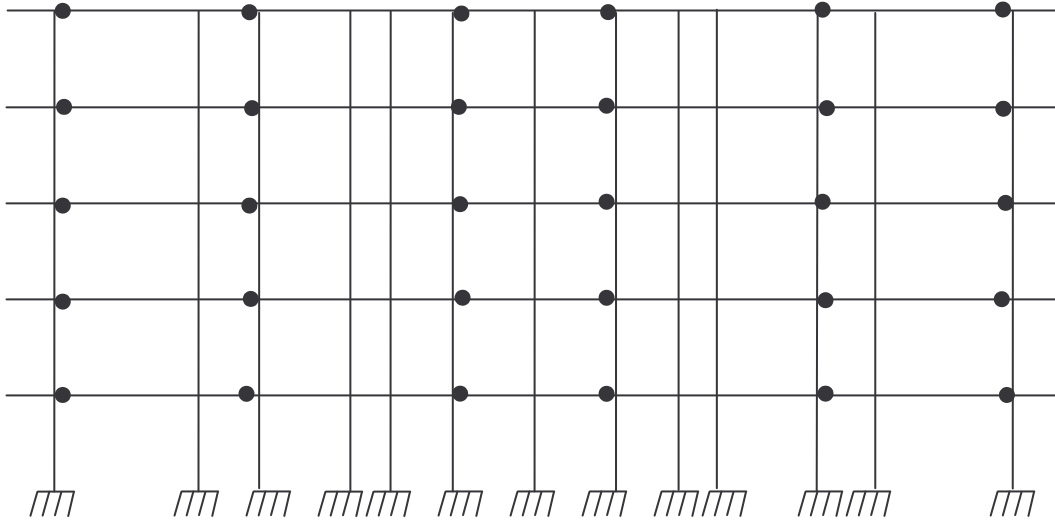


Şekil 8.4 X yönü için kapasite eğrisi, indirgenmiş talep spektrumu

X eksenini yönünde yapılan yük artımı analizi dört adımdan oluşmaktadır. Tablo 8.4'te her adımdaki deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları verilmektedir. Şekil 8.5'te X eksenini yönünde ilk mafsallaşan düğüm noktaları gösterilmektedir.

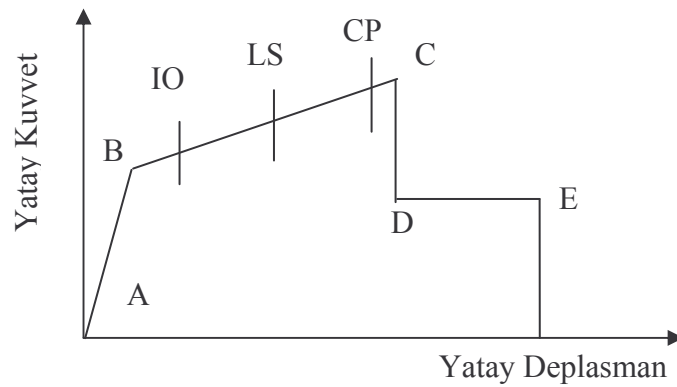
Tablo 8.3 X yönü için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme kuvveti (t)	Mafsallaşan eleman sayıları								Toplam
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0,01	0,0	1394	4	0	24	0	0	0	78	1500
1	0,06	11,6	1388	10	0	24	0	0	0	78	1500
2	1,63	289,9	1250	148	0	24	0	0	0	78	1500
3	2,16	345,4	1201	197	0	22	0	2	0	78	1500
4	0,84	124,7	1177	221	0	22	0	0	2	78	1500



Şekil 8.5 X ekseninde ilk mafsallaşan düğüm noktaları

Tablo 8.3'te verilen plastik mafsal seviyeleri olan A, B, IO (Hemen Kullanım), LS (Can Güvenliği), CP (Yıkımın Önlenmesi), C, D ve E'nin SAP2000 programında tipik kuvvet-deplasman formatında gösterimi Şekil 8.6'da verilmektedir.

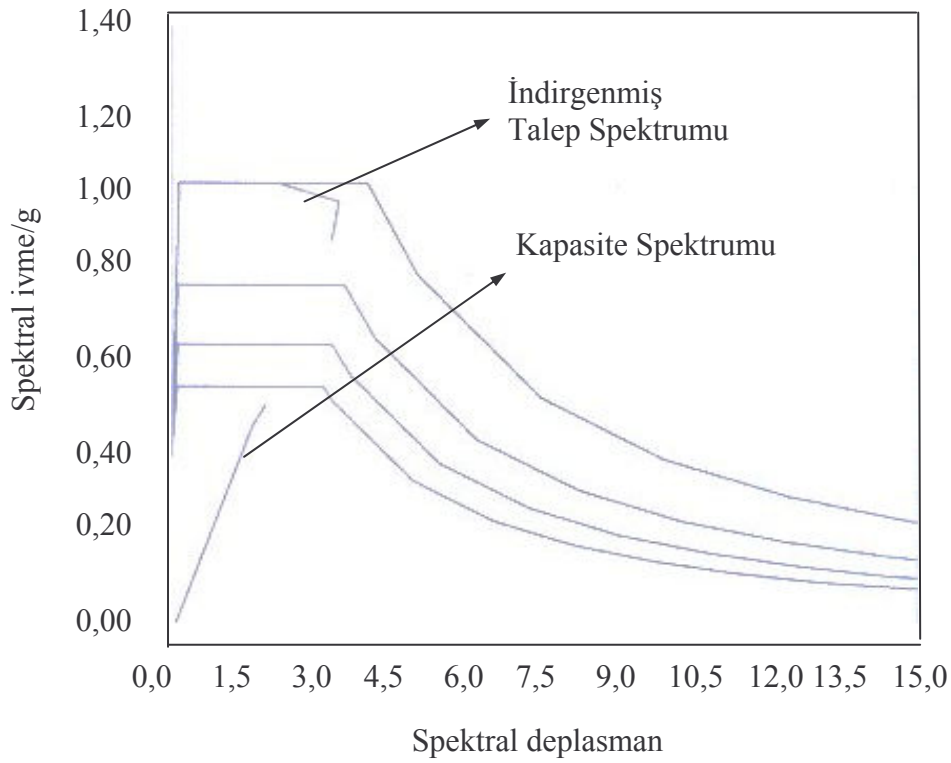


Şekil 8.6 SAP2000 programında tipik kuvvet-deplasman gösterimi

Yapının Y yönü için kapasite spektrumu, Tablo 8.4'te verilen hesap değerlerine göre Şekil 8.7'de çizilmiştir.

Tablo 8.4 Y yönü için yük artımı hesap değerleri

Adım	T_{eff}	β_{eff}	$S_d(C)$	$S_a(C)$	$S_d(D)$	$S_a(D)$	α	PF. ϕ
0	0,296	0,050	0,000	0,000	2,182	1,000	1,000	1,000
1	0,296	0,050	0,039	0,018	2,182	1,000	0,977	1,449
2	0,377	0,056	1,652	0,467	3,393	0,960	0,797	1,336
3	0,386	0,073	1,905	0,514	3,249	0,876	0,794	1,337

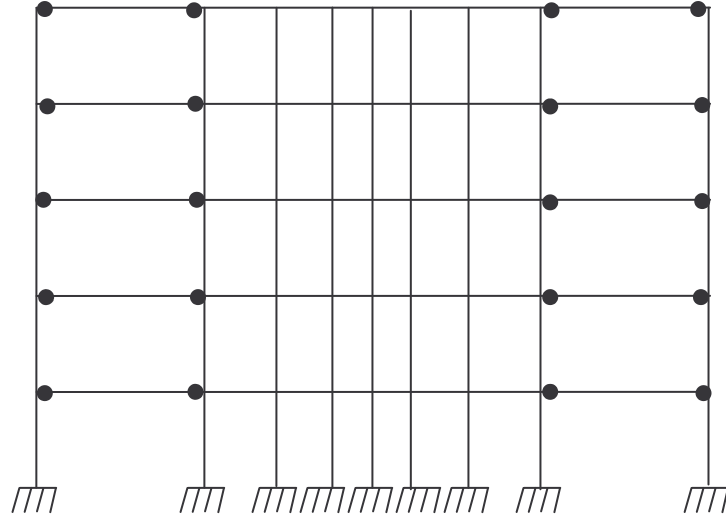


Şekil 8.7 Y yönü için kapasite eğrisi, indirgenmiş talep spektrumu

Y eksen yönünde yapılan yük artımı analizi üç adımdan oluşmaktadır. Tablo 8.5'te her adımdaki deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları verilmektedir. Şekil 8.8'de Y eksen yönünde ilk mafsallaşan düğüm noktaları gösterilmektedir.

Tablo 8.5 Y yönü için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme kuvveti (t)	Mafsallaşan eleman sayıları								Toplam
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0,000	0,0	1394	4	0	24	0	0	0	78	1500
1	0,06	10,6	1390	8	0	24	0	0	0	78	1500
2	2,21	223,6	1221	175	2	24	0	0	0	78	1500
3	2,55	244,9	1205	191	2	24	0	0	0	78	1500



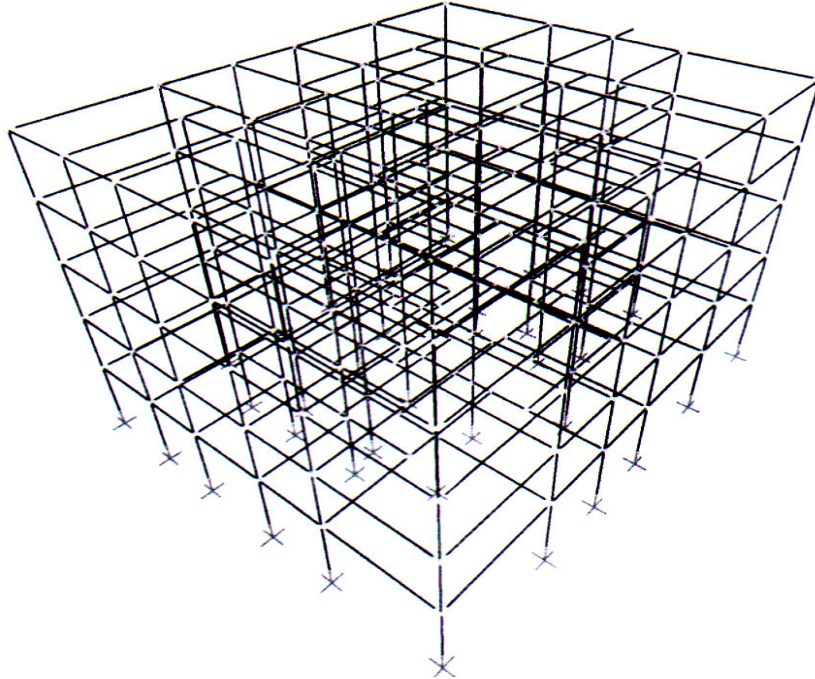
Şekil 8.8 Y ekseninde ilk mafsallaşan düğüm noktaları

Şekil 8.4 ve 8.7’de görüldüğü üzere X ve Y yönleri için kapasite spektrumları talep spektrumlarını kesmemektedir. Yapının mevcut durumu göz önüne alınarak yapılan yük artımı analiz sonucunda, yapıdaki mevcut taşıyıcı elemanların taşıma kapasitelerinin, yatay yükler altında kendi kesitlerinde oluşan kesit tesirlerinden düşük olduğu saptanmıştır. Yapı düşük bir performans göstermektedir. İstenilen performans amaçlarına ulaşabilmek için güçlendirme yapılması gerekmektedir.

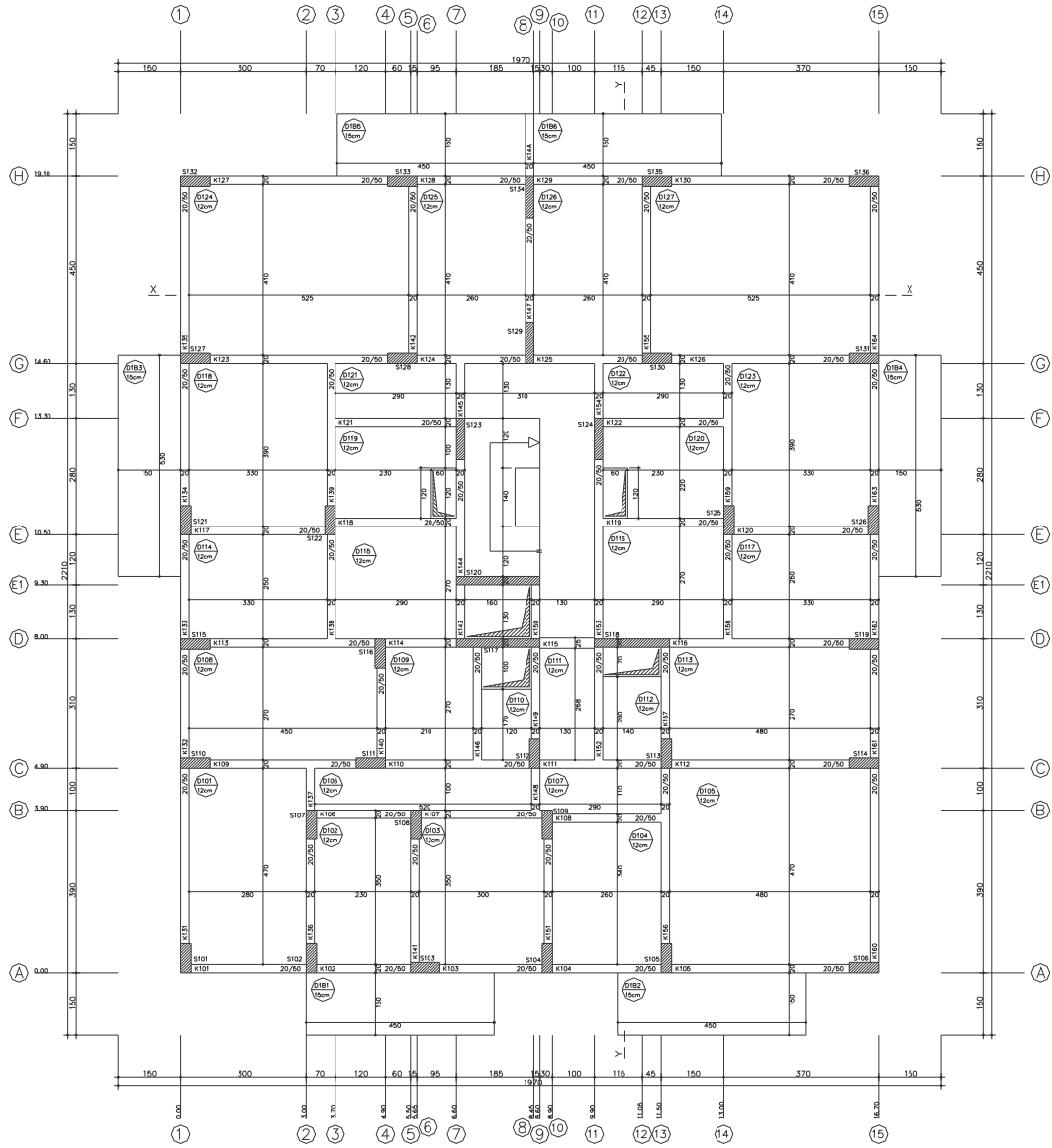
8.3 Uygulama II

8.3.1 Yapısal Özellikler

İncelenen ikinci yapı İzmir Karşıyaka’da bulunmaktadır. Bina zemin ve 4 normal kat olmak üzere toplam beş kattan oluşmaktadır. Yapının tüm katları oturma amaçlı kullanıldığı için kat mimarileri aynıdır. Bina bağımsız konumda olduğu için deprem esnasında çekiçleme etkisi söz konusu değildir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 2,70 m’dir. Bu nedenle komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) yoktur. Döşeme sistemi tüm katlarda 12 cm kalınlıklı kirişli plaklardan oluşmaktadır. Balkon çıkmalarının döşeme kalınlıkları ise 15 cm’dir. Örnek kat planı Şekil 8.10’da verilmektedir. Binanın tüm katlarında kirişler 20x50 cm’dir. Kolonlar 25x70, 20x100 cm; perdeler ise 20x180, 20x200 cm boyutlarında olup tüm katlar boyunca aynıdır. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu yapı genelinde sağlanmaktadır. Yapının projesi üzerinden beton sınıfı BS25 olarak alınmıştır. Boyuna donatılar ve etriyeler S420 kalitesindedir. Taşıyıcı elemanlarda 8 mm çapında 20 cm aralıklarla enine donatı kullanılmıştır. Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapı S_D sınıfı zemin üzerine inşa edilmiştir. Şekil 8.9’da yapının 3-boyutlu modeli gösterilmektedir



Şekil 8.9 Uygulama II’nin SAP2000 ortamında 3-boyutlu modeli



Şekil 8.10 Uygulama II için kat planı

8.3.2 Düzensizlik Kontrolü

SAP2000 programı ile yapılan dinamik analiz sonucunda X ve Y eksenleri doğrultusunda yapıda oluşan maksimum ve minimum göreceli kat ötelemeleri elde edilmiştir (Tablo 8.6).

Tablo 8.6 Katlardaki görelî kat ötelemeleri ve burulma düzensizliğı katsayıları

Kat No	X Eksenî Doğrultusu				Y Eksenî Doğrultusu			
	Δ_i max (cm)	Δ_i min (cm)	Δ_i ort (cm)	η_{ix}	Δ_i max (cm)	Δ_i min (cm)	Δ_i ort (cm)	η_{iy}
5	0,10	0,004	0,052	1,92	0,34	0,18	0,26	1,3
4	0,17	0,1	0,09	1,88	0,53	0,27	0,4	1,3
3	0,23	0,1	0,12	1,91	0,69	0,33	0,51	1,4
2	0,25	0,1	0,13	1,92	0,74	0,33	0,535	1,4
1	0,15	0,1	0,08	1,88	0,43	0,19	0,31	1,4

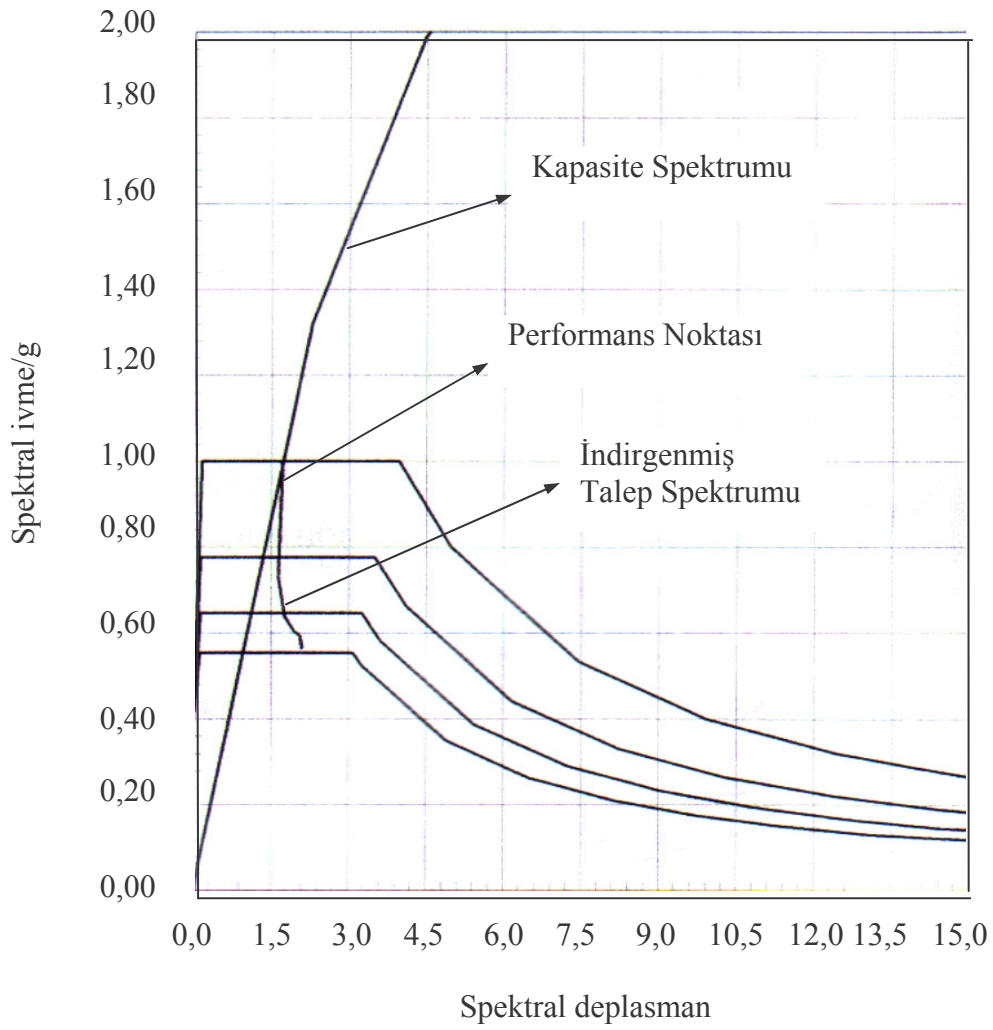
Tüm katlar için burulma düzensizliğı katsayısı, $\eta_i > 1,2$ olduğundan yapıda burulma düzensizliğı vardır. Yapıda başka bir düzensizlik durumu ile karşılaşılmaştır.

8.3.3 Yük Artımı Analizi

Kapasite spektrum metodu için gerekli *yük artımı analizi* Altıncı Bölüm’de verilen prosedürler doğrultusunda örnek yapı için uygulanmıştır. Yapısal davranış tipi ATC-40’a göre B Tipi olarak belirlenmiştir. Tasarım spektrumunu oluşturmakta kullanılan C_A ve C_V sismik katsayıları 0,4 olarak alınmıştır. Yapının X yönü için kapasite spektrumu, Tablo 8.7’de verilen hesap değerlerine göre Şekil 8.11’de çizilmiştir.

Tablo 8.7 X yönü için yük artımı hesap değerleri

Adım	T_{eff}	β_{eff}	Sd(C)	Sa(C)	Sd(D)	Sa(D)	α	PF. ϕ
0	0,258	0,050	0,032	0,000	1,659	1,000	1,000	1,000
1	0,258	0,050	0,100	0,060	1,659	1,000	1,158	1,380
2	0,264	0,051	2,291	1,321	1,725	0,994	0,803	1,240
3	0,301	0,115	4,463	1,987	1,643	0,731	0,776	1,248
4	0,334	0,154	6,652	2,397	1,771	0,638	0,762	1,274
5	0,360	0,171	8,804	2,728	1,946	0,603	0,753	1,302
6	0,376	0,177	10,357	2,951	2,079	0,592	0,747	1,311
7	0,378	0,182	10,399	2,929	2,069	0,583	0,746	1,306
8	0,380	0,182	10,645	2,965	2,092	0,583	0,745	1,308
9	0,382	0,187	10,681	2,944	2,083	0,574	0,744	1,304
10	0,384	0,187	10,877	2,973	2,102	0,575	0,744	1,305
11	0,386	0,193	10,908	2,949	2,092	0,565	0,742	1,301
12	0,388	0,192	11,163	2,987	2,118	0,567	0,742	1,303



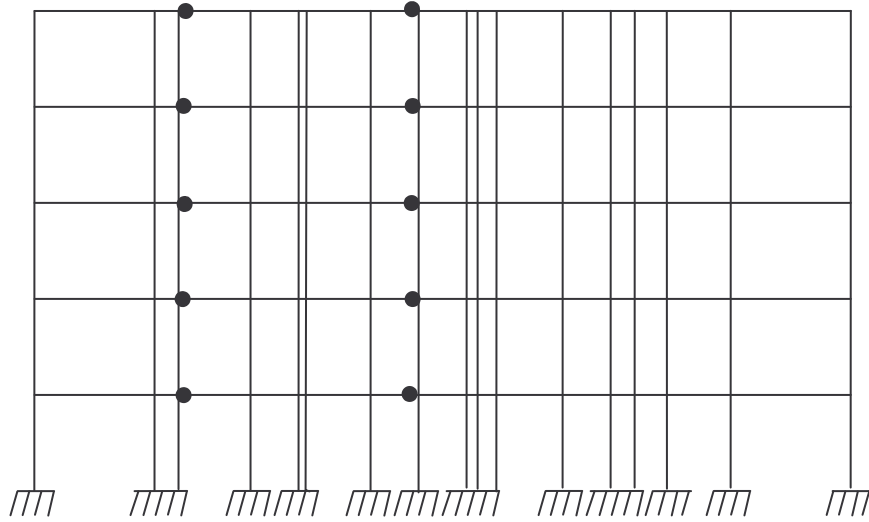
Şekil 8.11 X yönü için kapasite eğrisi, indirgenmiş talep spektrumu ve performans noktası

Kapasite spektrumu indirgenmiş talep spektrumunu $S_a: 0,985$; $S_d: 1,707$ koordinatlarında kesmektedir. Performans noktasında taban kesme kuvveti (V) 376,6 t, çatı deplasmanı ($\Delta_{Çatı}$) 2,12 cm değerlerine ulaşmaktadır. Yapının *üst sınırda enerji sönümleme kapasitesi*, %5 viskoz sönüm değeri olarak bulunmuştur. X yönü için kapasite spektrum ve indirgenmiş talep spektrumu, çatı seviyesi deplasmanının toplam yüksekliğe oranı $2,12/1350 = 0,0016$ olduğu noktada kesişmektedir. Bu seviyedeki bina ATC-40'ta belirtilen *Hemen Kullanım* performans seviyesine karşılık gelmektedir.

X eksenî yönünde yapılan *yük artımı analizi* onüç adımdan oluşmaktadır. Tablo 8.8’de her adımdaki deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları verilmektedir. Şekil 8.12’da X eksenî yönünde ilk mafsallaşan düğüm noktaları gösterilmektedir.

Tablo 8.8 X yönü için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme kuvveti (t)	Mafsallaşan eleman sayıları								Toplam
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	-0,03	0,0	1241	9	0	0	0	0	0	0	1250
1	0,14	33,0	1240	10	0	0	0	0	0	0	1250
2	2,84	501,5	1115	135	0	0	0	0	0	0	1250
3	5,56	729,2	979	252	19	0	0	0	0	0	1250
4	8,47	863,9	928	210	107	5	0	0	0	0	1250
5	11,46	971,3	895	126	199	30	0	0	0	0	1250
6	13,58	1042,1	877	113	173	86	0	1	0	0	1250
7	13,58	1032,8	871	118	172	88	0	0	1	0	1250
8	13,92	1044,8	870	115	170	93	0	1	1	0	1250
9	13,92	1036,0	866	117	166	99	0	0	2	2	1250
10	14,19	1045,5	866	117	157	107	0	1	2	0	1250
11	14,19	1035,0	861	120	152	114	0	0	3	0	1250
12	14,54	1047,7	860	121	139	126	0	1	3	0	1250
13	12,45	639,5	859	122	139	126	0	1	3	0	1250

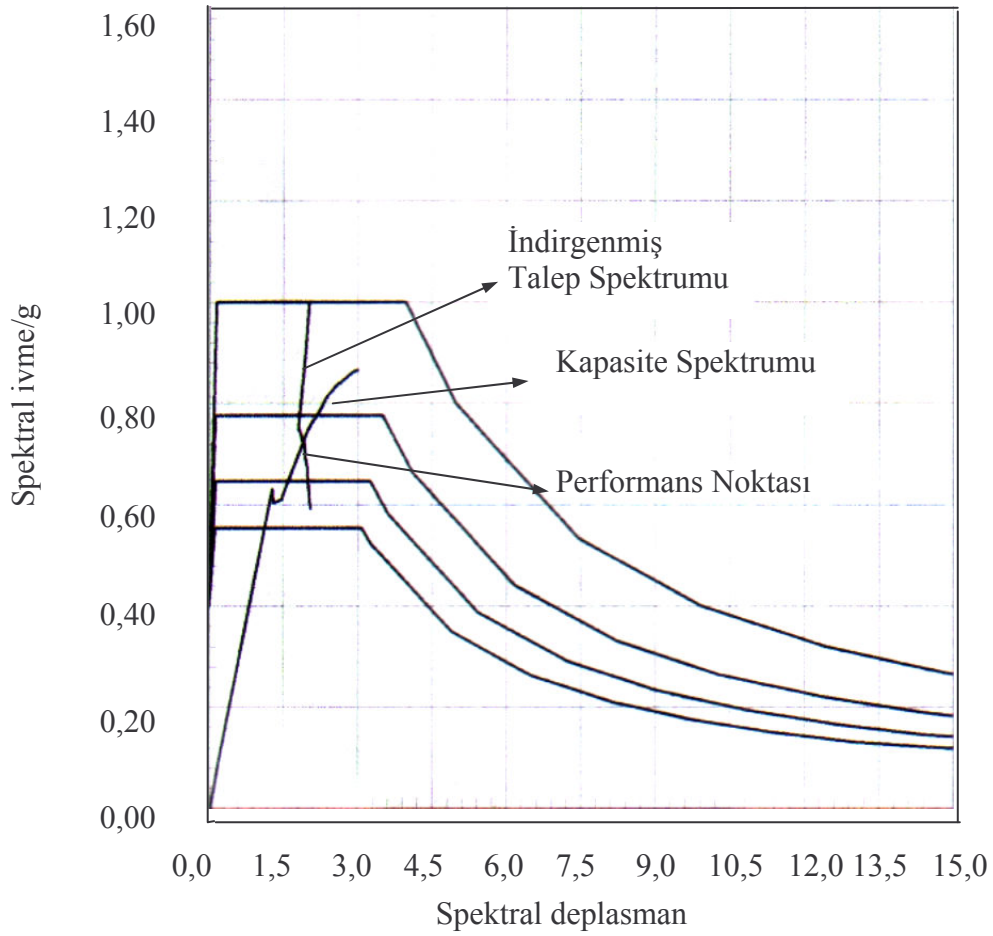


Şekil 8.12 X eksenî yönünde ilk mafsallaşan düğüm noktaları

Yapının Y yönü için kapasite spektrumu, Tablo 8.9’da verilen hesap değerlerine göre Şekil 8.13’te çizilmiştir.

Tablo 8.9 Y yönü için yük artımı hesap değerleri

Adım	T_{eff}	β_{eff}	$S_d(C)$	$S_a(C)$	$S_d(D)$	$S_a(D)$	α	PF. ϕ
0	0,291	0,050	0,059	0,000	2,108	1,000	1,000	1,000
1	0,291	0,050	0,209	0,099	2,108	1,000	0,711	1,265
2	0,286	0,050	1,283	0,630	2,036	1,000	0,810	1,254
3	0,300	0,086	1,307	0,584	1,845	0,824	0,820	1,230
4	0,300	0,086	1,311	0,585	1,846	0,825	0,820	1,230
5	0,303	0,095	1,313	0,575	1,810	0,793	0,817	1,227
6	0,303	0,091	1,383	0,605	1,842	0,805	0,818	1,227
7	0,309	0,108	1,384	0,584	1,779	0,751	0,825	1,222
8	0,309	0,106	1,431	0,602	1,802	0,758	0,825	1,221
10	0,312	0,109	1,502	0,620	1,812	0,748	0,830	1,220
11	0,315	0,118	1,504	0,610	1,783	0,722	0,829	1,215
12	0,317	0,113	1,642	0,657	1,841	0,736	0,830	1,216
14	0,324	0,118	1,840	0,706	1,886	0,723	0,834	1,213
16	0,328	0,119	1,981	0,742	1,921	0,719	0,833	1,210
18	0,333	0,126	2,108	0,764	1,934	0,701	0,833	1,206
20	0,344	0,137	2,399	0,815	1,986	0,674	0,835	1,207



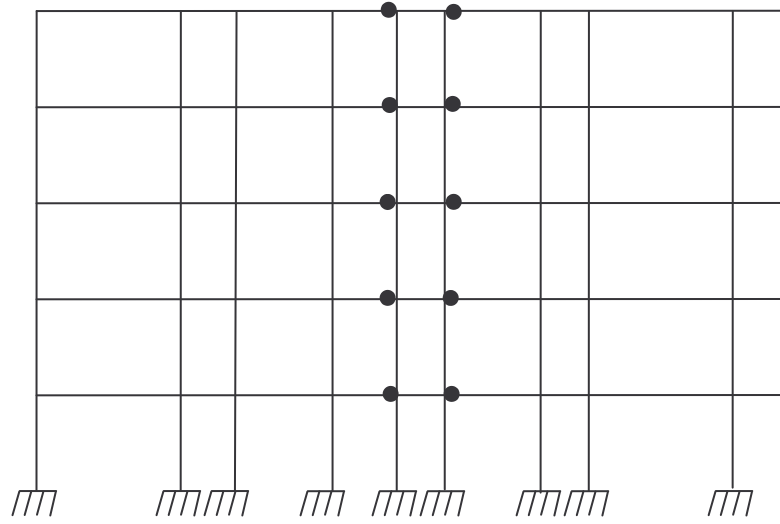
Şekil 8.13 Y yönü için kapasite eğrisi, indirgenmiş talep spektrumu ve performans noktası

Kapasite spektrumu indirgenmiş talep spektrumunu S_a : 0,721; S_d : 1,901 koordinatlarında kesmektedir. Performans noktasında taban kesme kuvveti (V) 284,3 t, çatı deplasmanı ($\Delta_{Çatı}$) 2,30 cm değerlerine ulaşmaktadır. Yapının *üst sınırda enerji sönümleme kapasitesi*, % 11,8 viskoz sönüm değeri olarak bulunmuştur. Y yönü için kapasite spektrum ve indirgenmiş talep spektrumu, çatı seviyesi deplasmanının toplam yüksekliğe oranı $2,30/1350 = 0,002$ olduğu noktada kesişmektedir. Bu seviyedeki bina ATC-40'ta belirtilen *Hemen Kullanım* performans seviyesine tekabül etmektedir.

Y eksenini yönünde yapılan *yük artımı analizi* yirmibir adımdan oluşmaktadır. Tablo 8.10'da her adımdaki deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları verilmektedir. Şekil 8.14'te Y eksenini yönünde ilk mafsallaşan düğüm noktaları gösterilmektedir.

Tablo 8.10 Y Yönü için deplasmanlara karşılık gelen kesme kuvvetleri ve mafsallaşan eleman sayıları

Adım	Deplasman (cm)	Kesme kuvveti (t)	Mafsallaşan eleman sayıları								
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0,05	0,0	1241	9	0	0	0	0	0	0	1250
1	0,26	33,4	1239	11	0	0	0	0	0	0	1250
2	1,60	241,5	1204	40	2	0	2	2	0	0	1250
3	1,60	226,3	1191	43	2	0	4	0	0	10	1250
4	1,61	227,0	1191	43	0	2	2	2	0	10	1250
5	1,61	222,3	1190	44	0	2	2	0	0	12	1250
6	1,69	234,0	1190	44	0	2	0	2	0	12	1250
7	1,69	227,8	1183	47	2	0	2	0	0	16	1250
8	1,74	235,0	1179	51	0	2	0	2	0	16	1250
9	1,74	232,6	1177	51	2	2	0	0	0	18	1250
10	1,83	243,4	1173	53	2	2	0	2	0	18	1250
11	1,82	238,8	1173	53	2	2	0	0	0	20	1250
12	1,99	257,8	1168	58	2	0	0	2	0	20	1250
13	1,99	253,5	1167	59	2	0	0	0	0	22	1250
14	2,23	278,4	1158	66	2	0	0	2	0	22	1250
15	2,22	274,6	1153	69	4	0	0	0	0	24	1250
16	2,39	292,2	1144	78	0	0	2	2	0	24	1250
17	2,38	286,6	1144	78	0	0	2	0	0	26	1250
18	2,54	300,9	1129	93	0	0	0	2	0	26	1250
19	2,52	294,4	1128	92	2	0	0	0	0	28	1250
20	2,89	321,6	1100	120	0	0	0	2	0	28	1250
21	0,43	-16,1	1100	120	0	0	0	0	0	30	1250



Şekil 8.14 Y eksenini doğrultusunda ilk mafsallaşan düğüm noktaları

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sunulan çalışmada, mevcut betonarme yapıların deprem güvenliğinin saptanmasında izlenecek yol ve depreme karşı sismik performanslarının belirlenmesinde kullanılan lineer olmayan statik analiz yöntemi *Kapasite Spektrum Yöntemi* anlatılmıştır. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Lineer olmayan statik analiz sonuçları, I nolu mevcut betonarme binanın uygulanan deprem yükleri altında performansının yetersiz düzeyde olduğunu göstermiştir.
- Analiz sonuçları II nolu mevcut binanın I nolu binaya göre daha yüksek rijitliğe ve dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. II nolu mevcut binada perde-çerçeve taşıyıcı sistem kullanılması ve yüksek dayanımlı donatı (STIII) kullanılması I nolu binaya kıyasla her iki deprem yönünde de daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmasını sağlamıştır
- I nolu mevcut bina için performans noktası bulunamazken, II nolu mevcut binanın performans noktalarında, Hemen Kullanım performans düzeyi bulunmuştur.
- Kapasite Spektrum Yöntemi ve ADRS (İvme-Deplasman Tepki Spektrum) formatı; mevcut betonarme binaların sismik performanslarını değerlendirmede ve yapıların performans amaçları için tasarımında kullanılan etkili araçlardır.
- Kapasite Spektrum Yöntemi yeterince dikkatli ve özündeki kısıtlamalara özen gösterilerek kullanıldığı takdirde yapıların göçme anına kadar

davranışının ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekte nasıl olacağını, binaların tasarımı ve analizinde kullanılmakta olan elastik analizlere göre çok büyük bir yaklaşımla göstermektedir.

- Yük artımı analizi süresince yapıda oluşacak mafsalların oluşum sırasının izlenebilmesi oldukça önemlidir. Bu sıranın bilinmesi, lineer sınırların herhangi bir şekilde aşıldığı durumda muhtemel yapı davranışının önceden bilinmesine olanak sağlamaktadır.
- Mafsalların oluşum sırasının yük artımı yöntemleri ile belirlenmesi, yapıdaki kritik bölgelerin belirlenmesi anlamına da gelir. Mafsalların kolonlarda oluşması gibi istenmeyen durumlar önceden tahmin edilebilmektedir.
- Kapasite Spektrum Yöntemi'nin doğruluğu, talep spektrumunu oluşturmak için seçilen ivme tepki spektrumuna ve eşdeğer viskoz sönüm oranlarını hesaplamakta kullanılan sönüm modellerine bağlıdır. Yapının lineer olmayan davranışını en iyi şekilde ifade edecek sönüm modeli seçilmelidir.
- SAP2000 programından kaynaklanan pratik uygulamalardan dolayı göz ardı edilen davranışlara karşın (yüksek mod etkileri) lineer olmayan statik analiz yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarının tespitinde etkili bir çözüm sunmaktadır. Özellikle birinci doğal salınım modunda davranış gösteren yapılarda yük artımı analizi global davranışı belirlemede ve lineer olmayan deformasyonları hesaplamada oldukça etkili olmaktadır.
- Gelecekte yönetmeliklerdeki geleneksel deprem tasarımının yerini alması beklenen performansa dayalı tasarım için yapılacak çalışmalarda, performans ve hasar düzeyi tanımlamalarına ve bunların belirlenebilmesi için lineer olmayan analiz yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmesi gerekmektedir.

SEMBOL LİSTESİ

A	: alan
A, B, C	: yapısal davranış tipleri
A_0	: etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$	: spektral ivme katsayısı
a^*, d^*	: herhangi bir spektral ivme ve deplasman değerleri
a_{pi}	: performans noktasındaki spektral ivme
a_y	: akma noktasındaki spektral ivme
β_{eq}	: Eşdeğer viskoz sönüm
β_{eff}	: Etkin sönüm
β_0	: Eşdeğer viskoz sönümleme olarak ifade edilen çevrimsel sönüm
C_A, C_V	: sismik katsayılar
d_y	: akma deplasmanı
d_{pi}	: performans noktası deplasmanı
d_i	: i. katmanın kalınlığı, m
d_s	: toplam zemin profili kalınlığı
d_C	: toplam kohezyonlu zemin katmanı kalınlığı
d_{CH}	: tüm kohezyonsuz zemin katmanlarının toplam kalınlığı
$d_{CH,i}$	: i. katmanın kohezyonsuz zemin kalınlığı
E	: sarsılma şiddeti
E_D	: sönümle yutulan enerji
E_{S0}	: maksimum şekil değiştirme enerjisi
I	: bina önem katsayısı
L	: eleman boyu
M_{ra}	: kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü momenti
$M_{r\bar{u}}$	: kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye

	göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_y	: akma momenti
$M\omega$	: moment magnitudü
N	: standart penetrasyon deneyi
N_{CH}	: kohezyonsuz zeminler için standart penetrasyon deneyi
N_A, N_V	: yakın fay katsayıları
N_i	: i. katmanın standart penetrasyon direnci,
$N_{CH,i}$	: kohezyonsuz i. katmanın standart penetrasyon direnci
PF_1	: 1. doğal mod için modal katılım katsayısı
PI	: plastisite indeksi
P_i	: i. kattaki toplam ağırlık yükleri
PSa	: sözde (pseudo) ivme spektrumu
PSv	: sözde (pseudo) hız spektrumu
Q_C	: maksimum yük
S_a	: spektral ivme
S_d	: spektral deplasman
S_d	: yerdeğiştirme spektrumu
S_{MS}	: B sınıfı bölge için kısa periyottaki spektral ivme değeri
S_{M1}	: B sınıfı bölge için 1,0 saniye periyottaki spektral ivme değeri
$S_{U,i}$	: i. katmanın drenajsız kayma dayanımı
$S(T)$	: spektrum katsayısı
SR_A, SR_V	: spektral indirgeme faktörleri
SR	: kayma oranı
S_U	: drenajsız kayma dayanımı
V	: taban kesme kuvveti
V_s	: kayma dalgası hızı
V_i	: i. katta hesaplanan toplam kayma kuvveti
V_{Si}	: i. katmanın m/sn olarak tanımlanan kayma dalgası hızı
T	: periyot
T_A, T_B	: spektrum karakteristik periyotları
W	: zati yük+hareketli yük
w_i/g	: i. seviyedeki topaklanmış kütle

Z	: sismik bölge katsayısı
$Z1, Z2, Z3, Z4$	: yerel zemin sınıfları
Δ	: deformasyon
$\Delta_{\text{Çatı}}$	: çatı deplasmanı
Δ_y	: akma deformasyonu
α_1	: 1. doğal mod için modal kütle katsayısı
β_{eq}	: eşdeğer viskoz sönüm
β_0	: eşdeğer viskoz sönümleme olarak ifade edilen çevrimsel sönüm
ϕ_{i1}	: i. seviyedeki modun şekli
κ	: sönüm modifikasyon faktörü
ω_{MC}	: nem içeriği

KAYNAKLAR

- Akkan, S. ve Gölkan, P. (2002). Tasarı Spektrumlarının Performansa Dayalı Deprem Mühendisliğı ve Yakın Mesafe Depremler Yönünden İncelenmesi. *ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliğı Sempozyumu*. Ankara.
- Applied Technology Council, ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol I*. Redwood City, California, USA.
- Aydinoğlu, M. N. (2003). Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yöntemi. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliğı Konferansı*. İstanbul.
- Balkaya, C. ve Kalkan, E. (2003). Nonlinear seismic response evaluation of tunnel form building structures. *Computers and Structures*, 81,153–165.
- Baradan, B. (2000). *Yapı Malzemesi Cilt 1*. (2. Baskı). İzmir: D.E.Ü.Mühendislik Fakültesi Basın Ünitesi.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (1998). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. Ankara.
- Boduroğlu, M. H. ve Özdemir, P. (1996). Betonarme Yapıların Depreme Karşı Dayanımlarının Değerlendirilmesi. *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*. Ankara.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul: Sema Matbaacılık.
- Chopra, A. K. (1995). Theory and Applications to Earthquake Engineering. *Dynamic of Structures*. Prentice Hall, New Jersey.

- Chopra, A. K. ve Goel, R. K. (2000). Evaluation of NSP to Estimate Seismic Deformation of SDF Systems. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. 126 (4), 482–490.
- CSI Company. (2000). *SAP 2000 Kullanım Kılavuzu*. Berkeley, California, USA.
- Ersoy, U. (1985). *Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Elnashai, A. S. (2002). Do we really need inelastic dynamic analysis. *Journal of Earthquake Engineering*, 6, 123-130.
- Fajfar, P. (1999), Capacity Spectrum Method Based On Inelastic Demand Spectra. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 979-993.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA 273.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1998). *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard*, FEMA 310.
- Freeman, S. A., Nicoletti, J. P. ve Tyrell J. V. (1975). Evaluations of existing buildings for seismic risk-A case study of Puget Sound Naval Shipyard. *Proceedings of the 1st U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 113–122. Bremerton, Washington.
- İrtem, E., Türker, K. ve Hasgöl, U. (2004). Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi*. İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2004). *İstanbul ve Deprem*. 26 Mayıs 2004, <http://www.ibb.gov.tr/deprem/index.htm>.

- Iwan, W. D. ve Gates, N. C. (1979). Estimating earthquake response of simple hysteretic structures. *Journal of the Engineering Mechanics Division (ASCE)*, 105(EM3), 391–405.
- Kahraman, S. ve Bozdağ, Ö. (2004). Mevcut Yapıların Hasar Görebilirliklerinin Belirlenmesi. *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.
- Lin, Y. Y. ve Chang, K. C. (2003). An Improved Capacity Spectrum Method for ATC-40. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 2013-2025.
- Lin, Y. Y., Chang, K. C. ve Wang, Y. Y. (2004). Comparison of Displacement Method and Capacity Spectrum Method with Experimental Results of RC Frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33, 35-48.
- Newmark, N. M. ve Hall, W. J. (1982). Earthquake Spectra and Design. *Earthquake Engineering Research Institute*. Berkeley.
- Özcebe, G. (2004). Deprem Güvenliğinin Saptanması için Yöntemler Geliştirilmesi Sonuç Raporu. *TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi*. Ankara.
- Özmen, G., Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K. (2002). *Örneklerle Sap 2000*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Sucuoğlu, H., Peköz, H. A. ve Bayalı, S. (2002). Düzcedeki Bazı Kamu ve Özel Binaların 1999 Düzce Depremindeki Sismik Performanslarının İncelenmesi. *ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*. Ankara.

Sucuoğlu, H. ve Günay, M. S. (2003). Orta Yükseklikteki Betonarme Binalar için Basitleştirilmiş Deprem Dayanımı Değerlendirme Yöntemleri. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul.

TS-498, Türk Standartları Enstitüsü. (Kasım 1987). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. Ankara.

TS-500, Türk Standartları Enstitüsü. (2000), *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Ankara.

Xue, Q. (2001). Assessing the accuracy of the damping model used in displacement-based seismic demand evaluation and design of inelastic structures. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2001, submitted.