

BÖLÜM I

1. DEPREM MÜHENDİSLİĞİNDE TEMEL KAVRAMLAR

1.1. GİRİŞ	I.1/2
1.2. DEPREM TEHLİKESİ	I.1/2
1.3. DEPREM DÜZEYİ – BİNA PERFORMASI İLİŞKİSİ	I.1/3
1.3.1. Yeni Binalarda Tasarım Depremi ve Hedeflenen Performans	I.1/3
1.3.2. Mevcut Binalar için Deprem Düzeyi – Bina Performası İlişkisi	I.1/4
1.3.2.1. Mevcut Binalar için Değerlendirme/Tasarım Depremleri	I.1/4
1.3.2.2. Mevcut Binalar için Tanımlanan Performans Düzeyleri	I.1/5
1.3.2.3. Mevcut Binalar için Hedeflenen Bina Performansları	I.1/6
1.4. DAVRANIŞ SPEKTRUMU	I.1/6
1.4.1. İvme ve Yerdeğiştirme Spektrumları	I.1/7
1.4.2. Yönetmelikte Tanımlanan Standardize Edilmiş İvme Spektrumu	I.1/8
1.5. BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN ELASTİK ÖTESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI	I.1/9
1.5.1. Dayanım – Şekildeğiştirme İlişkisi	I.1/9
1.5.2. Nonlineer (doğrusal olmayan) davranışın idealleştirilmesi	I.1/11
1.5.3. Süneklik kavramı – Sünek ve gevrek davranış biçimleri	I.1/11
1.6. SÜNEKLİK İSTEMİ VE DAYANIM SUNUMU KAVRAMLARI	I.1/13
1.6.1. Depremi Elastik Dayanım İstemi ve Sunulan Dayanım	I.1/13
1.6.2. Dayanım Azaltma Katsayısı ve Süneklik Katsayısı	I.1/15
1.6.3. Eşit Yerdeğiştirme Kuralı	I.1/15
1.6.4. Dayanım Fazlalığı Katsayısı	I.1/16
1.6.5. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	I.1/16
1.7. DAYANIMA GÖRE TASARIM YAKLAŞIMI – KAPASİTE TASARIMI İLKELERİ	I.1/17
1.7.1. Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı	I.1/17
1.7.2. Taşıyıcı Sistemin Süneklik Kapasitesi	I.1/17
1.7.3. Kapasite Tasarımı İlkeleri	I.1/17
1.8. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME/TASARIM YAKLAŞIMI	I.1/19
1.8.1. Süneklik İstemi	I.1/19
1.8.2. Şekildeğiştirme İstemleri	I.1/21
1.8.3. Performansa Göre Değerlendirme/Tasarım Kavramı	I.1/21

1.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde esas alınan temel kavramlara ilişkin kısa bilgilere yer verilecektir. Bu kavramlar mühendislik sismolojisi, yapı dinamiği, betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerin davranışı ve tasarımı gibi çok çeşitli alt disiplinler ile ilgili kavramlardır. Bu kapsamda bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan (nonlineer) davranışına özel bir önem verilmiş ve yönetmelikte yer alan temel tasarım yaklaşımlarının esasları kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

1.2. DEPREM TEHLİKESİ

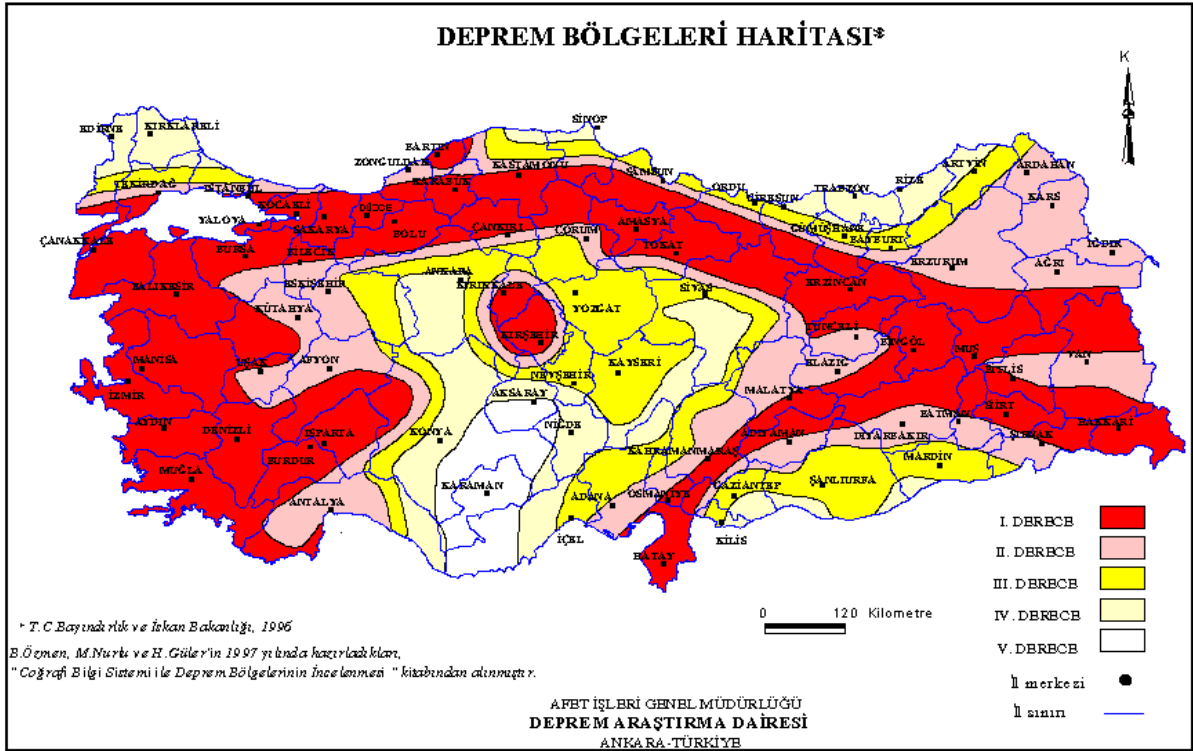
Genel anlamda *deprem tehlikesi*, herhangi bir yerde veya coğrafi bölgede, gözönüne alınan belirli bir zaman diliminde, depremi tanımlayan herhangi bir parametrenin belirli bir büyüklüğe ulaşma olasılığı olarak tanımlanabilir. Deprem tehlikesi *olasılıksal (probabilistik)* veya *kesinsel (deterministik)* olarak incelenebilir.

Olasılıksal (probabilistik) deprem tehlikesi analizinde esas alınan temel girdiler şunlardır:

- (a) Gözönüne alınan coğrafi bölgeyi etkileyen tüm deprem kaynakları (bölgenin tektonik yapısı, bölgeyi etkileyebilecek aktif faylar ve fay mekanizmaları),
- (b) Deprem oluşum özellikleri (bölgenin depremselliği, geçmiş depremlerin büyüklükleri ve sıklıkları),
- (c) Tipik bir yer hareketi parametresini (örneğin en büyük yer ivmesi veya spektral ivme), deprem büyüklüğüne ve faya olan mesafeye bağlı olarak hesaplamak üzere geliştirilen azalım ilişkileri.

Bu bilgiler bir istatistiksel olasılık modeli çerçevesinde işlenerek, gözönüne alınan coğrafi bölgede belirli bir zaman dilimi içinde tipik yer hareketi parametresinin belirli bir büyüklüğe ulaşma olasılığı, diğer deyişle deprem tehlikesi hesaplanır. Öte yandan, gözönüne alınan yeri veya bölgeyi birinci planda etkileyeceği öngörülen belirli bir deprem kaynağı ve azalım ilişkileri dikkate alınarak *kesinsel (deterministik) deprem tehlikesi* analizi de yapılabilir.

Türkiye için ülke genelinde deprem tehlikesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 1996 yılında Bakanlar Kurulu Kararnamesi ile yayınlanan *Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası* aracılığı ile tanımlanmıştır. Şekil 1.1'de gösterilen bu haritada deprem bölgeleri *Birinci, İkinci, Üçüncü ve Dördüncü Derece Deprem Bölgeleri* olarak sınıflandırılmıştır. *Beşinci derece* bölgede deprem tehlikesi bulunmamaktadır. Her bir deprem bölgesinde deprem tehlikesi, aşağıda belirtileceği üzere, 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem için, *Etkin Yer İvmesi Katsayısı* adı verilen deprem parametresi cinsinden tanımlanmıştır. Bu katsayı ve yerel zemin koşullarının etkisi gözönüne alınarak, deprem yüklerinin saptanmasında temel parametre olarak kullanılan ve aşağıda 1.4'de açıklanan Davranış Spektrumu tanımlanabilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996)

1.3. DEPREM DÜZEYİ – BİNA PERFORMANSI İLİŞKİSİ

1.3.1. Yeni Binalarda Tasarım Depremi ve Hedeflenen Performans

2007 Deprem Yönetmeliği'nde, yeni yapılacak binalar için hedeflenen deprem performansı **Yönetmelik Madde 1.2.1**'de aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

*“1.2.1 – Bu Yönetmeliğe göre yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı 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 sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır. Mevcut binaların değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde esas alınan performans kriterleri **Bölüm 7**'de tanımlanmıştır.”*

Yönetmelik Madde 1.2.2'de ise, yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi şu şekilde tanımlanmaktadır.

*“1.2.2 – Bu Yönetmeliğe göre yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, 1.2.1'de tanımlanan şiddetli depreme karşı gelmektedir. **Bölüm 2, Tablo 2.3**'te tanımlanan Bina Önem Katsayısı $I = 1$ olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur. Farklı aşılma olasılıklı depremler, mevcut binaların değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde gözönüne alınmak üzere **Bölüm 7**'de tanımlanmıştır.”*

Görüldüğü üzere, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yeni yapılacak binalar için esas alınması öngörülen *tasarım depremi*, **Yönetmelik Madde 1.2.2**'de *şiddetli deprem*

olarak nitelendirilen ve dönüş periyodu 475 yıl olan, diğer deyişle 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Bu deprem altında tasarımı yapılacak *Bina Önem Katsayısı* $I=1$ olan yeni binaların *Can Güvenliği Performans Hedefi*'ni sağlaması öngörülmektedir. *Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*'nda belirtilen *Birinci, İkinci, Üçüncü ve Dördüncü Derece Deprem Bölgeleri*'nde bu deprem için temel deprem parametresi olarak gözönüne alınacak *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*, **Yönetmelik Tablo 2.2**'de tanımlanmıştır.

Yönetmelik TABLO 2.2 – ETKİN YER İVMESİ KATSAYISI (A_0)

<i>Deprem Bölgesi</i>	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Yönetmelik 1.2.1'de hafif ve orta şiddetteki depremlerde binalar için performans hedeflerinden söz edilmiş olmakla birlikte, bu düzeydeki depremler altında binalar için herhangi bir deprem hesabının ve tasarımının yapılması öngörülmemiş, *Bina Önem Katsayısı* $I=1$ olan normal binalar için, tasarımın sadece *Can Güvenliği Performans Hedefi*'ni sağlamak üzere, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi altında yapılması yeterli görülmüştür. Bu tasarımın, hafif ve orta şiddetteki depremlerde binalar için öngörülen ve **Yönetmelik 1.2.1**'de nicel olarak tanımlanan performansları kendiliğinden sağlayacağı varsayılmıştır.

1.3.2. Mevcut Binalar için Deprem Düzeyi – Bina Performansı İlişkisi

Mevcut binaların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi ve gereğinde güçlendirilmesi konusu, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde ilk kez ele alınmış ve **Yönetmelik Bölüm 7**'de ayrıntılı olarak kapsanmıştır. Bu Bölüm'de, mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni yapılacak binalardan farklı olarak, birden fazla deprem düzeyi tanımlanmış ve bu depremlerin etkisi altında binalar için birden fazla performans hedefinin öngörülebilmesi olanaklı duruma getirilmiştir.

1.3.2.1. Mevcut Binalar için Değerlendirme/Tasarım Depremleri

Yönetmelik Bölüm 7'de, 50 yılda aşılma olasılıkları %50, %10 ve %2 olan üç farklı düzeyde deprem tanımlanmıştır:

(a) D1 Deprem Düzeyi: Bu deprem düzeyi, binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (*D1*) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır. Bu depremin ülke çapında tanımlanması için yürütülmekte olan bilimsel çalışmalar sonuçlandırılıncaya kadar, **Yönetmelik 7.8.1**'e göre (*D1*) depreminin ivme spektrumunun ordinatları, (*D2*) depremi için **Yönetmelik 2.4**'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.

(b) D2 Deprem Düzeyi: Bu deprem düzeyi, binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (*D2*) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı

gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır. (D2) depreminin ivme spektrumunun ordinatları, **Yönetmelik 2.4**'de tanımlanmıştır.

(c) *D3 Deprem Düzeyi*: Bu deprem düzeyi, binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır. Bu depremin ülke çapında tanımlanması için yürütülmekte olan bilimsel çalışmalar sonuçlandırılıncaya kadar, **Yönetmelik 7.8.1**'e göre (D3) depreminin ivme spektrumunun ordinatları, (D2) depremi için **Yönetmelik 2.4**'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak alınacaktır.

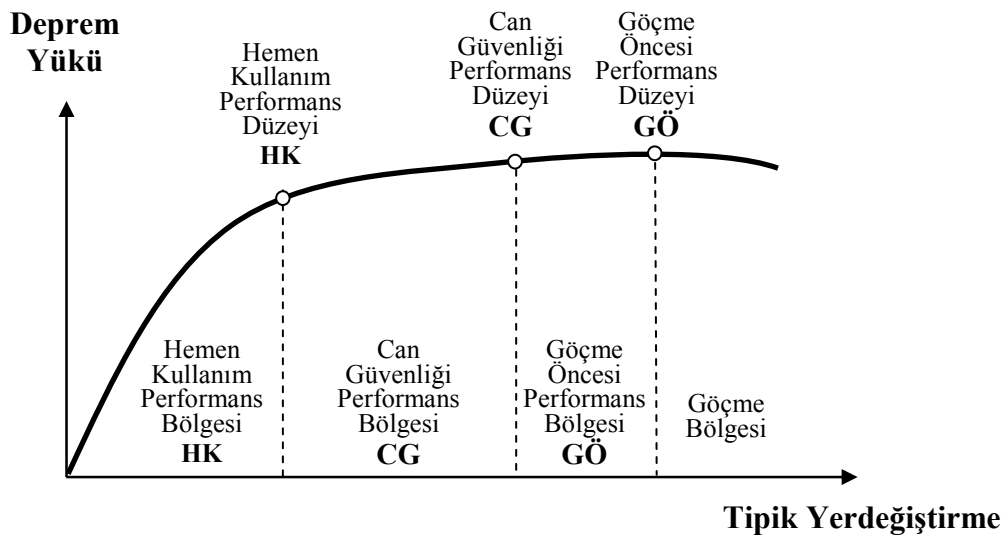
1.3.2.2. Mevcut Binalar için Tanımlanan Performans Düzeyleri

2007 **Yönetmelik Bölüm 7**'de ilk kez kapsama alınan mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi bağlamında, yukarıda yapılan üç farklı düzeyde deprem tanımı yanında, mevcut veya güçlendirilen binalar için üç ayrı performans düzeyi tanımı getirilmiştir:

(a) *Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK)*: Bu performans düzeyinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlar hemen hemen hiç hasar görmezler veya oluşabilecek hasar çok sınırlı ve hemen onarılabilecek düzeyde kalır. Aşağıdaki Şekil 1.2'de görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemin davranışı doğrusal (lineer) sınırı çok az aşabilir. Bina depremden kısa bir süre sonra kullanılabilir.

(b) *Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG)*: Bu performans düzeyinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın can güvenliğini tehlikeye atmayacak ölçüde sınırlı ve çoğunlukla onarılabilecek düzeyde kalır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemin davranışı doğrusal olmayan (nonlinear) davranış bölgesinde olmasına rağmen, taşıyıcı sistem davranışı göçme konumundan yeteri kadar uzaktadır.

(c) *Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ)*: Bu performans düzeyinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda ileri derecede hasar meydana gelmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışı göçme konumuna yakınlaşmıştır. Bina hala göçmemiştir, ancak can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve büyük olasılıkla yıkılması gerekecektir.



Şekil 1.2. Performans Düzeyleri ve Performans Bölgeleri

1.3.2.3. Mevcut Binalar için Hedeflenen Bina Performansları

Aşağıda verilen **Yönetmelik Tablo 7.7**'de belirtildiği üzere, binanın kullanım amacı ve/veya türüne göre, yukarıda tanımlanan *farklı deprem düzeyleri* altında, *performansa göre değerlendirme* yaklaşımı çerçevesinde binalar için *farklı performans hedefleri* öngörülmüştür. Tablodan görüldüğü gibi, konutlar, vb. gibi standart binaların dışındaki binalar için iki ayrı deprem düzeyi altında iki farklı performans hedefinin sağlanması öngörülmektedir. Ancak, tablonun başlığından da görüldüğü üzere öngörülen hedefler, minimum hedefler olup özel koşullara ve isteğe bağlı olarak yükseltilebilir. Örneğin, bir konut binası için tabloda öngörülen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında *Can Güvenliği* (CG) performans hedefine ek olarak 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem altında *Göçme Öncesi* (GÖ) performans düzeyinin hedeflenmesi mümkündür.

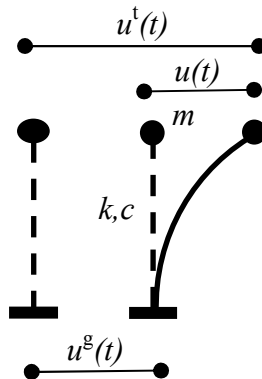
Yönetmelik TABLO 7.7 – FARKLI DEPREM DÜZEYLERİNDE BİNALAR İÇİN ÖNGÖRÜLEN MİNİMUM PERFORMANS HEDEFLERİ

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

1.4. DAVRANIŞ SPEKTRUMU

Davranış spektrumu, gözönüne alınan bir deprem yer hareketinin etkisi altında, doğal titreşim periyodu T olan lineer elastik tek serbestlik dereceli bir sistemde meydana gelen yapısal yerdeğiştirme veya toplam ivme büyüklüğünün T 'ye bağlı olarak ifade edildiği bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.



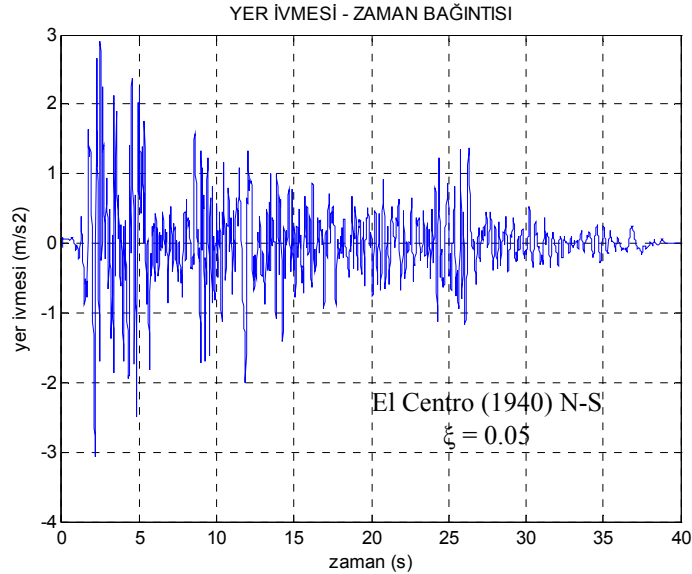
Şekil 1.3. Deprem etkisi altında tek serbestlik dereceli sistemin davranış büyüklükleri

m : Kütle	$\omega = (k/m)^{1/2}$	Doğal açısal frekans [rad/s]
k : Rijitlik katsayısı	$T = 2\pi/\omega$	Doğal titreşim periyodu [s]
c : Sönüm katsayısı	$\xi = c/(2m\omega)$	Sönüm oranı
$u^g(t)$: Deprem yer hareketi (Yerin yerdeğiştirme)		
$u(t)$: Yapısal yerdeğiştirme (Görelî yerdeğiştirme)		
$u^t(t) = u^g(t) + u(t)$: Toplam yerdeğiştirme		
$\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}^g(t) + \ddot{u}(t)$: Toplam ivme		
$S_{de}(T) = \max u(t) $: Spektral yerdeğiştirme [m] (Belirli bir ξ için)		
$S_{ae}(T) \approx \max \ddot{u}^t(t) $: Spektral ivme [m/s^2] (Belirli bir ξ için)		
$S_{ae}(T) = \omega^2 S_{de}(T)$		

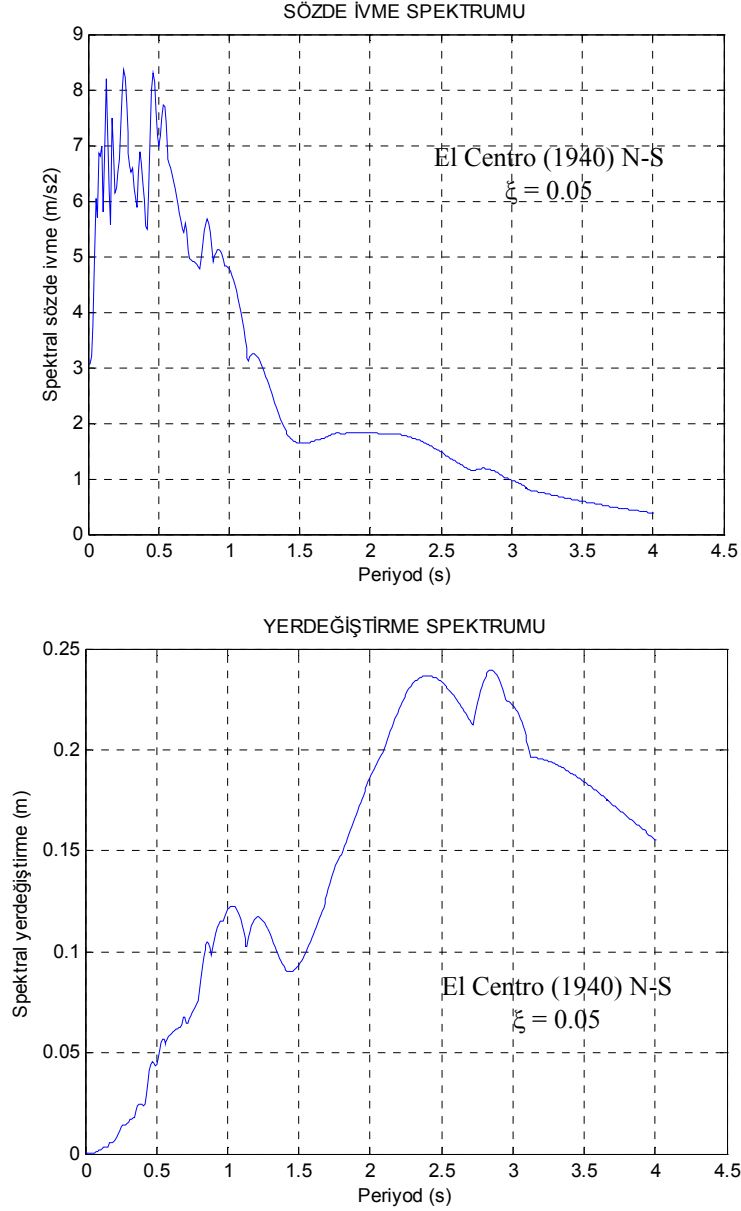
Şekil 1.3 (devamı). Deprem etkisi altında tek serbestlik dereceli sistemin davranış büyüklükleri

1.4.1. İvme ve Yerdeğiştirme Spektrumları

Verilen bir deprem yer hareketinin etkisi altında ve belirli sabit bir sönüm oranı gözönüne alınarak (örneğin $\xi = 0.05$), doğal titreşim periyodu T ile temsil edilen tek serbestlik dereceli sistemlerde, Şekil 1.3’de tanımlanan $S_{ae}(T)$ spektral ivme büyüklüklerini ordinat, değişken T ’leri ise absis olarak çizilen grafiğe *Sözde İvme Spektrumu* (Pseudo-Acceleration Spectrum) veya kısaca *İvme Spektrumu* adı verilir. Şekil 1.3’de tanımlanan $S_{de}(T)$ spektral yerdeğiştirme büyüklüklerinin ordinat olarak alınması durumunda elde edilen grafik ise *Yerdeğiştirme Spektrumu* olarak adlandırılır. El Centro (1940) N-S ivme kaydı (Şekil 1.4) esas alınarak çizilen %5 sönümlü ivme ve yerdeğiştirme spektrumları Şekil 1.5’de görülmektedir.



Şekil 1.4. El Centro (1940) N-S ivme kaydı



Şekil 1.5. El Centro (1940) N-S için %5 sönümlü ivme ve yerdeğiştirme spektrumları

1.4.2. Yönetmelikte Tanımlanan Standardize Edilmiş İvme Spektrumu

Elastik deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılan ivme spektrumu, depremden depreme farklılıklar gösterir ve ayrıca yerel zemin koşullarından etkilenir. Bu nedenle, istatistiksel çalışmaların sonucu olarak deprem yönetmeliklerinde spektrum eğrisinin biçimi genellikle standardize edilir ve spektral ivmeler birtakım deprem parametrelerine bağlanarak analitik olarak ifade edilir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan ivme spektrumu Bölüm I – 2'de verilmiştir.

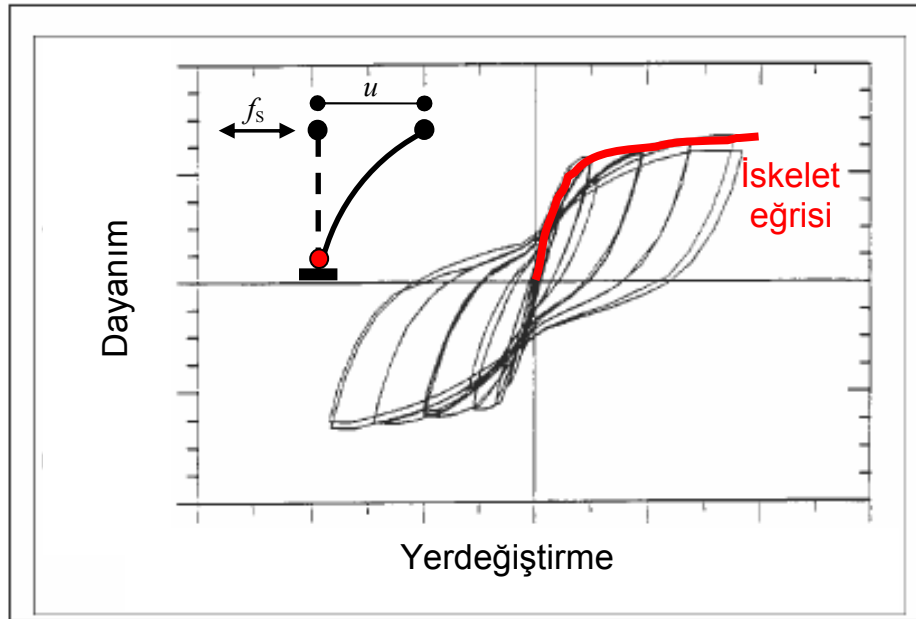
1.5. BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN ELASTİK ÖTESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

Davranış spektrumundan yararlanarak yukarıda tanımlanan elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistem davranışının doğrusal (lineer) elastik olması ve böylece sistemde hiçbir hasarın meydana gelmemesi durumunda söz konusu olabilir. Oysa şiddetli depremlerin etkisi altında elastik deprem yükleri çok büyük değerler alırlar ve bu değerlerle ekonomik bir bina tasarımı mümkün olmaz. Bu nedenle yukarıda 1.3'te belirtildiği üzere, yeni yapılan binalarda kullanıcıların *can güvenliği*'ni sağlamak kaydı ile, şiddetli depremlerde bina taşıyıcı sisteminde belirli düzeyde hasara *bilerek* izin verilir. Diğer deyişle, bina taşıyıcı sisteminin bazı elemanları *doğrusal olmayan (nonlinear)* davranış gösterecek biçimde tasarlanırlar.

1.5.1. Dayanım – Şekildeğiştirme İlişkisi

Bir betonarme elemanda, örneğin bir düşey konsolun tabanındaki kesitte meydana gelen plastikleşmeye bağlı olarak statik çevrimsel yükleme deneyi (itme-çekme) sonucu elde edilen *histeresis eğrileri*'nden oluşan tipik bir *doğrusal olmayan (nonlinear)* dayanım – yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.6'da verilmiştir. Birinci kadranda histeresis eğrilerinin tepe noktalarının birleştirilmesi ile çizilen kırmızı zarf eğrisi, *iskelet eğrisi* olarak adlandırılır.

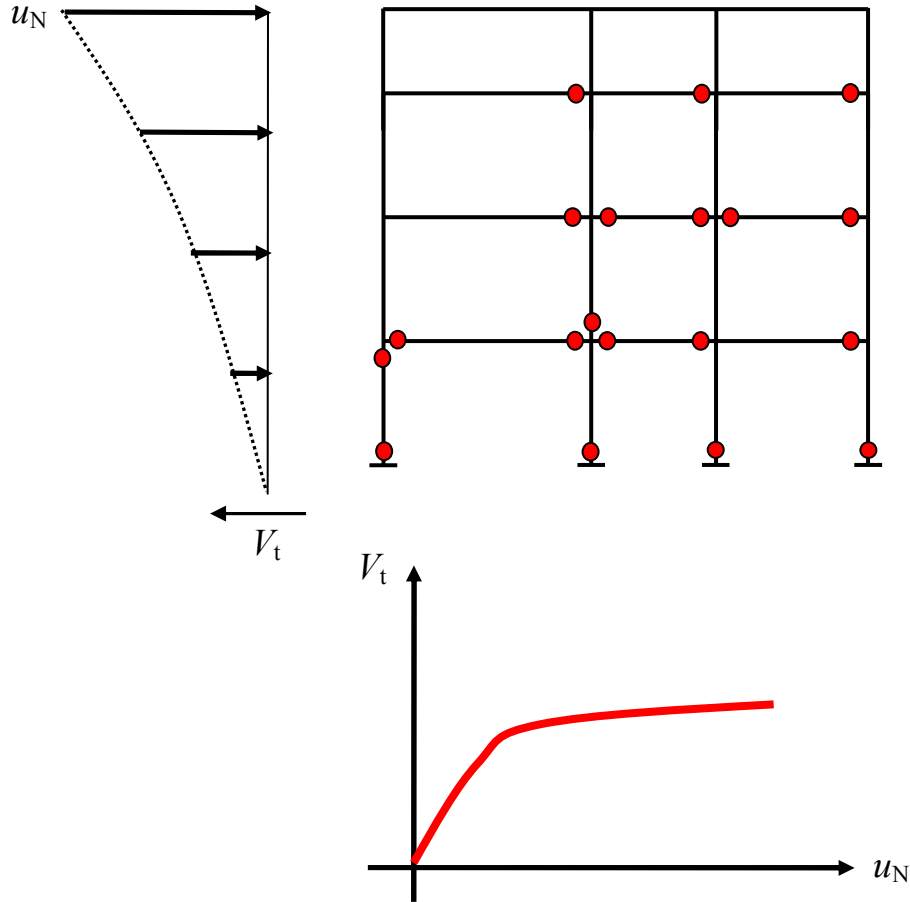
Şekilden görüldüğü üzere, tepe yerdeğiştirmesinin küçük değerler aldığı çevrimlerde davranış doğrusal (lineer) olmakta, ancak yerdeğiştirmeler arttıkça iskelet eğrisinin yatıklaşmaya başladığı noktadan itibaren, yükleme ve boşaltma eğrilerinin birbirleri ile çakışmadığı ve yük boşaltıldıktan sonra geri dönmeyen *kalıcı şekildeğiştirmelerin* giderek arttığı gözlenmektedir. İskelet eğrisi yatıklaşmaya başladıktan sonra uygulanan kuvvet çok az artmakta ve giderek sabitleşmektedir. Bu durum, sistemin belirli bir yük taşıma kapasitesine, diğer deyişle *dayanım*'ına ulaştığını göstermektedir. İşte bu nedenle Şekil 1.6'daki grafiğin düşey eksenini *dayanım* olarak nitelendirilmiştir.



Şekil 1.6. Tipik bir betonarme elemanda dayanım (kuvvet) – yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 1.6'daki gibi statik çevrimsel yükleme yerine tek serbestlik dereceli konsol sistemin tabanına Şekil 1.3'deki gibi dinamik bir deprem yer hareketinin etkimesi durumunda, Şekil 1.6'da görülen histeresiz eğrileri dinamik olarak meydana gelecektir. Bu durumda Şekil 1.6'daki f_s kuvveti, maksimum *eşdeğer deprem yükü* olarak nitelendirilebilir. Bu yük, *deprem yer hareketinin büyüklüğünden bağımsız olarak*, taşıyıcı sistemin yukarıda tanımlanan *dayanım*'ına eşittir. O halde nonlinear sistemde eşdeğer deprem yükü, depremin büyüklüğü ile değil, tasarımcının sisteme sağladığı dayanımla doğrudan ilişkilidir. Şekil 1.6'daki tek serbestlik dereceli konsolun tabanında gösterilen kırmızı daire, sistemde eğilme etkisi ile meydana gelen plastik deformasyonların sınırlı bir uzunluk boyunca yığıldığı *plastik mafsalları* temsil etmektedir.

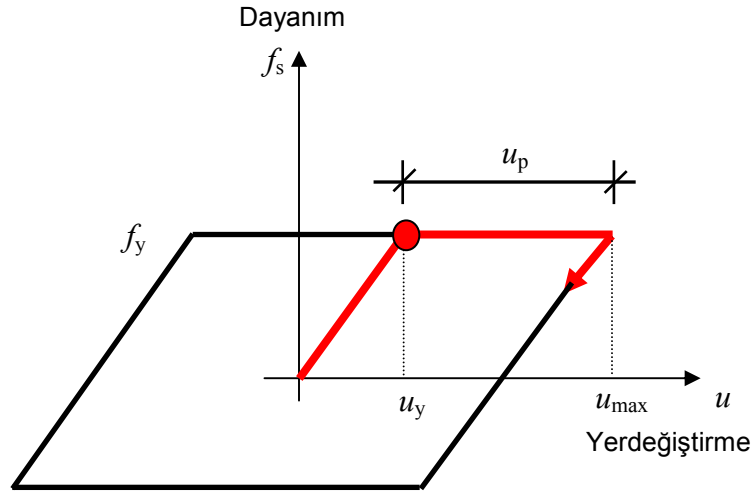
Çok serbestlik dereceli bina taşıyıcı sistemlerinde, örneğin Şekil 1.7'deki bina çerçevesinde plastik mafsallar, eşdeğer deprem yükleri altında eğilme momentlerinin en büyük olduğu kesitlerde, yani kolon veya kirişlerin uç noktalarında meydana gelirler. Taşıyıcı sistemin eşdeğer deprem yükleri altında, sistemdeki plastik şekil değiştirmelerin (plastik mafsalları dönmelerinin) etkilerinin gösterilmesi amacı ile çizilen tipik dayanım – yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.7'de görülmektedir. Bu şekildeki kırmızı eğrinin anlamı, Şekil 1.6'daki iskelet eğrisinden farklı değildir. Bu bağlamda V_t taban kesme kuvveti, çerçeve taşıyıcı sisteminin *dayanım*'ına karşı gelmektedir.



Şekil 1.7. Tipik bir çerçeve taşıyıcı sistemde eşdeğer deprem yükleri altında oluşan plastik mafsallar ve sistemin tümü için çizilen dayanım (kuvvet) – yerdeğiştirme eğrisi

1.5.2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Davranışın İdealleştirilmesi

Yukarıda Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de görülen doğrusal olmayan davranışın sayısal olarak nitelendirilebilmesi için, Şekil 1.8’de görülen basit idealleştirmeden yararlanılabilir. Burada, iskelet eğrisi *iki doğrulu* olarak modellenmekte ve ikinci doğru yaklaşık olarak yatay olarak alınmaktadır. *Elasto-plastik* model olarak adlandırılan modelde yükleme ve boşaltma eğrileri, iskelet eğrisinin başlangıç doğrusuna paralel doğru parçalarından oluşmaktadır. İskelet eğrisindeki iki doğrunun kesişme noktası akma noktası olarak adlandırılır. Bu noktaya karşı gelen dayanım *akma dayanımı* (f_y), yerdeğiştirme ise *akma yerdeğiştirmesi* (u_y) olarak tanımlanır. İskelet eğrisinin yata ikinci doğru parçası, plastik yerdeğiştirmeyi (u_p) göstermektedir. Maksimum toplam yerdeğiştirme ise (u_{max}) ile gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Elasto-plastik dayanım – yerdeğiştirme modeli

1.5.3. Süneklik Kavramı – Sünek ve Gevrek Davranış Biçimleri

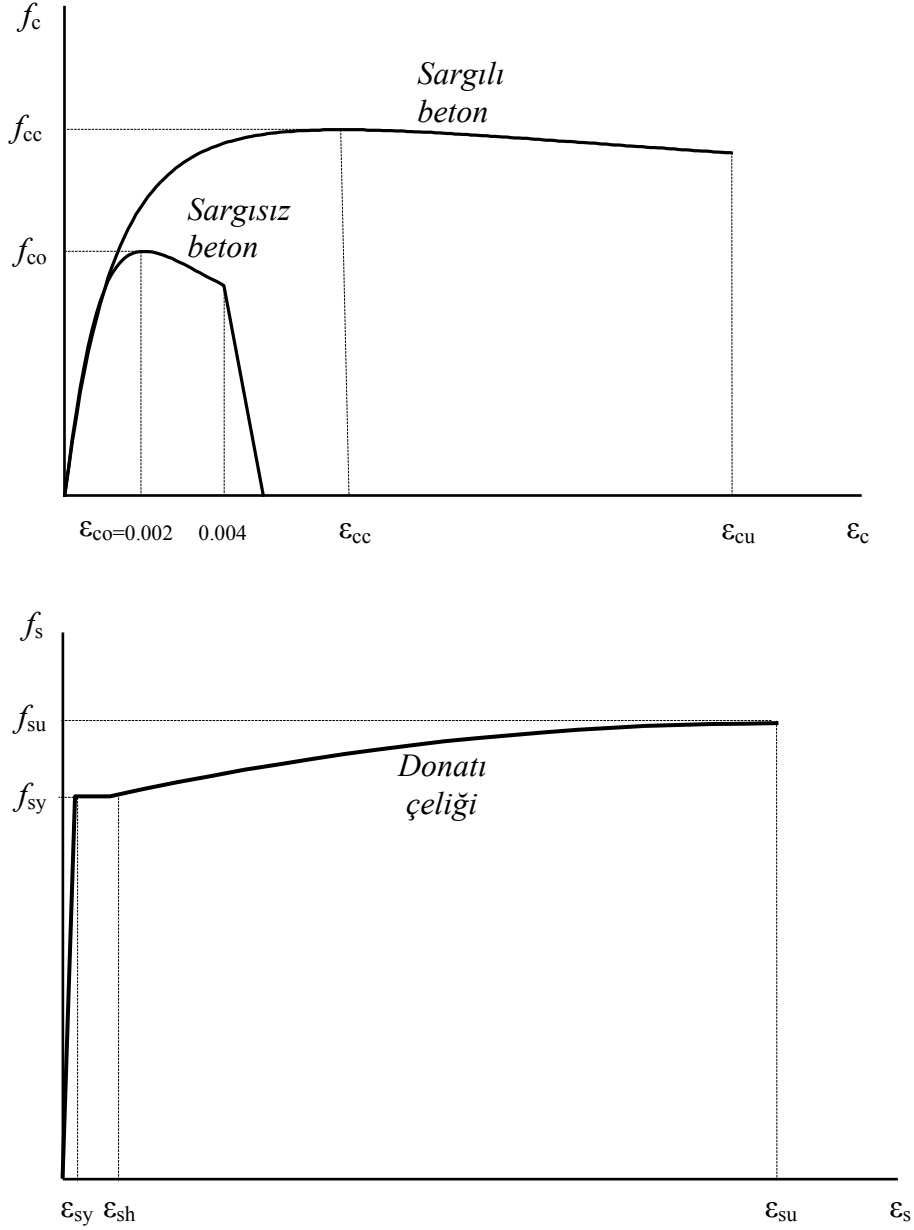
Deprem etkisi altında bir taşıyıcı sistemin veya sistem elemanının sünekliği, plastik şekil değiştirme yapabilme yeteneğidir. Bu özellik, başka bir deyişle, taşıyıcı sistem veya sistem elemanının *süneklik kapasitesi* olarak da adlandırılabilir.

Bina taşıyıcı sistemlerinde, özellikle betonarme sistemlerde sünek davranış, kirişlerde basit eğilme etkisi altında, kolon ve perdelerde ise eğilme + eksenel kuvvet etkisi altında gerçekleşir. Şekil 1.9’da sargısız/sargılı betonun ve donatı çeliğinin gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir. Sargı donatısının olumlu etkisi ile betonun plastik şekil değiştirme kapasitesinin, diğer deyişle sünekliğinin önemli ölçüde arttığı gözlenmektedir. Şekil 1.9’daki beton ve donatı çeliği gerilme – birim şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılarak bir dikdörtgen betonarme kesit için çizilen moment – eğrilik ilişkisinde (Şekil 1.10) de sünek davranış açıkça gözlenmektedir. Birim boya gelen dönme olarak tanımlanan *eğrilik*, Şekil 1.10’da betonarme kesitin birim şekil değiştirme diyagramının eğimi olarak (κ) gösterilmiştir.

Betonarmede eğilme ve eğilme + eksenel kuvvet durumları dışında depreme karşı davranış sünek değildir. Eksenel basınç ile özellikle kesme kuvveti ve burulma etkileri

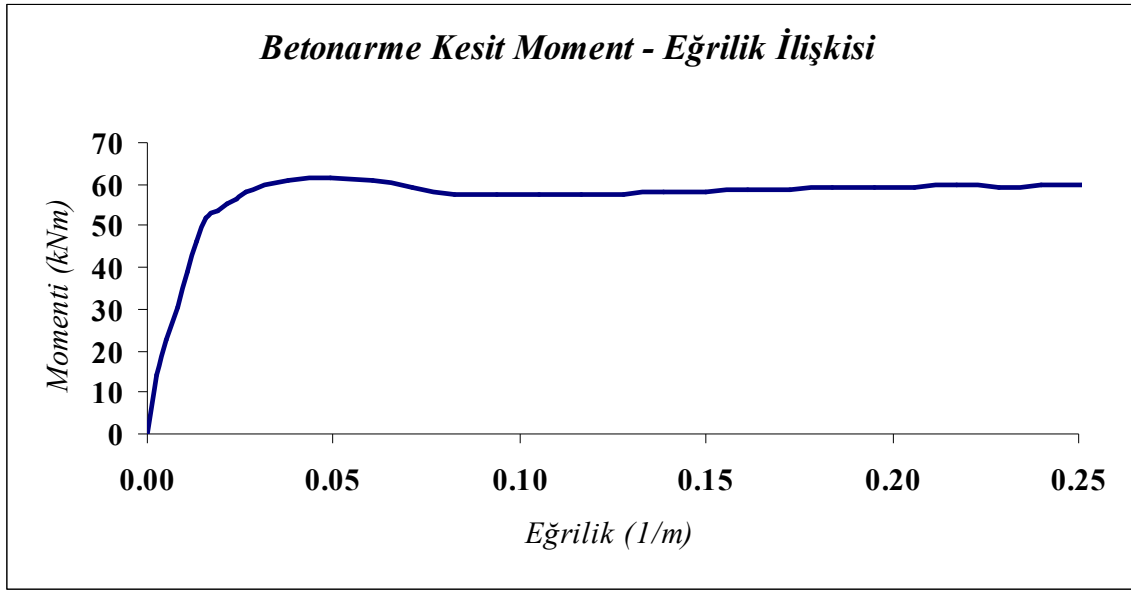
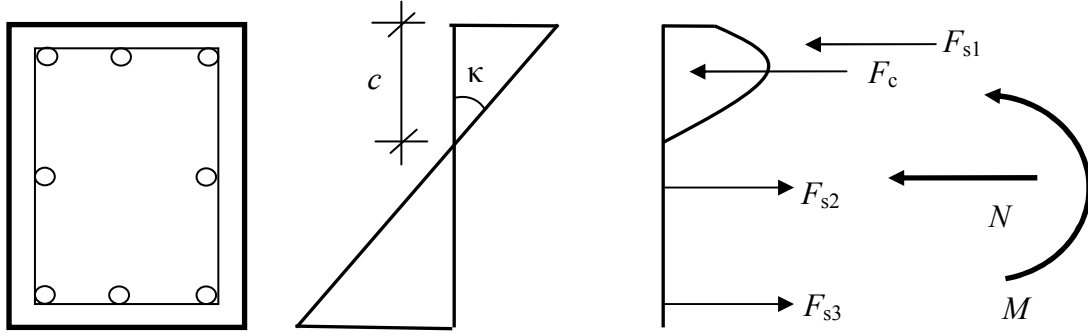
altında betonarme kesitlerin plastik şekildeğiştirme kapasiteleri hemen hemen hiç yoktur, diğer deyişle bu etkiler altında betonarme kesitler *gevrek davranış* gösterirler.

Aşağıda 1.6’da görüleceği üzere sünek davranış, deprem etkisi altında taşıyıcı sistemler için arzu edilen bir özelliktir. Buna karşılık deprem etkisi altında gevrek davranış, kaçınılması gereken bir özelliktir ve sistemde ani göçmelere neden olur. Bu bakımdan, özellikle kesme etkisi altındaki betonarme kesitlerin yeterli kesme dayanımına sahip olmaları yaşamsal önem taşır.



Kalite	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

Şekil 1.9. Sargısız/sargılı betonun ve donatı çeliğinin gerilme – birim şekildeğiştirme eğrileri



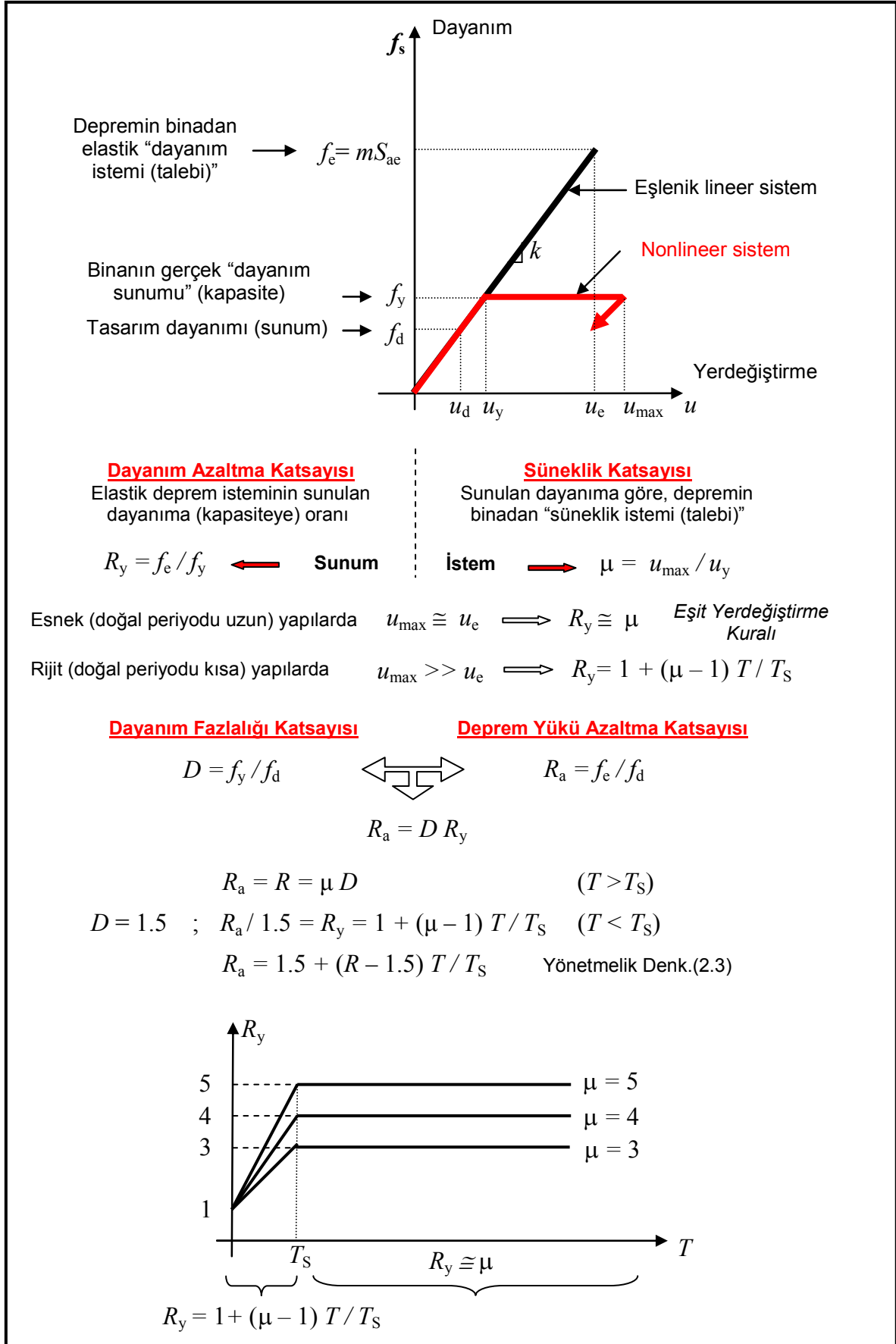
Şekil 1.10. Betonarme kesitte moment – eğrilik ilişkisi

1.6. SÜNEKLİK İSTEMİ VE DAYANIM SUNUMU KAVRAMLARI

Şekil 1.8’de verilen nonlinear tek serbestlik dereceli sisteme ait dayanım – yerdeğiştirme modelindeki *iki doğrulu* iskelet eğrisi, Şekil 1.11’in üst kısmına aynen aktarılmış ve *nonlinear sistem* olarak belirtilmiştir. (k) rijitliği *iki doğrulu* iskelet eğrisinin başlangıç rijitliği ile aynı olan fiktif bir *eşlenik lineer sistem*’e ait kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

1.6.1. Depremın Elastik Dayanım İstemi ve Sunulan Dayanım

Verilen bir depremin etkisi altında *eşlenik lineer sistem*’e etkiyen *eşdeğer deprem yükü*, Şekil 1.11’de gösterildiği üzere, tek serbestlik dereceli bina sisteminin kütlesi ile bu sistemin doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivmenin çarpımına eşittir ($f_e = mS_{ae}$). Bu büyüklük, *depremin binadan “elastik dayanım istemi (talebi)”* olarak nitelendirilebilir. Verilen depremin etkisi altında bina taşıyıcı sisteminin lineer elastik kalması isteniyor ise, *sözün gelişi* deprem binadan (veya onun tasarımını yapan mühendisten) en az bu büyüklük kadar dayanım isteyecektir (talep edecektir).



Şekil 1.11. İstem – Sunum ilişkileri ve Dayanıma Göre Tasarım büyüklükleri

Yukarıda 1.5'in başlangıcında belirtildiği üzere, “yeni yapılan binalarda kullanıcıların *can güvenliği*’ni sağlamak kaydı ile, şiddetli depremlerde bina taşıyıcı sisteminde belirli düzeyde hasara *bilerek* izin verilir.” Tamamen ekonomik nedenlere dayalı bu yaklaşım doğrultusunda, *depremin binadan elastik dayanım talebi*’ne olumsuz yanıt verilir ve Şekil 1.11’de görüldüğü üzere, bina için bu talep değerinden daha küçük bir *dayanım sunumu* yapılır. Buna *dayanım kapasitesi* de denilebilir (Şekil 1.11’de f_y ile gösterilen ve *akma dayanımı* olarak da adlandırılabilen büyüklük: $f_y < f_e$).

1.6.2. Dayanım Azaltma Katsayısı ve Süneklik Katsayısı

Bu durumda taşıyıcı sistem, sunulan dayanımı f_y olan bir *nonlinear sistem* olacaktır. Nonlinear sistemi niteleyen iki temel parametreden birincisi, Şekil 1.11’den görüldüğü üzere, *Dayanım Azaltma Katsayısı*’dır. R_y ile gösterilen bu katsayısı, lineer elastik dayanım talebinin (f_e) sunulan dayanıma (f_y) oranıdır: $R_y = f_e / f_y$. *Süneklik Katsayısı* olarak adlandırılan ve μ ile gösterilen ikinci temel parametre ise, nonlinear sistemin maksimum yerdeğiştirmesinin (u_{max}) akma yerdeğiştirmesine (u_y) oranıdır: $\mu = u_{max} / u_y$. Süneklik Katsayısı, bina (veya onun tasarımını yapan mühendis) tarafından sunulan dayanıma göre, depremin binadan talep ettiği (istemde bulunduğu) plastik şekildeğiştirmenin ölçüsüdür (*Süneklik İstemi*).

1.6.3. Eşit Yerdeğiştirme Kuralı

Yukarıda tanımlanan ve nonlinear sistemi niteleyen iki temel parametre olan *Dayanım Azaltma Katsayısı* ile *Süneklik Katsayısı* arasında bir ilişki var mıdır? Tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde yapılan sayısal araştırmalar bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir. Yakın-alan depremleri (faya çok yakın bölgelerde kaydedilen depremler) hariç olmak üzere, çok sayıda deprem gözönüne alınarak tek serbestlik dereceli *nonlinear sistemler* ve *eşlenik lineer sistemler* üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen *ortalama sonuçlara* göre;

(a) Başlangıç rijitliği çok büyük olmayan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu belirli bir sınır periyodundan daha uzun olan ($T > T_s$) görelî esnek sistemlerde (Bkz. Şekil 1.11), nonlinear sistemin maksimum yerdeğiştirmesi u_{max} ile eşlenik lineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesi u_e birbirine yaklaşık olarak eşit olmaktadır ($u_{max} \cong u_e$). Bu çok önemli özelliğe *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı* adı verilmektedir. Bu durumda, R_y ve μ için yukarıda yapılan tanımlar dikkate alınarak Şekil 1.11’den $R_y = \mu$ sonucuna varılır.

(b) Başlangıç rijitliği çok büyük olan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu (T) belirli bir sınır periyodundan daha kısa olan ($T < T_s$) görelî rijit sistemlerde ise, nonlinear sistemin maksimum yerdeğiştirmesi u_{max} , eşlenik lineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesi u_e ’den çok daha büyük olmaktadır ($u_{max} \gg u_e$). Bu durumda doğal periyod T ’nin değerine bağlı olarak R_y ’in değeri μ ’den daha küçük olmaktadır. Pek çok yönetmelikte olduğu gibi Türkiye Deprem Yönetmeliğinde de bu amaçla esas alınan bağıntı (Bkz. 1.6.5), Şekil 1.11’de verildiği üzere $R_y = 1 + (\mu - 1) T / T_s$ şeklinde ifade edilen basit amprik bağıntıdır. Görüldüğü üzere, rijitliği sonsuza yaklaşan sistemde ($T \rightarrow 0$), *Dayanım Azaltma Katsayısı* birim değere yaklaşmaktadır ($R_y \rightarrow 1$).

NOT: Yukarıda belirtilen sınır periyodu T_s , depremin hakim periyodu olarak nitelendirilir. Yeni binalar için **Yönetmelik 2.5**’te kısa spektrum karakteristik periyodu T_A ’ya, mevcut binalar için ise **Yönetmelik Bilgilendirme Eki 7C**’de, güvenli tarafta kalmak amacı ile, uzun spektrum karakteristik periyodu T_B ’ye eşit alınmıştır.

1.6.4. Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Tasarımı yapan mühendis tarafından bina için *sunulan dayanım* (f_y), yukarıda belirtildiği gibi, taşıyıcı sistemin *akma dayanımı* veya *dayanım kapasitesi* olarak da nitelendirilebilir. Ancak bu dayanım, betonarme ve çelik yönetmeliklerine göre hesaplanan *taşıma gücü*'nden daima daha büyüktür. Örneğin betonarme yönetmeliği TS-500'e göre taşıma gücü hesabında beton ve donatı çeliğinin *tasarım dayanımları*, karakteristik dayanımların ilgili malzeme güvenlik katsayılarına (sırası ile 1.5 ve 1.15) bölünmesi ile elde edilir. Esasen karakteristik dayanımlar da ortalama dayanımlara göre daha küçüktür. Ayrıca beton ve çelik üreticileri, kendilerini güvenceye almak için daima daha yüksek dayanımlı malzeme üretme eğilimindedirler. Yönetmeliklerde çeliğin yüksek şekildeğiştirmeler altında dayanımının artma (pekleşme özelliği – bkz. Şekil 1.9) ihmal edilir. Öte yandan yönetmeliğe göre kullanılması zorunlu olan sargı donatıları, betonun basınç dayanımını önemli ölçüde arttırmalarına karşın, bu artış kesit taşıma gücü hesabında dikkate alınmaz. Nihayet, hesap gerektirmese bile yönetmelikler, kesit boyutları ve donatı oranları için belirli minimum koşullar empoze ederler.

Yukarıda sıralanan bütün bu faktörler, betonarme ve çelik yönetmeliklerine göre hesapladığımız (f_d) *tasarım dayanımı*'nın, gerçekte ondan daha büyük bir (f_y) *dayanım kapasitesi*'ne karşı geldiğini göstermektedir. Bu farklılığı ifade etmek amacı ile, Şekil 1.11'de görüldüğü üzere *Dayanım Fazlalığı Katsayısı* (İngilizcesi *Overstrength Factor*) $D = f_y / f_d$ olarak tanımlanır. Betonarme elemanlarda bu katsayının değeri, çeşitli faktörlere bağlı olarak 1.5 ila 3.0 arasında değişebilir.

1.6.5. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Yukarıda 1.6.2'de *Dayanım Azaltma Katsayısı* R_y , akma dayanımı f_y 'ye (dayanım kapasitesine) bağlı olarak tanımlanmıştı. Oysa uygulamada tasarım dayanımı f_d esas alındığından, buna bağlı bir azaltma katsayısının tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yönetmelikte de yer alan *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* R_a , lineer elastik dayanım talebi f_e 'nin tasarım dayanımı f_d 'ye oranı olarak tanımlanır: $R_a = f_e / f_d$ (Bkz. Şekil 1.11). Yukarıdaki 1.6.2'de tanımlanan *Dayanım Azaltma Katsayısı* R_y ve 1.6.4'te tanımlanan *Dayanım Fazlalığı Katsayısı* D 'den yararlanılarak, *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* $R_a = DR_y$ şeklinde ifade edilebilir. Yukarıdaki 1.6.3'te tanımlanan *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı* çerçevesinde (aynı paragraftaki NOT'a göre yeni yapılacak binalar için $T_S = T_A$ alınarak);

(a) Başlangıç rijitliği çok büyük olmayan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyodundan daha uzun olan ($T > T_A$) göreceli esnek sistemlerde $R_y = \mu$ olduğundan, $R_a = D\mu$ yazılabilir. Bu bağıntının sağ tarafı, **Yönetmelik 2.5** ve **Tablo 2.5**'te tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* R 'ye eşittir: $R = D\mu$. Diğer deyişle, *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* R , *Süneklik Katsayısı* ile *Dayanım Fazlalığı Katsayısının çarpımına eşittir*. Dolayısı ile, yeni yapılacak binalarda $T > T_A$ için $R_a = R$ yazılabilir (Bkz. **Yönetmelik Denk. (2.3)**'teki ikinci bağıntı).

(b) Başlangıç rijitliği çok büyük olan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyodundan daha kısa olan ($T < T_A$) göreceli rijit sistemlerde ise, $R_a = D R_y$ bağıntısı ile birlikte $R = D\mu$ tanımından ve 1.6.3(b)'deki $R_y = 1 + (\mu - 1) T / T_A$ bağıntısından yararlanılarak $R_a = D + (R - D) T / T_A$ bağıntısı yazılabilir. Güvenli tarafta kalmak üzere $D = 1.5$ alınırsa, **Yönetmelik Denk.(2.3)**'teki birinci bağıntı şu şekilde elde edilir: $R_a = 1.5 + (R - 1.5) T / T_A$.

1.7. DAYANIMA GÖRE TASARIM YAKLAŞIMI – KAPASİTE TASARIMI İLKELERİ

Hemen hemen dünyadaki tüm deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, *Türkiye Deprem Yönetmeliği*'nde (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik – 2007) esas alınan temel tasarım yaklaşımı *Dayanıma Göre Tasarım*'dır.

1.7.1. Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı

Bu tasarım yaklaşımında, öncelikle elastik eşdeğer deprem yükleri *Davranış Spektrumu*'ndan yararlanılarak belirlenir. Daha sonra bu yükler, taşıyıcı sistemin türüne (çerçevesiz, çerçeve/perdeli veya perdeli sistemler) ve öngörülen süneklik düzeyine göre tanımlanan *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı*'na bölünerek azaltılır. Taşıyıcı sistem bu azaltılmış yükler altında doğrusal elastik davranış esasına göre analiz edilir ve kesitlerdeki iç kuvvetler (kesit tesirleri) elde edilir. Son aşamada, bu iç kuvvetlere göre kesitlerin *dayanım bakımından yeterliliği* betonarme veya çelik yönetmeliklerine göre irdelenir. Ayrıca, yukarıda anlatılan *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı*'na göre *azaltılmamış* (elastik) deprem yükleri altında elde edilen göreceli kat ötelemelerinin, yönetmelikte verilen sınırları aşp aşmadığı kontrol edilir.

1.7.2. Taşıyıcı Sistemin Süneklik Kapasitesi

Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında ek kritik konu, *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı*'nın belirlenmesidir. Yukarıda açıklandığı üzere bu katsayı, *süneklik katsayısı*'na bağlı olarak tanımlanabilmektedir. O halde, *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* R_a 'nın ve onun bağlı bulunduğu *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* R 'nin belirlenebilmesi için, taşıyıcı sistemdeki süneklik katsayısının, diğer deyişle taşıyıcı sistemin sahip olduğu *süneklik kapasitesi*'nin bilinmesine ihtiyaç vardır. Yukarıda 1.6.5'de açıklandığı ve Şekil 1.11'de görüldüğü üzere, *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* $R = D\mu$ olarak tanımlanmaktadır. R katsayısı, **Yönetmelik Tablo 2.5**'te iki farklı süneklik düzeyi ve çeşitli taşıyıcı sistem türleri için verilmiştir. Aslında yönetmelikte verilen büyüklük, $\mu = R / D$ olarak ifade edilebilen *süneklik kapasitesi*'dir. Ortalama bir değer olarak *Dayanım Fazlalığı Katsayısı* $D = 2$ olarak alınırsa, örneğin *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*'nın $R = 8$ olarak verildiği *Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve* türü taşıyıcı sistemler için yönetmelikte öngörülen *süneklik kapasitesi*'nin $\mu = 8 / 2 = 4$ olduğu anlaşılır. Demek ki, **Yönetmelik Tablo 2.5**'te esas olarak taşıyıcı sistem türlerinin sahip oldukları düşünülen *süneklik kapasiteleri* tanımlanmış olmaktadır.

Yönetmelik'te öngörülen taşıyıcı sistem süneklik kapasitesinin gerçekleştirilebilmesi için tasarımda birtakım kurallara uyulması gerekir. Bu bağlamda, betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için **Yönetmelik Bölüm 3** ve **Bölüm 4**'te tanımlanmış bulunan tüm sünek tasarım kurallarına uyulması yaşamsal önem taşır. Bunların en önemli olanları, *Kapasite Tasarımı İlkeleri* olarak nitelendirilen kurallardır.

1.7.3. Kapasite Tasarımı İlkeleri

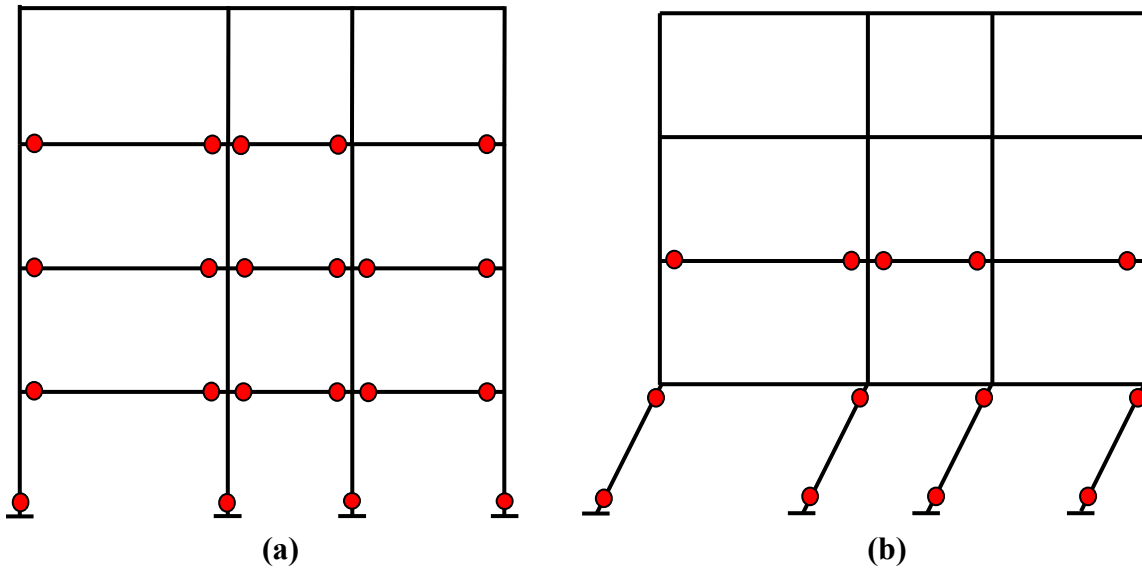
Birinci *Kapasite Tasarımı İlkesi*, öngörülen *süneklik kapasitesi*'nin sağlanabilmesi için taşıyıcı sistemde plastik şekildeğiştirmelerin yoğunlaştığı *plastik mafsal*'ların (Bkz.

1.5.1) yerlerinin uygun biçimde seçilmesi ve buralarda plastik şekildeğiştirme kapasitesinin (yerel süneklik kapasitesinin) artırılması için özel önlemler alınmasıdır.

Bu bağlamda örneğin betonarme çerçevelerden oluşan sistemlerde plastik mafsalların daima kiriş uçlarında oluşması, kolon uçlarında ise oluşmaması istenir. Bunun iki temel nedeni vardır: Birincisi, kirişlerde eksenel kuvvetin çok az oluşu nedeni ile süneklik kapasitesinin yüksek oluşudur. Kolonlarda ise basınç eksenel kuvveti, kaçınılmaz biçimde süneklik kapasitesini düşürür. Bu bakımdan, Şekil 1.12(a)'da görüldüğü üzere, kirişlerde plastik mafsall oluşumu tercih edilir. İkinci neden ise, Şekil 1.12(b)'de görüldüğü üzere, kolonların hem alt ve hem de üstlerinde plastik mafsall oluşumu ile *kat mekanizması* adı verilen tehlikeli durumun meydana gelmesinin önlenmesidir. Ancak, ne yapılsa yapılsın, kolonların rijit temele bağlantı noktalarında plastik mafsall oluşumu önlenemez, ama Şekil 1.12(a)'da görülen bu durum herhangi bir stabilite sorunu meydana getirmez.

Plastik mafsalların kolonlarda değil, kiriş uçlarında oluşmasını sağlamak üzere **Yönetmelik 3.3.5**'te betonarme sistemler için, **Yönetmelik 4.3.2**'de ise çelik sistemler için *Güçlü Kolon – Zayıf Kiriş* kuralı tanımlanmıştır. Betonarme sistemlerde bu kuralın sağlanması için, en üst kattakiler hariç olmak üzere, herhangi bir düğüm noktasında birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin, aynı düğüm noktasında birleşen kirişlerin taşıma gücü momentlerinden en az %20 fazla olması gerekmektedir. Ayrıca kiriş uçlarında süneklik kapasitesinin artırılması için gerekli sargı donatısı koşulları **Yönetmelik 3.4.4**'te verilmiştir. Bu arada, düğüm noktasında birleşen kolon uçlarında da sargı donatısı koşulları, **Yönetmelik 3.3.4**'te ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Buralarda plastik mafsalların oluşması beklenmese de, sargı donatısının betonun basınç dayanımını artırarak her durumda kolon taşıma gücü momentini de arttırdığı bilinmektedir. Ayrıca, öngörülmeleyen birtakım nedenlerden ötürü bazı durumlarda kolon uçlarında da plastik mafsall meydana gelebilme olasılığı da gözden uzak tutulmamalıdır.

İkinci *Kapasite Tasarımı İlkesi*, taşıyıcı sistem elemanlarında *gevrek (sünek olmayan) davranış*'ın, yukarıda belirtilen sünek davranış önlemleri ile uyumlu olacak biçimde, önlenmesidir.



Şekil 1.12. Çerçeve türü taşıyıcı sistemlerde plastik mafsalların dağılımı: (a) Olması tercih edilen dağılım, (b) Olması istenmeyen dağılım (Birinci katta *kat mekanizması*)

Gevrek davranışta plastik şekildeğiştirmeler söz konusu değildir. Bu nedenle gevrek davranan elemanda, iç kuvvet kapasitesine ulaşıncaya ani olarak kırılma (göçme) meydana gelir. Örneğin betonarme sistemlerde gevrek davranış, ya yetersiz kesme dayanımı nedeni ile veya donatının betonardan sıyrılması, diğer deyişle kenetlenmenin yok olması nedeni ile gerçekleşir. **Yönetmelik 3.3.7, 3.4.5 ve 3.5.2**'de, sırası ile kolonlarda, kirişlerde ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelecek *kesme kuvveti istemleri*'nin, yukarıda belirtilen sünek davranış mekanizması ile uyumlu olacak biçimde, diğer deyişle plastik mafsallık momentleri ile uyumlu biçimde hesaplanması öngörülmüştür (Bkz. sırası ile, **Yönetmelik Şekil 3.5, Şekil 3.9, Şekil 3.10**). Böylece kolon, kiriş ve birleşim bölgelerinde, dayanım fazlalıkları da dikkate alınarak, depremde meydana gelmesi olası en büyük kesme kuvveti istemleri hesaplanmış olmaktadır. Kesme kuvveti kapasitelerinin bu istem değerlerinden daha büyük olması sağlanarak, güvenli bir biçimde gevrek kırılmanın önüne geçilmektedir.

Betonarme sistemlerde gözönüne alınması gerekli diğer gevrek davranış biçimi olan donatı sıyrılması (kenetlenme kaybı) ile ilgili olarak kolonlar için **Yönetmelik 3.3.3**, kirişler için ise **Yönetmelik 3.4.3**'te verilen ayrıntılı kurallara aynen uyulması, sünek tasarımın vazgeçilmez koşuludur.

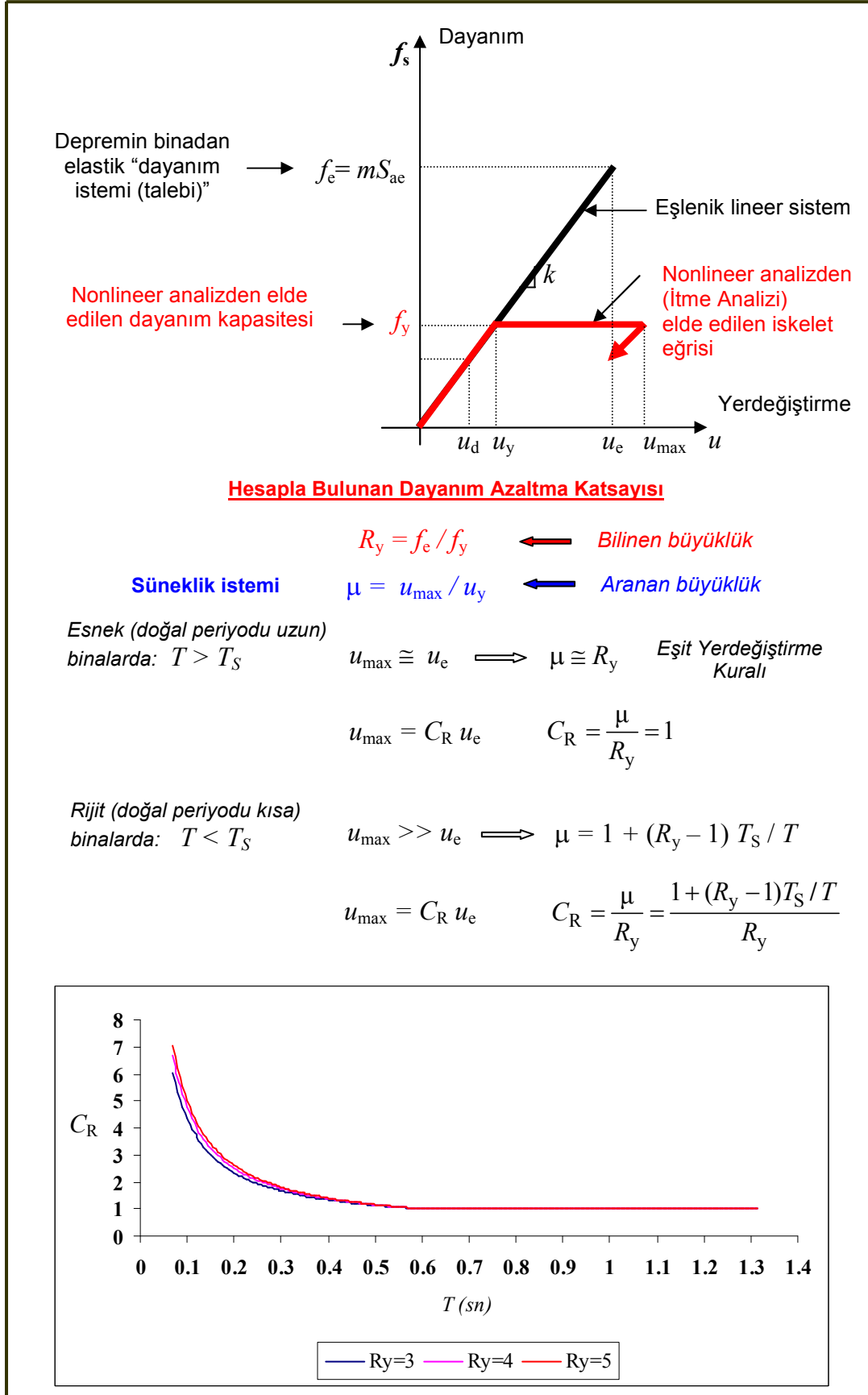
1.8. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME / TASARIM YAKLAŞIMI

Yukarıda açıklanan *Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı*'nin en önemli sakıncası, elastik eşdeğer deprem yüklerinin azaltılması için yararlanılan *süneklik kapasitesi*'nin yönetmelikte sadece taşıyıcı sistem türü ve süneklik düzeyine bağlı olarak, taşıyıcı sistemin tümü için tek bir parametre olarak tanımlanmasıdır. Öte yandan, yukarıda 1.3.1'de belirtildiği üzere, *tasarım depremi* (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan şiddetli deprem) altında taşıyıcı sistemde belirli düzeyde hasar oluşacağı kabul edilmesine karşılık, *Dayanıma Göre Tasarım*'da bu hasarın büyüklüğü ve dağılımı sayısal olarak belirlenmemektedir.

1.8.1. Süneklik İstemi

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme/Tasarım'da temel amaç, *Dayanıma Göre Tasarım*'ın aksine, öncelikle taşıyıcı sistemin *dayanım kapasitesi*'nin nonlinear (doğrusal olmayan) analiz ile saptanması, daha sonra 1.6.3'de tanımlanan Eşit Yerdeğiştirme Kuralı'ndan yararlanılarak, gözönüne alınan depremin etkisi altında eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin *süneklik istemi*'nin elde edilmesidir. Dikkat edilirse, *Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı*'nda Dayanım Azaltma Katsayısı R_y , yönetmelikte öngörülen *süneklik kapasitesi* μ cinsinden hesaplanmıştı (bkz. Şekil 1.11). *Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme / Tasarım*'da ise Eşit Yerdeğiştirme Kuralı'na ait bağıntılar tersten ifade edilmiştir ve bu kez *süneklik istemi* μ , nonlinear hesap sonucunda bulunan Dayanım Azaltma Katsayısı R_y cinsinden hesaplanmaktadır (bkz. Şekil 1.13).

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme / Tasarım'ın genel yaklaşımı Şekil 1.13'te özetlenmiştir. Burada görülen iskelet eğrisi, **Yönetmelik Bölüm 7**'de tanımlanan *itme eğrisi*'nden elde edilen *modal kapasite diyagramı*'na karşı gelmektedir. Şekil 1.13'e göre maksimum yerdeğiştirmenin hesabına ilişkin kurallar **Yönetmelik Bilgilendirme Eki 7C**'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 1.13. Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı

1.8.2. Şekildeğiştirme İstemleri

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme/Tasarım'da süneklik isteminin hesapla elde edilebilmesi, gözönüne alınan deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelecek hasarın dağılımının ve büyüklüğünün sayısal olarak belirlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Gerçekten, **Yönetmelik Bölüm 7**'ye göre yapılan *nonlinear İtme Analizi* sonucunda, verilen bir deprem etkisi altında istem büyüklükleri olarak betonarme kolon, kiriş ve perdelerin kritik kesitlerinde oluşan *plastik mafsal dönmeleri* doğrudan elde edilebilmektedir. Daha sonra bunlara bağlı olarak aynı kritik kesitlerdeki *plastik eğrilik istemleri* ve *toplam eğrilik istemleri* hesaplanmakta, son aşamada ise beton ve donatı çeliğinde meydana gelen en büyük *birim şekildeğiştirme istemleri* sayısal olarak elde edilmektedir.

1.8.3. Performansa Göre Değerlendirme/Tasarım Kavramı

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı, yeni yapılacak ve aynı zamanda mevcut binaların performanslarının değerlendirilmesi ve tasarımında kullanılabilecek modern bir yaklaşımdır. **Yönetmelik Bölüm 7**'ye göre, mevcut binaların değerlendirilmesinde gözönüne alınacak deprem düzeyleri ve performans düzeyleri ile kullanım amacı ve türü farklı binalar için öngörülen performans hedefleri yukarıda 1.3.2'de verilmiştir. Örneğin **Yönetmelik Tablo 7.7**'de (bkz. yukarıda 1.3.2.3) mevcut okul binalarının deprem performanslarının değerlendirilmesinde; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (*D2*) depreminde *HK* (Hemen Kullanım) performans hedefinin, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (*D3*) depreminde ise *CG* (Can Güvenliği) performans hedefinin sağlanması öngörülmüştür. Bunlara göre, yukarıda 1.8.2.'de açıklandığı üzere elde edilen *birim şekildeğiştirme istemleri*, **Yönetmelik 7.6.9**'da her bir performans hedefi için ayrı ayrı tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyindeki hasarın değerlendirmesi yapılmakta, son aşamada ise bu hasarların bina toplamında bileşkesi değerlendirilerek bina düzeyinde erişilen performansın tanımlanmış bulunan performans hedeflerini karşılayıp karşılamadığı irdelenmekte ve binanın performans düzeyi belirlenmektedir. Sünek deformasyon büyüklüklerine bağlı olarak yapılan bu değerlendirmeye ek olarak, gevrek davranış biçimleri ile ilgili değerlendirme de *Performansa Göre Değerlendirme*'nin bir parçasıdır. Bu bağlamda betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında *İtme Analizi* sonucunda elde edilen *kesme kuvveti istemleri*'nin, **Yönetmelik**'te tanımlanan *kesme kuvveti kapasiteleri*'ni aşıp aşmadığı irdelenir.

Yeni yapılacak binalar için *Performansa Göre Tasarım Yaklaşımı* 2007 Deprem Yönetmeliği'nde öngörülmemiş olmakla birlikte, bu modern tasarım yaklaşımının çok uzak olmayan bir gelecekte yeni binalar için de uygulanmasının tüm dünya yönetmeliklerinde yaygınlaşması beklenmektedir.