

**DEPREME DAYANIKLI BİNA TASARIM YÖNETMELİKLERİNDE
TEMEL YAKLAŞIMLAR**

**BASIC APPROACHES IN EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN CODES
FOR BUILDINGS**

M.Nuray Aydınoğlu¹

SUMMARY

The rapid developments in earthquake engineering theory and practice in the last quarter of a century as well as lessons learned from the past earthquakes have led to the continuous development of earthquake resistant design codes throughout the world. In this context, last fifteen years have witnessed three major code developments. The model code ATC 3-06 (Applied Technology Council 1978) and its continuously updated versions (NEHRP 1985,1988,1991,1994) have found worldwide acceptance as evidenced by the reflections observed in several national codes (IAEE 1992). In 80's Eurocode 8 is developed as a comprehensive standard code of European Union countries (Eurocode 8 - 1993). On the other hand, Japanese Code has undergone a major revision in 1981 (Building Standard Law 1981) to introduce a two-phase design approach covering both serviceability and ultimate limit states in the earthquake resistant design process.

This paper is intended to make an overall evaluation of these three codes in terms of basic approach to the problem including determination of design seismic loads and analysis procedures. It is demonstrated that significant similarities as well as differences and common problems exist, but it is clear that Japanese code represents a unique approach in earthquake resistant design in terms of two-phase design process, nonlinear analysis models and strict rules enforced for high-rise buildings. It is foreseen that the future codes will have to concentrate more on the real nonlinear behaviour of structural systems as early signs are visible in AIJ Structural Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings (Architectural Institute of Japan 1994). It appears that next generation engineers will experience today's dreams come true provided that problems related to adequate professional training and consistent development of relevant computer codes are overcome.

¹ Prof.Dr., Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Son çeyrek yüzyılda, deprem mühendisliğinde meydana gelen gelişmeler ve deprem hasarlarından alınan dersler ışığında geçtiğimiz onbeş yıl içinde geliştirilen üç temel yönetmelik, ATC 3-06 (1978), Eurocode 8 (1993) ve Japon Standart Bina Yasası (Building Standard Law 1981), içerdikleri temel yaklaşımlar ve yöntemler bakımından değerlendirilmişlerdir. Her üç yönetmelikteki benzerlikler ve farklılıkların yanında, Japon yönetmeliğinin iki aşamalı tasarım süreci ve doğrusal olmayan deprem hesabı konularında kendine özgü yaklaşımı vurgulanmış ve bu yaklaşımın ileriye dönük muhtemel yansımaları irdelenmiştir.

GİRİŞ

Deprem Mühendisliği teori ve pratiğinde son çeyrek yüzyıl boyunca meydana gelen gelişmeler ve dünyanın çeşitli yerlerinde olan depremlerin farklı koşullarda yarattığı hasarlardan alınan dersler, bütün dünyada depreme dayanıklı tasarım yönetmeliklerinde sürekli olarak değişikliklere ve gelişmelere neden olmaktadır.

Son 15 yıl içinde çeşitli ülkelerde uygulamaya konulan deprem yönetmeliklerini (IAEE, 1992) en çok etkileyen yaklaşım, hiç kuşkusuz 1970'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde Applied Technology Council tarafından geliştirilen *model yönetmelik* (ATC 3-06, 1978) ile ortaya konulan temel yaklaşımdır. Daha sonra belirli aralıklarla sürekli olarak güncelleştirilen bu model yönetmelik (NEHRP 1985, 1988, 1991, 1994), bazı küçük farklılıklarla, A.B.D.'nin resmi yönetmeliği olan Uniform Building Code'un (International Conference of Building Officials 1991, 1994) da temelini oluşturmaktadır.

Öte yandan, deprem mühendisliği araştırmaları ve pratiği bakımından A.B.D. ile birlikte önder konumdaki diğer ülke olan Japonya'da 1981'den bu yana uygulanmakta olan deprem yönetmeliği (Standart Bina Yasası - Building Standard Law - BSL 1981), temel yaklaşımı bakımından Amerikan yaklaşımından oldukça önemli farklılıklar içeren "kendine özgü" bir yönetmelik olma özelliğini taşımaktadır.

Nihayet, Eurocode yönetmelikleri çerçevesinde Avrupa'da son 10 yıl içinde geliştirilmekte olan standart deprem yönetmeliği, günümüzde vardığı aşamada (Eurocode 8 - 1993), temelde Amerikan yaklaşımını benimsemekle birlikte, yer yer Japon yaklaşımından da etkilendiği izlenimini veren ve bunları diğer Eurocode'larda biçimlenen Avrupa tasarım pratiği ile birleştirmeyi amaçlayan bir yaklaşımı sergilemektedir.

Bu bildiride, yukarıda belirtilen üç yönetmelik, depreme karşı tasarımdaki temel yaklaşımları, tasarım deprem yüklerinin belirlenmesi, analiz yöntemleri ve düzenli-düzensiz sistem tanımlamaları bakımından, özellikle betonarme binaların tasarımı gözönüne alınarak değerlendirilmiş, bu çerçevede deprem yönetmeliklerinin ileride hangi doğrultularda gelişebileceği irdelenmiştir.

TAŞIMA GÜCÜ VE KULLANILABİLİRLİK LİMİT DURUMLARI

Bütün deprem yönetmeliklerinin genel ve nihai amacı, belirli bir olasılıkla yapının servis süresi boyunca karşılaşılabileceği öngörülen *büyük deprem*de göçmenin olmaması ve can kaybının önlenmesidir. Ancak, yapının servis süresi boyunca daha sık olarak karşılaşılabileceği küçük ya da orta büyüklükteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanların hiç hasar görmemesi veya hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması istenir. Bu amaç tanımları, sırası ile, *taşıma gücü limit durumu* (ultimate limit state) ile *kullanılabilirlik limit durumu* (serviceability limit state) tanımlarına karşı gelmektedir.

Bu bildiriye ele alınan her üç yaklaşımda da, doğal olarak *taşıma gücü limit durumunun*, belirli farklılıklarla da olsa, tasarımında esas alınmasına karşın, yukarıda belirtilen *kullanılabilirlik limit durumunu* deprem yönetmeliği içinde tam anlamı ile tanımlayan tek yaklaşım, Japon yaklaşımıdır. Japon yönetmeliğine (BSL 1981) göre, *büyük deprem* için tanımlanan eşdeğer deprem yüklerinin %20'sine karşı gelen deprem yükleri ile temsil edilen *orta büyüklükteki deprem*de, yapı elemanlarında oluşacak gerilmelerin doğrusal elastik sınırın, diğer deyişle geçici yükler için izin verilen emniyet gerilmelerinin altında olması zorunludur. Ayrıca her bir katta, *görelî (rölatif) kat ötelemesinin* kat yüksekliğine oranı 1/200 değerini aşamaz. Yapısal olmayan elemanlarda önemli hasar olmayacağı kanıtlanmak koşulu ile, bu değer 1/120'ye kadar çıkarılabilir.

Avrupa yaklaşımı (Eurocode 8, 1993), bu bakımdan Japon yaklaşımı ile paralellik göstermektedir. Eurocode 8'de, *büyük deprem* (tasarım depremi) için tanımlanan eşdeğer deprem yüklerinin %40 - %50'sine karşı gelen deprem yükleri ile temsil edilen *daha kısa dönüş periyodlu deprem*de, görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı 1/500 ile sınırlanmakta, yapısal olmayan elemanların yapısal deformasyonlardan etkilenmeyecek şekilde yapıya bağlandığı durumlarda ise bu oran 1/250'ye kadar çıkarılmaktadır. *Orta büyüklükteki depremin* tanımındaki farklılık dışında, Japon ve Avrupa yaklaşımlarının bu bakımdan birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak Eurocode 8'de, kullanılabilirlik limit durumundaki gerilmelerin doğrusal elastik sınırın altında kalması koşulu bulunmamaktadır.

Amerikan yaklaşımında (NEHRP 1991, UBC 1991) ve bu yaklaşımı izleyen yönetmeliklerde (IAEE 1992), *kullanılabilirlik limit durumunun* hesapta gözönüne alınması zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu yaklaşımda, *taşıma gücü limit durumu* için tanımlanan deprem yükleri ve diğer tasarım kurallarına göre tasarlanan binaların kullanılabilirlik limit durumunu da *kendiliğinden* sağlayacağı varsayımı yapılmaktadır. Ancak, belirli durumlarda bu varsayımın geçerliliğinin kuşkulu olabileceği ileri sürülmüştür (Uang & Bertero 1991).

DEPREM TASARIM YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Taşıma gücü limit durumu için yukarıda sözü edilen her üç yaklaşımda da deprem yükleri, öncelikle yapının doğal periyoduna göre doğrusal elastik bazda tanımlanan *elastik ivme spektrumu*'na bağlı olarak belirlenmektedir. Elastik spektrum tanımının üç ana ögesi, deprem bölgelerine göre belirlenen *etkin yer ivmesi*, sönüm oranı ve yerel zemin koşullarıdır. Japon yönetmeliğinde etkin yer ivmesi veya buna karşılık gelen herhangi bir katsayının açıkça tanımı yapılmamıştır. Ancak Aoyama (1981)'ya göre ülkede gözönüne alınan en büyük ivmeler 0.30-0.40 g mertebesindedir. Bu yönetmelikte en tehlikeli (A) deprem bölgesi için verilen elastik ivme spektrumu, yerel zemin koşullarının en iyi olduğu durum için, NEHRP'de $A_a = A_v = 0.40$ ve Eurocode'da $a_g = 0.40$ g alınarak bu iki yönetmelikte tanımlanan elastik spektrumlarla (yerçekimi ivmesine göre normalize edilerek), Şekil 1'de karşılaştırılmıştır. NEHRP ve Eurocode spektrumlarının birbirlerine oldukça yakın olmasına karşın, küçük ve büyük periyot bölgeleri dışında BSL spektrumunun diğer ikisine göre daha büyük değerler aldığı görülmektedir.

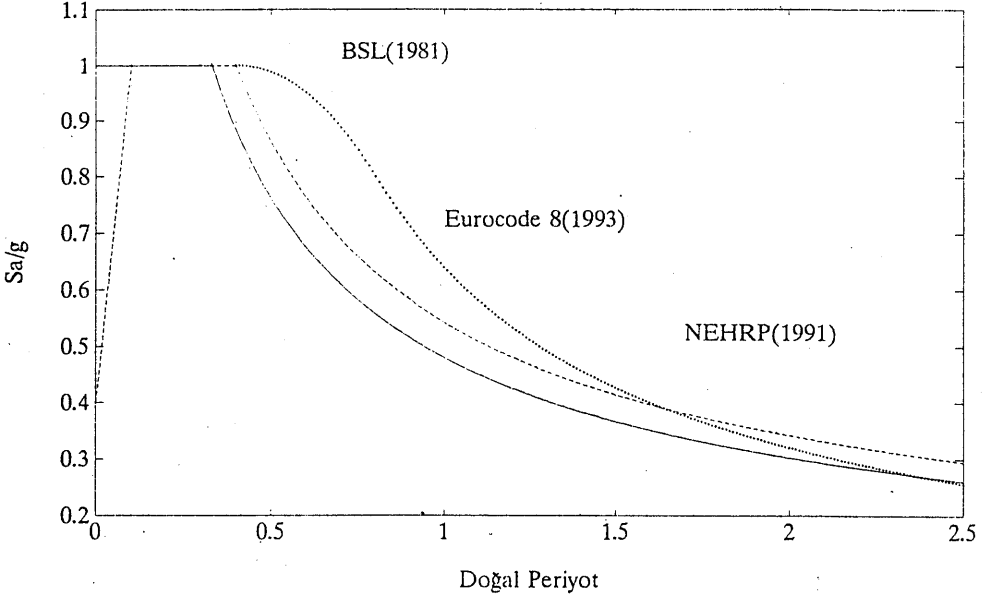
Deprem hesabında kullanılacak eşdeğer deprem yüklerinin elde edilebilmesi için, tanımlanan elastik ivme spektrumu, taşıyıcı sistemin malzeme ve eleman olarak türüne, düzenliliği veya düzensizliğine, sünek davranış ile enerji yutabilme özelliğine, sistem bazında yedek dayanım kapasitesine bağlı olarak belirlenen bir *azaltma katsayısı* ile bölünür ya da çarpılır. Bölen olarak kullanıldığında bu katsayı, NEHRP'de "davranış düzeltme katsayısı (R)", Eurocode 8'de ise "davranış katsayısı (q)" olarak tanımlanır. Emniyet gerilmeleri esasına göre düzenlenen UBC'de ise R katsayısının ortalama 1.5 katı olan R_w katsayısı kullanılmaktadır.

Japon BSL'de "yapı katsayısı" olarak adlandırılan azaltma katsayısı $[1/(D_s F_{es})]$ ise, anlamı bakımından diğer iki yönetmelikteki azaltma katsayılarından farklıdır. Bu farklılık aşağıda açıklanacaktır.

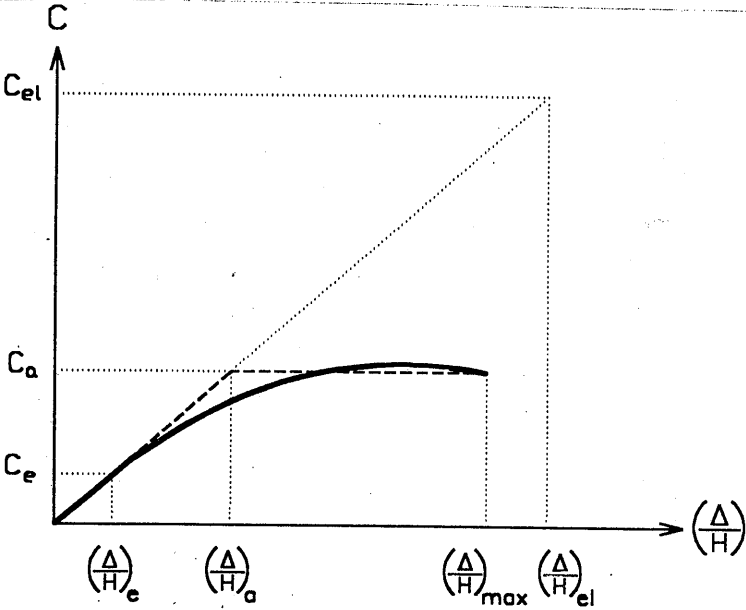
Elastik spektrumun azaltma katsayısına bölünmesi ile elde edilen yeni spektrum, kullanılan sisteme özgü *tasarım spektrumu*'dur. Bu spektrumun, yapının hesapta esas alınan doğal titreşim periyoduna karşı gelen ordinatı, "eşdeğer deprem katsayısı (C_e)"nı tanımlar.

Deprem etkisini temsil eden eşdeğer statik yatay yüklerin sıfırdan başlayarak monotonik biçimde artırılması durumunda, herhangi bir bina taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan global davranışı, Uang (1991)'den uyarlanarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde (Δ/H) ile simgelenen yatay eksen, tipik olarak "ötelenme oranını" (örneğin binanın en üst katının toplam yerdeğiştirmesinin bina yüksekliğine oranını) göstermektedir. Düşey eksen ise yatay yük parametresi olan deprem katsayısına karşı gelmektedir. Doğrusal elastik olmayan "deprem katsayısı - yerdeğiştirme oranı" eğrisi, yaklaşık olarak kesikli çizgi ile gösterildiği biçimde elastoplastik bir bağıntı olarak idealize edilebilir. Düşey eksenindeki C_{el} değeri, "elastik deprem katsayısı" olup yapının doğal titreşim periyoduna karşı gelen elastik ivme spektrumu ordinatının yerçekimi ivmesine bölünmüş şeklindedir. C_a , akma durumuna,

Elastik İvme Spektrumu



Şekil 1. NEHRP, Euocode 8 ve BSL'de en tehlikeli deprem bölgesi ve sağlam yerel zemin koşulları için tanımlanan elastik ivme spektrumları



Şekil 2. Tipik ötelenme oranı - deprem katsayısı ilişkisi

diğer deyişle taşıyıcı sistemin limit kapasitesine karşı gelen deprem katsayısıdır. C_e ise C_{el} değerinin azaltma katsayısı R 'ye bölünmesi ile elde edilen ve deprem hesabında esas alınan eşdeğer deprem katsayısıdır. NEHRP (1991)'in açıklama bölümünde C_e değeri, sistemde ilk belirgin plastik mafsalin oluştuğu deprem katsayısı değeri olarak kabul edilmektedir.

Taşıyıcı sistemin sünekliliği nedeni ile yutulan enerjiye bağlı olarak sisteme etkileyen deprem yükündeki azalmayı temsil eden "süneklik azaltma katsayısı", R_s ,

$$R_s = C_{el} / C_a \quad (1)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Öte yandan sistemin güvenliği bakımından, hesapta kullanılan deprem katsayısı C_e 'nin, akma durumuna karşı gelen C_a 'dan daha küçük olması gerekir. Aradaki fark, sistemin hesaplanandan daha büyük bir yüke dayanabilme kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Bu anlamda sistemin "yedek dayanım katsayısı", D_y , aşağıdaki biçimde tanımlanabilir:

$$D_y = C_a / C_e \quad (2)$$

Denk.1 ve Denk.2'den toplam azaltma katsayısı, R , aşağıdaki gibi elde edilir:

$$R = C_{el} / C_e = R_s \times D_y \quad (3)$$

Buradan görülmektedir ki, azaltma katsayısı (R) sadece sistemdeki sünekliliği ifade etmemekte, hem sünekliliğin hem de sistemdeki yedek dayanım kapasitesinin bir fonksiyonu olmaktadır.

Buradaki birinci kritik problem, sistemin Şekil.2'de C_a ile tanımlanan gerçek dayanımının, C_e ile gösterilen hesap dayanımından hangi ölçüde daha büyük olduğu, diğer deyişle yedek dayanım katsayısının hangi mertebede olduğudur. Yönetmeliklerdeki konstrüktif kurallara uyularak tasarlanan, planda ve düşey doğrultuda düzenli sistemlerde bu katsayının değeri $D_y = 2 - 3$ arasında gerçekleşebilmektedir (Uang 1991, Aydemir ve Aydınöglu 1995). Ancak, yönetmeliklerde sadece toplam azaltma katsayısı olan R katsayısı tanımlanmış olduğundan, tasarımcı mühendisin tasarımını yaptığı sistemde yedek dayanım katsayısının hangi mertebede olduğunu, hatta bu katsayının birim değerden büyük olup olmadığını dahi bilebilmesine olanak yoktur. Yoğun bilgisayar kullanımı ile taşıyıcı sistem boyutlarının optimize edilebilmesi olanağının giderek arttığı günümüzde bu amprik yaklaşımın yarattığı tehlike de aynı oranda artmaktadır.

Deprem hesabında eşdeğer deprem katsayısının kullanımına ilişkin ikinci kritik problem, sistemde oluşabilecek gerçek yerdeğiştirmelerin ya da görelî kat ötelemelerinin maksimum değerleri ile, bunların eşdeğer deprem katsayısı kullanılarak hesaplanan karşılıkları arasındaki ilişkinin tam olarak kestirilememesidir. Şekil 2'den "sistem süneklik oranı"

$$\mu = (\Delta/H)_{\max} / (\Delta/H)_a \quad (4)$$

olarak tanımlanabilir. Yönetmeliklerde genellikle, sistem süneklik oranının Denk.1 ile tanımlanan süneklik azaltma katsayısına eşit olacağı varsayımı yapılmaktadır. Bu durumda,

$$(\Delta/H)_{\max} / (\Delta/H)_a = R_s = R / D_y \quad (5)$$

Bu ifadeden ve Şekil 2'den yararlanılarak,

$$(\Delta/H)_{\max} = R \times (\Delta/H)_e = (\Delta/H)_{ei} \quad (6)$$

elde edilebilir. Denk.6 ile Şekil 2 arasındaki uyumsuzluk, Denk.5 ile yapılan varsayımdan kaynaklanmaktadır. Eurocode 8 ve UBC(1991)'de görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, Denk.6'dan yararlanılarak yapılmaktadır. NEHRP'de ise Denk.6'daki R yerine C_d katsayısı kullanılmakta ($C_d < R$) ve bu nedenle $(\Delta/H)_{\max}$ değeri $(\Delta/H)_{ei}$ 'den daha küçük olmaktadır.

Görüldüğü gibi, gerek eşdeğer deprem yüklerinin ve gerekse maksimum yerdeğiştirmelerin hesabı R azaltma katsayısının belirlenmesine dayanmaktadır. Problemin özü de buradadır. Çünkü, yönetmeliklerdeki azaltma katsayıları kesinkes teorik ya da deneysel çalışmaların sonuçlarına göre tanımlanmamakta, bu sonuçlardan kabaca yararlanılmakla birlikte, büyük ölçüde önceki depremlerde binaların gösterdiği performansın global anlamda değerlendirilmesi sonucunda, deyim yerinde ise, "mühendis mantığı" ile belirlenmektedir (NEHRP 1991, Commentary). İşte bu nedenle, çeşitli yönetmeliklerde tanımlanan azaltma katsayıları birbirinden önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, sünek betonarme çerçeve sistemleri için azaltma katsayısı NEHRP'de $R = 8.0$ iken Eurocode 8'de $q = 5.0$ değerini almaktadır. NEHRP'deki R katsayıları sistemin düzenli veya düzensiz oluşundan bağımsız iken ve düzensiz sistemlerin tasarımı için diğerk bazı kısıtlamalar konulmuş iken, Eurocode 8'de verilen yukarıdaki değer sadece düzenli sistemler için geçerli olup, düşey doğrultuda düzensiz sistemlerde $q = 4.0$ 'e inmektedir.

Eurocode 8'de NEHRP'ye oranla daha küçük azaltma katsayılarının kullanılması ve düzensiz sistemlerde bu katsayıların daha da azaltılması, yukarıda tanımlanan yedek dayanım katsayısının belirsizliğine ve bu belirsizliğin düzensiz sistemlerde daha da fazla olabileceği kuşkusuna bağlanabilir.

Olaya daha emniyetli yönde yaklaşan Japon yönetmeliğinde ise, yukarıda belirtildiği gibi azaltma katsayısı, Denk.3 ile tanımlanan toplam azaltma katsayısına değil, Denk.1 ile tanımlanan "süneklik azaltma katsayısı"na karşı gelmektedir. Bu katsayı, örneğin "düzenli" ve "sünekliği çok iyi" betonarme çerçeve sistemler için $1/(D_s F_{es}) = 1/0.30 = 3.3$ olarak tanımlanmıştır ($D_s = 0.30$, $F_{es} = 1$). Ancak, hem planda hem de düşey doğrultuda önemli düzensizliği olan binalarda $1/(D_s F_{es}) = 1.48$ 'e kadar inmektedir ($D_s = 0.30$, $F_{es} = 2.25$). Görüldüğü gibi Japon yaklaşımı,

NEHRP'nin aksine, sistemden beklenen yedek dayanım kapasitesine bel bağlamamaktadır. Bu durum, betonarme binalar için BSL(1981)'den alınarak Şekil 3'te verilen *tasarım akış diyagramı*ndan açık olarak anlaşılmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere, yüksekliği 31-60 m arasında olan bütün betonarme binalarda ve yüksekliği 20-31 m arasında olan düzensiz binalarda, her katta kat kesme kuvveti taşıma gücünün Denk.2 ile tanımlanan C_a değerinin tanımladığı sınırı aşmadığı doğrusal olmayan hesapla gösterilmek zorundadır ($C_a = C_{el} D_s F_{cs}$). Bu hesap, yük artımı yöntemi, limit analiz yöntemi veya Japon pratiğinde bu amaçla geliştirilen yaklaşık yöntemlerle yapılabilmektedir (Aoyama 1981).

Şekil 3'ten görüldüğü üzere BSL'de, yüksekliği 60 m'yi aşan binalar için, Yapım Bakanlığı'nın atayacağı özel bir komisyonun kontrolü altında, doğrusal olmayan dinamik hesap ve bakanlık onayı zorunlu kılınmıştır.

Burada, Japon yönetmeliğinde yer alan bir farklı yaklaşımdan söz etmekte yarar görülmektedir. Yüksek binalar için gösterdiği titizliğe karşın Japon yönetmeliğinin, diğer iki yönetmelikten farklı olarak, toplam yüksekliği fazla olmayan binalar için tasarımın yükünü azaltan, ancak her katta kesme kuvveti taşıma gücünü garanti altına alan basit hesap yöntemlerini de içermesi ilginçtir. Örneğin, yüksekliği 20 m'ye (kat sayısı 6-7'ye) kadar olan betonarme binalar için (Bkz.Şekil 3), yukarıda tanımlanan kullanılabilirlik limit durumunda gerilmelerin emniyetli sınırlar içinde kaldığının kanıtlanmasından sonra, görelî kat ötelemesine ve yukarıda belirtildiği gibi, taşıyıcı sistemin düzenli ya da düzensiz olup olmadığına bakılmaksızın, her katta kolon ve/veya perdelerin enkesit alanları ile ilgili basit birkaç koşulun sağlanması ile binanın depreme karşı tasarımı sonuçlanabilmektedir (Bu koşulların analizi için bkz. Aoyama 1981). Ancak, çerçeve sistemlerde betonarme kolonların sadece kesme dayanımlarını esas alan bu basit yaklaşımın, kuvvetli kolon-zayıf giriş ilkesine dayanan NEHRP (betonarme uygulaması için bkz. American Concrete Institute, ACI 318-89, Bölüm 21) ve Eurocode 8'e oranla taşıyıcı sistemin güvenliğini sağlamada riskli olup olmayacağı ayrı bir inceleme konusudur.

Deprem hesabında sadece yukarıda belirtilen *büyük depremi* gözönüne alan NEHRP'de, sistemin analizi için öngörülen yöntemler, birinci titreşim modunu esas alan eşdeğer yatay yük yöntemi ile, birden fazla titreşim modunun kullanıldığı modal analiz yöntemidir. Her iki yöntemde de R azaltma katsayısı ile belirlenen eşdeğer deprem katsayısından yararlanılmaktadır. Bu bakımdan Eurocode 8, azaltma katsayılarındaki farklılıklar dışında NEHRP ile paralellik göstermektedir.

DÜZENLİ VE DÜZENSİZ TAŞIYICI SİSTEMLER

Eşdeğer deprem yüklerinin tanımlanmasındaki belirsizlikler, bina taşıyıcı sistemlerinin düzenli ya da düzensiz oluşları ile yakından ilgilidir. Yukarıda belirtildiği gibi, azaltma kasayıları global değerlendirmelerle ve genelde düzenli sistemler gözönünde bulundurulurken tanımlanmaktadır.

Öte yandan bina taşıyıcı sistemlerindeki bazı tür düzensizlikler, hesapta.

kullanılan analiz yöntemlerinin geçerlilik sınırlarını zorlayabilmektedir. Diğer bazı düzensizlik durumlarında ise, birtakım sistem elemanlarının özel olarak tahkiki gerekebilmektedir. Nihayet burulma düzensizliği gibi uygulamada sıkça karşılaşılan düzensizlik durumlarında, deprem sırasında planda taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliklerinde meydana gelebilecek dengesiz değişimler yanında, deprem yüklerinin tanımında yer almayan burulma bileşeninden oluşan burulma momentlerinin dolaylı yollarla gözönüne alınmasını sağlayacak düzenlemelere gidilmesi zorunlu olmaktadır.

Belirtilen bütün bu nedenlerden ötürü, deprem yönetmeliklerinde düzensiz sistemlerin genel ya da ayrıntılı tanımları yapılmakta, bu tür sistemlerin kullanılmasını bazan caydırıcı ve bazı durumlarda da cezalandırıcı hükümlere yer verilmektedir.

Ele alınan üç yönetmelik içinde, düzensiz sistemlerin en ayrıntılı tanımı NEHRP'de yapılmaktadır. Bu yönetmelikte, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik tanımları ayrı ayrı ve oldukça ayrıntılı bir biçimde yapılmakta, bu tür sistemler için uygulanacak analiz yöntemleri ile yükseklik kısıtlamaları ve bazı durumlarda gerekli görülen özel tahkikler belirtilmektedir. Ancak NEHRP'de diğer iki yönetmelikten farklı olarak, binanın tümüne etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesinde cezalandırıcı hükümlere yer verilmemiştir.

Eurocode 8'de düzenli ve düzensiz sistemlerin tanımı NEHRP'dekilere paralel olmakla birlikte bazı durumlarda sayısal tanımlamalardan kaçınılmıştır. Örneğin NEHRP'de sayısal olarak tanımlanmış bulunan düşey doğrultudaki rijitlik ve kütle düzensizlikleri için Eurocode 8'de genel ifadelerle yetinilmiş, buna karşın bu tür düzensizliklerin bulunduğu binalarda (q) azaltma katsayısının %80'inin alınması yolu ile cezalandırma öngörülmüştür.

Bu bakımdan Japon yönetmeliği, ayrıntısı en sınırlı olanı yönetmeliktir. BSL'de planda sadece burulma düzensizliğinin tanımı yapılmış, düşeyde doğrultuda ise "rijitlik katsayısı" olarak tanımlanan bir parametre ile rijitlik ve kütle düzensizliklerinin her ikisi birarada tanımlanmıştır (Aoyama 1981). Düzensiz sistemler uygulanan koşullar yukarıda belirtilmişti (Bkz.Şekil 3).

DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN GELECEĞİNE YÖNELİK İRDELEME

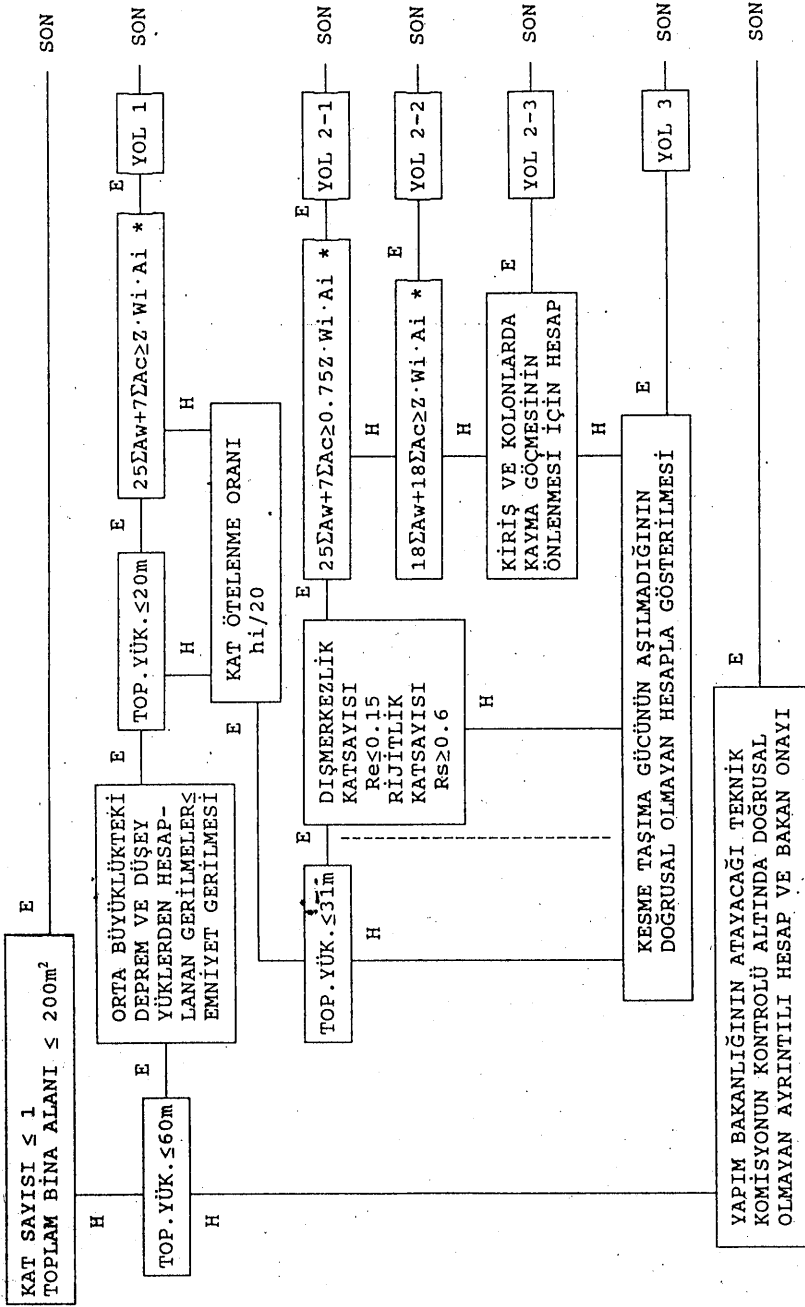
Depreme dayanıklı bina tasarım yönetmelikleri konusunda yukarıda üç önemli yönetmelik bazında yapılan değerlendirmeler, gerek deprem olayını iki aşamalı olarak ele alması ve gerekse büyük deprem etkisi altında doğrusal olmayan sistem hesabını öngörmesi bakımından Japon yaklaşımının, diğer iki yaklaşıma göre -deyimi yerinde ise- ayağını yere daha iyi bastığını düşündürmektedir. Nitekim Japonya'da 1990 yılında yayınlanan ve kısa bir süre önce İngilizce çevirisi yapılan yeni tasarım kuralları (Architectural Institute of Japan - AIJ 1994), depremde taşıyıcı sistemin gerçek davranışını tasarım sürecine doğrudan aktarmayı amaçlamaktadır (Otani 1992). Kullanımı yasal olarak henüz zorunlu olmamakla birlikte yeni kuralların mühendisler tarafından daha başlangıçta ilgi ile karşılandığı belirtilmektedir (Aoyama 1991).

Tasarım süreci içinde, üç boyutlu bina taşıyıcı sisteminin gerçek anlamda doğrusal olmayan davranışının hesap modelinde doğrudan gözönüne alınması, günümüzde henüz pek olanaklı görülmemektedir. Bu alanda geliştirilen bilgisayar programlarının sayısı azdır (Kunnath & Reinhorn 1994) ve henüz araştırma düzeyini aşmış günlük tasarım sürecine girememiştir. Ancak, bilgisayar yazılım olanaklarının önümüzdeki dönemde hızla gelişeceği varsayılabilir, pek çok ülkede tasarım mühendisinin eğitiminin böyle bir süreç için yeterli düzeyde olmadığını kabul etmek gerekir. O nedenle, depreme dayanıklı tasarım sürecinin bir süre daha bir "sanat" olma gerçeği sürecektir. Ancak dünyadaki hızlı gelişme, deprem bölgelerinde daha büyük, daha yüksek binalar için giderek artan ihtiyaçlar ve hızla gelişen yüksek dayanımlı malzeme teknolojisi, önünde sonunda mühendisleri yukarıda sözü edilen gerçek davranış biçimini yakalamak için daha çok öğrenmeye ve bilgisayar yazılımcılarını daha iddialı programlar hazırlamaya itecektir. Bugünün hayallerinin gerçek olacağı günleri her halde bir kuşak sonrasının mühendisleri yaşayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Aoyama, H.(1981),"Outline of Earthquake Provisions in the Recently Revised Japanese Building Code", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.14, No.2, pp.63-80.
2. Aoyama, H.(1991),"Recent Development in Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings in Japan", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.24, No.4, pp.333-340.
3. American Concrete Institute - ACI (1989),"Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89)", ACI Committee 318.
4. Applied Technology Council - ATC (1978), "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings", ATC Publication ATC 3-06.
5. Architectural Institute of Japan (1994),"AIJ Structural Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings", Tokyo.
6. Aydemir, G., M.N.Aydinoğlu (1995), "Kuvvetli Kolon ve Zayıf Kirişli Betonarme Çerçeveselerin Eşdeğer Yatay Deprem Yükleri Altında Doğrusal Olmayan Davranışına İlişkin Bir Çalışma", Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'na sunulmak üzere teslim edilen bildiri.
7. Building Standard Law - Japan (1981), Ministry of Construction, Japan.
8. Eurocode 8 (1993), "Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1-1, 1-2, 1-3", Second Draft.
9. IAEE - International Association of Earthquake Engineering (1992), Earthquake Resistant Regulations - A World List", Tokyo.
10. International Conference of Building Officials (1991,1994), "Uniform Building Code -UBC, Chapter 23, Part III Earthquake Design", California.
11. Kunnath, S.K., A.M.Reinhorn (1994),"IDARC2D: Inelastic Damage Analysis of RC Building Structures, Version 3.1", University of Buffalo, New York.

12. National Earthquake Hazard Reduction Program - NEHRP (1095,1988,1991,1994)," NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings", Building Seismic Safety Council, Washington
13. Otani, S.(1992),"Concept Behind Ultimate Strength Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings in Japan", 3rd Meeting of the US-Japan Joint Technical Coordinating Committee on Precast Seismic Structural Systems",San Diego, California.
14. Uang, C.M.(1991), "Establishing R (or R_w) and C_d Factors for Buildings Seismic Provisions", ASCE Journal of Struvtural Engineering, Vol.117, No.1, pp.19-28.
15. Uang, C.M., V.V.Bertero (1991),"UBC Serviceability Regulations: Critical Review", ASCE Journal of Struvtural Engineering, Vol.117, No.7, pp.2055-2068.



- *NOT : ΣAw = PERDELERİN TOPLAM ENKESİT ALANI (cm^2)
 ΣAc = KOLONLARIN TOPLAM ENKESİT ALANI (cm^2)
 W_i = i'inci KATIN ÜSTÜNDEKİ TOPLAM BİNA AĞIRLIĞI (kg)
 Z = PERDELERİN ORTALAMA KAYMA TAŞIMA GÜCÜ (kg/cm^2)
 7 = KOLONLARIN ORTALAMA KAYMA TAŞIMA GÜCÜ (kg/cm^2)
 18 = PERDE VE KOLONLARIN ORTALAMA KAYMA TAŞIMA GÜCÜ (kg/cm^2)

Şekil 3. Japon yönetmeliği (BSL 1981)'de yer alan "tasarım akış diyagramı"