

4. OTURUM

Oturum Başkanı:

Prof. Dr. Günay ÖZMEN

(İTÜ İnş. Fak. Emekli Öğr. Üyesi)

“DEĞERLENDİRME VE GÜÇLENDİRME YÖNETMELİĞİNİN İLKELERİ”

Prof. Dr. Haluk SUCUOĞLU

(ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü)

**“DEĞERLENDİRME VE GÜÇLENDİRME YÖNETMELİĞİNDE
DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLER”**

Prof. Dr. Nuray AYDINOĞLU

(BÜ Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü)

**“DEĞERLENDİRME VE GÜÇLENDİRME YÖNETMELİĞİNDE
GÜÇLENDİRME YAKLAŞIMI”**

Prof. Dr. Erkan ÖZER

(İTÜ İnşaat Fakültesi)

Prof. Dr. HALUK SUCUOĞLU
(Orta Doğu Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi)-

Sayın Başkan, Sempozyumun Değerli Düzenleyicileri, Değerli Meslektaşlar, Değerli Konuklar; öncelikle 2005 Deprem Yönetmeliğini hazırlayan grup olarak, ilk defa meslektaşların karşısına çıkma fırsatı verdiğiniz için, sizlere teşekkür ediyoruz.



Tabii Sayın Başkanın da söylediği gibi, esas olarak değerlendirme ve güçlendirme ağırlıklı olarak düzenlenmiş sempozyum; ben çok kısaca yönetmeliğin bir genelinden bahsedeceğim, sonra o konulara geçeceğiz.

2005 Deprem Yönetmeliği, 1998 Yönetmeliği'nin bir devamı niteliğinde ve tabii birtakım revizyonlar içeriyor. Bizde yönetmelikler periyodik bir revizyona tabi olmadığı için, aradan geçen süreler biraz daha uzun oluyor, ama 75-98 arası süre kadar uzun değil bu defa, daha çabuk davranıldı, bakanların bu konudaki ilgisinin daha yoğunluğu nedeniyle ve aradan 7 yıl geçtikten sonra böyle bir yönetmelik çıktı. Tabii revizyonun ötesinde, yeni eklenen bölümler olduğu için, biraz daha belki yeni yazılan kısımlar üzerinde durmamız gerekecek.

2005 Deprem Yönetmeliği, öncelikle 2003 yılında, burada tarihini ve numarasını verdiğim bir bakan oluruyla oluşturulan bir komisyon tarafından çalışılmaya başlandı. Komisyonunda ki arkadaşlarımızın büyük çoğunluğu da burada tahmin ediyorum. Bu çekirdek komisyonun yanı sıra, konular esasında alt komisyonlar halinde arkadaşlarımızı davet ettik. Bu sayı da, yaklaşık 70 kadar bir çalıştay yapıldı geçen yıl, bundan sonra da tekrar yapılacak, ama biz ilk defa bugün yönetmelik Bakanlığa teslim edildikten sonra görüşü karşısına çıkıyoruz bir şekilde. Onun için, bizim için son derece önemli bir toplantı, belki bundan sonraki toplantıları tekrar düzenlemek açısından, ilk defa sizlerden görüş alma fırsatıyla karşı karşıyayız.



Yönetmeliğin geneline bakarsak, 6. Bölüm, hesap kurallarında revizyonlar yapıldı, ama esas yapı korundu. Betonarme binalarda yine esas yapı korunarak revizyonlar yapıldı. Tabii bu iki bölüm, önceki yönetmeliğin, 98 Yönetmeliğinin çok temel iki bölümüydü; çünkü Türkiye'deki yapıların çoğu betonarme ve hesap kuralları da zaten tümünü kapsıyor. Bu esas yapı korunarak revizyonlar yapıldı. Çelik binalarda daha kapsamlı bir revizyon yapıldı, gerekiyor, belki ileride de bu devam edecek. Ahşap binalar değişmedi, biz bu haliyle ahşap binaların bu şekilde kalmasını da çok olumlu görmedik esasında, ahşap binaların belki Eurocode'daki formasyona uygun olarak yeniden yazılması gerekiyor. Ancak komisyonumuzun uzmanlığı alanına da çok fazla girmiyordu, o nedenle bunu tekrar düşünmek üzere ileriye erteledik. Yığma binalarda kapsamlı bir revizyon yapıldı. Yığma binalar biraz daha geometriye bağlı, yani boyutlara bağlı olarak bazı kısıtlamaların olduğu bir yönetmelik bölümü şeklindeydi. Şimdi mühendislik hesapları işin içine girdi. Onun için, hesap yapılabilir bir duruma geldi. Umarım bundan sonra mühendisler tarafından daha kullanılabilir bir bölüm olur. Kerpiç binalar da değişmedi, biz kerpiç binaların esasında belki yığma binalar içerisinde özel bir bölüm olmasını öngörüyoruz, hatta hiç olmaması belki daha iyi. Yani kerpiç binayı bir mühendislik binası olarak burada yönetmeliğin içinde tutmak, açıkçası görüşümüze çok uygun düşmedi, fakat denildi ki, "şimdilik dursun, bunu da görüşelim." Kimin kullandığını da bilmiyoruz, belki kullanıcı vardır. Zemin ve temellerde revizyon yapıldı yine, ama esas metin korunarak revizyon yapıldı.

13. Bölüm ise, yine bir bölüm, değerlendirme ve güçlendirme. Bugünkü oturumun konusu da esasında bu bölüm. Onun için, ben bu bölümle ilgili size kısa bir sunuş yapacağım. Burada yönetmelik sunuşları azıcık kalabalık oluyor herhalde. Aslında elinizde var, bunların üzerinde çok fazla gitmeyiz, belki yarın daha fazla durabiliriz. Tabii yeni kavramlar burada, daha önce yeni binalar için ortaya konulmuş olan 98 Yönetmeliğindeki hesap yöntemlerinden daha farklı yeni kavramlar var. O yüzden bu bölümün belki hazmedilmesi biraz daha uzun zaman alacak, belki daha çok tartışmamız gerekecek ve bugün de ilk defa bu tartışmaya başlıyoruz.

Tabii bu bölümde şöyle ön bilgiler vermem gerekiyor: Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi, tüm yapı türlerini kapsaması gereken bir çalışma alanı. Ancak bizim tüm yapı tiplerini detaylı olarak kapsayacak ve enerjimiz olmadı açıkçası, bu çok daha uzun zaman gerektiriyor. Ama Türkiye'deki yapıların çoğunun, deprem açısından problemlili olan yapıların çok büyük bir çoğunluğunun betonarme bina olduğunu göz önüne alırsak, biz daha ziyade burada betonarme binalara yönelik yöntemler üzerinde daha fazla durduk, daha detaylı olarak durduk ve kullanıcı için de gerek Bakanlık, gerekse meslek camiası içinde zaten öncelikle beklenen, gereken bunlar diye düşünüyoruz.

Yeni bir kavram olarak binalardan bilgi toplanması. Biz tabii 99 depremleri, ondan önceki 98, o yıllarda, yani 2000 öncesi depremlerde pek çok meslektaşımız, pek çok binanın mevcut durumuyla ilgili çalışma yaptı. Bunun için öncelikle bir teşhis sürecinde bilgi toplanması işlemi yapıldı. Bu bölüm, öncelikle bu bilgi toplanmasını biraz daha organize etmek amacıyla yapıldı. Binalardan bilgi toplanması diye bir bölümle başlıyoruz. Binalardan bilgi toplanırken, tabii tüm bina yapısını oluşturan unsurlar işin içine giriyor. Zemin özelliklerini bir parça öğrenmemiz lazım; temel sistemini, eleman özelliklerini gerek boyut, gerek malzeme açısından, yapı sistemini, bina geometrisini ve binada varsa eğer, mevcut hasarı, onarımı ve

değişiklikleri bir şekilde dokümanete etmemiz ve bunları kullanmamız gerekiyor. Özellikle İstanbul ve kıyıya yakın bölgelerde de korozyon etkisinin çok önemli olduğunu biliyoruz.

Binalardan bilgi toplanması, daha ziyade bu hususları içeriyor. Bilgi düzeyleri diye bir tanım getirildi. Bilgi düzeyleri, topladığınız bilginin kapsamıyla ilgili. Burada sınırlı, orta ve kapsamlı diye 3 durumda bilgi toplayabilirsiniz. Tabii bunu seçmek çok da özgürce olmaya-biliyor, ulaşabileceğiniz verilere de bağlı. Özellikle bu projenin olup olmaması, burada bağlayıcı bir husus. Eğer taşıyıcı sistem projesi yoksa, zaten kapsamlı bilgi düzeyine ulaşamıyorsunuz, sınırlı ya da orta bilgi düzeylerinde kalıyorsunuz. Eğer proje var veya yok ise, burada orta bilgi düzeyinde farklı iki düzeyde toplanacak bilgilerin mahiyeti belirtilmiş durumda. Kapsamlı bir bilgi düzeyine ulaşmak için de taşıyıcı sistem projesinin muhakkak mevcut olması gerekiyor ve bunun üzerine yapılacak olan işler var.

Yine yeni bir kavram, kapasite dayanımı olarak bir kavram geldi. Daha önce karakteristik dayanıma biraz belki benzer tarafları var, istatistiksel tabanı itibariyle Kapasite dayanımı, bu toplanan bilgilerden, malzeme bilgilerinden çıkartılacak ve bizim binanın mevcut durumunun incelenmesinde ve güçlendirilmesinde kullanılacak malzeme özelliklerini belirleyen bir dayanım türü. Kapasite dayanımı, taşıyıcı eleman, kapasite hesaplarında kullanılacak malzeme dayanımını belirtiyor. Yani tasarımda kullanılan karakteristik dayanıma bir parça benziyor, çünkü istatistiksel temele çok benzer; ancak onunla aynı değil, bu tamamen bilgi düzeyine bağlı. Yani hangi bilgi düzeyinde malzeme bilgisi topluyorsanız, kapasite dayanımının tanımı da ona göre değişiyor. Eğer az bilgi kullanıyorsanız, kapasite dayanımı biraz daha istatistiksel olarak güvenilirlik seviyesi biraz daha yüksek bir bilgi olmak zorunda. Ortalama ve standart sapmaya bağlı ve bazen de en düşük malzeme dayanımına bağlı olarak, ona göre değişen bir tanımı var. Tabii bu detaylara girmemiz çok fazla mümkün değil.

Sınırlı bilgi düzeyinden başlayalım. Betonarme binalar için burada sadece bilgileri verdim, diğerler için de tanımlanmış durumdadır. Sınırlı bilgi düzeyinde bina geometrisi üzerinde bazı çalışmalar yapmamız lazım. Taşıyıcı sistem plan rölevesinin elde edilmesi, tabii mevcut projelerin olmayacağını baştan varsayıyoruz. Kat bazında, plan bazında her kat için bunlar elde edilecek. Kısa kolon vesaire, bu tür olumsuzluklar, komşu binalarla ilişkiler bu plan üzerinde işlenecek. Temel sisteminin belirlenmesi gerekiyor, bunun için belli sayıda kontrol çukuru açarak bu iş yapılacak. Eleman detaylarına girdiğimizde, tabii elimizde yine proje olmadığı varsayımıyla -olmadığını kabul ediyoruz, çünkü bu durumdayız- binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı oranlarını varsayacağız, koşullarını varsayacağız. Her katta kolon ve kirişlerin yüzde 10'unda ve en az bir analiz olmak üzere pas payı sıyrılarak bir doğrulama yapılacak, çelik sınıfı gözle tespit edilecek. Pas payı sıyrılmayan elemanların da yüzde 20'sinde tahribatsız yöntemlerle, yani profometre dediğimiz bazı cihazlarla bir donatı tespiti yapacağız, olabildiğince bu bilgileri toplamaya çalışacağız. Olabildiğince bu bilgileri toplamaya çalışacağız, sınırlı bilgi düzeyinde bile bunlara ihtiyacımız olduğunu düşünüyoruz.

Malzeme özelliklerine gelince, her katta en az iki beton örneği, ama döşemelerden değil, kolon veya perdelerden alınacak beton kapasite dayanımı. Bakın, burada ilk defa tanımını veriyoruz, en düşük basınç dayanımı. Az sayıda örnek aldığımız için, oradan çıkan en düşük basınç dayanımını alacağız. Tabii çalışmayı yapan kişi, çok düşük bir basınç dayanımı alın-

ca bunu beğenmeyip başka bir örnek de alabilir, bunun ucu açık. Çelik kapasite dayanımı olarak da orada gözle gözlediğimiz çeliğin sınıfına bakarak, tasarım yönetmeliklerinde verilen karakteristik akma dayanımını kullanacağız, yani 220 veya 420 ise, bunun için TSE 500’de verilen karakteristik akma dayanımı neyse, onu kullanacağız.

Orta bilgi düzeyine geçtiğimizde, bina geometrisi biraz daha kapsamlı şekilde elde ediliyor. Eğer röleve varsa, o kullanılıyor; taşıyıcı sistem, proje yoksa röleve elde ediliyor, varsa uygunluk tespiti yapılıyor bu şekilde. Diğer şeyler sınırlı bilgi düzeyiyle hemen hemen aynı. Eleman detaylarında, yine burada çok ayrıntıya girmedim, ama “proje varsa veya yoksa” koşullarında iki ayrı işlem grubu var. Yine bunlar da aşağı yukarı sınırlı bilgi düzeyiyle benzer, ancak biraz daha fazla sayıda tarama var. Burada bir donatı gerçekleşme katsayısı diye bir tanım yine getiriyoruz. Eğer proje elimizde varsa, betonarme projesi varsa ve bizim gözlediğimiz donatılar projeye uygun değilse, projede belirtilen donatı miktarlarından daha düşüğe, bu donatı gerçekleşme katsayısı 0-1 arasında bir sayı oluyor, 1’i geçmiyor. Tabii 0 olmayacak, mutlaka içerisinde donatı vardır, ama mesela projede belirtilen donatının yüzde 70’i ortalama olarak konulduysa, bizim gözlediğimiz elemanlarda, bunu tüm binaya yansıtmak durumundayız, yani projedeki donatıların yüzde 70’ini kullanmak gibi bir fikir var burada. Malzeme özelliklerinde, daha fazla malzeme örneği alarak malzeme özelliklerini belirliyoruz, her katta en az 3, her 400 metrekaleden en az 1 ve bütün binada toplam en az 12 beton örneği alınması gerekiyor. Beton kapasite dayanımı bu defa ortalama eksi standart sapma oluyor. Karakteristik dayanımı da biliyorsunuz, ortalama eksi 1.28 standart sapmadır, normal dağılım varsayımıyla. Çelik kapasite dayanımı yine aynı şekilde, karakteristik akma dayanımı olarak kullanıyoruz.

Kapsamlı bilgi düzeyinde elimizde uygulama projeleri var, yani mühendislik projeleri, statik betonarme projeleri var. Burada projenin yapıya uygunluğunun tespitiyle başlıyoruz, yine diğer kısa kolonlar vesaire olumsuzlukların ve temelin incelenmesi aynı şekilde yapılıyor. Eleman detayları, bu defa elimizde proje olduğu için, çok fazla yapıda tahribatlı bir deney yapmamıza gerek yok, bunu da sınırdan tutuyoruz. Kolon ve kirişlerin yüzde 10’unda en az birer adet pas payı sıyrılacak, çelik sınıfı gözle tespit edilecek, pas payı sıyrılmayan elemanların da yüzde 20’sinde tahribatsız muayene testi yapılacak ve yine yapının incelenmesinde donatı gerçekleşme katsayısı belirlenecek ve kullanılacak.

Malzeme özellikleri biraz daha fazla, bu defa 400 üzerine her 200 metrekaleden, ama yine toplam 12’den az olmamak üzere örnek alıyoruz, bunları test ediyoruz. Beton kapasite dayanımı, ortalama eksi standart sapma, çelik kapasite dayanımı da aynı şekilde karakteristik akma dayanımı olarak kullanılıyor. Ancak projede verilen çelik sınıfı özelliklerine uygun ise diyoruz; çünkü burada bir çelikten örnek alıp çekme zorunluluğu da var. Çeliği çektikten sonra, TSE 500’deki çelik sınıfına uygunluğu açısından o parametreleri kontrol ediyoruz, eğer uygunsa karakteristik akma dayanımı kullanıyoruz. Uygun değilse, ona göre bir örneklem yapmamız gerekiyor, daha fazla sayıda çelik kuponu alıp, test edip onların ortalamalarından gitmemiz gerekiyor.

Bu inceleme sona erdikten sonra, mühendis her bina için neticede bir bilgi düzeyi seçecek. Tabii burada aslında teşvik edilen bir durum vardır; olabildiğince yüksek bilgi düzeyi daha fazla ödüllendiriliyor, kullanılacak katsayılar itibariyle. Zaten herkes bunu bu şekilde amaç-

lar, olabildiğince en fazla bilgiyi toplamak ister. Ama proje yoksa, yapacak bir şey yok, kapsamlı bilgi düzeyine ulaşamıyorsunuz. Seçilen bilgi düzeyiyle uyumlu bilgiler toplandıktan sonra, eleman kapasitelerine uygulanacak katsayıları veriyoruz. Bunlar bilgi düzeyi katsayıları, yani bunlar bir nevi yeni binalar için malzeme katsayılarına karşılık geliyor, ama direkt malzemelere değil de, eleman kapasitelerine uygulanıyor. Mesela bir betonarme kesitin eğilme dayanımını hesaplıyorsanız, o eğilme dayanımını bu katsayıyla çarpıyorsunuz. Eğer sınırlı bilgi düzeyinde elde ettiyseniz bu bilgiyi, yüzde 75'ini alıyorsunuz, ortada yüzde 90'ını, kapsamlı bilgi düzeyinde yaptıysanız da tamamını alıyorsunuz. Bunu yaptıktan sonra, malzeme dayanımları, ayrıca malzeme katsayılarıyla bölünmüyor, malzeme katsayıları kullanılmıyor 13 üncü bölümde ve eleman kapasitelerinin hesabında da yine daha önce belirttiğimiz kapasite dayanımlarını kullanıyoruz.

Binanın mevcut durumunu inceledik, sahadaki incelemeleri yaptık, bilgi düzeyine karar verdik ve binanın bir hesabına geçiyoruz, mevcut dayanım hesabına geçiyoruz. Mevcut ya da güçlendirilmiş, aslında farklı değil. Bunun için öncelikle bazı tanımları yapmamız gerekiyor; yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri. Yapının elemanlarına bakarak yapı performansına bir karar vereceğiz burada. Bunun için belirli tanımlamaları ve sınıflamaları getirmemiz gerekiyor. Önce mevcut elemanların kırılma türü önemli. Tabii burada kırılma türü bizim kontrolümüzde değil; yapılmış olan elemanın kırılma türü neyse, bunu hesaplamamız gerekiyor, bu sünek veya gevrek olabilir. Sünek kırılma türü, eğilmeden dolayı kırılan elemanlara sünek eleman diyoruz, kesmeden dolayı kırılan elemanlara da gevrek eleman diyoruz. Sünek elemanlarda hasar sınırları ve hasar bölgelerine karar verirken, minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı diye 3 tanım getiriyoruz. Bu da o elemanın aslında süneklilik düzeyi üzerinden yapılmış olan tariflerdir, yani o elemanın süneklilik kapasitesi neyse, ona bakarak bu sınırlara karar veriyoruz. Gevrek elemanlarda ise o kapasite aşıldı mı, aşılmadı mı? O kırılma türündeki kapasiteye uygulanan yükler altına ulaşmıyorsa, sistem elastik kalacak, onun için elastik esaslar üzerinden karar vereceğiz ya da eğer kapasiteyi geçiyorsa, elastik ötesine geçiyorsa, sadece ona bakacağız, yani elastik mi, değil mi? Çünkü gevrek elemanlarda elastik sınırlar geçiliyorsa, o eleman kırılmış demektir. Halbuki sünek elemanlarda öyle bir durum yok; elastik sınırlar aşıldığında, elemanın süneklilik özelliklerine göre ve uygulanan yük altındaki süneklilik talebine göre biz hangi hasar sınırında olduğuna karar verebiliyoruz. Bunlar, tamamen hesaplardan elde ettiğimiz sonuçlara bakarak saptanacak değerler.

Temelde, sanıyorum diğer arkadaşlarım da bunu gösterecekler, hasar sınırları ve hasar bölgelerini böyle bir non-lineer eğri üzerinde gösteriyoruz. Burada iç kuvvet ve şekil değiştirme özelliğini genel olarak temsil eden bir eğri düşünürseniz, bu bir moment eğrilik ilişkisi olabilir, bir moment dönme ilişkisi olabilir. Tabii genellikle sünek elemanlarda moment ve ilgili şekil değiştirme özellikleri olarak bunu tarif edeceğiz. Elastik sınırın biraz aşıldığı, yani bir miktar gerilmelerin ya da şekil değiştirmelerin elastik sınırları aşmaya başladığı bölgede minimum hasar sınırı olarak bir sınır seviyesi koyduk. Güvenlik biraz daha eleman kapasitesine yaklaşıyor, ama güvenli bir şekilde bu kuvveti taşımaya devam ediyor. Göçme sınırı ise, artık süneklilik özelliği olarak tükenmek üzere ve bundan sonra daha fazla risk alacağımızı düşünüyoruz, onun için buraya da göçme sınırı diyoruz. Bu sınırlar arasında kalan bölgelere de minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi, ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesi olarak tanımlıyoruz. Tabii her eleman türü için şu sınırlar tarif edilmiştir.

Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar; bizim daha önceki yönetmeliklerde kullandığımız belirli alışkanlıkların dışına çıkılan maddeleri ben özellikle burada belirtmek istiyorum. Bir kere deprem etkisinin tanımında azaltılmış spektrum, yani R katsayısı yok 13 üncü bölümde, azaltılmamış, tamamen verilen lineer elastik özellikli spektrumunu kullanıyoruz, ivme spektrumlarını kullanıyoruz. Bina önem katsayısını uygulamıyoruz, bina önem katsayısına karşılık gelen başka özelliklerimiz var, burada tarif ettiğimiz. Bu 3 üncü madde daha öncekiyle aynı, ama ben tekrar etme ihtiyacını hissettim. Deprem kuvvetleri, binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilerek bina incelenecek. Ek dış merkezliliği burada uygulamıyoruz.

Şöyle bir güvencemiz, şöyle bir düşüncemiz var: Mevcut binada zaten biz yapı elemanlarını ve yerlerini tespit ediyoruz, kütlelerini tespit ediyoruz. Oradaki dış merkezlilik neyse, bunun geçerli olduğunu kabul ediyoruz, yani yapıda daha fazla bir değişiklik olmayacağını kabul ediyoruz. Kısa kolan durumuna düşürülmüş olan kolonlar, gerçek kısa boylarıyla tanımlanması gerekiyor ki, orada kısa kolon özelliklerini biz analizde de görebilelim. Birleşim bölgeleri sonsuz rijit olarak göz önüne alınacak, bu zaten yaptığımız bir şey. Tablalı kirişlerde, kirişler tablalı olarak alacak ve tablalı kirişlerin plastik momentlerinin hesabında eşdeğer tabla genişliği, tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılacak. Zemindeki şekil değiştirmeler, eğer yapı davranışını etkileyebilecekse, yani bir zemin-yapı etkileşimi söz konusuysa belirgin bir şekilde, bunu da göz önüne alan modellerin yapılmasını talep ediyoruz.

Performans hesabında -betonarme sistemlerinin özellikle, burada onun üzerinde duracağız sanıyorum, bütün sistemler için geçerli- iki yöntem sınıfımız var; bir doğrusal elastik yöntemler, bir de non-lineer yöntemler var. Non-lineer yöntemleri Nuray Bey kapsamlı olarak anlatacak. Ben doğrusal hesap yöntemlerinin ana ilkelerini burada anlatacağım. Daha önce bizim yönetmeliğimizde de iki tane doğrusal elastik hesap yöntemi var; bir tanesi eşdeğer deprem yükü yöntemi, bir tanesi de mod birleştirme yöntemi. Eşdeğer deprem yönteminin sınırlamaları vardı, burada yine benzer sınırlamalar koyuyoruz. Tabii biraz daha değişik, daha basit tanımladık; bina yüksekliği 25 metreden az olacak, kat sayısı 8'den az olacak, beta katsayısı, bu burulma düzensizliğiyle ilgili katsayı 1.4'ten küçük olacak. Tekrar etme gereğini duyuyorum: A katsayısı 1 alınacak ve taban kesme kuvveti hesabında, bina bir-iki katlıysa veya daha fazla katlıysa, birinci modun etkisini göz önüne alan bir katsayı burada tanımlıyoruz. Mod birleştirme yönteminde yine A1, aynı yöntemi kullanıyoruz. Biz burada daha ileride geleceğimiz elemanların performans hesabında kapasite-iç kuvvet ilişkilerine bakarken yönler önemlidir, hangi yönde baktığımız önemlidir. Ancak mod birleştirme yönteminde biliyorsunuz, yönleri kaybediyoruz, SRSS ya da CQC kombinasyonları yaptığımız zaman, yönler gider, apsulud yönler çıkar karşımıza. Halbuki burada yönlere ihtiyacımız var, depremin uygulandığı yönde meydana gelen iç kuvvet yönlerine, dönme yönlerine de ihtiyacımız var, bunları da hâkim modan alıyoruz, o yöndeki hâkim moddan -birinci mod değil, dikkatinizi çekiyoruz- alıyoruz.

Performans özellikleri; betonarme elemanlarının hesabı yapıldıktan sonra, burada belirttiğimiz minimum hasar, can güvenliği ya da göçme durumu özelliklerini test ederken, aynı zamanda elemanın muhtemel davranış özelliklerini de göz önüne almamız gerekiyor. Bu davranış özelliklerini etkileyen bir sarılma koşulları önemli, bir kırılma türü önemli. Sarılma koşullarına göre betonarme elemanları ikiye ayırıyoruz; sargılanmış ve sargılanmamış. Sargı-

lanmış ve sargılanmamış tanımları zaten bizim yönetmeliğimizin 7 nci bölümünde var, aynı tanımları kullanıyoruz. Kırılma türü ise, tabii bu yönetmelikte olmayan bir şey; çünkü bizim yönetmeliğimizde zaten tasarım yaptığınız zaman, sünek kırılma türünü hedefliyorsunuz, o yüzden gevrek kırılma türü diye bir şey karşınıza çıkmıyor. Sünek kırılma türü, eğilme kırılması. Gevrek kırılma türü ise, eğer eleman eğilme kapasitesine ulaşmadan önce kesme kapasitesine ulaşıyorsa ya da eksenel basınç kapasitesine ulaşıyorsa, bu bir gevrek kırılma türü. Buna göre elemanı değerlendirmemiz gerekiyor, ona göre toleranslarımız farklı olacak. Gevrek kırılma türü, aslında genelde kesme kırılması, bir de eleman üzerinde uygulanan eksenel basınç belirli bir oranı çok aştığı zaman da bunun gevrek davranacağını, bu da yüzde 70'tir. Yani elemanın konsantrik kapasitesinin yüzde 70'in üzerinde bir eksenel basınç varsa, bu elemanın da ancak gevrek davranacağını, eğilme altında kırılma ile çok gevrek bir eğilme kırılması olacağını varsayıyoruz, onun için gevrek eleman olarak.

Biz elastik yöntemlerde eleman performanslarını etki kapasite oranı olarak tanımladığımız bir oranla tanımlıyoruz. Bu tanımlı zaten kendi içerisinde var. Etki kapasite oranı, uygulanan iç kuvvet/elemanın kapasitesi, yani kuvvet esaslı bir tanımdır bu. Sünek eleman kesitlerinde bu R katsayısı, r katsayısı, deprem momenti/artık moment kapasitesi. Gevrek eleman kesitlerinde ise, kesit bazında yapıyoruz bunu, kesme kuvveti/kesme kapasitesi olarak tanımlıyoruz. Artık moment kapasitesi ise yeni bir terimdir; kesitin moment kapasitesinden düşey momentini çıkartıyorsunuz ve depreme kalan kapasiteyi hesaplıyorsunuz. Belki ilk bakıldığında biraz karışık gibi geliyor, ama hesaplaması çok zor değil. Kesme kapasitesi ise bizim mevcut yönetmelikten değil, direkt TSE 500'den alınacak.

Burada önemli bir husus var: Betonarme elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında eksenel kuvvetlerin çok önemli olduğunu biliyoruz ve biz yeni binaları tasarlarken, zaten R katsayısını aldığımız, otomatikman bunun için içine girdiğini düşünüyoruz. Yani deprem kuvvetlerinden gelen iç kuvvetleri R'ye böldüğümüzde, azaltılmış kuvvetler, bu eksenel yük için de geçerli; o eksenel yükü alıyorsunuz, azaltılmış eksenel yük oluyor, yani düşey yüklerden gelen eksenel yük + depremden eksenel yük/R'yi alıyorsunuz, gidip elemanın kapasitesini hesaplıyorsunuz ve bu uygun mu, değil mi diye bakıyorsunuz. Burada R katsayısı kullanmadığımız için, bizim bu eksenel yükleri daha hassas hesaplamamız gerekiyor. Yani elastik eksenel yükleri aldığınızda, zaten yapamazsınız. Onun için, bir kapasite tasarımını kullanan, daha ziyade kırışlardan kolonlara aktarılabilecek yüklerin sınırlarını kullanarak, kapasite sınırlarını kullanarak bir yöntem öneriyoruz burada. Kırış moment kapasitelerini hesaplıyoruz. Bu kırışlar moment kapasitelerine ulaştığında, kolonlara aktaracakları kesme kuvvetlerini kullanarak eksenel yüklerini buluyoruz, sonra moment kapasitelerini buluyoruz, daha sonra düğüm noktalarında kolon-kırış eğilme oranlarını hesaplıyoruz. Bu bizim 7-3 denklemine çok uygun. Eğer burada kırışlar kapasitelerine ulaşmamışsa, yani kolonlar kapasitelerine ulaşmışsa, bir düzeltme yapıyoruz, bunu tekrarlıyoruz ve bu şekilde kolon eksenel kuvvetlerini hesaplıyoruz ve kolon kapasite hesaplarında bu eksenel kuvvetleri kullanıyoruz.

Binaların deprem performansının belirlenmesinde hemen kullanım durumu için belirli toleranslarımız var. Hemen kullanım durumu, elemanların hangi hasar bölgelerinde olduğuna bakıyoruz, belirli oranlarda ve bazı toleranslarımız var. Ama eğer eleman, bina hemen kullanım durumundan çıkıyorsa, güçlendirmesine gerek yok kararımız var. Can güvenliği durumunda, yine elemanların biraz daha, hani güvenlik sınırının ne kadar altında, ne kadar üs-

tünde olduğuna bakarak kolonların ve kirişlerin, belirli toleransları uygulayarak bir karar veriyoruz: “Böyle bir binanın güçlendirilmesi gerekebilir.” Gerekebilir diyoruz, çünkü burada karar yine yönetmelik tarafından verilen bir karar değil, mühendis tarafından verilen bir karar. Göçmenin önlenmesi durumunda, göçme sınırının ne kadar altında, ne kadar üstünde elemanların durumu, ona bakıyoruz ve eğer göçmenin önlenmesi durumunu sağlıyorsa, yapı kullanıma sakıncalıdır, güçlendirilmesi gereklidir diyoruz, ama tabii ekonomik olmayan pek çok durum da var, bu durumda binanın yıkılması da gerekebiliyor.

Burada binalar için hedeflenen performans düzeyleri var. Bu yeni bir kavramdır. Bizim mevcut 98 Yönetmeliğindeki tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 10 olan, yani 475 yılda bir istatistiksel yaklaşımlarla tekrar edilecek bir deprem şiddeti karşılık alınmıştır ve tek performans düzeyi vardır, o da aslında can güvenliğidir. Zaten yönetmeliğin hemen başında, 5 inci bölümde bunu yazar. Burada biz iki deprem seviyesi daha tanımladık ve binalardan beklenen performans düzeyi buna göre olacak. Yani hafif depremlerde çok dereceli deprem kriteri vardır, çok basamaklı, “hafif depremlerde hasar görmesin, şiddetli depremlerde onarılabilir hasar görsün, ağır depremlerde yıkılmasın” gibi. Biz 13 üncü bölümde bunu daha rakamlara dökerek tarif ettik. 3 tane deprem düzeyi var: Bir tanesi, bildiğimiz 50 yılda yüzde 10; bunun 50 yılda yüzde 50 aşılma olasılığı olan depreme çevrilebilmesi için yarısını alıyorsunuz. Türkiye’de kaydedilen yaklaşık yer hareketleri, bunun böyle olduğunu gösteriyor. 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 2 olan depremi ise, 50 yılda yüzde 10’u 1,5’la çarparak elde ediyorsunuz. Şu birinci deprem, 475 yıllık deprem süresi. İkinci deprem, 95 ya da 72, tam hatırlamıyorum, ama 100 yılın altındaki tekrar süresi, bu ise yaklaşık 2 bin 500 yıllık tekrar süresine denk geliyor. 3 ayrı deprem etkisi altında da bazı bina türlerinin performansının değerlendirilmesi gerektiğini düşünüyoruz. Bu önemli binalar da hastaneler, okullar vesaire, yani bizim I katsayısını 1,5 aldığımız binalardır bunlar, 1,4 ve 1,5 aldığımız binalardır. I katsayısı yerine, burada 50 yılda yüzde 10 durumunda hemen kullanımı sağlasın, 50 yılda yüzde 2 durumunda da göçmesin diyoruz, yani 2 seviyede sistemi kontrol ediyoruz. Bu diğer binalar da yine o I katsayılarının verildiği tablolarla uyumlu olarak tarif edilmiştir. Diğer binalara bakalım; bizim I katsayısı 1 olarak kullandığımız binalarda yine tek performans seviyesinde, yani mevcut yönetmeliğimizle uyumlu bir performans kontrolünü yapıyoruz.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. NURAY AYDINOĞLU
(Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi
Deprem Araştırma Enstitüsü Öğretim Üyesi)-

Değerli Konuklar, Değerli Meslektaşlarım; Haluk Bey'in dediği gibi, bu konuyu ilk defa mühendislik camiasının dikkatine sunuyoruz, bunun için kaçınılmaz olarak bazı tekrarlar olacak. Bunlar, mühendis arkadaşlarımıza olayı sunma bağlamında ilk hazırlıklarımız.



Ben yönetmelikte yer alan ve tasarım dünyamıza ilk defa girecek olan doğrusal olmayan yöntemlerden bahsedeceğim. Haluk Beyin de belirttiği gibi, doğrusal yöntemler de, yani doğrusal elastik hesap yöntemleri de korunuyor. Ancak ona ek olarak sadece şimdilik mevcut yapıların değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde kullanılmak üzere doğrusal olmayan yöntemlere de bir anlamda bir giriş yapıyor. Yeni yapılar için henüz bu yöntemleri kullanmayı önermiyoruz, ama bütün dünyadaki gelişmelere paralel olarak bir süre sonra bu yöntemlerin yeni yapılar için de kullanılması mutlaka gündeme gelecek. Bu gelişme, şurada son paragrafta belirttiğim gibi, benim kişisel kanıma göre, deprem etkisi altında doğrusal elastik olmayan yapı davranışını mühendisin ilk kez doğrudan izleyebilmesini sağlaması bakımından çok önemlidir ve deprem nedeniyle yapıda oluşacak plastik şekil değiştirmeleri, doğrudan mühendisin hesaplamasına olanak vermesi bakımından çok önemli. Bu açıdan, bu gelişmeyi yalnız Türkiye için değil, bütün dünyada uygulamacı mühendislerin kavramsal algılamaları bakımından bir devrim olarak nitelendiriyorum. Çünkü biz bugüne kadar doğrusal elastik olmadığını bildiğimiz bir davranış doğrusal elastikmiş gibi varsayıp, doğrusal elastik yöntemlerle analiz ettik. Bu sadece bize özgü bir şey değil, bütün dünyada bu olay böyle. Onun için, ben pek tutulan bir deyim kullanıyorum: Biz eğitim bağlamında bütün dünyada inşaat mühendisleri, biz lineer mühendisleriz, öyle yetiştiriliyoruz. Bu gelişmenin yavaş yavaş eğitim sürecini de etkileyeceğini tahmin ediyorum.

Bu biraz önce gösterildi, performansa dayalı bir değerlendirme yaklaşımı. Yani yönetmeliğin genel felsefesinde önemli bir yenilik, farklı deprem düzeylerinde farklı performans düzeylerinin irdelenmesi söz konusu. Özellikle mevcut yapıları incelerken, biraz önce Haluk Beyin de belirttiği gibi, sık olabilecek nispeten küçük şiddetli depremleri, nispeten seyrek olarak meydana gelecek olan şiddetli depremleri ve bizim mevcut yönetmeliğimizde hiç olmayan, çok seyrek olabilecek çok şiddetli depremleri de hesaba katıp, bunlar için çeşitli performans düzeyleri tanımlayıp, yani binanın elemanlarının kapasitelerini bu deprem düzeylerine göre tanımlayıp, her 3 deprem düzeyinde de prensip olarak yapıyı tahkik etme olanağına sahip olabiliyoruz. Ama bunların bazılarını yapıyoruz, bazılarını yapmıyoruz.

Biraz önceki tabloyu hatırladınız, ben de göstereceğim. Burada en önemli olay, Haluk Bey de gösterdi, bu hasar sınırlarının kesit bazında tanımlanmasıdır. Diğer yönetmeliklerden biraz bizim farkımız var; mesela FEMA'da hem kesit için, hem bina için aynı terminoloji kullanılıyor, komisyon olarak pek doğru bulmadık. Kesit için hasar sınırı tanımlıyoruz, birtakım hasar durumları tanımlıyoruz ki, o yapının performansını tanımlamamıza sonuçta bunların bileşkesi olarak, kesitteki hasarların bileşkesi olarak yapının performansını tanımlama-

mıza olanak sağlıyor. Minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı diye hasarlar, hasar bölgeleri de aşağıda gördüğünüz gibi, minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi, ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesi olarak tanımlanıyor. Bunların bileşkesi olarak bina performans düzeylerini tanımlıyoruz, ayrıntılarını Haluk Bey anlattı. Çeşitli hasar durumlarındaki elemanların sayısına göre hemen kullanım düzeyi, can güvenliği düzeyi ve göçmenin önlenmesi düzeyi global olarak bina için tanımlanıyor.

Yine bu tabloda gösterildi, tekrarlar için özür diliyorum, depremin 50 yılda aşılma olasılığına göre, yani yüzde 50, yüzde 10 ve yüzde 2 olması durumuna göre, bizim mevcut yönetmeliğimizde bulunan bina önem katsayısı tablosuna benzer bir tablo bu, görüyorsunuz; binaların sınıflandırılması bakımından, kullanım amacı ve türü açısından. Burada beklenen, tekrar şey yapmayalım, deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalarda yüzde 10 aşılma olasılığı olan depremde, şu anda o depremde kullandığımızda, hemen kullanım düzeyini istiyoruz. Bu tabii aslında mevcut yönetmelikte bu tür yapılar için 1,5 önem katsayısı kullanmamıza karşı geliyor. Diğer yapı türlerinde de kendilerine uygun performans düzeyleri irdeeleniyor, isteniyor.

Sonuç olarak, kendi yönetmeliğimizin bu kısmı tamamen performans dayalı bir değerlendirme anlayışının ürünüdür. Dediğim gibi, bu anlayışı, performans dayalı anlayışı yeni binaların hasarına da uygulayacağımız günler gelecek. Ama şimdi değil, biraz bu konuların içine girdikten sonra, mevcut yapılarda bu konuları hazmettikten sonra, eminim mühendislerimiz bu daha gelişmiş konseptleri yeni yapılar için de kullanmayı zaten kendileri isteyeceklerdir.

Doğrusal elastik olmayan yöntemler konusunda size kısa bir giriş yapacağım, çok ayrıntıya girmemiz mümkün değil, belki yarın biraz daha ayrıntıya girebiliriz. Doğrusal elastik olmayan yöntemlerin amacı nedir? Başlangıç cümlemdede de söylediğim gibi, doğrusal elastik olmayan yöntemlerin temel amacı, verilen bir deprem için öncelikle kesit bazında sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemlerinin hesaplanması. İstem, yeni bir tabir olarak gündemimize giriyor. Biz yönetmeliği yazarken yeni kelimeler üretme olanağını böylece buluyoruz, bu da biraz zorunlu. Deprem talebi veya deprem istemi, yani depremin istediği, meydana getirdiği etki olarak tanımlanıyor. Demek ki depremin meydana getirdiği plastik şekil değiştirmelere plastik şekil değiştirme istemleri diyoruz. Bir de tabii gevrek davranışa ilişkin, özellikle kesme modunu ifade ediyoruz, iç kuvvet istemlerinin de hesaplanması gerekiyor. Daha sonra bu istem büyüklükleri, yani depremde meydana gelen büyüklükler, yine kesit bazında tanımlanmış bulunan şekil değiştirme kapasiteleriyle mukayese ediliyor veya iç kuvvet kapasiteleriyle gevrek elemanlar için mukayese ediliyor, karşılaştırılıyor ve böylece kesit bazında ve daha sonra da, daha önce ifade edildiği gibi, bunların bileşkesi olarak bina bazında yapısal performans değerlendirilmesi yapıyor.

Doğrusal elastik olmayan yöntemler bağlamında kapsam olarak 3 farklı yöntem tanımlanıyor. Bir tanesi, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi. Bugün terminolojide bir bütünlük, bir uniformluk sağlamak için mevcut yöntemlerle ilişki kurmaya çalıştık. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, aslında ona benzer bir yükleme formunu artımsal olarak sisteme uyguluyoruz. Yine mod birleştirme yöntemini artımsal anlamda uyguladığımız ve birden fazla titreşim modunu dikkate alabildiğimiz bir yöntem var ve mevcut yönetmelikte lineer sistemler

için esasen tanımlanmış bulunan zaman tanım aralığında hesap yöntemlerinin de non-lineer olarak, artımsal olarak yapılmasına olanak sağlıyoruz. Tabii bu üçüncü yöntem, en kesin yöntem, ama en karmaşık, yani mühendisçe en zor olan yöntem. Uygulamada bütün dünyada özellikle birinci yöntem, yani itme analizi veya “Pushover analizi” diye bilinen yöntemdir klasik anlamda. İlk ikisi, yani birden fazla modun da dikkate alınabildiği mod birleştirme yöntemiyle birlikte ilk ikisi itme analizi yöntemleridir. Bunlarla ilgili özet bilgi verildi, bu yöntemler biraz zaman içinde daha iyi hazmedilecek. Aslında bir handikabımız da var, bütün dünyada da var; bu konuda yayın çok az, yani Türkiye’de de yok, dünyada da yayın çok az. Önümüzdeki bir yıl içinde -bu yönetmelik hemen yürürlüğe zaten yürürlüğe girmeyecek, onu biliyorsunuz, takriben bir yıllık geçiş dönemi varsayılıyor- bu konuda mühendislerimizi eğitmek anlamıyla birtakım yayınlar yapmayı da kendi kendimize görev olarak tanımladık.

Burada doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi çok önem kazanıyor. Tabii bu yeni bir konsept, ilk defa plastik mafsalları tanımlıyoruz. Yığılı anlamda, yani noktasal olarak plastik davranışın yoğunlaştığı elemanları plastik mafsalları olarak tanımlıyoruz ve bu plastik deformasyonların olması muhtemel düğüm noktaları civarındaki kolon-kiriş kesitlerine ve perdelerin belli düzeylerdeki kesitlerine koyuyoruz. Plastik mafsalları boyunu tanımladık, çok kısaca çalışan kesit genişliğinin yarısı olarak. Plastik mafsalların yerleştirilmesi, kolon ve kirişlerin uçlarına nasıl yerleştirilecek, perdelerde nasıl her katta yerleştirilecek, onları tanımladık. Plastik mafsalları kesitlerinin akma yüzeylerinin tanımlanması, onları özellikle eğme momenti ve normal kuvvet altında aslında etkileşim diyagramlarıdır. Ama bunlara akma yüzeyleri diyoruz, çünkü moment ve normal kuvvet ikilisi, belli bir şekilde o yüzeye ulaştığında kesit akıyor, moment ve normal kuvvetin ortak etkisi altında.

Daha önce de belirtildiği gibi, betonarme tablalı kesitlerde tabla betonuyla donatısını dikkate alıyoruz, eskiden almıyorduk ve sadece non-lineer yöntemlerde, lineer yöntemlerde değil, betonarme elemanlarda çatlamış kesit rijitliklerini alıyoruz, yani kesit rijitliklerini azaltıyoruz. Tabii binanın periyodu çok değişiyor. O zaman “binanın periyodu, senin periyodunla çakışır” diyenler, bakalım ne diyecekler; iki çeşit bina periyodu kavramı ortaya çıkacak, herhalde bunlar da zaman içerisinde öğrenilecek.

Artımsal eşdeğer deprem yönteminden biraz bahsediyorum. Bu son zamanlarda gündemimize girdi, özellikle güçlendirme projelerinde esasen az sayıda da olsa, bazı mühendislerimiz bu uygulamanın içine girdiler. Biz, üniversitelerde bunları ders olarak yıllardır esasen okutuyoruz, özellikle mastır, doktora düzeyinde birkaç üniversitede bu eğitimin yapıldığını biliyorum. Bu konu, formel olarak gündemimize giriyor. Amaç nedir? Bir yükleme profili tanımlıyoruz, deprem yükü profili tanımlıyoruz. Bu deprem yükü profili altında, şematik olarak şöyle bir binanın çerçevesini böyle gösterdik, bir şekil değiştirme profili meydana gelecek. Ancak sistem non-lineer, yani sistemin bir çerçeve sistemde kolon-kiriş bileşimleri civarındaki kolon-kiriş kesitlerinin plastikleşebileceğini dikkate alıyoruz. Etkileşim diyagramlarıyla veya akma yüzeyleriyle onların kapasiteleri her birinin teker teker tanımlanıyor. Sonuç olarak, bu yükün profili önemli. Bu profil sabit kalmak üzere veya her adımda değiştirilmek üzere, iki opsiyon da yönetmelikte var, ama diyelim ki basit olması bakımından sabit kaldığı durumda, bu yükleri şiddet olarak yavaş yavaş arttırıp her adımda sistemde sırayla meydana gelecek olan plastik mafsalların oluşumunu izliyoruz.

Bu, başta da söylediğim gibi çok güzel bir şey, sistemde mühendis plastik deformasyonların, hasarların nasıl ve hangi sırayla olabileceğini açık seçik olarak görüyoruz. Bu hesabın her adımında, -bu karakteristik bir eğri, başka türlü eğriler de çizilebilir, alışkanlık olduğu için genellikle bu tip eğri çiziliyor- taban kesme kuvvetiyle, yani bu kuvvetlerin o andaki toplamıyla tepe deplasmanı arasında bizim itme eğrisi veya Pushover eğrisi diye adlandırılan bir eğri çiziliyor. Bu eğri, aslında kendi başına ne ifade ediyor? Şunu gösteriyor: Görüyorsunuz, bu eğri, lineer bir kısımdan sonra giderek yatıklaşarak sonuçta şu sabit bir değere hemen hemen varıyor. Bu değer de binanın toplam yük taşıma kapasitesinden başka bir şey değil, o bakımdan öğretici bir yönü var. Yani bina ağırlığının yüzde kaçını taşıyabiliyor? R katsayımız, demek ki yönetmelikte ve bize verilen, suni olarak verilen R katsayısının mevcut binada gerçekte ne olduğunu bu hesapla anlayabiliyoruz. Ama amacımız bununla sınırlı değil, hatta bu esas amaç da değil. Bu iyi bir şey tabii, binanın yük taşıma kapasitesini genel anlamda bilmek iyi bir bilgi, ama esas bizim amacımız, bir deprem anında bu yükler tekrarlı olarak ve gidip gelme tarzında, yani dinamik bağlamda yapıya etki edecek ve yapının, yine mesela bu itme eğrisi, bir sefer histeretik davranış gösteren bir dinamik eğri olacak. O dinamik davranış sırasında acaba maksimum deformasyonlar ne kadar olacak? Kuvvetleri bir tarafa bırakalım; yapının kapasitesi belli, hesaplıyoruz. Bundan sonra hep deformasyonlara bakıyoruz. Deformasyon istemleri, yani şekil değiştirme istemleri ne olacak depremde, maksimum nereye varacak, bizim elimizde ne kapasite var? Bunun mukayesesinden gerçek manada deformasyona göre değerlendirme yapıyoruz, yeni gerçek olabilecek hasarı kestirmeye çalışıyoruz. Bu geleneksel dayanıma göre değerlendirme, yani yeni yapılar için uygulayageldiğimiz konseptten çok farklı ve tabii gerçeğe çok daha yakın.

Burada önemli olan, itme eğrisinin -bu çok serbestlik dereceli sistemin eğrisidir- eşdeğer tek serbestlik dereceli tek modun esas alındığı bir durumda, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemde modal yer değiştirme, modal sözde ivme eksenlerinde bunu kapasite diyagramına çeviriyoruz. Bu bir kapasite eğrisidir, fakat depremin istemi, bu kapasite eğrisi nereye karşı gelecektir, daha sonra onu da bulacaktır. Sonuç olarak, bu bir modal eksen dönüşümü, koordinat dönüşümü operasyonudur. Bunlar yeni ve güzel, öğretici konseptler. Bu modal kapasite diyagramını bizim davranış spektrumuyla üst üste çiziyoruz, ama davranış spektrumunu yatayda spektral deplasman, düşeyde spektral ivme eksenlerine çeviriyoruz. Biliyorsunuz, davranış spektrumunu veya ivme spektrumunu diyoruz biz de, yatayda periyoda göre tanımlanır, düşeyde ise spektral ivmeye göre tanımlanır, ama yatayda spektral ivmeyi spektral deplasmana dönüştürmek mümkün.

Yönetmelik şöyle: Bakın, sizin bu kapasite eğrinizin başlangıçtaki teğeti çatlamış kesit de dikkate alınarak hesaplandığı için, sizin çatlamış kesit dikkate alınarak hesaplanmış bina periyodunuzdur, daha doğrusu ona karşı gelen frekansın karesidir. Eğer periyodunuz, şu köşe periyodundan daha uzunsa, o zaman bütün dünyada kabul edilen ve gerçekten de dinamik hesaplarla verifiye edilen bir özellik, eşit yer değiştirme kuralı diye bir özelliğimiz var. Meydana gelecek non-lineer şekil değiştirme, buradaki lineer şekil değiştirmeye eşitleme, bunu hemen burada buluruz. Yani şu nokta, bizim maksimum tek serbestlik dereceli eşdeğer sisteminizin maksimum modal deplasmanını elde eder. Eğer sisteminiz rijitse, yani buradaki periyot şu bölgenin soluna gidiyorsa, o zaman bir büyütme faktörüyle elastik deplasmanı arttırıyoruz, burada değil, daha ileride buluyoruz. Bunlar, yönetmelikte hepsi verilmiş olan şeyler. Hatta bunun için bir iterasyon yapıyoruz, o iterasyonun nasıl yapılacağı bile yönetmelik taslağında anlatılıyor.

Neyi bulduk; sistem bazında spektral deplasman istemini bulduk. Bundan sonra, buradan geriye giderek bu spektral deplasmana karşı gelen -bazı programlar öyle yapıyorlar- bu itme analizi tekrar karşı geliyor, spektral deplasmana karşı şurada belli bir itme eğrisi üzerinde bir nokta buluyoruz. Bu noktanın önemi şu: Benim esas amacım neydi; sistemde bu non-lineer, yani dinamik maksim deformasyonu yaratan histeretik davranış sırasında acaba benim bütün mafsallarım ne kadar plastik rölatif dönme yapacak, bunları hesaplıyoruz. Yani şu noktaya karşı gelen, -bu itme analizi yapılırken, esas amaç zaten bunları hesaplamak- performans noktasında veya istem noktasında onları hesaplıyoruz. Buradan neyi buluyoruz? Böylece benim her kesitimde plastik mafsallar ne kadar plastik dönüyor? Plastik mafsall dönmesi demek, mafsallın bir yanağının diğer yanağına göre rölatif dönmesi. Bu dönmenin tabii sınırlı olması lazım. Peki, biz bu sınırları nasıl koyuyoruz? Bunun için moment-eğrilik ilişkisine gidiyoruz. Burada şunu yapıyoruz: Biz itme analizi sonucunda plastik dönme istemini hesaplıyoruz. Plastik mafsall boyunca da belliydi, buradan plastik eğrilik istemini buluyoruz. Biliyoruz ki, eğrilik, birim boya gelen dönmedir ve plastik mafsall bölgesinde eğrilğin uniform olduğu kabulü yapılır. Dolayısıyla biz buradan plastik eğrilği buluyoruz. Bakın, bu plastik eğrilik, şu idealize edilmiş moment eğrilik ilişkisinde şu köşe noktasından, yani akma eğrilğinden sonra gelen kısımdır, biz bunu biliyoruz, kesitimizin özelliklerinden de akma eğrilğini buluyoruz. Sonuç olarak toplam eğrilik talebi, toplam eğrilik istemini elde ediyoruz. Bunlar biraz size yabancı gelebilir, ama kesitin içine giriyoruz, çok daha güvenilir bilgiler elde ediyoruz. Bizim bu talebi değerlendirmemiz lazım. Bu hesabı nasıl yapıyoruz? Burada eğrilik talebini bulduk, bizim sistemimizin kapasitesinin de ne olduğunu bilmemiz lazım, yine aynı cinsten. Bu eğriyi bulabilmek için, yönetmelikte 13 üncü bölümün B ekinde beton ve çelik modelleri veriliyor. Bakın, bu sargısız betonun beton gerilmesi, birim şekil değıştirme ilişkisi böyleyken, sargılı betonda çok büyük, bunu her zaman gösteririz. Şimdi bu sayısallaştırılıyor, bunun bütün özellikleri ekte, birinci kısmında verilmiştir.

Çelik aynı şekilde, iki kalite çelik, 220 ve 420 kalitesi; bakın, burada çelikte tekleşme de dikkate alınıyor, bütün ayrıntılarıyla veriliyor. Bunlar göre, biz sistemimizdeki eğer bize kesit bazında, kesitteki beton ve çelik deformasyonları cinsinden kapasiteleri tanımlayabilirsek, bunlara karşı gelen eğrilik kapasitelerini de hesaplayabiliriz. Sonuç olarak, yönetmelik kapasiteleri, beton ve çelikteki, donatı çeliğindeki birim şekil değıştirme kapasiteleri olarak tanımlıyor, burada görüyorsunuz. Kesit hasarına göre, eğer minimum kesit hasarı söz konusuysa, sargısız ve sargılı betonda veriliyor. Mesela beton şekil değıştirmesi, birim şekil değıştirmesi her iki durumda binde 4'le sınırlanıyor, ama çelik yüzde 1'e kadar çıkabiliyor. Güvenlik sınırı, kesit hasarı bağlamında sargısız betonda yine binde 4; çünkü binde 4, sargısız betonda alabileceğimiz en fazla değer. Sargılı betonda güvenlik sınırında beton sınırı binde 13,5'e, çelik yine yüzde 4'e, göçme limitinde sargısız binde 4 değışmiyor, ama çelik yüzde 6'ya kadar çıkabilir. Sargılı betonda beton deformasyonu binde 18'e ve çelik de yüzde 6'ya çıkabilir. Bunlar cinsinden deformasyon analizi yapıyoruz. Mesela son slayt olarak bunu gösteriyorum; bunlar dikkate alınarak, minimum hasar sınırında kesite gelen normal kuvvetle beton ve çelikteki bu deformasyon sınırlarına göre elde edilmiş eğril sınırlarının değışimini veriyor. Bunlar, şu anda yönetmelikte yetişmedi, ama yine önümüzdeki yıl içinde bu çalışmaların sonuçlandığını -epey toparlandı bu çalışmalar- düşünüyorum. Şu anda yer almadı, ama yönetmeliğin içinde olması gereken, belki Bakanlığın veya üniversitelerin yayınlayabileceği yardımcı el kitaplarında veya dokümanlarda bu yardımcı hesap bilgilerini vereceğiz, böylece uygulama çok daha kolay olacak. Sonuç olarak mühendis neyi yapı-

cak? Dönme istemini buluyor, oradan eğrilik istemini hesaplayacak, gayet kolay; dönme istemini, plastik dönme istemini plastik mafsal boyuna bölecek, ondan sonra direkt bu tür tablolara girecek. Buradan bu eğrilik istemine gelen kapasite nedir; budur. Normal kuvveti girecek buradan, ona karşı gelen kapasiteyi bulmuş olacak, kendisinin istemi nedir, onunla mukayese edecek ve böylece sonuca gidilecek.

Çok teşekkür ederim.

Prof. Dr. ERKAN ÖZER**(İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Öğretim Üyesi)-**

Sayın Başkan, Değerli Meslektaşlarım; size sempozyumun bu bölümünde 2005 Deprem Yönetmeliği Taslağında güçlendirme yaklaşımının ana ilkeleri ve uygulama prensipleri hakkında bilgi vermek istiyorum.



DEĞERLENDİRME VE GÜÇLENDİRME YÖNETMELİĞİNDE GÜÇLENDİRME YAKLAŞIMI

Giriş

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi amacıyla yoğun pratik uygulamalar yapılmaktadır. Ancak, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ve güçlendirilmelerine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak depreme dayanıklı yapılar için geçerli olan yönetmelik esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılında, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır.

Bu bildiride, tamamlanma aşamasına gelmiş olan *2005 Türk Deprem Yönetmeliği* taslağında yer alan güçlendirme yaklaşımının bazı temel ilkeleri ve uygulama prensipleri açıklanmaktadır.

Güçlendirmenin Temel İlkeleri

Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan mevcut binalara uygulanacak güçlendirme işlemlerinin, yeni deprem yönetmeliği taslağı çerçevesinde dayandığı temel ilkeler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

a) Güçlendirme amacıyla mevcut binaya eklenecek olan betonarme ve çelik yapı elemanları, yönetmeliğin yeni inşa edilecek depreme dayanıklı binaların tasarımı ile ilgili esaslarına (Bölüm 7 ve Bölüm 8) uygun olarak boyutlandırılacaktır.

b) Bu şekilde güçlendirilen yapı sistemi, daha sonra, yönetmeliğin mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ilişkin bölümü (Bölüm 13) çerçevesinde değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sonucunda, güçlendirilmiş yapı sisteminin deprem performansı belirlenerek öngörülen hedef performans ile karşılaştırılacaktır.

Güçlendirmede İzlenecek Yol

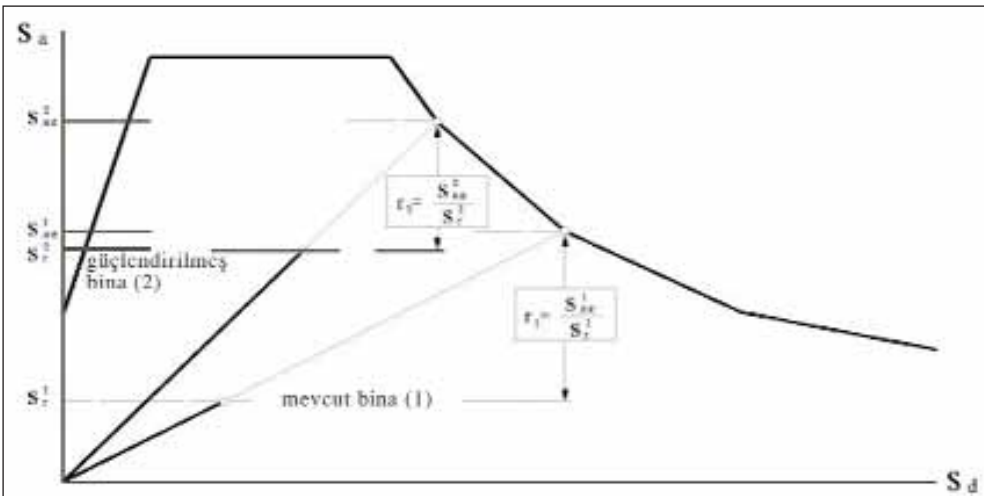
Görüldüğü gibi, yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan bir yapı sisteminin güçlendirilmesi, birbirini izleyen *tasarım* ve *değerlendirme* aşamalarından oluşan bir ardışık yaklaşım yönteminin izlenmesini gerektirmektedir. Ardışık yaklaşımın her tasarım aşamasında, bir önceki adımda boyutlandırılan yapının deprem performans ve güvenliğindeki yetersizlikler göz önüne alınarak, gerekli güçlendirme önlemlerine karar verilmektedir.

Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

Yukarıda açıklandığı şekilde, güçlendirmenin *değerlendirme* aşamasında, bir önceki adımda güçlendirilen yapı sisteminin deprem performansının belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesini amaçlayan yöntemler, 2005 *Türk Deprem Yönetmeliği* taslağında başlıca iki grupta toplanmaktadır.

- a) *Dayanım bazlı doğrusal yöntemler*: Bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının $R_a = 1$ değeri için hesaplanan etkiler (S_{ae}) ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri (S_r) arasındaki (r) *etki/kapasite oranları*'nın hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının içinde bulunduğu kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi, böylece bina düzeyinde performans değerlendirmesinin yapılmasıdır.

Şekil 1'de, dayanım bazlı doğrusal yöntemlerin esas alındığı bir güçlendirme işlemi şematik olarak açıklanmıştır. Şekilden görüldüğü gibi, elastik ivme spektrumu kullanılarak hesaplanan deprem etkileri ile yapı sisteminin elastik artık kapasitesini ifade eden kapasite değerleri arasındaki (r) *etki/kapasite oranları*, güçlendirmeye paralel olarak azalmakta ve böylece hedeflenen performans düzeyine ulaşılabilir.



Şekil 1: Mevcut bina ve güçlendirilmiş binada etki/kapasite oranları

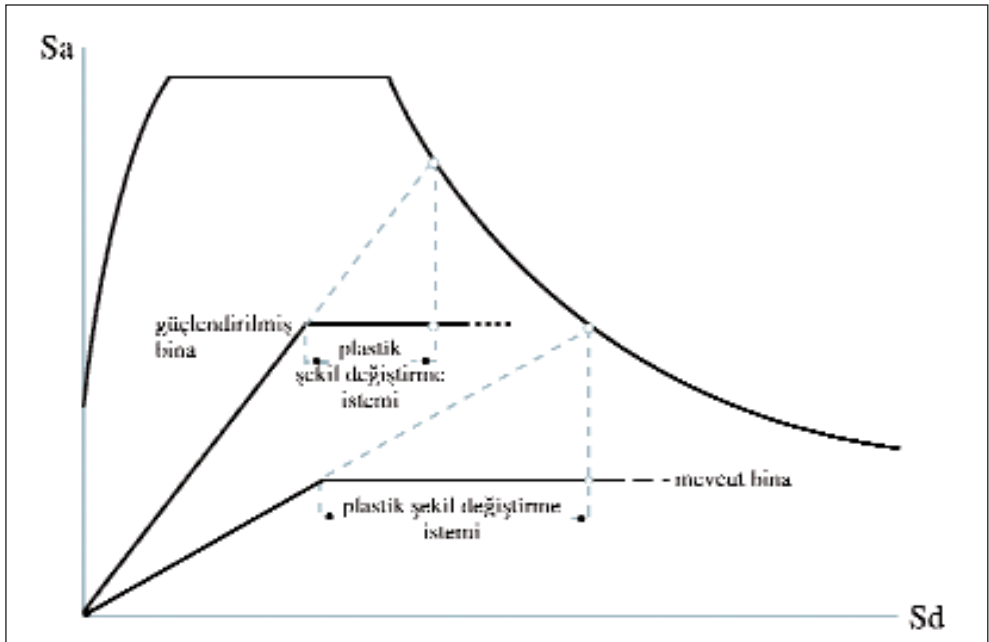
b) Şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan yöntemler: Bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem için, sünek davranışa ait plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ait iç kuvvet istemlerinin hesaplanması ve bu istem büyüklüklerinin kesitlerin şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılması suretiyle, kesit ve bina düzeyindeki yapısal performans değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

Örnek olmak üzere, şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan yöntemlerin esas alındığı bir güçlendirme işlemi, **Şekil 2'** deki diyagram üzerinde şematik olarak açıklanmıştır. Şekilde, koordinatları spektral yerdeğiştirme ve spektral ivme olan *davranış spektrumu* ile incelenen sisteme ait, koordinatları modal yer değıştirme ve modal sözde ivme olan *modal kapasite diyagramları* görülmektedir. Şekildeki şematik gösterilimden izlenebildiği gibi, güçlendirme sonucunda sistemin *plastik şekil değıştirme istemi* azalmakta ve buna bağlı olarak deprem performans düzeyi yükselmektedir.

Güçlendirme Türleri

Binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olabilecek kusurlarının giderilmesi ve yapı sisteminin deprem güvenliğini artırılması amacıyla, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, binaya yeni elemanlar eklenmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması ve kütle azaltılması türündeki işlemleri içermektedir.

Güçlendirme uygulamaları, eleman ve bina düzeyinde olmak üzere, iki grupta incelenebilir. Bu güçlendirme türleri yalnız başlarına kullanılabildikleri gibi birlikte de uygulanabilirler.



Şekil 2: Mevcut bina ve güçlendirilmiş binada plastik şekildeğiştirme istemleri

a) Taşıyıcı sistem elemanlarının tekil olarak güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi: Bina'nın kolon, kiriş, perde, eleman birleşim bölgeleri ve dolgu duvarları gibi deprem yüklerini karşılayan elemanlarının ve birleşimlerinin, tekil olarak dayanımlarının ve şekildeğiştirme kapasitelerinin (sünekliklerinin) artırılması şeklinde uygulanan güçlendirme işlemleridir. Bu güçlendirmede amaç, yapının genel dayanım ve rijitlik özelliklerinden bağımsız olarak, eleman düzeyindeki yetersizliklerin giderilmesidir.

b) Yapı sisteminin tümünün güçlendirilmesi: Deprem etkileri altında yeterli bir dayanım kapasitesine sahip olmayan veya şekileğiştirmeleri ve yerdeğiştirmeleri öngörülen performans düzeyi için verilen sınır değerleri aşan yapı sistemleri için tümsel güçlendirme önlemlerinin uygulanması gerekli olabilir. Bu amaçla, çok kere mevcut yapı sistemine yeni elemanlar eklenir. Bu elemanlar, çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olan betonarme perdeler, merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler veya eğilme çerçeveleri olabilir.

Aşağıda, tekil ve tümsel güçlendirme önlemlerinden başlıcaları ele alınarak, bunlara yönelik esaslar kısaca gözden geçirilecektir.

Eleman Düzeyindeki Güçlendirme Önlemleri

Tekil yapı elemanlarına uygulanan güçlendirme önlemleri arasında, sık olarak kullanılanların başlıcaları,

- a) kolonların sargılanması
- b) kolon kesitlerinin büyütülmesi
- c) kirişlerin sarılması
- d) bölme duvarlarının güçlendirilmesi

olarak sıralanabilir.

a) Kolonların Sargılanması

Kolonların sargılanması çeşitli nedenlerle gerekebilir. Bunların başlıcaları, kolonların ekse- nel taşıma kapasitesinin artırılması, kesme kapasitesinin artırılması, donatı ek bölgelerindeki bindirme boyu yetersizliklerinin giderilmesi ve süneklik düzeyinin artırılmasıdır. Sargılama ile kolonların eğilme kapasiteleri artırılamaz. Sargılamada betonarme manto uygulanması elemanın rijitliğini arttırmakta ve bu durum sistemde iç kuvvet dağılımının değişmesine neden olabilmektedir. Tasarımda bu husus göz önünde tutularak gerekli önlemler alınmalıdır.

Pratikte uygulanabilecek başlıca sargılama yöntemleri arasında

- i) betonarme sargı
- ii) çelik sargı
- iii) lifli polimer (LP) sargı

sayılabılır. Bu sargı yöntemlerinin uygulanmasına yönelik ayrıntılar 2005 Deprem Yönetmeliği taslağının ilgili bölümlerinde yer almaktadır.

b) Kolon Kesitlerinin Büyütülmesi

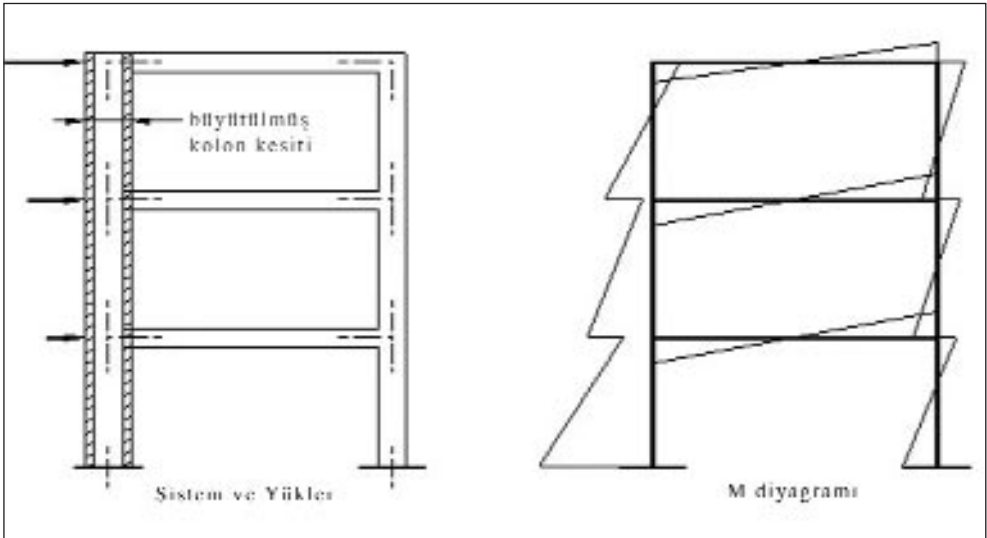
Kolonların eğilme kapasitelerini arttırmak için kolon kesitleri büyütülür. Bu işlem ile, aynı zamanda kolonun kesme kuvveti ve eksenel yük taşıma kapasiteleri de arttırılabilir. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatının katlar arasında sürekliliği sağlanır. Bu amaçla, boyuna donatı kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilir. Büyütülmüş kolon kesiti enine donatı ile sarılır. Enine donatı birleşim bölgesinde kirişlerde açılan yatay deliklerden geçirilir. Büyütülen kolon kesitinin paspayı, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmek için yeterli kalınlıkta olmalıdır. Yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakasının sıyrılması ve beton yüzeylerinin pürüzlendirilmesi gerekir.

Kolon kesitinin büyütülmesi işlemi, kolonun bağlandığı düğüm noktalarını da kapsamadığı sürece, güçlendirme sadece kolon kesitinin eğilme momenti taşıma kapasitesinin arttırılması ile sınırlı kalmaktadır. **Şekil 3**'teki örnekte, kolon kesitinin büyütülmesi sonucunda, yatay yüklerden oluşan eğilme momenti dağılımı şematik olarak gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi, bu işlem ile sadece söz konusu kolonun dayanımı arttırılabilmekte, diğer bir deyişle, bu güçlendirme işlemi mevcut yapı sistemine bir konsol kolon eklenmesine karşılık gelmektedir.

c) Kirişlerin Sarılması

Kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerin kesme dayanımlarının arttırılması ve kirişlerin süneklik düzeylerinin yükseltilmesi amacıyla bu yöntem uygulanabilir. Kirişlere uygulanan başlıca sarma yöntemleri, dıştan etriye ile sarma ve lifli polimer (LP) ile sarmadır.



Şekil 3: Kolon kesitlerinin büyütülmesi

d) Bölme Duvarlarının Güçlendirilmesi

Binada mevcut olan ve temelden itibaren yapı yüksekliği boyunca süreklilik gösteren yığma bölme duvarları güçlendirilerek yapı taşıyıcı sistemine katılabilir. Bu amaçla, söz konusu duvarın yüzüne hasır çelik donatılı harç tabakası veya benzeri amaçlı malzemeler uygulanır.

Güçlendirilen bölme duvarlarının rijitlik ve dayanım özellikleri tanımlanır ve bu duvarlar yapı modeli içinde basınç kuvveti alan eşdeğer çubuk elemanlar ile temsil edilir.

Yapı Sistemlerinin Tümsel Güçlendirilmesi

Yapı sisteminin, yeni elemanlar eklemek suretiyle, tümsel güçlendirilmesinde uygulanan yöntemlerden başlıcaları

- i) çerçeve düzlemi içinde betonarme perde eklenmesi
- ii) çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi
- iii) betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi
- iv) çelik taşıyıcı sistemler ve elemanlar ile güçlendirme

olarak sıralanabilir.

Güçlendirme Perdeleri

Betonarme binaların sistem bazında güçlendirilmesi amacıyla taşıyıcı sisteme betonarme perdeler eklenmesi, ülkemiz koşullarında tercih edilebilen güçlendirme önlemlerinin başında gelmektedir. Aşağıda, mevcut bir yapı sisteminin betonarme perdeler eklenerek güçlendirilmesi halinde göz önünde tutulması gereken temel ilkeler ve güçlendirme perdelerinin hesap esasları açıklanacaktır.

Güçlendirme Perdelerinin Tasarım Prensipleri

Güçlendirme perdelerinin tasarımında göz önünde tutulması gereken temel ilkeler ve bu ilkeler doğrultusunda oluşturulan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- a) Güçlendirme perdelerinin konumları binanın mimari tasarımı ile uyumlu olmalı, fonksiyonlarını engellememeli, tesisatın yoğun olarak bulunduğu duvarların güçlendirme perdesine dönüştürülmesinden sakınılmalıdır.
- b) Güçlendirme perdelerinin sayısı ve plandaki yerleşimi yapıya yeterli düzeyde dayanım ve burulma rijitliği sağlayabilmelidir.
- c) Perdelerin düzenlenmesinde, perde temellerinin gerçekçi ve ekonomik olarak tasarımı da göz önünde tutulmalıdır.
- d) Yapı sistemine eklenecek betonarme perdelerin mevcut taşıyıcı sistem ile bütünleşmesi ve mevcut yapıdan bu güçlendirme elemanlarına kuvvet aktarılması sağlanmalıdır. Bu amaca yönelik olarak şu önlemlerin alınması uygun olmaktadır.

(1) Güçlendirme perdeleri, mümkün olduğu oranda, mevcut taşıyıcı sistemin çerçeve eksenlerine merkezi olarak yerleştirilmelidir. Güçlendirme perdelerinin dışmerkez olarak oluşturulmaları halinde, mevcut yapı sistemi ile güçlendirme perdesi arasında ki kuvvet aktarımını sağlamak amacıyla, gerekli ek önlemler alınmalıdır.

(2) Yatay deprem etkilerinin bir bölümünün mevcut yapı sisteminden güçlendirme perdelerine aktarılmasına katkı sağlamak üzere, mevcut çerçeve girişlerini perdeye bağlayan düşey ankraj çubuklarından yararlanılmalıdır. Böylece, perde uçlarındaki mevcut yapı kolonlarının düşey donatısı ile birlikte, bu ankraj çubuklarının sağladığı sürtünme kesmesi ile deprem etkilerinin güçlendirme perdesine aktarılması mümkün olabilmektedir.

(3) Güçlendirme perdesinin uçlarındaki mevcut bina kolonlarının perde uç bölgesi olarak davranmalarını ve böylece perdenin mevcut bina taşıyıcı sistemi ile bütünleşmesini sağlamak amacıyla, perdeyi bu uç kolonlarına bağlamak üzere, yatay ankraj çubukları kullanılmalıdır. Bu ankraj çubukları, ölü yüklerden oluşan kolon eksenel kuvvetinin ve kolon düşey donatısının sağladığı eksenel kuvvet kapasitesinin güçlendirme perdesine aktarılması için yeterli olmalıdır.

(4) Güçlendirme perdesinin uç bölgesi konumundaki mevcut yapı kolonlarının eksenel basınç kuvvetinin ve mevcut boyuna donatısının, perde eğilme momentinden oluşan uç kuvvetlerinin dengelenmesi için yeterli olmaması durumunda, söz konusu kolonların çevresinde bir manto oluşturulmalı ve artık çekme kuvvetlerinin aktarılması için gerekli olan ek donatı bu manto betonu içine yerleştirilmelidir.

- e) Güçlendirme perdelerinin, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olması sağlanmalıdır. Bu amaçla, perde uç donatıları perde yüksekliği boyunca sürekli olarak devam ettirilmelidir.
- f) Perde temeli, güçlendirme perdesinden ve perde ucundaki mevcut yapı kolonlarından aktarılan düşey yükleri ve eğilme momentlerini güvenle temel zeminine aktaracak şekilde boyutlandırılmalıdır. Perde temelının mevcut yapı temelleri ile bütünleşmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Büyük dışmerkezlik etkisindeki perde temellerinin ekonomik olarak tasarımı için, perde dolaylarındaki mevcut yapı kolonlarının perde temeli ile bütünleşmesi ve böylece söz konusu kolonların eksenel yüklerinin de perde temeline aktarılması sağlanmalıdır.

Güçlendirme Perdelerinin Hesap Esasları

Yukarıda belirtilen tasarım prensipleri doğrultusunda, güçlendirme perdelerinin boyutlandırma hesapları başlıca üç aşamadan oluşmaktadır.

- a) Deprem etkilerinden oluşan kat kesme kuvvetlerinin mevcut yapı sisteminden güçlendirme perdelerine aktarılmasını sağlayan düşey ankraj çubuklarının hesaplanır. Sürtünme kesmesi prensibine dayanan bu hesapta perde uç kolonlarından aktarılan kesme kuvveti de hesaba katılabilir.

b) Perde deprem momenti ve düşey yüklerden dolayı, perde uç bölgelerinde oluşan çekme ve basınç kuvvetleri altında, çekme bölgesi donatı hesapları ve basınç bölgesi dayanım kontrolleri yapılır. Bu hesabın sonucuna dayanarak, uç bölgesindeki betonarme manto ve boyuna donatı gereksinimi belirlenir.

c) Güçlendirme perdesi ile uç kolonları arasındaki kuvvet aktarımını sağlayan yatay ankraj çubuklarının sürtünme kesmesi prensibi ile hesabı yapılır. Nervürlü beton çeliğinden yapılabilen ve mevcut yapı sistemine ankrajı epoksi veya benzeri bir madde ile sağlanan bu çubukların kesme kuvveti aktarma gücü, çubuğun çekme dayanımına, mevcut betonun karakteristik basınç dayanımına, ankraj çubuklarının yerleşimine ve mevcut beton ile ilave beton arasındaki sürtünme katsayısına, dolayısıyla ortak yüzeyin pürüzlülüğüne bağlı olarak hesaplanmalıdır.

Diğer Güçlendirme Önlemleri

Yukarıda açıklanan, eleman ve sistem düzeyindeki standart güçlendirme önlemlerinin yerine veya onlara ek olarak diğer bazı güçlendirme yöntemlerine de başvurulabilir. Bunlardan başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

a) Mevcut düzensizliklerin azaltılması veya giderilmesi: Yapı sistemindeki düzensizliklerin yapının deprem performansını önemli ölçüde etkilemesi halinde, hedeflenen performans düzeyine erişilebilmesi için, bu düzensizliklerin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması gerekli olabilir. Bu kapsamda alınabilecek iyileştirme önlemlerinden başlıcaları, yapı sistemine ilaveler yapmak veya gerekli olan durumlarda yapı sisteminin bazı bölümlerini kaldırmak suretiyle, zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerinin giderilmesi, burulma düzensizliğinin azaltılması ve taşıyıcı sistemdeki süreksizliklerin ortadan kaldırılmasıdır.

b) Kütle azaltılması: Deprem etkileri altında yeterli bir performans düzeyine sahip olmayan yapı sistemlerinde, bina kütesinin azaltılması suretiyle deprem isteminin azaltılması ve böylece binanın performans düzeyinin yükseltilmesi mümkün olabilir. Bina kütesinin azaltılması, genellikle kat kaldırılması, binanın kullanım amacını değiştirerek hareketli yük azaltılmasının sağlanması, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarlarının ve cephe kaplamalarının kaldırılması veya daha hafif elemanlar ile değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

c) Taban izolasyonu ve enerji sönümleyici aygıtlar kullanılması: Mevcut yapı sisteminin uygun bölgelerine izolatörler konularak taban izolasyonunun sağlanması ve/veya enerji sönümleyici aygıtlardan (damperler) yararlanarak deprem enerjisinin sönümlendirilmesi suretiyle deprem isteminin azaltılması, yapı taşıyıcı sisteminin deprem performansını arttıran önlemler arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vols. 1-2, ATC 40, Redwood City, California, 1996.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1997.
- Özer, E., Pala, S., Orakdöğen, E., Girgin, K., Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Rehabilitasyonu, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Rapor TDV/TR 028-45, İstanbul, 1999.
- Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Washington D.C., 2000.
- Özer, E., İstanbul' daki Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, İkinci İstanbul ve Deprem Sempozyumu, 75-96, İstanbul, 2000.
- International Code Council, 2003 International Building Code, Country Club Hills, Illinois, 2003.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Taslağı, Ankara, 2005.