

# PROF. DR. RIFAT YARAR KONUŞMASI - 2007 DEPREM KATSAYISINDAN PERFORMANSA GÖRE TASARIMA: BİR MÜHENDİSİN BAKIŞ AÇISINDAN DEPREM MÜHENDİSLİĞİNİN 40 YILI\*

Prof. Dr. Mehmet Nuray AYDINOĞLU

*BÜ Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü  
Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı*

## GİRİŞ

Bu yıldan itibaren Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansları'nın açılışında geleneksel olarak yapılmasına karar verilen Prof. Dr. Rifat Yarar Konuşmaları'nın ilkini, 6. Konferansta yapmak üzere beni görevlendirerek onurlandıran Organizasyon Komitesi'ne şükranlarımı sunuyorum.

Türkiye'de Deprem Mühendisliği'nin, aynı zamanda bu konferansın ana düzenleyicisi olan Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi'nin kurucusu ve özellikle bizim kuşağımızdan hemen herkesin üzerinde emeği, desteği olan, bize ilham veren değerli hocamız Prof. Dr. Rifat Yarar'ı ebediyete uğurladıktan sonra onun anısına düzenlediğimiz bu ilk ulusal konferanstaki konuşmama, o seçkin kişinin aziz hatırası önünde saygı ile eğilerek başlıyorum.

Depremler, tüm dünyada sürekli biçimde büyük can ve mal kaybına yol açan doğal afetler olarak gündemden hiç düşmüyor. Bu bağlamda, dünyada ve Türkiye'de hemen her yıl orta veya ağır hasar oluşturan çok sayıda depremi yaşamaya devam ediyoruz.

Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan sonra yaşadığı ilk büyük doğal afet, 1939 Erzincan depremidir. Bu büyük deprem, ülkede depreme dayanıklı yapı kavramının ortaya çıkması ile başlayan ve bugüne kadar gelen sürecin çıkış noktasıdır.

Ülkenin ilk deprem yönetmelikleri bu dönemde yürürlüğe konulmuştur. Formel anlamda ilk yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı'nca 1947'de yürürlüğe konulan "Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği"dir. Bu yönetmeliği 1953, 1961, 1968, 1975, 1997 (1998) ve 2006 (2007) yönetmelikleri izlemiştir. Buna karşın, son altmış yılda meydana gelen pek çok sayıda depremde onbinlerce kişi hayatını kaybetmiş, çok büyük maddi hasar meydana gelmiştir. Sadece 1999 depremi ile yirmibini aşkın yurttaşımızı kaybettik. Bunun nedenlerini çok tartıştık, hala da tartışmaya devam ediyoruz. Ancak çoğu kez olayın bütününü gördüğümüz ve kapsadığımız söyleyemeyiz. Örneğin eski yönetmeliklerin gelişimini, eksikliklerini, uygulamadaki problemlerini, ülkede yapı mühendisliği sürecinin sorunlarını, üniversite eğitimini, meslek içi eğitimi, meslekte sertifikasyon (belgelendirme - Yetkin Mühendislik) gereksinimini ve bunlar gibi pek çok önemli konuyu ancak 1999 depremlerinin yarattığı büyük şokun arkasından konuşur olduk. Bu büyük felaketin üstünden sekiz yılı aşkın zaman geçti. Hiçbir şeyi başaramadığımızı söyleyemeyiz, kendimize o denli haksızlık etmeyelim. Ancak başardıklarımızın yeterli olduğunu iddia etmek de mümkün değildir.

Bu bildirinin amacı, 1965 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi'nden mezun

olan yazarın tasarım mühendisi olarak 1967'de başlayan ve 40 yılı aşan meslek hayatı ve 1971'den itibaren deprem mühendisliği etrafında şekillenen akademik yaşamı boyunca, deprem mühendisliğinde meydana gelen gelişmeleri, bu süreçte bilim adamlarının ve mühendislerin yaşadığı sıkıntıları, yanlışlıkları, belirsizlikleri, başarıları okurlarla/dinleyicilerle paylaşmak, vardığımız noktayı değerlendirmek ve geleceğe yönelik tahminleri, görüşleri, beklentileri aktarmaktır.

## KIRK YIL ÖNCEKİ DURUM

### Ekonomik ve sosyal durum

1960 askeri müdahalesini izleyen beş yıllık bir geçiş döneminden sonra 1965 seçimleri ile ülkede siyasi yaşam normale döndü ve ekonomi istikrarlı biçimde büyümeye başladı. Ekonominin büyüme hızı, birinci petrol krizinin çıktığı 1973'e kadar giderek arttı. Bu dönem, ülkede sanayileşme ile birlikte kentleşmenin hızlandığı ve büyük kentlerde, özellikle İstanbul'da konut inşaatlarının daha önce görülmemiş biçimde arttığı dönemdir. İnşaat piyasası, büyük ölçüde yap-satçı tabir edilen genellikle Karadenizli küçük müteahhitlerin elindedir. Ancak bunların bazıları kısa zamanda hızla palazlanmışlar, giderek daha büyük konut inşaatlarına girişmişlerdir. Gelişme özellikle 1969 seçimlerinden sonra iyice hızlanmış, Türkiye'nin take-

\* Şubemizin 16-20 Ekim 2007 tarihlerinde düzenlediği 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulmuştur.

off'a geçtiğinden söz edilir olmuştur. Bu dönemde, başta enerji ve ulaştırma altyapısı (barajlar, kuvvet santralleri, devlet yolları, otoyollar) olmak üzere sanayi ve konut yatırımlarında, daha önceki dönemlerde ülkede hiç görülmemiş olan büyük bir gelişme yaşanmıştır.

Bu dönemde ülkenin en hızlı gelişen kenti konumundaki İstanbul'da 1973'de hizmete giren Birinci Boğaz Köprüsü ve çevre yolları inşaatının 1970'de başlaması ile, hatta ondan birkaç yıl öncesinden başlayarak, kentin daha önce sayfiye yeri olarak bilinen Anadolu yakasında olağanüstü bir inşaat patlaması yaşanmış, bu durum birinci petrol krizi ve hemen arkasından gelen Kıbrıs ambargosuna rağmen 70'li yılların sonuna kadar sürmüştür. Aynı dönemde İstanbul'da sur içinde Aksaray-Topkapı ekseninde, Fatih'e kadar uzanan yaygın bir inşaat faaliyeti gözlenmiştir. Beyoğlu tarafındaki gelişme ise, 60'ların başına kadar kentin sınırını oluşturan Şişli otobüs garajlarından başlayarak Gayrettepe, Etiler doğrultusunda meydana gelmiştir. Ancak 1960'ların başında yapılan binaların kat sayıları çok sınırlı idi. 1963'te İstanbul'un Bahçelievler semtinde bir kooperatif tarafından inşa edilen 11 katlı bir binaya halkın "gökdelen" dediğini hatırlıyorum.

### İnşaat mühendisliğinin durumu

Bu müthiş gelişmenin getirdiği gereksinimlere karşılık, ülkede büyük bir mühendis açığı vardı. Öyle ki, 1960'lı yılların başında tüm Türkiye'de çalışan inşaat mühendislerinin sayısı beş binden azdı. Tasarımla uğraşan mühendisler iyice azdı, çünkü yeni mezun mühendisler bile şantiyelerde çok iyi maddi imkanlarla iş bulabilmekte idiler. Üstelik kamuda çalışan mühendisler de (1971'de çıkan personel yasasına kadar olan dönemde) özel sektördeki meslekdaşları ile hemen hemen aynı olanaklara sahiptiler. Bu

ileri düzeydeki mühendis açığı, daha sonra 1960'lı yılların sonunda özel yüksek okulların açılmasını gündeme getirdi. Bu okulların kısa sürede yozlaşması ile ortaya çıkan sorunlar, birkaç yıl sonra okulların devletleştirilip Mühendislik ve Mimarlık Akademileri'ne dönüştürülmesi ve daha sonra da üniversitelere bağlanması ile giderildi. Ancak sorun giderilene kadar geçen zamanda bu okullarda genel anlamda ciddi bir kalite sorunu yaşandığı unutulmamalıdır. Bu durumun daha sonraki yıllarda yaygın anlamda olumsuz etkilerinin olduğu da muhakkaktır.

### Konut yapım süreci

Sayıları esasen az olan büyük inşaat firmaları konuta ilgi göstermiyordu. Çünkü Anadolu'da büyük altyapı yatırımları vardı. Küçük müteahhitin elindeki bina yapım koşulları tam anlamı ile "fecaat" idi. Standart olarak, denizden çıkarılmış, yıkanmamış, elenmemiş tuvenan (doğal karışım) agrega kullanılıyordu. Yıkama ve eleme diye bir kavram henüz yoktu. Betoniyer kullanımı çok nadirdi, yok gibiydi. O sıralarda yeni yeni ortaya çıkan damperli kamyonların sokağın ortasına boca ettikleri tuvenan agreganın üstüne kağıt torbalar yırtılarak dökülen çimentoyu önce küreklerle şöyle bir bir karıp, ondan sonra hortumla sulayıp tekrar karıştırarak betoncu ustasının istediği kıvamda beton yapıldı. Konut inşaatlarında vibratör kullanımı da söz konusu değildi. Kenarına tahtadan birer tutamak yapılmış 18 litrelik gaz tenekelerine doldurulan betonlar, Mardin'li hamal-işçilerce üst katlara çıkartılıp kalıba dökülürdü (Gırgır vinçler daha sonra yaygınlaştı, ama gerekli hızı sağlayamadılar). Ne yazık ki bu ilkel yapım süreci, hazır betonun yaygınlaştığı 1980'lerin sonuna, hatta 1990'lara kadar devam etmiştir.

### Tasarım mühendisliğinde durum

1960'lı yıllarda, tasarım mühendis-

liği oldukça az sayıda insanın uğraştığı "meşakkatli" bir işti. İstanbul'da birkaç önemli "büro" vardı. Yatırımların çoğu (bina yatırımları dahil) kamu tarafından yapıldığı için gelişmiş tasarım firmaları daha çok Ankara'da yoğunlaşmışlardı.

Herşeyden önce hesaplama araçlarımız çok sınırlı idi. Hemen hemen 1970'e kadar elektronik el hesap makinaları bile yoktu. En çok "sürgülü hesap cetveli" ve daha az olmak üzere mekanik hesap makinaları kullanılıyordu (Elektronik el hesap makinaları ancak 1973-74'den sonra biraz ucuzlayarak yaygınlaşmaya başladı).

Genellikle çerçeve bazında hesap yapılırdı. Binaların kısa doğrultusunda tipik bir veya birkaç çerçeve için hesap yapılır, uzun doğrultuda hesaba gerek görülmezdi! Bunun arkasındaki mantalite, herhalde uzun doğrultuda (belki de dolgu duvarlarının da etkisi ile) bina dayanımının de-facto yeterli olacağı kanısı idi. Döşemelerin diyafram etkisinden pek bahsedilmezdi. Zaten 1968'den önce burulma etkisi yönetmelikte bulunmuyordu.

Üniversite'de (özellikle İTÜ'de) Kuvvet Yöntemi ağırlıklı eğitim yapılmasına karşılık, uygulamada daha çok yerdeğiştirme esaslı yöntemler moda idi: Açık Yöntemi, Cross Yöntemi, Kani Yöntemi vs. Ancak bu yöntemleri üniversitelerden öğrenerek mezun olan mühendislerin sayısı çok azdı (Çakıroğlu, 1961). Ülkede popüler olan iki yaklaşık hesap yöntemi vardı: Düşey yükler için Biro Yöntemi, yatay yükler için Muto Yöntemi. Bu yöntemlerin popüler olmasının esas nedeni, büyük bir olasılıkla, o günlerde öğrencilerin ve mühendislerin başvurabileceği tek uygulamaya dönük kitap olan rahmetli ağabeylerimiz Yalman Odabaşı ve Turgut Nedim Uluğ'un yazdığı kitapta yer almış olmaları idi.

Aslında bilinçli ve meraklı mühendisler için Muto Yöntemi çok büyük bir olanak idi. Muto Yöntemi ile

çerçevesi sistemlerde burulmalı, üç boyutlu hesap yapmak bile yapmak mümkündür. Perdeli-çerçevesi sistemler için ise rahmetli hocamız Prof. Adnan Çakıroğlu, perdelerde grup yüklemelerini kullanan kuvvet yöntemi ile çerçevelerde Muto Yöntemi'nin uygulamasını birleştirmiş ve o zamana göre oldukça ileri düzeyde pratik bir analiz yöntemi geliştirilmiş idi (Bkz. Çakıroğlu ve Özmen, 1973).

O zamanlar depreme karşı betonarme tasarımı, analizin yanında tamamen ikinci plana attığımızı söyleyebilirim. Betonarme uygulamaları, birtakım standart hesap tablolarının mekanik bir biçimde kullanılması ile, emniyet gerilmeleri yöntemine göre basit bir kesit hesabı şeklinde, betonarmenin gerçek davranışından tamamen uzak bir biçimde yapılmaktaydı.

## YÖNETMELİKLERİN GELİŞİMİ

Bugünkü bilgilerimiz çerçevesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı pratiğinin başlangıcının, yirminci yüzyılın başlarında ortaya çıktığını görüyoruz. Yüzyılın ilk çeyreğinde dünyanın iki ucunda meydana gelen ve büyük can kaybına neden olan 1908 Messina (İtalya) ve 1923 Kanto (Japonya) depremlerinden sonra, her iki ülkede de binalara etkiyen deprem kuvvetlerinin bina ağırlığının takriben %10'u mertebesinde olduğu, yani deprem katsayısının takriben 0.10 gibi bir değere eşit olabileceği sezgisel (intuitive) olarak kabul edilmişti. Bu değer 1927'den sonra Amerika'da da Uniform Building Code(UBC) - Genel Bina Yönetmelikleri'nde de mertebe olarak aynen benimsendi. Daha sonra California'da Housner ve Biot'un geliştirdikleri Davranış Spektrumu konseptini esas alan 1958 UBC'den başlayarak, yapının doğal titreşim periyodunun deprem kuvvetini etkilediği görüşü yönetmeliklere girdi (Bkz. Hamburger, 2003). Peri-

yoda bağlı bir dinamik katsayı tanımlandı. Ayrıca, depremlerde gözlenen yapısal davranış biçimleri esas alınarak taşıyıcı sistemlerin özellikleri de, dört tip yapı tipi tanımlanarak "yapı tipi katsayısı" olarak ilk kez 1958 UBC'de yer aldı. Ancak öyle veya böyle toplam deprem katsayısının maksimum değerinin 0.1'i aşmaması öngörüldü. UBC (1958) yönetmeliğinde binaya gelen toplam deprem yükü, diğer deyişle taban kesme kuvveti aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$V = Z K C W \quad (1)$$

Burada  $V$  taban kesme kuvvetini,  $W$  bina ağırlığını,  $Z$  bölge katsayısını (dört bölgede sırası ile 0, 0.25, 0.50, 1.00),  $K$  yapı tipi katsayısını (min: 0.67, max:1.33) göstermektedir.  $C$  katsayısı ise yapının hakim doğal periyoduna bağlı olarak tanımlanan dinamik katsayıdır.  $K=1$  olan standart yapılar için en tehlikeli bölge olan 4. bölgede bile ( $Z=1$ )  $C$  katsayısının, dolayısı ile deprem katsayısının 0.10'u aşmaması öngörülmüştür ( $ZK \leq 0.10$ ). Deprem yükleri, deprem katsayısının ilgili elemanın ağırlığı ile çarpılmasından elde edilmektedir. Diğer deyişle deprem yükleri binaya üniform olarak dağıtılmaktadır. Emniyet gerilmeleri %33 arttırılmıştır. Görüldüğü gibi, 0.10'dan daha büyük bir deprem katsayısı olmamak üzere, bütün parametreler göreceli (relatif) olarak tanımlanmıştır. Daha sonraki UBC'lerde, yukarıda verilen taban kesme kuvveti bağıntısına iki parametre daha eklenmiştir:

$$V = Z I K C S W \quad (2)$$

Burada  $I$  bina önem katsayısını ve  $S$  zemin katsayısını göstermektedir. 1961 yönetmeliği'nden başlayarak, Türkiye Deprem Yönetmelikleri yukarıdaki format açısından değerlendirildiğinde durum şu şekilde özetlenebilir:

1961 yönetmeliğinde Bölge Katsayısı ve Zemin Katsayısı'ndan başka bir parametre yoktur. (Zemin koşulları 1958 UBC'de gözönüne alınmamıştır.) En büyük deprem katsayısı 0.10'dur. Deprem yükleri üniform olarak dağıtılmıştır. Emniyet gerilmeleri %50 arttırılmıştır.

1968 yönetmeliğinde Bölge Katsayısı'nın yanında, Zemin Katsayısı, Önem Katsayısı ve Dinamik Katsayı yer almaktadır. Yapı Tipi Katsayısı gibi bir parametre tanımlanmamıştır. En büyük deprem katsayısı, Önem Katsayısı'nın  $\beta=1$  olduğu binalarda 0.072'dir ( $\beta=1.5$  olan binalarda 0.108). Deprem yükleri bina yükseklüğince ters üçgen olarak dağıtılmıştır. Emniyet gerilmeleri %50 arttırılmıştır.

1975 yönetmeliği'nde ilk defa Yapı Tipi Katsayısı  $K$ , UBC'ye benzer biçimde tanımlanmıştır. Diğer katsayılar; Bölge Katsayısı, Önem Katsayısı ve zemin etkisini de içeren Dinamik Katsayı (Spektrum Katsayısı)'dır. En büyük deprem katsayısı, Önem Katsayısı'nın  $I=1$  olduğu binalarda sünek binalar için 0.10, sünek olmayan binalar için ise 0.15'dir. Yüksek mod etkilerini dikkate alan tepe kuvveti dışında, deprem yükleri bina yükseklüğince ters üçgen olarak dağıtılmıştır. Emniyet gerilmeleri %33 arttırılmıştır.

## Can Güvenliği Kavramı

İlginç olan nokta, 1975'e kadar (1975 yönetmeliği de dahil olmak üzere) hiçbir yönetmeliğimizde depremde binadan beklenen performans, diğer deyişle hedef performans ilişkin herhangi bir tanımın verilmemiş olmasıdır. Hedef performans tanımının eksikliği mühendislerde, binaya gelebilecek eşdeğer deprem kuvvetlerinin en fazla yönetmeliklerde tanımlananlar kadar olabileceği ve bunlara göre tasarımı yapılan binaların depremde hasar görmeyeceği gibi yanlış bir kanı yaratmıştır. Oysa 1960'lı yılların sonuna doğru Amerika'daki bilim ca-

miasında ve California'da yapı mühendislerinin oluşturduğu SEAOC (Structural Engineers Association of California) çevrelerinde, deprem yer hareketinin meydana getirdiği etkilerinin aslında yönetmeliklerde gözönüne alınan etkilerden çok daha büyük olduğu, bu nedenle hasarın kaçınılmaz olduğu, yönetmelik hükümleri ile sadece can güvenliğinin sağlanabileceği şeklinde bir anlayış yerleşmiş bulunuyordu. Bunun sonucu olarak "can güvenliği performans hedefi" ve bunu tamamlayan diğer performans hedefleri tanımlandı. Böyle bir tanım Türkiye'de ancak 1997 (1998) yönetmeliğinin 5.1.2 maddesi ile gündeme gelmiştir:

"Bu Yönetmelikte depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir."

1961'den itibaren ülkede uygulanan deprem yönetmeliklerine biraz daha yakından bakmak, nerelerden nerelere geldiğimizi ve aslında deprem mühendisliğinin ne kadar genç bir bilim ve uygulama alanı olduğunu bir kez daha görmemize yardım edecektir.

## 1961 DEPREM YÖNETMELİĞİ

1960'lı yıllara damgasını vuran ve 1968 yılına kadar ülkede yürürlükte olan deprem yönetmeliği 1961 tarihli yönetmeliktir. Bu yönetmelik, daha çok yığma, ahşap ve kerpiç binalar için konstrüktif esaslar ve tanımlar getirmektedir. Betonarme ve çelik binalar ile ilgili hemen hemen hiçbir tasarım kuralı getirilmemiştir. Minimum kolon ve kiriş bo-

yuyları bile verilmemiştir. Yönetmelik, çok küçük deprem katsayıları tanımlamaktadır (Aşağıda gösterileceği üzere, İstanbul'da 5 katlı bir bina için katsayı sadece 0.0324'dir). Yapıların dinamik özellikleri, süneklikleri hiçbir biçimde dikkate alınmamaktadır. Düzenli bina koşulu olarak sadece simetrik binalardan söz edilmektedir. Öte yandan, deprem tehlikesi haritası bugünkünden çok farklıdır. İstanbul'un tümü ikinci derece deprem bölgesindedir.

## AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK (1961)

### SEKİZİNCİ BÖLÜM

#### Proje ve hesap esasları

**Madde: 29** - Yapılarda deprem tesirleri neticesinde hasil olabilecek burulmaları mümkün olduğu kadar azaltmak maksadı ile, mimari ve inşaat projelerinin düzenlenmesinde, esas taşıyıcı kısımların yapının eksenlerine nazaran simetrik olmasına önem verilmelidir. Burada kastedilen simetri, sadece şekil bakımından olmayıp kitle ve rijitlikler bakımından da olmalıdır.

#### Madde: 30 - Yapıların statik hesap esasları:

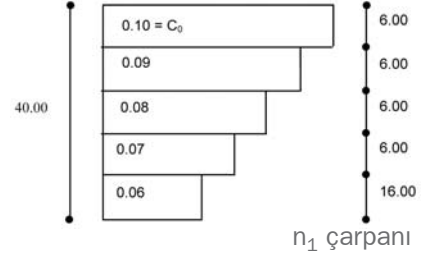
Yapılar normal düşey tesirlerden başka yatay deprem tesirlerine göre de tahkik edilirler. Yatay deprem tesirinin, yapının birbirine dik iki eksenini doğrultusunda tesir ettiği, fakat her iki doğrultuda aynı zamanda tesir etmediği kabul edilecektir.

Yapının herhangi bir parçasının:

$H = C (G + nP)$  formülü ile hesaplanacak yersarsıntısı kuvvetinin tesirlerine mukavemet etmesi lazımdır. Bu formülde:

A) C deprem kat sayısıdır.

$$C = C_0 n_1 n_2$$



$C_0$  40.00 m.'den sonra her 3.00 m.'de 0.01 kadar artırılır.

ZEMİN CİNSİ	Yapı Tipi	
	ÇELİK	B.A.
I	0.6	0.8
II	0.8	0.9
III	1.0	1.0

Zemin cinsleri:

- I) Sert ve yekpare kayalık zeminler
- II) Kum, çakıl, sert kumlu kil gibi sağlam ve sıkışık zeminler, çatlaklı ve kolayca tabakalara ayrılan kayalar
- III) Yukarıdaki sağlam zeminler haricindeki daha az sağlam bilimum zeminler

Yersarsıntısı bölgeleri	$n_2$ çarpanı
1. derece	1.0
2. derece	0.6

ÖRNEK: İstanbul'da, (II) sınıfı zemine oturan 5 katlı betonarme bir bina için deprem katsayısı hesabı:

$$C_0 = 0.06$$

$$n_1 = 0.9$$

$$n_2 = 0.6 \text{ (İstanbul, 1996'ya kadar 2. derece deprem bölgesinde idi)}$$

$$C = C_0 n_1 n_2 = 0.06 \times 0.9 \times 0.6 = 0.0324$$

(Emniyet gerilmeleri artışı: %50)

**Bu değer bir önceki 1953 yönetmeliğine göre %60'ın üstünde bir artışı ifade etmektedir.**

1953 yönetmeliğine göre  $C = 0.02$ 'dir.

Eşdeğer deprem yükleri, bu katsayının ile ilgili eleman (yapı parçası) ağırlıkları çarpılması ile bulunmaktadır (Deprem yüklerinin üniform dağılımı).



B) n hareketli yük emsali

a) Sinema, tiyatro, otel, kahvehane, fabrika gibi umumi toplantı ve iş yeri olarak kullanılacak yapılarda: n = 1

b) Diğer yapılarda: n = 1/2

C) G, parçaya, kendi sikleti dahil, tesir eden ölü yüklerin toplamıdır. P, parçaya tesir eden hareketli yüklerin toplamıdır.

D) Yapının depreme karşı hesabında ya tam rüzgarın yarı şiddetinde bir kuvvetin aynı zamanda yapıya tesir ettiği kabul edilecek veya deprem kuvveti yerine tam rüzgar şiddetindeki bir kuvvetin tesiri nazarı itibare alınacaktır. Nihai hesap bu iki yükleme tarzından hangisi daha gayrimüsaait tesirler doğurmuşsa ona göre yapılacaktır.

Malzeme emniyet gerilmeleri deprem hesabında %50 arttırılır.

Emniyet gerilmeleri depremlidurumda %50 arttırıldığından, depremin elverişsiz durum yaratıp yaratmadığını kolayca anlayabilmek için, depremlidurumda kombinasyondaki iç kuvvetler toplanıp 1.50'ye bölünürdü. Bunu sadece düşey yük etkileri ile karşılaştırılınca çoğu kez şu sonuca varıldı:

$$\frac{[M_{düşey} + (1/2) M_{rüzgar} + M_{deprem}]}{1.5} < M_{düşey}$$

**“Deprem durumu daha gayrimüsaait (elverişsiz) değildir.”**

Deprem etkileri bu denli küçük olunca yukarıdaki sonucun oluşması sürpriz sayılmamalıdır. Ama işin güzel tarafı, bazı mühendisler aynı sonucu başka bir biçimde de ifade ederlerdi:

**“Deprem durumu daha müsaittir (elverişlidir)”**

Aristo mantığı çerçevesinde bu işte bir yanlışlık yoktur!

## 1968 DEPREM YÖNETMELİĞİ

1968 deprem yönetmeliği, daha önceki yönetmeliklere göre önemli farkları olan bir yönetmeliktir. Minimum kolon ve giriş boyutları, sargı donatısı, bina dinamik özellikleri, bina önem katsayısı, deprem kuvvetlerinin ters üçgen şeklinde dağılımı, bu yönetmelikle getirilen yeniliklerdir. Ancak deprem katsayıları yine çok küçüktür (Aşağıda gösterileceği üzere, İstanbul'da 5 katlı bir bina için katsayı 0.04'dür). Deprem tehlikesi haritası bugünkünden çok farklıdır. İstanbul'un tümü ikinci derece deprem bölgesindedir. Bu yönetmelikle İstanbul'da sariçinde, Gayrettepe - Etiler ekseninde ve Anadolu yakasında onbinlerce binanın yapıldığını biliyoruz.

Düktilite (süneklik) diye bir kavramdan Üniversite eğitiminde söz edilirdi, ama 1975 yönetmeliğine kadar günlük hayatta bu kavramı uyguladığımız yoktu. Öte yandan, 1968 (hatta 1975) Yönetmeliği'nde, “*kapasite tasarımı ilkeleri*” gibi kurallar bulunmadığından, bugün yaptığımızın tamamen tersini yaptığımızı gayet iyi hatırlıyorum: Kolonları girişlerden daha zayıf yapardık! Böylece kolonların hem daha elastik(?), hem de sünek(?) olduklarını düşünürdük. 1960'lı yılların sonunda soğuk çekme St III-b kalitesinde yüksek dayanımlı nervürlü çelikler piyasaya çıktığında, gevrek (kırılgan) olduğunu öğrendiğimiz bu çelikleri, süneklik aramadığımız girişlerde kullanır, “sünek” olmasını istediğimiz kolonlarda ise, daha sünek davrandığını bildiğimiz, daha düşük dayanımlı St I kalitesinde düz demir kullanırdık. Nervürlü demirlerin adersanı arttırdığının pek bilincinde değildik. Ama diyeceksiniz ki beton mu vardı adersanı sağlayacak? Adersan konusunun 1992 Erzincan ve 1999 Marmara depremlerinde ne denli etkili olduğu maalesef pek araştırılmış değildir. Gevrek St III-b çeliklerini yıllarca kullandık, daha

sonra sıcak çekme olanlar da çıktı (St III-a) ama karbon içeriklerine özen gösterilmediğinden ve denetim yapılmadığından, bunlar da işe yaramadı. Sorunu hala yaşıyoruz. Özellikle İstanbul'da 1970'lerin furyasında kullanılan St III-b'lerin olası bir depremde davranışı acaba ne olur?

## AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK (1968)

### ALTINCI BÖLÜM

#### Deprem afetinden korunma

#### BETONARME YAPILAR

##### 5 - TAŞIYICI ELEMANLAR

a) Kolonlar: Bodrum katından başlayarak yukarıya doğru, birbirinin üstüne gelecek şekilde düzenlenecektir. Bütün kolonlar, planda mümkün olduğu kadar her iki doğrultuda bir doğru üzerine getirilmelidir.

b) Düşüm noktaları civarında kolon ve girişlerin etriye aralığı, bu elemanların ortasındaki etriye aralığının yarısı kadar olacak ve kolon yüzünden başlayarak açıklığa doğru giriş yüksekliği kadar devam edecektir. Kolonlara ait etriyeler kat girişleri içinde de devam edecektir.

Sargı donatısı ile ilgili yönetmeliklerdeki ilk hüküm budur. Ancak minimum donatı tanımlanmamıştır. O nedenle mühendisler bu yönetmelik hükmüne

#### “etriye sıklaştırması”

adını vermişlerdir. Ancak mühendislerin bu konunun ciddiyetinin farkında olduklarını söylemek güçtür. Etriye sıklaştırması detayı (en azından İstanbul pratiğinde) ozalitçilerin proje sonuna ekledikleri bir standart detaydan ibaretti.

c) Kolonların en küçük kenarı 24 cm. den ve kat yüksekliğinin 1/20 sinden daha az olamaz.

d) Kolonlarda, hatıllar ve bağlantı kirişleri için gerekli teçhizat kadar aderans boyunda filiz bırakılacaktır.

## 6 - PERDELER

Betonarme perde duvarlarının kalınlığı en az 20 cm ve kat yüksekliğinin 1/25 inden az olamaz. Bu perde duvarlarında kullanılacak teçhizat, yatay ve düşey yönde ve ayrı ayrı her iki yüzde beton kesitinin binde ikibuçüğundan az olamaz. Demir aralıkları perde kalınlığından fazla olamaz.

## 8 - KİRİŞLER

a) Kirişler en az 15 x 30 cm kesitinde olacak ve yükseklikleri kendilerine bağlantılı plak döşeme kalınlığının üç katından fazla olacaktır.

Bundan önceki 1961 yönetmeliğinde kirişler için minimum boyut koşulu bulunmadığından, o dönemde **İstanbul'da genişliği 10 cm olan kiriş yapımı oldukça yaygındı.** Mimarlar, kirişleri yarım tuğla duvarların üstünde saklamayı, şimdi de yaptıkları gibi, pek severlerdi.

b) Kirişlerin teçhizat yüzdesi, boyuna doğrultuda en az binde ikibuçük olacaktır. Bundan başka gerekli etriye teçhizatı konacaktır.

c) Kolon birleşimlerinde gusse yapılması faydalı olacaktır.

## SEKİZİNCİ BÖLÜM

### Depreme dayanıklı binalar için hesap esasları

#### Madde 16 -

a.1. Genel: Bu bölümde verilen yanal kuvvet hesap esasları, deprem bölgeleri üzerinde inşa edilecek bi-

naları, depremden meydana gelen kuvvetlere dayanıklı kılınak amacıyla ileri sürülen minimum değerleri verir. Bu kısımdaki değerler, her binanın bütününe tatbik edildiği gibi binayı teşkil eden çerçeveler, duvarlar, döşemeler, bacalar ve depolar gibi diğer bütün yapı kısımları ona da uygulanır.

Bu uygulamada yapıda meydana gelen tesirler, binaların döşemeleri seviyesinde tatbik edilen yatay kuvvetlere göre hesaplanır.

Yanal kuvvetlerin binanın birbirine dik iki esas eksenini doğrultusunda tesir ettiği, fakat her iki doğrultuda aynı zamanda tesir etmediği kabul edilecektir.

Bu bölümde verilen esaslara uymayan binaların veya diğer yapıların depreme karşı hesaplanmasında, şimdilik benzer esaslar ve teorik metodlar veya deneysel sonuçlar uygulanacaktır.

a.2. Binaları etkileyen deprem kuvvetleri:

Her bina aşağıdaki formülde verilen ve esas eksenleri boyunca etkileyen yanal kuvvetlere dayanabilecek şekilde hesap edilecektir. Depremden dolayı binaya aktarılan toplam deprem kuvveti (F) (Bina temel taban seviyesinde meydana gelen kesme kuvveti)

$$F = C W$$

formülü ile hesaplanır. Burada

$$W = \sum W_i$$

W = Toplam bina ağırlığı olup  $W_i$  a.2.6 kısmında gösterilmiştir.

C = Deprem katsayısıdır ve

$C = C_0 \alpha \beta \gamma$  ile ifade edilir.

Diğer katsayılar aşağıdaki şekilde adlandırılır.

$C_0$  = Deprem bölge katsayısı

$\alpha$  = Deprem zemin katsayısı

$\beta$  = Bina önem katsayısı

$\gamma$  = Bina dinamik katsayısı

a.2.1 -  $C_0$  (Deprem bölge katsayısı) **Tablo 1**'de verilmiştir.

**TABLO: 1**

Deprem bölgesi	$C_0$
1	0.06
2	0.04
3	0.02

Bu tablodaki değerler bölgelere göre en küçük deprem kat sayısını gösterir.

a.2.2 -  $\alpha$  Zemin katsayısı aşağıdaki **Tablo 2**'de verilmiştir.

a.2.3 -  $\beta$  Bina önem katsayısı **Tablo 3**'de verilmiştir.

a.2.4 -  $\gamma$  Dinamik katsayısı

Binada meydana gelen deprem kuvvetlerinin bağlı olduğu önemli faktörlerden biri olan bina temel periyodu (en uzun periyod) T'ye aşağıdaki şekilde bağlı bir formül ile verilir.

**TABLO: 2**

Zemin cinsleri	$\alpha$
1 - Sert ve yekpare kayalık zeminler	0.80
2 - Kum, çakıl, sert kumlu kil gibi sağlam ve sıkışık zeminler, çatlak ve kolayca tabakalara ayrılan kayalar	1.00
3 - Suyu havi gevşek ve yukarıdaki sağlam zeminler haricindeki daha az sağlam bilimum zeminler	1.20

TABLO: 3

	$\beta$
- Bir deprem süresince veya hemen sonra kullanılması zaruri binalar (PTT binaları, itfaiye binaları, kuvvet santralleri, radyo evi, pompa istasyonları, hastaneler gibi) - Önemli veya değerli malları saklayan binalar (Müzeler gibi) - Halkın çok yığıldığı binalar (Mektepler, stadyumlar, tiyatrolar, sinemalar, ibadet mahalleri, tren istasyonları gibi)	1.50
- Halkın az yığıldığı binalar (Özel ikametgah, apartmanlar, oteller, iş yerleri, lokantalar, sanayi binaları gibi)	1.00

$T \leq 0.5$  saniye için  $\gamma = 1$

$T > 0.5$  saniye için  $\gamma = \frac{0.5}{T}$

Bu şekilde hesaplanan  $\gamma$  değeri hiç bir zaman 0.3'den küçük olmayacaktır.

İlginç olan husus, günümüzün modern yönetmeliklerinde de ivme spektrumlarının (1/T) ile orantılı olarak azalmasıdır.

#### a.2.5 - Periyod hesabı:

DeneySEL veya güvenilir teknik done- lere göre hesabı yapılmadıkça bina temel periyodu:

$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}}$  (saniye) formülü ile hesaplanacaktır.

H = Binanın temel tabanından olan yüksekliği(m)'dir.

D = Binayı etkileyen yanal kuvvetlerin doğrultusuna paralel doğrultuda bina genişliği(m)'dir.

a.2.6 - Toplam deprem yanal kuvvetinin hesabında gözönüne alınacak kat ağırlığı,

$$W_i = G_i + n_i P_i$$

Formülü ile bulunacaktır.

$G_i$  = i'inci kattaki zati yükler toplamı  
 $P_i$  = i'inci kattaki hareketli yükler toplamı  
 $n_i$  = i'inci kattaki hareketli yük kat sayısıdır.

$n_i$  hareketli yük kat sayısı:

- Sinema, tiyatro, okul, stadyum, depo ve antrepo gibi binalarda  $n_i = 1$   
- Sağlık yapıları, idare yapıları, otel, apartman ve ikametgah gibi yapılarda  $n_i = 0.5$

a.2.7 - Deprem kuvvetleri ile rüzgar yükünün yapıya aynı zamanda tesir etmediği kabul edilecek ve herhangi bir yapı elemanı için hesaplarda, deprem veya rüzgardan gayrimüsaait olanı gözönünde tutulacaktır.

ÖRNEK: İstanbul'da, 2. sınıf zemine oturan 5 katlı betonarme bir konut binası için deprem katsayısı hesabı (H = 15 m, D = 20 m):

$C_0 = 0.04$  (İstanbul, 1996'ya kadar 2. derece deprem bölgesinde idi)

$\alpha = 1.0$

$\beta = 1.0$

$T = 0.09 \times 15 / \sqrt{20} = 0.3$  saniye  $\rightarrow \gamma = 1.0$

$C = C_0 \alpha \beta \gamma = 0.04 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 0.04$

**1961 yönetmeliğine göre deprem latsayısında %23'lük bir artış olmuştur.** (Emniyet gerilmeleri artışı: %50)

a.3. Toplam yanal kuvvet F bina yüksekliğince aşağıdaki formüle göre dağıtılabılır.

$$F_i = F \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

Burada,

$F_i$  = i'inci kata gelen yanal kuvvet

$W_i$  = i'inci katın ağırlığını

$h_i$  = i'inci katın bina temel

tabanından yüksekliğini gösterir.

Bu dağılım ilk kez 1968 yönetmeliğinde tanımlanmıştır.

#### a.4 - Emniyet gerilmeleri:

Deprem hesabında beton ve çelik emniyet gerilmeleri en fazla %50 arttırılacaktır.

Deprem halinde a.2.2. maddesinde verilen zemin cinslerine göre zemin emniyet gerilmeleri:

1'inci sınıf zeminlerde %50, 2'nci sınıf zeminlerde ise %30 kadar arttırılabilir. 3'üncü sınıf zeminlerde zemin emniyet gerilmesi arttırılmayacaktır.

a.5 - İstinat duvarları veya toprak içi perdelerine gelen toprak dafiası hesabında iç sürtünme açısı 1'inci derece deprem bölgelerinde (6) derece, 2'nci ve 3'üncü derece deprem bölgelerinde (4) derece azaltılır.

a.6 - Binalara bağlı veya binalardan ayrı korkuluk duvarları, portafo aksam veya balkonlar, cephe süsleri ve bacaların hesabında deprem katsayısı en gayrimüsaait istikamette olmak üzere bina için hesaplanan değerinin üç misline eşit alınacaktır.

#### a.7 - Yatay burulma momenti:

Planda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki ( $e_i$ ) eksantrikliği o kattaki en büyük bina boyutunun %5'inden büyük olduğu hallerde kesme kuvvetlerinde burulmadan meydana gelen

artışların nazarı itibara alınması zorunludur.

Burulma hesabı statik olarak yapılabilir.

## 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİ

1975 deprem yönetmeliğinin 1968'e göre en önemli farkları, kolon, kiriş ve perdeler için konstrüktif esasların, minimum boyut ve donatı koşullarının daha ayrıntılı olarak tanımlanması, sargı donatısının minimum değerlerinin verilmesi, kolon-kiriş birleşim bölgesinde kayma tahkiki yapılması gibi hususlardır. Deprem katsayısının tanımında yer alan dinamik katsayının formu değiştirilmiş, zemin hakim periyodu katsayı hesabına dahil edilmiştir. Deprem katsayısında 1968'e göre %50 civarında artış vardır. Emniyet gerilmelerindeki artış %50'den %33'e indirilmiştir. Yönetmelik'te 1972 tarihli deprem bölgeleri haritası kullanılmaktadır. Bu harita 1996'ya kadar değişmemiştir.

1975 yönetmeliği düktilite (süneklik) kavramından söz ediyordu, ama bunun ne olduğu (sargı donatısı dışında) yönetmelikten anlaşılamıyordu. **Tablo 13.4'**te düktil (sünek) çerçeveler ile arasında düktil olmayan (gevrek) çerçevelerin  $K$  katsayıları arasında önemli fark olmasına rağmen düktilitenin (sünekliğin) sınırları açık ve seçik tanımlanmadığından, hemen herkes sünek çerçeveler için tanımlanan  $K$  katsayılarını kullanmıştır.

İlginçtir ki, sargı donatısı ile ilgili 1997 yönetmeliğinde ne varsa, 1975 yönetmeliğinde de o vardır. Bu gelişmeye rağmen ve kolonlar için sargı donatısının gerekçesi çok açık bir biçimde açıklanmış iken (*Madde 6.6.5.1: Her kolonun alt ve üst uçlarında, betonun sıkıca çemberlenmesini sağlamak ve böylece normal, kayma ve eğilme gerilmeleri altında gevrek bir şekilde, aniden kırılmasını önlemek amacıyla*

*la kolon sarılma bölgeleri bulunacaktır.*), 1968'de olduğu gibi, 1975'ten de mühendisin aklında kalan "etriye sıklaştırması" denilen slogandan başkası olamadı. 135 derecelik kanca 1975 yönetmeliğinde de açıkça tanımlanmıştır, ancak mühendis bu kancanın 1997 (1998) yönetmeliğinde çizilmiş ayrıntılı şeklini (**Şekil 7.1**) görmeden önce bu kancanın ne olduğunun farkına varamamıştır. O nedenle 135 derece kanca uygulamada hemen hemen hiç yapılmamıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin içinde kolondaki etriyelerin devam edeceği 1975 yönetmeliğinde de yazılıdır, ama aynı şeyi 1997 (1998) yönetmeliğini gören mühendisler, ilk başta bunun fiziksel olarak mümkün olamayacağını iddia edip uzun süre yapmaktan direnmişlerdir. Ozalitçilerin standart kolon-kiriş birleşim bölgesi detayı (rögar bağlantısı detayı ile birlikte) projelerin sonuna eklenmeye devam etmiştir.

1975 yönetmeliğinin sünek sistem tanımındaki en büyük eksikliği, bu yönetmeliğin hazırlandığı 1970'lerin ilk yarısında tam olarak formüle edilmemiş bulunan "kapasite tasarımı ilkeleri"dir (Bkz. Paulay ve Priestley, 1992). Model yönetmelikler kapsamında bu ilkeler ilk kez ATC 3-06 (1978)'de ve daha sonra CEB Model Yönetmeliği'nde (1985) ve UBC (1988)'de yer almıştır. Bu ilkeler, bilindiği gibi,

a) eğilme etkisi altında plastik deformasyon yapacak kesitlerin (plastik mafsalların) önceden belirlenmesi,  
b) taşıyıcı sistem elemanlarının buna göre boyutlandırılması (güçlü kolon - zayıf kiriş düzenlemesi),  
c) gevrek davranış modlarına ait etkilerin (kesme etkileri) plastik mafsalların eğilme kapasiteleri ile uyumlu bir biçimde belirlenmesi (kapasite korumalı etkiler - capacity protected actions) şeklinde özetlenebilir. (Bkz. bu konferansta Prof. Dr. Erkan Özer'in

sunuşu).

1997 Yönetmeliği, çok geç kalmış bir yönetmeliktir (Deprem bölgeleri haritası da ancak 1996'da değiştirilebilmiştir). Yönetmeliğin gecikmesinde, bu işle uğraşma durumunda olan herkesin (bu satırların yazarı da dahil olmak üzere) kusuru vardır. Gerçi Amerikalı'lar da ATC 3-06 prensiplerini 10 yıl geçtikten sonra ancak 1988'de hayata geçirmişlerdir, ama biz onun üzerine de bir 10 yıl daha bekledik.

1985'lerden sonra Türkiye'de hızla giderek artan kentleşme sürecinde yüzbinlerce bina 1975 yönetmeliği ile yapıldı. Depremlerdeki yıkımlardan sadece yönetmelikleri sorumlu tutmak tam anlamı ile doğru bir yaklaşım değildir. Ancak sonuç ortadadır: Kalite kontrolünün genellikle hiç uygulanmadığı bu dönemde 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde binlerce bina yıkıldı veya ağır hasar gördü.

## AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK (1975)

### 13.4. Toplam yatay yük hesabı

$$F = C W$$

$$C = C_0 K S I$$

$C$  = Deprem katsayısı

$C_0$  = Deprem bölge katsayısı

$K$  = Yapı tipi katsayısı

$S$  = Yapı dinamik katsayısı (Spektrum katsayısı)

$I$  = Bina önem katsayısı

**TABLO 13.2-Deprem Bölge Katsayısı**

Deprem bölgesi	$C_0$
1	0.10
2	0.08
3	0.06
4	0.03

Yapı tipi katsayısı,  $K$ , **Tablo 13.3'**de verilmiştir.

Yapı dinamik katsayısı (Spektrum katsayısı)



$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|}$$

T = Saniye cinsinden yapının birinci normal moduna ait doğal periyodu  
 T<sub>0</sub> = Zemin hakim periyodu

Bu formülden bulunan S değeri maksimum 1.0 alınır.

Not: Bir ya da iki katlı her türlü yapıda, S = 1 ve yapı tipi katsayısı için minimum 1.0 alınır. Yığma binalarda S = 1 alınacaktır.

Güvenilir varsayımlara dayanan denetsel ya da teorik ilkelere göre hesabı yapılmadıkça S katsayısının hesabında kullanılacak bina doğal periyodu T için

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \text{ (saniye)}$$

ya da T = (0.07 - 0.1) N

yaklaşık denklemlerinden bulunan T değerinin elverişsiz olanı alınır. Burada H = Binanın temel üst kottundan ölçülen yüksekliği (m), D = Yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki bina genişliği (m) ve N = Bina temel düzeyi üstündeki kat adedidir.

C deprem katsayısı hiçbir zaman C<sub>0</sub> / 2'den daha küçük alınmayacaktır.

Toplam yatay yük hesaplanmasında kullanılacak olan W toplam yapı ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N W_i$$

olup W<sub>i</sub> kat ağırlığı

$$W_i = G_i + n_i P_i$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada G<sub>i</sub> i inci kattaki sabit yükler toplamı, P<sub>i</sub> i inci kattaki hareketli yükler toplamıdır. Hareketli yük katsayısı n, **Tablo 13.6**'da verilmiştir.

**TABLO 13.3 - Yapı Tipi Katsayısı**

Yapı Tipi	K
Aşağıda tanımı ayrıca yapılmamış tüm yaşayıcı sistemler	1.00
Tüm perde duvarlı kutu sistemler	1.33
Çerçeveleri yatay yüklerin tamamını taşıyabilen çerçeve taşıyıcı sistemler (Dolgu duvarı tipleri a, b ve c için dip nota bakınız)	
1. Düktil çerçeveler (çelik veya betonarme)	a) 0.60 b) 0.80 c) 1.00
2. Düktil olmayan çerçeveler	a) 1.20 b) 1.50 c) 1.50
3. Diyagonal çelik kafes çerçeveler	a) 1.20 b) 1.50 c) 1.60
Düktil çerçeveleri ile yatay yüklerin en az %25'ini taşıyabilen perde duvarlı sistemler	a) 0.80 b) 1.00 c) 1.20
Yığma binalar	1.50
Bağımsız zemin üstü hazneleri (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C = 0.30)	3.00
Binalardan başka yapılar, bacalar, kuleler (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C = 0.30)	2.00
Notlar: 1. Düktil çerçevelerin tanımı için Bölüm 6.2'ye bakınız. 2. Dolgu duvarı tipleri: a) Betonarme ya da yatay ve düşey donatılı yığma bölme duvarlı b) Donatısız yığma bölme duvarlı c) Hafif ve az bölme duvarlı ya da prefabrike beton bölme duvarlı	

**TABLO 13.4 - Zemin Hakim Periyodu**

Zemin cinsi		T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub>
		Zemin Hakim Periyodu (sn)	Ortalama (sn)
I	a	0.20	0.25
	b	0.25	
	c	0.30	
II	a	0.35	0.42
	b	0.40	
	c	0.50	
III	a	0.55	0.60
	b	0.60	
	c	0.65	
IV	a	0.70	0.90
	b	0.80	
	c	0.90	

TABLO 13.5 - Yapı Önem Katsayısı

Yapı Cinsi	I
a) Bir deprem süresince ya da hemen sonra kullanılması zorunlu yapılar (PTT, itfaiye ve radyoevi binaları, kuvvet santralleri, pompa istasyonları, hastaneler, istasyon ve terminaller, rafineriler v.b.)	1.50
b) Önemli ve değerli malları saklayan yapılar (müzeler v.b.)	1.50
c) Halkın çok yığıldığı yapılar (Okullar, spor tesisleri, tiyatrolar, sinema ve konser salonları, ibadet mahalleri, v.b.)	1.50
d) Halkın az yığıldığı yapılar (Özel konutlar, oteller, iş yerleri, lokantalar, endüstri yapıları, v.b.)	1.00

ÖRNEK: İstanbul'da, 2. sınıf zemine oturan 5 katlı betonarme bir konut binası için deprem katsayısı hesabı  
(H = 15 m., D = 20 m):  
 $C_0 = 0.08$   
(İstanbul, 1996'ya kadar 2. derece deprem bölgesinde idi)  
 $K = 0.8$  (düktil çerçeve)  
 $I = 1.0$   
 $T = 0.09 \times 15 / \sqrt{20} = 0.3$  saniye  
Zemin cinsi II,b  $\rightarrow T_0 = 0.4$  saniye  
 $S = 1 / (0.8 + 0.3 - 0.4) = 1.43 \rightarrow S = 1.0$   
 $C = C_0 K S I = 0.08 \times 0.8 \times 1.0 \times 1.0 = 0.064$   
(Emniyet gerilmeleri artışı: %33)  
Bu değer 1968 yönetmeliğine göre %60 artışa karşı gelmektedir.  
Ayrıca emniyet gerilmeleri artışı %50'den %33'e indirilmiştir.

TABLO 13.6 - Hareketli Yük Katsayısı

Yapı Cinsi	n
Depolar, antrepolar v.b.	0.80
Okullar, öğrenci yurtları, spor tesisleri, sinema ve konser salonları, tiyatrolar, garaj, lokanta, mağaza vb.	0.60
Özel konutlar, oteller, hastaneler, iş yerleri v.b.	0.30

### 13.5 - Yatay yükün yükseklik boyunca dağıtılması

Yapının kat düzeylerine uygulanacak  $F_1$  yatay kuvvetleri

$$F_1 = (F - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

denklemler ile hesaplanacaktır. Burada  $F$  = toplam yatay yük,  $W_i$  =  $i$  inci kat ağırlığı,  $h_i$  =  $i$  inci katın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği,  $F_t$  = Yapının en üst kat düzeyine uygu-

lanacak münferit kuvvettir.  $F_t$  kuvvetinin değeri

$$F_t = 0.004 F \left( \frac{H}{D} \right)^2$$

denklemler ile hesaplanacaktır.

Not: 1)  $F_t$  hiç bir zaman 0.15  $F$ 'den büyük olamaz.

$$2) \frac{H}{D} \leq 3 \text{ olması halinde } F_t = 0 \text{ alınabilir.}$$

Baca, kule, v.b. yapılarda yapı yükseklığı yeter sayıda parçalara ayrılarak yukarıdaki denklemler kullanılabilir.

### 13.6 - Yatay burulma momenti

Binalar, her iki doğrultuda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında hesapla bulunan eksantrikliğe, yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük bina boyutunun %5'i eklenecek bulunacak burulma momentlerine göre irdelenecektir.

### 13.7 - Yapı çıkıntıları

Korkuluk duvarları, bacalar, konsol ve balkonlar gibi yapı çıkıntılarında depremlerden meydana gelen etkiler ayrıca hesaplanacaktır. Bu hesapta yapının tümü için hesaplanan  $C$  katsayısının 3 katı alınacak ve  $F$  yükünün, çıkıntının ağırlık merkezine elverişsiz doğrultuda etki ettiği varsayılacaktır.

### 13.8 - Emniyet gerilmeleri

Depremle ilgili kesit hesaplarında beton ve çelik emniyet gerilmeleri en fazla %33 kadar artırılabilir. Betonarme yapılarda aderans gerilmeleri artırılmaz.

Deprem etkilerinin gözönüne alınması halinde, zemin emniyet gerilmeleri I'inci, II'nci ve III'üncü sınıf zeminlerde %33 kadar artırılabilir. IV'üncü sınıf zeminlerde zemin emniyet gerilmeleri artırılmayacaktır. IV'üncü sınıf zeminler üzerine yapılan temellerde beton ve çelik emniyet gerilmeleri artırılmaz.

### DEPREM TASARIMI YAKLAŞIMINDA KİLOMETRE TAŞLARI

#### Kilometre Taşı 1: ATC 3 - 06 Model Yönetmeliği (1978)

1971'de California'da Los Angeles'ın kuzeyindeki San Fernando Vadi-

si'nde meydana gelen San Fernando Depremi'nin yarattığı büyük hasar ve mühendislik camiasında yarattığı şok, deprem mühendisliğinin son 40 yıldaki gelişiminde önemli derecede rol oynamıştır.

Deprem sonrasında, 1959'dan beri Mavi Kitaplar'ı (Blue Books) hazırlayarak California'da ve dolaylı olarak tüm dünyada (Türkiye dahil) deprem yönetmeliklerine model oluşturan SEAOC (Structural Engineers Association of California), depreme dayanlı tasarım konusunun geniş kapsamlı projelerle ele alınmasını sağlamak ve bu amaçla eyalet ve federal yönetimlerden fon sağlayabilmek üzere 1973 yılında Applied Technology Council'ı (ATC) kurdu. Bugüne kadar deprem mühendisliğinin gelişmesi doğrultusunda pek çok projeye imza atan ve halen de çalışmalarına yoğun biçimde devam eden ATC'nin ilk önemli çalışması ATC 3 - 06 projesi olarak bilinen ve 1978'de yayınlanan çalışmadır: *Applied Technology Council (1978), "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings", ATC Publication ATC 3 - 06.*

ATC 3 - 06 dökümanı, bugünkü tüm modern deprem yönetmeliklerinde ve bu arada ABYYHY (1997,1998) ve DBYBHY (2006, 2007)'de yer alan aşağıdaki temel konuları, ilk kez sistematik bir biçimde kapsayan bir "model yönetmelik"tir. Bu tarihsel döküman, deprem mühendisliğini radikal bir biçimde değiştirdi ve büyük ölçüde "sezgisel (intuitive)" olarak geliştirilen pek çok kavramı açık-seçik, nicel tanımlara kavuşturdu.

\* Bu çerçevede öncelikle deprem tehlikesi olasılıksal bir temele oturularak tanımlandı (bunun teorik bazı A. Cornell tarafından 1968'de oluşturulmuştu - Cornell, 1968). Bu bağlamda davranış spektrumu ilk kez maksimum değeri birim değer olarak ayarlanan göreceli (rölatif) bir büyüklük olarak değil, belirli

bir dönüş periyoduna göre (veya belirli bir süre içinde aşılma olasılığı için) gerçekçi büyüklükte spektrum parametreleri ile yeniden tanımlandı.

- Düzenli ve düzensiz sistemler sadece nitel değil, aynı zamanda nicel olarak tanımlandı.

- Tamamen itibari ve göreceli (rölatif) bazda tanımlanan Yapı Tipi Katsayıları (K) yerine taşıyıcı sistemdeki süneklik düzeyini çok daha tutarlı bir biçimde temsil eden Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları (R) tanımlandı.

- Daha önce sadece bilimsel bir yöntem imiş gibi bakılan Mod Birleştirme Yöntemi, uygulanmak üzere yönetmeliğe konuldu.

- Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi rasyonelleştirildi.

- Kapasite tasarımı ilkeleri açık-seçik biçimde yeniden tanımlandı.

- Göreli kat ötelemesi limitleri gerçekçi biçimde yeniden tanımlandı.

- ATC 3 - 06'nin benimsenmesi ve yönetmeliklere yansması hemen gerçekleşmedi. Bu arada Imperial Valley (1979) ve Mexico City (1985) depremleri meydana geldi. SEAOC Sismoloji Komitesi ATC 3 - 06'yı 1985'de kısmen kabul etti. Nihayet ATC 3 - 06 kuralları UBC - 1988'de emniyet gerilmeleri esasına göre kabul edildi (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları  $R_w$  olarak tanımlandı). Taşıma gücüne göre kabulü 1997'de oldu ( $R_w$ 'lerden  $R$ 'lere geçildi).

Türkiye'de de ATC 3 - 06'nin getirdiği yeniliklerin hayata geçirilmesi maalesef çok gecikmiş, ancak 1997 (1998) yönetmeliği ile gerçekleşmiştir.

### 1997 (1998) Türkiye Deprem Yönetmeliği: ABYYHY 1997 (1998)

1975 Yönetmeliğinin, deprem mühendisliğindeki gelişmeler çerçevesinde ülkenin ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığının düşünül-

düğü 1990'lı yılların başlarında meydana gelen Erzincan depreminin (1992) bina türü yapılarda meydana getirdiği ağır hasar, yönetmeliğin yenilenmesine yönelik çalışmaların yoğunlaşmasına neden oldu. 1993 yılında Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi (DMTMK) tarafından oluşturulan Yönetmelik Hazırlama Komisyonu, üç yıllık yoğun bir çalışma sonucunda, 1975 yönetmeliğine göre radikal değişiklikler içeren bir yönetmelik hazırlayarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na sundu. 1996'da geçici olarak yayınlanan yönetmelik 1997'de revize edildi ve bir yıllık geçiş süresinin ardından 1.1.1998'de uygulamaya konuldu.

1997 (1998) Yönetmeliği, getirdiği pek çok yenilikle özellikle betonarme binalar için 1975 yönetmeliğinin eksikliklerini giderdi ve depreme karşı tasarımı daha rasyonel bir çizgiye taşıdı. Yönetmeliğin getirdiği başlıca yenilikler, yukarıda ATC 3 - 06 için belirtilen yeniliklerle hemen hemen aynıdır. İlk kez elastik tasarım spektrumu, her bir deprem bölgesi için tanımlanan Etkin Yer İvmeleri cinsinden gerçekçi bir biçimde tanımlanmıştır. Bu spektruma göre hesaplanan doğrusal elastik eşdeğer deprem yükleri, daha sonra doğal titreşim periyoduna göre değişken olarak tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları'na bölünerek yüklerin azaltılmış değerleri elde edilmektedir. Ülkemizde en yaygın bina taşıyıcı sistemi olan betonarme taşıyıcı sistemler için 1997 (1998) Yönetmeliği'nin 7. Bölümü'nde tasarım kuralları, şekillerle de desteklenerek ayrıntılı bir biçimde verilmiştir. Bu bağlamda, sargı donatısı koşulları ve kapasite tasarımı ilkeleri Yönetmelik'te ilk kez eksiksiz olarak tanımlanmıştır. Yönetmeliğin çelik yapılarla ilgili 8. Bölümü benzer biçimde ayrıntılı olarak yazılmamış, bu eksiklik 2006 (2007) Yönetmeliği'nde giderilmiştir.

İlk yayınlandığında özellikle hesap kuralları ve betonarme sistemler bakımından pek çok uygulamacı mühendis ve hatta bilim insanı tarafından fazla ayrıntılı, karmaşık ve uygulaması zor bulunan ve yoğun biçimde eleştirilen 1997 (1998) Yönetmeliği'nin değeri, 1999 depremlerinden sonra gerçek anlamda anlaşılmiş ve giderek mühendislik ve bilim camialarında kabul görmüştür. 1999 depremlerinin hemen sonrasında İngilizce tercümesinin de tamamlanması ile Yönetmelik, uluslararası çevrelerde de tanınmaya başlanmış ve takdir görmüştür.

## AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK 1997 (1998)

### 5.1. AMAÇ VE GENEL İLKELER

**5.1.1** - Yönetmeliğin bu kısmının amacı, deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktır.

**5.1.2** - Bu Yönetmelikte depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olma-

yan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir.

**5.1.3** - Bu Yönetmelikte esas alınan tasarım depremi, yukarıda **5.1.2**'de tanımlanan şiddetli depreme karşı gelmektedir. **Bölüm 6, Tablo 6.3**'te tanımlanan Bina Önem Katsayısı  $I = 1$  olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur.

**5.1.4** - Bu Yönetmelikte belirtilen deprem bölgeleri, Bayındırlık ve İ-

1997 (1998) Yönetmeliğinde ilk kez deprem etkisi altında binalarda performans hedefleri tanımlanmış ve binaların depremde hasar görebileceği ilk kez açık-seçik olarak belirtilmiştir.

Bu yönetmelikle ilk kez tasarım depreminin olasılıksal bazda tanımı yapılmıştır. Tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanmıştır. Bu aşılma olasılığı, depremin dönüş periyodunun 475 yıl olmasına karşı gelmektedir.

kan Bakanlığı'nca hazırlanan ve Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlükte olan *Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*'ndaki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgeleridir.

### 6.4. ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN TANIMLANMASI: SPEKTRAL İVME KATSAYISI

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yerçekimi ivmesi  $g$ 'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$ , **Denk.(6.1)** ile verilmiştir.

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

#### 6.4.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı

**Denk.(6.1)**'de yer alan *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*,  $A_0$ , **Tablo 6.2**'de tanımlanmıştır.

**TABLO 6.2 - Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )**

Deprem bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

**TABLO 6.3 - Bina Önem Katsayısı (I)**

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<b>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</b> 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
<b>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</b> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<b>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<b>4. Diğer binalar</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0



### 6.4.2. Bina Önem Katsayısı

**Denk.(6.1)**'de yer alan *Bina Önem Katsayısı*, **I, Tablo 6.3**'te tanımlanmıştır.

### 6.4.3. Spektrum Katsayısı

**6.4.3.1 - Denk.(6.1)**'de yer alan *Spektrum Katsayısı*, **S(T)**, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu **T**'ye bağlı olarak **Denk.(6.2)** ile hesaplanacaktır (**Şekil 6.6**).

$$S(T) = 1 + 1.5 T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B)$$

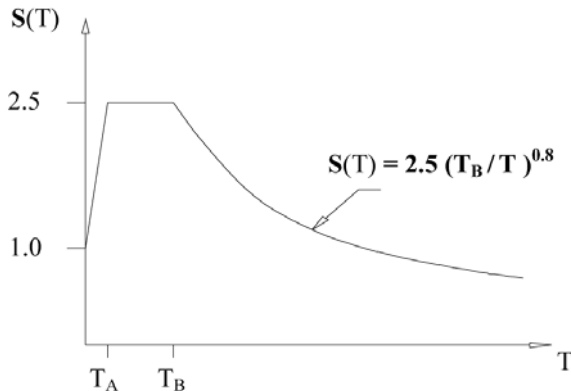
$$S(T) = 2.5 (T_B/T)^{0.8} \quad (T > T_B)$$

**Denk.(6.2)**'deki *Spektrum Karakteristik Periyotları*, **T<sub>A</sub>** ve **T<sub>B</sub>**, **Bölüm 12**'de **Tablo 12.2** ile tanımlanan *Yerel Zemin Sınıfları*'na bağlı olarak **Tablo 6.4**'te verilmiştir.

**TABLO 6.4 - Spektrum Karakteristik Periyotları (T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub>)**

Tablo 12.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T <sub>A</sub> (saniye)	T <sub>B</sub> (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

**6.4.3.2 - Bölüm 12**'de **12.2.1.2** ve **12.2.1.3**'te belirtilen koşulların



**Şekil 6.6**

yerine getirilmemesi durumunda, **Tablo 6.4**'te **Z4** yerel zemin sınıfı için tanımlanan spektrum karakteristik periyotları kullanılacaktır.

### 6.4.4. Özel Tasarım İvme Spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral katsayıları, tüm periyotlar için, **Tablo 6.4**'teki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak **Denk. (6.1)**'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.

### 6.5. ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN AZALTILMASI: DEPREM YÜKÜ AZALTMA KATSAYISI

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, **6.4**'te verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir.

*Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*, **R<sub>a</sub>(T)**, çeşitli taşıyıcı sistemler için aşağıdaki **Tablo 6.5**'te tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*,

**R**'ye ve doğal titreşim periyodu, **T**'ye bağlı olarak **Denk. (6.3)** ile belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

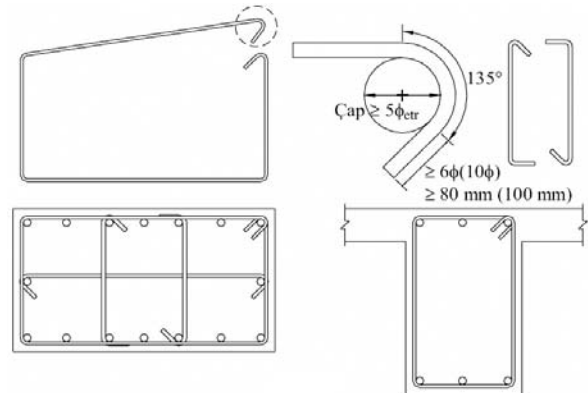
$$R_a(T) = R \quad (T > T_A)$$

1997 (1998) Yönetmeliği'nde ilk kez depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, elastik olarak tanımlanan deprem yüklerinin *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*'na bölünerek azaltılması öngörülmüştür. Böylece ATC 3 - 06 (1978) yaklaşımı Türkiye'de 20 yıl sonra yönetmeliğe girmiştir.

### 7.2.8. Özel Deprem Etriyeleri ve Çirozları

Bütün deprem bölgelerinde, süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan etriyeler *özel deprem etriyesi*, çirozlar ise *özel deprem çirozu* olarak düzenlenecektir. Özel deprem etriye ve çirozlarının sağlanması gerekli koşullar aşağıda verilmiştir:

**7.2.8.1 - Özel deprem etriyelerinin** her iki ucunda mutlaka 135 derece *kıvrımlı* kancalar bulunacaktır. Özel deprem çirozlarında ise bir uçta 90



**Şekil 7.1**

TABLO 6.5 - Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

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

derece kıvrımlı kanca yapılabilir. Bu durumda kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135 derece ve 90 derece olan çirozlar hem yatay hem de düşey doğrultuda birer atlayarak düzenlenecektir. 135 derece kıvrımlı kancalar,  $\emptyset$  enine donatı çapını göstermek üzere, en az  $5\emptyset$  çaplı daire etrafında bükülecektir. Kancaların boyu kıvrımdaki en son teğet noktasından itibaren, düz yüzeyli çubuklarda  $10\emptyset$  ve  $100$  mm'den, nervürlü çubuklarda ise  $6\emptyset$  ve  $80$  mm'den az olmayacaktır.

**7.2.8.2 - Özel deprem etriyeleri** boyuna donatıyı dıştan kavrayacak ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanacaktır. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı, etriyelerin çap ve aralığı ile aynı olacaktır. Çirozlar, her iki uçlarında mutlaka boyuna donatıları saracaktır. Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken oynamayacak biçimde sıkıca bağlanacaktır.

1975 Yönetmeliği'nde de yer almış olmasına karşın uygulamada ihmal edilen sargı donatısı konusu, 1997 (1998) Yönetmeliği'nde şekillerle desteklenerek ayrıntılı bir biçimde vurgulanmıştır. Sargı donatısı, uygulaması çok kolay ve ucuz olan, ancak betonarmenin davranışını muazzam oranda iyileştiren "sihirli bir araç"tır.

**Kilometre Taşı 2: Performansa Göre Değerlendirme ve Tasarım - Vision 2000 (1995), ATC - 40 (1996), FEMA 273, 274 (1997)**

1989'da bu kez kuzey California'ya önemli derecede etkileyen ve sadece binalarda değil, altyapı ve endüstri tesislerinde de yaygın hasara neden olan Loma Prieta (1989) depremi, California toplumunda, iş çevrelerinde ve genel olarak mühendislik çevrelerinde bu kez mevcut

yapı stoğunun deprem riski konusunu ve bu riskin olabildiğince gerçekçi bir biçimde tahmin edilebilmesi ihtiyacını gündeme getirdi. Bu ihtiyaç, bir süredir belirli bilim çevrelerinde esasen oluşturulmakta olan “yapıların deprem etkisi altında performans esaslı değerlendirilmesi” ve daha genel anlamda “Performansa Göre Tasarım (Performance-Based Design)” konusunun mühendislik boyutunu ön plana çıkardı. Bu konuda öncülüğü yine California’lı yapı mühendislerinin birliği olan SEAOC yaptı ve 1995’te Vision 2000 (SEAOC, 1995) adlı dökümanı yayınladı. Bunu 1996’da Applied Technology Council tarafından yayınlanan ve ATC 40 diye bilinen döküman (ATC, 1996) ve hemen aynı zamanda FEMA tarafından desteklenen Building Seismic Safety Council (BSSC) bünyesinde hazırlanarak yayınlanan ve FEMA 273 ve FEMA 274 olarak bilinen iki temel döküman (FEMA, 1997) izledi. Bu arada tam bir yıl ara ile, büyük bir rastlantı eseri olarak aynı günde (17 Ocak) meydana gelen Northridge (1994) ve Kobe (1995) depremlerinde oluşan yaygın bina ve altyapı hasarları, Performansa Göre Tasarım çalışmalarının daha bir ivme kazanmasına yol açtı.

Performansa Göre Değerlendirme ve Tasarım yaklaşımı, deprem mühendisliğinde kavramsal olarak büyük ve radikal bir değişimin ve gelişmenin göstergesidir. Bu yaklaşım, geleneksel “Dayanıma Göre Tasarım” a karşı bir tepkidir. Bilindiği gibi Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında, oldukça genel bir biçimde tanımlı yapılan yapı türlerinin (tiplerinin) her biri için bir “süneklik kapasitesi” varsayımı yapılır. Daha sonra süneklik - doğrusal elastik (lineer) dayanım - doğrusal olmayan (non-linear) dayanım arasındaki ilişkilere yararlanılarak, başlangıçta doğrusal elastik olarak tanımlanan eşdeğer deprem yükleri bir şekilde azaltılır. Bu amaçla, süneklik kapa-

site bağlı olarak tahmin edilen ve 1997 (1998) yönetmeliğinde de tanımlanmış bulunan Deprem Yükü Azaltma Katsayıları’ndan yararlanır. Yapı malzemeleri üretimi ve yapı tasarımı yönetmeliklerinde (TS 500 vb) esas alınan güvenlik faktörleri, bu katsayıların içine gizlenmiş biçimde amprik “Fazla Dayanım Katsayısı (Overstrength Factor)” olarak hesaba katılırlar.

Geleneksel Dayanıma Göre Tasarım, teorik bakımdan dayandığı çok sayıda kabule ve uyguladığı doğrusal elastik analiz yaklaşımına rağmen, Thomas Paulay’nin deprem mühendisliği pratiğine hediye ettiği “kapasite tasarımı ilkeleri” sayesinde, gerçekten depreme dayanıklı binalar yapmamızı sağladı. Ancak, yine de bu tasarım yaklaşımı kapalı, “reçete” usulü bir yaklaşımdır. Mühendis, depremde binasının non-linear deformasyona yapacağına, hasar göreceğinin farkındadır, ancak hasarı nicel olarak bilememekte, sayısal olarak hesaplayamamaktadır. Mühendise bir yük verilmekte, bunun etkisi altında kesitlerini tahkik etmesi istenmekte, ayrıca birtakım tasarım kurallarına aynen uyması istenmektedir. Yeni binaların tasarımında mühendis alışıkça pek de sorun çıkarmayan bu yaklaşım, eski yönetmeliklere göre tasarlanmış mevcut binaların değerlendirilmesi söz konusu olduğunda mühendisin elini kolunu bağlamakta ve genel olarak güvenli yönde karar almaya, muhafazakar davranmaya itmektedir.

Performansa Göre Tasarım yaklaşımında ise, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemantasyonunda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. *Kabul edilebilir hasar limitleri*, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen *performans hedefleri* ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Ele-

man düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana non-linear deformasyonlara karşı geldiğinden performansla göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (non-linear) analiz yöntemleri ve “Şekildeğiştirmeye (Deformasyona) Göre Tasarım” kavramı ile doğrudan ilişkilidir.

### Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım: Nonlinear İtme Analizi

Bugün uygulamada kullanmaya başladığımız biçimi ile “Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım” ilkeleri, ilk kez bundan 10 yıl gibi kısa bir zaman önce, yukarıda Kilometre Taşı 2 diye adlandırılan ATC - 40 dökümanı (ATC, 1996) ile FEMA 273, 274 dökümanlarında (FEMA, 1997) ortaya atılmıştır. Bu dökümanlarda birinci amaç, verilen bir deprem etkisi altında çok zor ve karmaşık olmayan yöntemlerle pratikte mühendisin doğrusal olmayan (non-linear) taşıyıcı sistem analizini yapmasını ve bu hesap sonucunda plastik şekildeğiştirme büyüklüklerini (örneğin plastik mafsallık dönmelerini) elde etmesini sağlamaktır. Kısaca İtme Analizi (Push-over Analysis) adı verilen göreceli basit ve mühendisçe anlaşılabilir bir analizle bu amaca varılabildiği görülmüştür. Bunun başarılabilirliği olması, hiç şüphesiz yapı ve deprem mühendisliğinde başlı başına bir devrimdir (Fajfar, 2002).

Aslında tarihsel açıdan bakılırsa itme analizi yeni bir analiz türü değildir. Kapasite analizi, göçme analizi gibi isimler altında aynı analiz 40 yıl önce de yapıyorduk. 1964-1965 ders yılında İTÜ’de son sınıfta Yapı Statik III dersinde rahmetli hocamız Prof. Adnan Çakır-oğlu’nun benzer bir analizi “İkinci mertebeli limit yük analizi” adı ile anlattığını gayet iyi hatırlıyorum.

Söz konusu analiz, deprem yüklerini simüle eden bir yük dağılımı esas olarak yüklerin yapıya artımsal olarak adım adım etki ettirilmesi ve plastik mafsalların oluşması ile yapının giderek stabilitesini kaybetmesi ve nihai olarak göçme yükünün ve mekanizmasının elde edilmesini amaçlardı. Böylece yapının nonlineer anlamda hem yük taşıma kapasitesi, hem de şekildeğiştirme (deformasyon) kapasitesi belirlenmiş olurdu. Analizin sonuçlarını özetlemek üzere çizilen kapasite eğrisi veya göçme eğrisinin düşey eksenini genellikle nonlineer yük parametresini, yatay eksenine ise tipik bir yerdeğiştirme bileşenini, örneğin binanın tepe yerdeğiştirmesini gösterirdi.

İtme analizini, kapasite analizi olmaktan öte, aynı zamanda belirli bir depremin etkisi altında tüm “deprem istemi” büyüklüklerini, diğer deyişle hem iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri, hem de plastik şekildeğiştirmeleri (plastik mafsal dönmelerini) elde edecek biçimde formüle edenler, birbirinden bağımsız çalışan iki bilim adamı/mühendistir. Peter Fajfar’ın 1988’den itibaren adım adım formüle ettiği N2 Yöntemi (Fajfar ve Fischinger, 1988), FEMA 273-274’te (FEMA, 1997), daha sonra FEMA 356 dökümanında (FEMA, 2000) verilen ve nihayet Eurocode 8’de yer alan (CEN, 2003) yöntemdir (Bkz. Prof. Fajfar’ın bu konferanstaki konuşması). İkinci formülasyon ise, Kapasite Spektrumu Yöntemi (Capacity Spectrum Method) adı altında Sigmund Freeman’ın geliştirdiği (Freeman vd, 1975) ve daha sonra ayrıntılı olarak ATC-40 dökümanında (ATC, 1996) yer alan yöntemi oluşturmuştur. Her iki yöntemin de esası, nonlineer davranışta da sistemdeki lineer hakim titreşim modunun geçerli olduğu kabulüne dayanmaktadır. İtme analizi de bu modla orantılı veya buna benzer bir eşdeğer deprem yükü dağılımı esas alınarak gerçek-

leştirilmektedir. Daha sonra sistem, doğrusal analizde yapıldığı gibi, modal bağıntılar yardımı ile hakim moda ait tek serbestlik dereceli eşdeğer sisteme dönüştürülmekte ve deprem istemi bu basit sistemde elde edildikten sonra aynı modal bağıntılardan yararlanılarak ters dönüşümle gerçek sisteme ait nonlineer deprem istemleri hesaplanmaktadır (Aydinoğlu 2005, 2006). Yukarıda açıklandığı şekli ile itme analizi ve bu analiz yolu ile verilen bir deprem için nonlineer istemlerin elde edilmesi, deprem mühendisliği bakımından çok önemli bir yeniliğe karşılık gelmektedir. Ancak, bu yaklaşımın en önemli sakıncası, sistem davranışının tek modla sınırlı olmasıdır. Bu nedenle itme analizi planında her iki asal eksene simetrik veya simetriğe yakın olan, düzenli ve aynı zamanda az katlı olan binalara (örneğin en fazla 6 kata kadar olan binalara) uygulanabilir. Planda düzenli bile olsa, yüksek modların etkili olabileceği çok katlı yüksek binalarda veya az katlı olsa bile planda düzensiz olan (örneğin burulma düzensizliği olan) binalarda, yukarıda açıklanan yöntemin yanlış sonuçlar vermesi kaçınılmazdır.

İtme analizinin, yüksek modların da etkili olduğu sistemlerde uygulanabilmesi için son yıllarda çok sayıda yöntem önerilmiş ise de, bunların içinde sadece Chopra ve Goel (2002) tarafından geliştirilen Modal İtme Analizi (Modal Pushover Analysis) Yöntemi ve Aydınoğlu (2003, 2004, 2007) tarafından geliştirilen Artımsal Spektrum Analizi -ARSA (Incremental Response Spectrum Analysis - IRSA) dışında, verilen bir deprem altında nonlineer istem büyüklüklerini hesaplayabilen bir başka yöntem bulunmamaktadır. Diğer bütün yöntemler, yukarıda açıklanan tek modlu itme analizinin eski yıllarında yapıldığı üzere, yapının yük taşıma kapasitesi ve/veya nonlineer şekildeğiştirme (deformasyon) kapasitesinin belirlenmesi

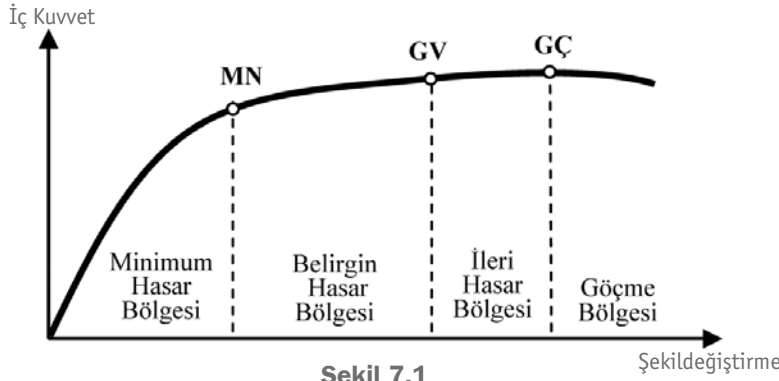
ile sınırlı olan “kapasite yöntemleri”dir (Aydinoğlu, 2007). ARSA, “Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi” adı ile 2007 Deprem Yönetmeliği’nde de çok modlu itme analizi yöntemi olarak önerilmektedir.

Taşıyıcı sistem karmaşık duruma geldikçe, çok mod dikkate alınsa bile, itme analizinin yaklaşıklığının artacağı muhakkaktır. Bu durumda Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım uygulamalarında, doğrudan zaman tanım alanında nonlineer analiz yapmaktan başka çare yoktur. Bilgisayar donanımı ve yazılımındaki gelişmelere paralel olarak deprem mühendisliği uygulamalarının o tarafa doğru gitmesi olasıdır. Ancak bu denli ileri düzeydeki analiz yöntemlerinin pratikte kabul görmesi için epeyce uzun zaman gerekeceği açıktır.

### 2006 (2007) Türkiye Deprem Yönetmeliği - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik: DBYBHY 2006(2007)

6 Mart 2007’den itibaren yürürlüğe giren 2006 (2007) Deprem Yönetmeliği’nin bir önceki 1997 (1998) Yönetmeliği’nden en önemli farkı, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve gereğinde güçlendirilmeleri için yönetmeliğe yeni bir bölüm eklenmiş olmasıdır. Bu bölümde, yukarıda açıklanan itme analizi yöntemleri ile birlikte zaman tanım alanında nonlineer deprem analizinin de yer aldığı Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme Yöntemleri’ne özel bir önem verilmiştir. Yeni yapılacak binaların analizi ve betonarme tasarımları ile ilgili bölümlerin, bir önceki 1997 (1998) Yönetmeliği’ne göre pek önemli bir farkları olmamasına karşılık, çelik yapılar ile ilgili bölüm yeniden yazılarak modern bir biçime kavuşturulmuştur. 2006 (2007) Yönetmeliği’nin performansla göre değerlendirmeye ilişkin bölümlerinden bazı kesimler aşağıya alınmıştır:





Şekil 7.1

## DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2006 (2007)

### 7.3. YAPI ELEMANLARINDA HASAR SINIRLARI VE HASAR BÖLGELERİ

#### 7.3.1. Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

#### 7.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar (Şekil 7.1).

#### 7.3.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

7.5 veya 7.6'da tanımlanan yön-

temlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin, 7.3.1'deki kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.

### 7.7. BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

#### 7.7.1. Betonarme Binaların Deprem Performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. 7.5 ve 7.6'da tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrik betonarme binalar için geçerlidir. Yığma binalarda uygulanacak kurallar 7.7.6'da verilmiştir.

#### 7.7.2. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan

hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

#### 7.7.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden **Denk.(3.3)**'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

TABLO 7.7 - Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	1. Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kıışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
<b>Diğer Binalar:</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

**HK:** Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi (Bkz. 7.7)

#### 7.7.4. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların *Göçme Bölgesi*'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatak yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden **Denk. (3.3)**'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımını can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

#### 7.7.5. Göçme Durumu

Bina *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlayamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2006 (2007) Yönetmeliğinde, kesit bazında hasarın tanımlanması için "kesit hasar sınırları" ve "kesit hasar bölgeleri" tanımlanmıştır. Kesit hasarlarının bina bazında bileşkesi ise "bina performans düzeyleri"ni tanımlamaktadır: **Hemen Kullanım Performans Düzeyi**, **Can Güvenliği Performans Düzeyi**, **Göçme Öncesi Performans Düzeyi**

#### 2006 (2007) Yönetmeliğinde, performansın çeşitli deprem düzeylerinde belirlenebilmesi için üç deprem düzeyi tanımlanmıştır:

Sık - küçük deprem: 50 yılda aşılma olasılığı: %50 (Dönüş periyodu: 72 yıl)  
Seyrek - büyük deprem: 50 yılda aşılma olasılığı: %10 (Dönüş periyodu: 475 yıl)  
Çok seyrek - çok büyük deprem: 50 yılda aşılma olasılığı: %2 (Dönüş periyodu: 2475 yıl)

#### Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri, çeşitli türdeki binalar için tanımlanmıştır.

Konutlar dışında, her bir bina türü için en az iki deprem düzeyi altında iki farklı performans hedefi tanımlanmıştır.

Tabloda verilen hedefler "minimum hedefler"dir. Performansa Göre Tasarım'ın güzel yanı, mal sahibinin istemesi durumunda farklı performans hedeflerinin tanımlanmasına olanak vermesidir. Örneğin bir sanayicinin, fabrikası için tabloda son satırda tanımlanan minimum performans hedefinden daha yüksek hedefleri talep etmesi normal sayılmalıdır.

#### 7.8. BİNALAR İÇİN HEDEFLENEN PERFORMANS DÜZEYLERİ

**7.8.1.** Yeni yapılacak binalar için **2.4**'de tanımlanan ivme spektrumu, **1.2.2**'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:

(a) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, **2.4**'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.

(b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

**7.8.2.** Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri **Tablo 7.7'**de verilmiştir.

## NEREYE DOĞRU GİDİYORUZ?

### Dayanım Göre Tasarım'dan Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım'a

Önümüzdeki dönemde (bu dönemin ne kadar yakın olduğunu kestirebilmek o kadar kolay değil) Performansa Göre Tasarım yaklaşımının, yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılması yolunda gelişmeler olacağını düşünebiliriz. Ancak bu yeni yaklaşımın da belirli problemleri olduğunu unutmamak gerekir. Öncelikle, kesit veya eleman bazında hasara karşı gelen plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsalsal dönmeleri olarak tanımlanmasında hemen hemen görüşbirliği varsa da, bunlara ait limit değerlerin nasıl tanımlanacağı tartışma konusudur. Plastik mafsalsal dönmeleri ATC-40 ve FEMA 356'da tablolar halinde, Eurocode 8'de ise deneysel sonuçlardan istatistiksel olarak elde edilen amprik bağıntılarla verilmektedir. DBYBHY 2006 (2007)'de ise plastik mafsalsal dönmelerinden betonarme kesitteki beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri hesaplanmakta, hasar limitleri de bunlar cinsinden tanımlanmaktadır. Bunun da ötesinde kesit bazında tanımlanan hasar durumlarından (yukarıda belirtilen hasar limitleri) hareketle, bunların bileşkesi olarak bina bazında performans düzeylerinin tanımlanmasında belirsizlikler, zorluklar vardır. Yukarıda gösterildiği

üzere DBYBHY 2006 (2007)'de bu amaçla birtakım amprik yaklaşımlara gidilmiştir.

Bütün belirsizliklerine rağmen, bir kez yola çıktıktan sonra, Performans'a Göre Değerlendirme ve Tasarım çerçevesinde Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım'dan geri dönülmesi pek mümkün görülmemektedir. Unutulmalıdır ki bu sayede mühendis, tasarımı mekanik bir biçimde "reçete" usulü yapmaya zorlayan geleneksel Dayanım Göre Tasarım yerine, çeşitli deprem düzeylerinde meydana gelebilecek hasarı tahmin edebildiği, hatta sayısallaştırdığı bir değerlendirme/tasarım yaklaşımına sahip olabilmektedir. Daha ileriye gidebilmek, depreme karşı daha güvenli yapıları daha iyi yapabilmek ancak bu yolla mümkün olabilecektir.

### Bir Diğer Öneri: Doğrudan Yerdeğiştirmeye Göre Tasarım

Yukarıda açıklanmaya çalışılan Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım yaklaşımından bağımsız olarak M.J.N. Priestley ve çalışma arkadaşlarının son on yıl boyunca geliştirdikleri "Doğrudan Yerdeğiştirmeye Göre Tasarım" yaklaşımı, belirli bir olgunluk düzeyine erişmiş görünmektedir. Bu yaklaşımda gerçek yapı doğrusal elastik eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) bir sisteme dönüştürülmekte, gerçek sistemde izin verilen maksimum yerdeğiştirmelere bağlı olarak TSD sistemin rijitliği "sekant rijitliği" olarak tanımlanmaktadır. Gerçek sistemde meydana gelen nonlineer şekil değiştirmelerin etkileri ise, eşdeğer lineer TSD sistemde yapay biçimde tanımlanan ve yerine göre çok yüksek değerler alabilen viskoz sönüm oranları ile temsil edilmektedir. Bu konuda son yıllarda yapılan çalışmaların ayrıntılı bir dökümü, yeni çıkan bir kitapta verilmiştir (Priestley, Calvi ve Kowalsky 2007). Tek titreşim modu tarafından kont-

rol edilen basit ve düzenli sistemlerde başarılı sonuçlar veren sistemin yüksek mod etkilerinin önemli olduğu karmaşık, düzensiz sistemlerde aynı başarıyı yakalayıp yakalayamayacağı merakla beklenmektedir. (Bkz. bu konferansta Prof. G. Michele Calvi'nin sunuşu).

## Deprem Mühendisliğinde İleri Teknolojiler

Deprem mühendisliğinde özellikle son yirmi yılda taban izolasyonu (base isolation) ve daha genel tanımı ile Yapısal Kontrol (Structural Control) ile ilgili olarak heyecan verici gelişmeler meydana gelmiştir. Depremde hasarı toptan bertaraf etmek amacına dayalı olarak ortaya atılan taban izolasyonu (yeni adı ile deprem yalıtımı) teknolojisi ile, son yıllarda yüksek sönümlü kauçuk (neopren) yalıtıcılar, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtıcılardan sonra metalik yapılı Ters Sarkaç türü yalıtıcıların kullanımı bütün dünyada ve bu arada ülkemizde büyük bir hızla artmaktadır.

Bu teknolojideki gelişmelerin deprem mühendisliğini önümüzdeki yıllarda daha önemli bir şekilde etkileyeceği kuşkusuzdur. Bu doğrultuda Türkiye'de de birtakım gelişmeler olmaktadır. Bir grup mühendis ve sanayicinin öncülüğü ile Deprem İzolasyon Derneği kurulmuştur. Bu kuruluşun deprem yalıtımına ilişkin bir yönetmelik hazırlığı içinde olduğu bilinmektedir. Yönetmeliğin önümüzdeki dönemde DBYBHY'in bir bölümü olarak uygulamaya konulması öngörülmektedir (Bkz. bu konferansta Prof. Dr. Mustafa Erdik'in sunuşu).

## Son Sözler

Deprem mühendisliğinin ve özel olarak depreme dayanıklı yapı tasarımınının 40 yıllık öyküsü, bu öykünün hem mühendis hem de bilim çalışmanı olarak bizzat içinde yaşayan yazarın bakış açısından sunulmaya çalı-

şıldı. Öykü, nereden nereye geldiğimizi açıkça ortaya koyuyor. Bilimsel olarak değil, sadece sezgisel olarak tanımlayabildiğimiz “deprem katsayısı” gibi kavramlarla başladığımız öykünün gelişme çizgisinde, deprem davranışı bakımından çeşitli deprem düzeyleri altında öngördüğümüz performansı sağlayabileceğimiz tasarımlara oldukça yaklaştık. Biraz daha yol almamız gerekiyor. Ancak, bilimsel alanda ve mühendislik bilgisinde meydana gelen hızlı gelişmelere karşın, Türkiye’deki yapı üretim sürecini, planlama-tasarım-yapım bağlamında bir bütün olarak rasyonel bir yapıya kavuşturamadığımız için ülkemizin büyük bir kesimi önemli derecede deprem riski altında yaşamaya devam ediyor. Bu olumsuz durumu olumlu yöne çevirmek mesleğimizin borcudur.

### Teşekkür

40 yıl boyunca bu öykünün sıkıntısını, yorgunluğunu benimle bıkmadan, yılmadan paylaşan sevgili eşim Türe Aydınoglu’na şükranlarımı sunuyorum.

### KAYNAKLAR

- Applied Technology Council (1978) Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC Publication ATC 3 - 06.  
 - Applied Technology Council (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40). Redwood City, California.  
 - Aydınoglu MN (2003) “An incremental response spectrum analysis based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation”, *Bulletin of Earthquake Engineering*; 1(1): 3-36.  
 - Aydınoglu M. N. (2004) “An improved pushover procedure for engineering practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA)”. *International Workshop on “Performance-based Seismic Design: Concepts and Implementation”*, Bled, Slovenia, PEER Report 2004/05: 345-356.

- Aydınoglu MN (2005) “A code approach for deformation-based seismic performance assessment of reinforced concrete buildings”, *International Workshop on “Seismic Performance Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings”*, Joint Research Centre (JRC), ELSA Laboratory, Ispra, Italy.  
 - Aydınoglu MN (2006) “Nonlinear procedures in revised Turkish code for seismic performance assessment and retrofit design”, Paper No. 450, *Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland.  
 - Aydınoglu MN (2007) A Response Spectrum-Based Nonlinear Assessment Tool for Practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA), *Special Issue: Response Spectra (Guest Editor: M.D. Trifunac)*, *ISSET Journal of Earthquake Technology*, 44(1), No.481  
 - Bayındırlık Bakanlığı (1947) Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği,  
 - Bayındırlık Bakanlığı Neşriyatı, Seri:2, Sayı:15, Ankara  
 - Bayındırlık Vekaleti (1953) Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Yapı ve İmar İşleri Reisliği Neşriyatı, Seri:2, Sayı:27, Ankara  
 - Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1997, 1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara  
 - Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2006, 2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara  
 - CEB (1985), CEB Model Code for Seismic Design of Concrete Structures, Rome.  
 - CEN (2003) “Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance, Part 1”, European Standard prEN 1998-1, Stage 49 Draft, October 2003, Brussels.  
 - Chopra AK, Goel RK (2002) “A modal pushover analysis for estimating seismic demands for buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 31(3): 561-582.  
 - Cornell, CA (1968) “Engineering Seismic Risk Analysis”, *Bulletin of Seismological Society of America*, 58, 1583-1606  
 - Çakıroğlu A (1961) Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metodları, Genişletilmiş 2. Baskı, Arı Kitabevi, İstanbul  
 - Çakıroğlu A, Özmen G (1973)

Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, Teknik Rapor No.16, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi.  
 - Fajfar P, Fischinger M (1988) “N-2 - A method for nonlinear seismic analysis of regular structures”, *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo.  
 - Fajfar P (2002) “Structural analysis in earthquake engineering - A breakthrough of simplified non-linear methods”, *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, Paper No.843.  
 - FEMA (1997). NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273) and NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 274), Washington D.C.  
 - FEMA (2000) “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356)”. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.  
 - Freeman SA, Nicoletti JP, Tyrell, JV (1975) “Evaluations of existing buildings for seismic risk - A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington”, *Proceedings of 1st U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, EERI, Berkeley, pp.113-122.  
 - Hamburger RO (2003) “Building Code Provisions for Seismic Resistance” in *Earthquake Engineering Handbook*, ed. W.F.Chen and C. Scawthorn, CRC Press, Washington D.C.  
 - İmar ve İskan Bakanlığı (1961) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Mesken Genel Müdürlüğü, Sayı:1, Ankara  
 - İmar ve İskan Bakanlığı (1968) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara  
 - İmar ve İskan Bakanlığı (1975) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara  
 - Paulay T, Priestley MJN (1992) *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Wiley, New York.  
 - Priestley MJN, Valvi GM, Kowalsky MJ (2007) *Displacement-Based Seismic Design of Structures*, IUSS Press, Pavia, Italy.