

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 irdeleyeniyor, 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 cümlede 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 Bakanlık 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.