

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Deprem güvenliği olan yapıların tasarımı gerçekte bir belirsizlikler dizisidir. Belirsizliklerin iki önemli kaynağı vardır. Birinci derecede önemli belirsizlik kaynağı, depremin neden olduğu yer hareketinin kendisidir. Hiçbir depremde bu hareketler birbirine benzemez. İkinci derecede önemli belirsizliğe gelince, bu da mevcut yapıların deprem etkileri altında gösterdiği gerçek dayanımdır. Analitik olarak hesapladığımız yapı dayanımıyla gerçek yapı dayanımı arasında önemli farklar bulunmasına yol açan pek çok belirsizlik vardır.



DEPREME dayanıklı yapı tasarımıyla ilgili belirsizliklerin saptanmasından sonra karşımıza bir de teknik zorluklar ve yetersizlikler çıkar. Zorlukların temel nedeni, yapı sistemlerinin kuvvetli depremler altındaki özelliklerinin hesaplanabilmesi için üç boyutlu elastik ötesi dinamik analiz yapma yeteneğinin olmamasıdır. Basit bir elastik (esnek) yapının dinamik analizi bile hayli karmaşıktır. Böyle olunca üç boyutlu elastik ötesi dinamik yapı analizi sadece akademik bir düşünmekten öteye gitmez. 2000 yılına girerken hâlâ bu işi yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilebilmiş değildir.

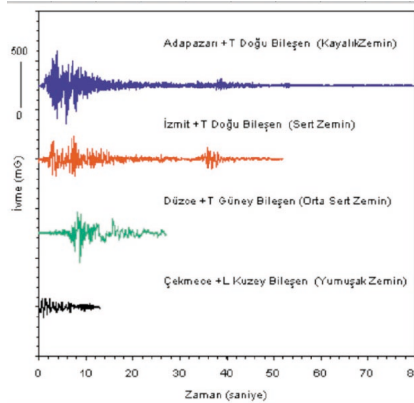
Konuya böylesine karamsar giriş, durumun karmaşıklığını anlamak ve buna karşın yapılabileceklerin sınırlarını çizmek bakımından gerekiyor. Öncelikle problemi hassas biçimde bir fizik problemi çözer gibi, kuramsal olarak çözmenin mümkün olmadığını anlamamız gerekir. İşte mühendisler bu durumlar için gereklidir. Kuramsal

çözümleri olmayan fizik konularına mühendisçe yaklaşmanın yöntemleri vardır. Önce, belirsizlikler yanında belirli olan öğeler dikkatle ayıklanmalıdır. Sonra yaklaşık hesap yöntemleriyle bu öğelerin neden-sonuç ilişkileri kurulmalıdır. Yaptığımız bunca varsayım ve basitleştirme sonucunda elde ettiğimiz çözümlerin ne denli güvenilir olduğunu anlamaksa başka bir sorundur. Bu noktada artık deneyimlerin devreye girmesi gereklidir. Daha

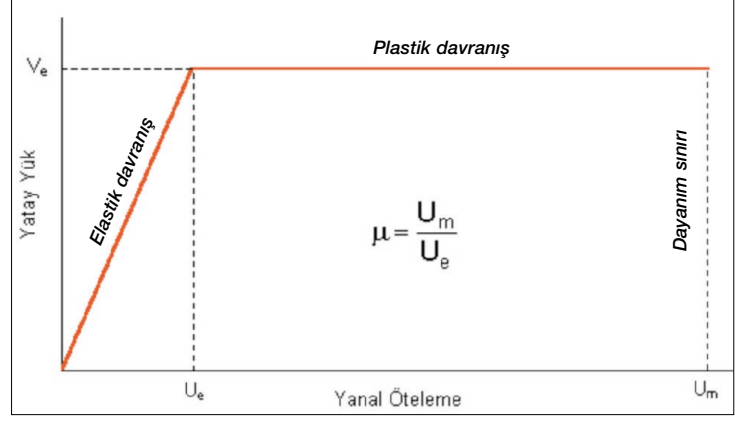
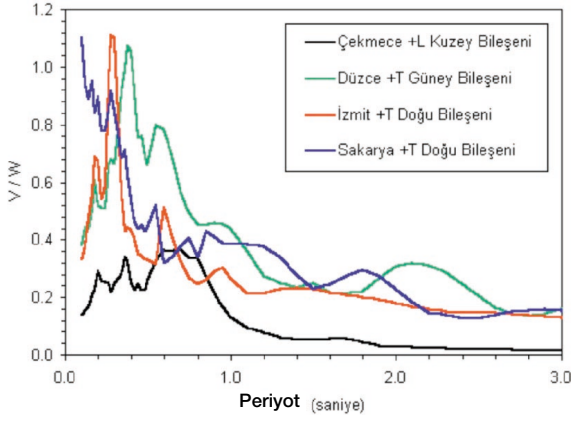
önce yapılmış çözümlerdeki yetersizlikler anlaşılmalı ve giderilmeli, böylece daha güvenli bir noktaya ulaşılmalıdır. Başka bir deyişle, depreme dayanıklı yapı tasarımı eski yıkıntılar üzerine yıkılmamasını umduğumuz yapılar yapmanın çabasıdır. Şimdi bu çabanın öyküsünü nirengi noktalarıyla belirtelim.

Birinci Sorun: Deprem Yer Hareketi Şiddetinin Karmaşıklığı

Kuvvetli bir deprem sırasında yerin gerilen sert dış kabuğu kilometrelerce derinlikteki bir noktadan yırtılmaya başlar. Bu yırtılma fay olarak adlandırdığımız zayıf yüzey boyunca yaklaşık 3 km/saniye hızla ilerler ve gerilme boşalıncaya değin sürer. 1999 İzmit depreminde, birkaç yüzyıldır biriken gerilme Kuzey Anadolu Fayı'nın Yalova-Akyazı arasındaki 130 km'lik kısmının 45 saniye (yaklaşık 130/3) süren kırılmasıyla boşalmıştır. Deprem odağı 18 km derinde olduğuna göre kırılan fay yüzeyi yaklaşık 250 km² dir. Bu şiddetli kırılma sırasında



Şekil 1. İzmit depreminde farklı zeminlerde kaydedilen ivmeler. T= enine, L= boyuna



Şekil 2. İzmit depremi yer hareketlerinin elastik yatay kuvvet spektrumları. V = Bina yatay kuvveti, W = Bina ağırlığı.

Şekil 3. Tek dereceli elasto-plastik sistem modeli. V_e = dayanım sınırı

fay yüzeyinin iki karşılıklı yakası birbirine sürtünerek ayrılır ve fay yüzeyinde titreşim meydana getirir. Titreşimler sismik dalgalar olarak titreşimin kaynağından yer kabuğunun diğer bölgelerine yayılır. Bizim yer hareketi olarak hissettiğimiz, ayağımızın ya da binamızın altından geçip giden titreşim dalgalarıdır bunlar.

Her depremin bir büyüklüğü (magnitüd) olmasına karşın, yer kabuğunun değişik noktalarında, yer titreşimlerinin hissedilen şiddetleri farklıdır. Tıpkı patlayan bir bombada patlayıcı miktarının tek olması, ancak farklı konumlarda değişik basınç yaratması gibi. Depremde enerjinin kaynağını oluşturan yırtılan faydan yayılan sismik dalgalar, yer kabuğunun heterojen (ayrıtürden) katmanlarından geçerken çok karmaşık biçimde kırılma ve yansımalarla uğralar ve yer yüzünün farklı noktalarına çok farklı özelliklerle ulaşırlar. Sözelimi İzmit depremi sırasında depremden çok etkilenen İzmit, Adapazarı, Düzce ve Çekmece'de kaydedilen yer ivmelerinin Doğu-Batı yönlü kayıtları şekil 1'de gösterilmektedir. Oysa aynı deprem dört ayrı konumda birbirine hiç benzemeyen yer hareketi sinyalleri yaratmıştır. Bunlar arasında bazı ortak özellikler bulmak mümkündür. Örneğin hepsinin süresinin uzun olması bir büyük depremin göstergesidir (Düzce ve Çekmece'de kayıtlar erken kesilmiştir). Ancak zemin koşullarının rolü de önemlidir. Adapazarı'nda güneydeki kayalık tepeler üzerinde alınan kayıt yüksek frekans içeriğiyle zeminin bir özelliğini yansıtmaktadır. Ne var ki Adapazarı'nın yıkılan kesimi zayıf alüvyon üzerindedir ve bu bölgede yer kaydı yoktur. Çekmece'deki kayıt

benzer bir alüvyon tabaka üzerinde alınmıştır ve çok farklıdır. Yüksek frekanslar kaybolmuş, periyodik bir özellik ortaya çıkmıştır. Yer hareketine hakim olan periyot zeminin titreşim periyodunu yansıtmaktadır. Düzce ve İzmit kayıtlarıysa orta sertlikte zeminlerin özelliklerine sahiptir. Bunlar dışında söylenebilecekler azdır. Şimdi bir de yer hareketinin mühendisçe bir tanımını yapalım.

Çözüm: Elastik Deprem Spektrumları

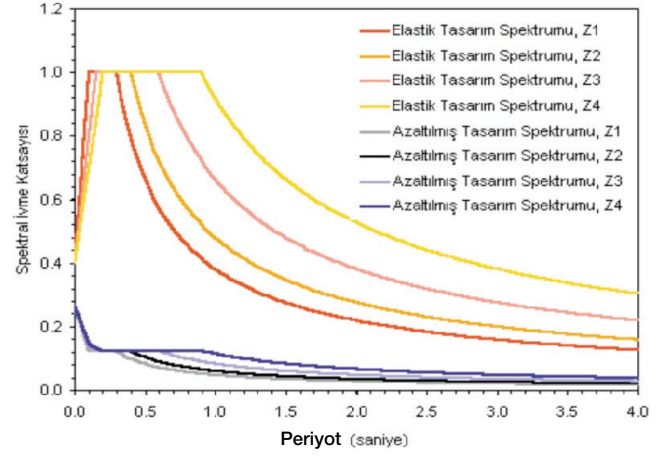
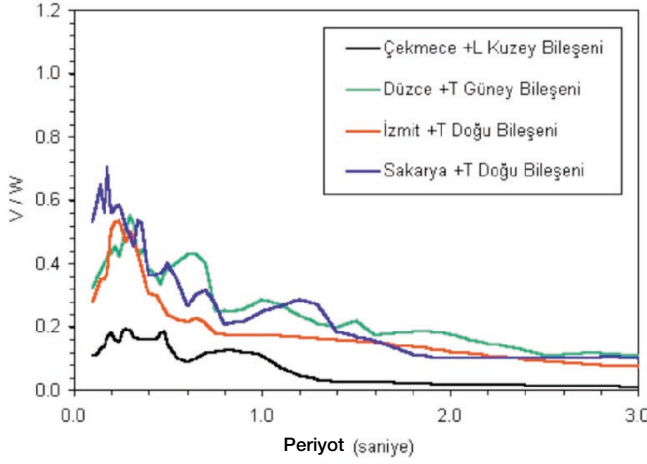
Şekil 1'deki karmaşık yer sinyallerini kullanarak bir yapının dinamik analizini yapabiliriz. Ancak bu pek ümitli bir çaba değildir. Öncelikle bu deprem sinyallerinin daha sonra olabilecek depremlerdeki hareketleri nedenli doğru temsil edeceği belirsizdir. Sonra, herhangi bir yapıyı ayrıntılı olarak modellemek ve dinamik analizini yapmak bize sadece o yapıyla ilgili sınırlı bilgi verir. Halbuki tasarıma yapıların genel karakterlerinin yansıtılması gerekir. İşte bu belirsizlikleri çözüme mühendisliğin sonduğu harika çözüm deprem spektrumu'dur. Deprem yer hareketi sırasında elastik bir yapının öne çıkan ve davranışını denetleyen temel dinamik özelliği, hakim yanıl titreşim periyodudur. Karmaşık bir elastik yapıyı, sadece hakim yanıl titreşim periyoduyla anlatılan tek dereceli bir dinamik sisteme indirgeyebilirsek sorun oldukça basitleşecektir. Üstelik tasarım için bu basit sistemde deprem süresi boyunca meydana gelen yatay kuvvetleri ve yer değiştirmeleri de bilmemiz gerekemeyebilir. En büyük değerleri bilmek yeterlidir. Eğer basitleştirilmiş yapıımız deprem sırasında en büyük etki-

lere karşı elastik kalabiliyorsa, daha düşük etkiler önemli olmayacaktır. İşte hem yapının, hem de deprem yer hareketinin yapıdaki etkisinin en basit anlatımı, deprem spektrumu tanımında birleşmektedir. Şekil 2 İzmit depremindeki dört yer hareketinin elastik yatay kuvvet spektrumlarını göstermektedir.

Şekildeki spektrum eğrileri, yer hareketlerinin kaydedildiği zeminlerin özelliklerini bir ölçüde yansıtmaktadır. Sert zeminler kısa periyotlu (az katlı) yapılarda, yumuşak zeminlerse uzun periyotlu (çok katlı) yapılarda daha fazla yatay kuvvet oluşmasına neden olmaktadır. Öte yandan, spektrum eğrileri sadece en yüksek etkileri tanımladığı için, depremin süresi burada kaybolmaktadır. Oysa İzmit depreminin süresinin uzunluğu, yapı hasarlarının artmasında etkilidir. Demek ki, spektrumun getirdiği basitliklerden yararlanırken, bu arada kaybedilen önemli bilgileri de göz önünde bulundurmamız gereklidir.

İkinci Sorun: Elastik Deprem Kuvvetlerinin Yüksekliği

Şekil 2'deki spektrum eğrileri bize, yapıların İzmit depremindeki yer hareketleri altında elastik kalabilmesi için sahip olmaları gerekli yatay dayanım miktarının, yapı ağırlığından fazla olduğunu söylemektedir. Böylesi büyük kuvvetler altında elastik kalacak bir yapı tasarımı hedeflemek pek mümkün değildir. Çözüm çok pahalı ve kullanışsız olacaktır. Üstelik yapının yaşamı süresince böylesi büyük bir deprem olma olasılığı pek de fazla değildir. Bu durumda yapıların büyük depremler sırasında elastik kalması çok da gerekli olmayabilir. Aynı sü-



Şekil 4. İzmit depremi yer hareketlerinin elasto-plastik yatay kuvvet spektrumları. Süneklilik oranı (μ)= 4, T= enine, L= boyuna.

Şekil 5. Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumları

reçte daha küçük depremlerin olma olasılığı daha yüksektir. Bu depremlerin yaratacağı elastik kuvvetlerin karşılanması belki mümkün olabilir. Ancak, düşük olasılıklı büyük depremlerin yaratacağı şiddetteki yer hareketlerine farklı yaklaşmamız ve uygulanabilir mühendislik çözümleri getirmemiz de zorunlu olmaktadır.

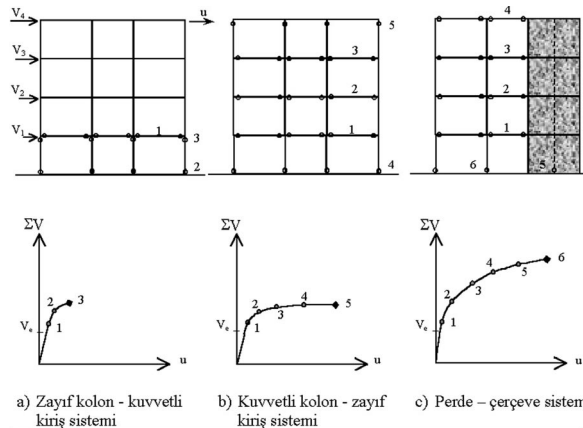
Çözüm: Azaltılmış Tasarım Spektrumları

Tek dereceli basit dinamik yapılarımız eğer kuvvetli deprem etkisi altında elastik kalmayacaksa dayanıklı kalmanın tek çaresi elastik ötesi, yani plastik deformasyon yapmaktan geçer. Böyle bir sistemin yatay kuvvet-deplasman ilişkisi şekil 3'te gösterilen ideal elasto-plastik yapı modeliyle temsil edilebilir. Bu modelin gerçek bir yapıya uygunluğu ileride tartışılacaktır. Ancak buradaki elastik dayanım sınırı V_e 'nin tasarımcı tarafından önceden seçilmesi veya bir tasarım yönetmeliği ile hesaplama yönteminin belirtilmesi gerekir. V_e 'nin seçildiğini varsayarsak ve şekil 1'deki yer hareketlerini şekil 3'teki basit yapı modeline uygularsak, elastik deplasman sınırı U_e 'nin ötesinde plastik deplasmanlar hesaplarız. Eğer maksimum plastik deplasman U_m olarak hesaplanırsa, $\mu = U_m/U_e$ oranı süneklilik oranı olarak tanımlanır. Elasto-plastik yapıdan beklediğimiz, deprem yer hareketine elastik yapıdan daha düşük bir dayanımda, ancak plastik deformasyon yaparak tepki verme-

sidir. Eğer biraz daha ileri mühendislik yöntemleri kullanırsak, herhangi bir yer hareketi altında elasto-plastik sistemin belirli bir süneklilik oranı için ne kadar elastik dayanıma gereksinimi olduğunu hesaplayabiliriz. Hesap sonucunu da elasto-plastik dayanım spektrumu olarak ifade edebiliriz. Şekil 2'deki elastik spektrumların süneklilik oranı $\mu = 4$ için elde edilen elasto-plastik durumları şekil 4'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi yatay dayanım gereksiniminde şekil 2'ye göre önemli azalmalar sağlanmış, elastik kuvvetler tasarlanabilir dayanım seviyelerine indirgenmiştir.

Bir veya birkaç farklı yer hareketi kullanarak tasarım kuvvetleri önermek pek güvenilir olamaz. Eğer aynı tür zeminlerde kaydedilmiş pek çok yer hareketi kullanılır ve bunların sonuçları istatistiksel güvenlik sınırlamaları gözetilerek birleştirilirse, basit deprem tasarım spektrumları elde edilir. Şekil 5'in üst grubunda Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde dört farklı zemin grubu için birinci derece

deprem bölgesinde tanımlanan elastik tasarım spektrumları verilmiştir. Buradaki elastik kuvvetlerin aşılma olasılığı 50 yılda yüzde 10'dur. Bu kuvvetler evvelce bahsettiğimiz gibi çok yüksektir. Şekil 5'in alt grubundaysa üstteki eğrilerin süneklilik yeteneği olan yapılar için azaltılmış halleri verilmektedir. Tıpkı şekil 2 ve 4'teki spektrumların ilişkisi gibi. Ancak şekil 5'deki azalım oranları (R katsayısı) sadece basit elasto-plastik yapı modelindeki süneklilik oranına bağlı değildir. Gerçek yapılar salt yapısal elemanlarının plastik davranışıyla değil, yapısal olmayan elemanlarının enerji tüketimine katkısı, temelin zemin ile etkileşimi gibi farklı nedenlerle de enerji tüketebilirler. Ayrıca yapıların gerçek yatay yük dayanımları, taşıyıcı olmayan elemanların katkısı, tasarımda kullanılan yük ve malzeme etkenleri, minimum boyut sınırlamaları gibi nedenlerle, hesaplanan dayanımlarından daha fazladır. İşte deprem yönetmeliklerindeki R faktörü, hesaba kitaba pek kolay gelmeyen



Şekil 6. Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri.

tüm bu öğelerin ortak katkısının mühendisçe ifadesidir. Yapı türüne göre, yapıların enerji tüketme özellikleri arttıkça R artar ve tasarım kuvvetleri azalır, yani tasarım ödüllendirilir. Ters durumdaysa R azalır ve tasarım yüksek kuvvetlerle cezalandırılır. Ancak tasarımcı R'nin fizik kurallarına matematiksel bir gerçekle bağlı olmadığını bilmek zorundadır. Bu, ağır sorumluluklar doğurur. İyi tasarımcı bunun bilincindedir.

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Şekil 5'te deprem etkileri iki farklı seviyede tanımlanmıştır. Tasarım depremi olarak tanımladığımız alt grup spektrumları, yukarı gruptaki spektrum eğrilerinin elasto-plastik davranış kabulüyle azaltılmış halidir. Dolayısıyla, azaltılmış dayanımlar için tasarlanmış yapılar, şiddetli deprem etkisi altında plastik deformasyon yapacak, yani hasar görecektir. Diğer yandan orta ya da hafif şiddetli deprem etkilerine hasar görmeden karşı koyabileceklerdir. İşte deprem tasarımı ilkesi budur. Az ya da orta şiddette yer hareketleri daha sık meydana gelebilir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hiç hasar yaratmamalı, ya da çok hafif, onarılabılır hasarlara yol açmalıdır. Yapıda güvenlik kaybı söz konusu olmamalıdır. Ancak yüksek şiddette, yani şekil 5'in üst grubunda ifade edilen kuvvetlere neden olan yer hareketleri yapıda hasar yaratacaktır. Ne var ki bu kaçınılmaz hasarın yapıda kontrollü dağılması, çökmeye neden olmaması gerekir. İşte depreme dayanıklı yapı tasarımı burada adeta bıçak sırtında, hata kabul etmez durumdadır. Eğer tasarımda yapının plastik deformasyon yapabileceği kabulü ile tasarım kuvvetleri azaltılıyorsa, bunun faturası ödenmelidir. Bu fatura, yapının esnek davranabilmesi için gerekli olan koşulların tasarıma ve uygulamaya yansıtılması, bazı özel detayların uygulanmasıdır. Tasarımcı bu özel ayrıntıları göz ardı ettiği takdirde büyük risk aldığı bilmelidir. Zaten bilinçli bir tasarımcı bunu asla yapmaz, deprem cahili tasarımcılar ise böyle bir riskin ayırında bile değildir. Onlar cahil cesaretine sahiptir.

Üçüncü Sorun: Tek Dereceli Basit Elasto-Plastik Yapı Modelinin Geçerliliği

Gerçek bir yapının şekil 3'teki tek dereceli elasto-plastik model davranışı göstermesi kolay değildir. Üstelik gerçek yapının plastik davranışının modellenmesi de oldukça zordur. Elimizdeki analitik araçlar çok dereceli yapı sistemlerinin sadece elastik sınırlar içinde analizine olanak verir. Bu sınırlar da taban kesme kuvvetinin V_e değerine ulaşmasına kadar geçerlidir. Aslında bu durumun pratik bir yararı da vardır. Azaltılmış deprem kuvvet-



Tarihi caminin depreme dayanıksız modern yapılara üstünlüğü.

leri bize doğrusal elastik analiz yapma olanağı verir. Zaten tasarımcının elindeki tek araç da neredeyse budur. Yani bir anlamda bir taşla iki kuş vurulmuştur. Ancak başlangıçtaki sorun hâlâ mevcuttur. Deprem tasarım kuvvetlerini tek dereceli elasto-plastik model davranışını esas alarak azaltıyorsak çok dereceli gerçek yapının buna benzer bir davranış göstereceğini kabul ediyoruz demektir. Ne var ki, yapının elastik ötesi deformasyon özelliklerini hesaplamadığımız için, karanlıkta el yordamıyla ilerlemek zorunda kalırız. Tasarım yönetmelikleri de tasarımcıya buradan sonra pek fazla ışık tutamaz. Bu noktada kötü tasarımcı gözlerini kapar ve işi oluruna bırakır. İyi tasarımcıysa yapısındaki plastik deformasyon mekanizmalarını zihninde canlandırarak, tasarım dayanımı V_e 'nin aşılması durumunda yapısının artan kuvvetleri nasıl dağıtacağını ve nasıl deforme olacağını sezmeye çalışır. Tasarımcının bu durumda iki önemli endişesi olması gerekir. Birincisi, yapı elastik durumdan plastik duruma dengesini ve kararlılığını yitirmeden geçebilecek midir? İkincisi, plastik durumda artan yatay yükler altında tasarım dayanımını koruyarak sünek biçimde deforme olabilecek midir? Eğer bunu başarabiliyorsa deprem sırasında yön değiştiren yükler altında enerji tüketebilecek ve tasarım sırasında kendisine biçilen R değerini hak etmiş olacaktır. Peki tasarımcı kararlılık yolunu nasıl bulacaktır?

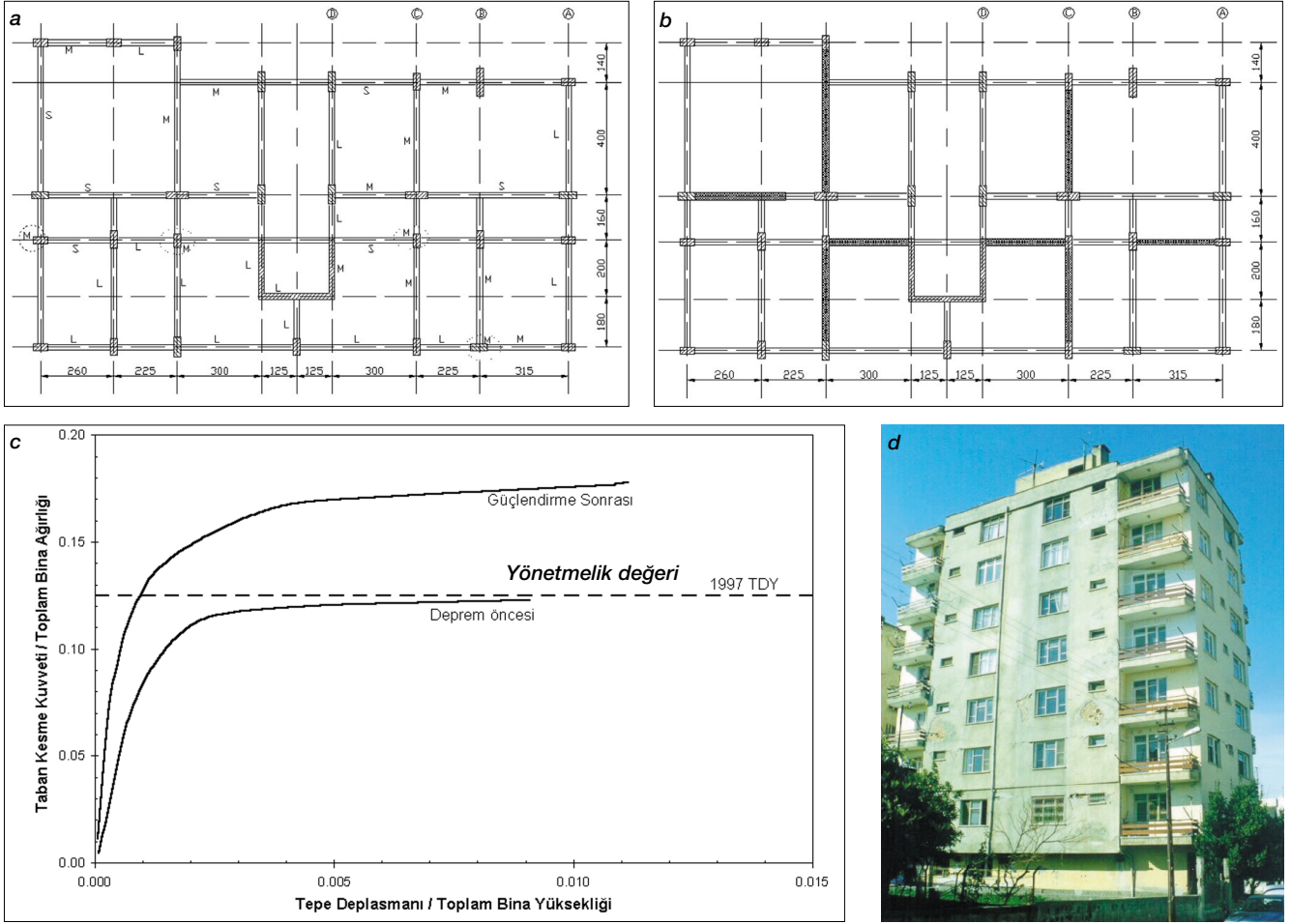
Çözüm: Kapasite Tasarımı

Gerçek çok dereceli yapı sistemi elastik dayanım sınırını aşıp plastik

duruma geçtiğinde aslında yapıda hasar meydana gelmeye başlar. Yapıda kuvvet dağılımları da doğrusal elastik analiz araçlarıyla hesaplanamaz duruma gelir. Bu durumda yapılacak olan, artan yükler altında hasarın kontrollü biçimde dağılmasını sağlamaktır. Artık doğrusal elastik analiz araçları bir kenara bırakılmalı, hasarın kontrolü için kapasiteler dikkate alınmalıdır. Yapıdaki elemanların belirli hiyerarşik (aşamalı) bir düzen içinde ve en fazla süneklik göstereceği kırılma modunda kapasitelerine ulaşmaları istenir. Kapasite tasarımı yöntemi, yapı düşey ve yatay yükler altında kararlılığını yitirmeden, plastik deformasyonların tüm elemanlara olabildiğince yayılmasını hedefler. Böylece yapıya yapabileceği en fazla yatay ötelenme olarak sağlanmış olur.

Kapasite tasarımında, eleman düzeyinde en fazla deformasyona olanak veren sünek kırılma modu eğilmedir. Kesme ya da basınç kırılmasıysa çok gevreklerdir. Eleman kapasitelerinin tasarımında basınç ve kesme kapasiteleri eğilme kapasitesinin üstünde tutularak eğilme kırılmasına öncelik verilir. Betonarme elemanlarda eğilme kırılmasının veya kesit akmasının daha da sünek olabilmesi için sargılama donatısı kullanılır. Özellikle kolonlarda sargılama donatısı çok önemlidir.

Yapı sistemi düzeyindeyse, artan yatay yükler altında kırılma hiyerarşisinin sağlanması gereklidir. Bir çerçeve sisteminde bunun yolu, eksenel yük taşımayan ve yapının kararlılığında etkisi az olan kirişlerin daha önce akmasını, sonra sıranın kolonlara gelmesini sağlamaktır. Kolonların da üst



Şekil 7. Ceyhan'da bir bina örneği ve elasto plastik itme analizi sonuçları. a) Binanın tipik kat planı, b) Güçlendirilmiş binanın kat planı, c) Binanın deprem öncesi ve güçlendirme sonrası kapasite eğrileri, d) Ceyhan'da orta hasarlı bina.

katlardan başlayarak alta doğru akması tercih edilir, ancak alt kat kolonları her zaman daha fazla zorlandığı için bu pek mümkün değildir. Kapasite tasarımında kirişlerin kolonlardan önce akmasını sağlamanın bir yolu, düğüm noktalarında toplam kolon akma kapasitelerini toplam kiriş akma kapasitelerinden yüksek tutmaktır. Eğer çerçeve sistemi yerine perde-çerçeve sistemi kullanılırsa bu durumda daha olumlu plastik deformasyon özellikleri elde edilir. Perde-çerçeve sistemlerinin kırılma hiyerarşisinde önce kirişlerde, sonra da perde elemanlarında akma olur. Kolonlar daha esnek olduğu için perde aktığında elastik kalırlar ve düşey yükü rahatlıkla taşımaya devam ederler. Böylece kararlılık ve denge kaybına ancak büyük ötelenmelerde ulaşılır. Bu sistemlerde perdenin kesme ya da ezilme kırılması moduna girmesi mümkündür. Dolayısıyla perdenin sünek kırılma sağlaması için yapılacak detaylandırma çok önemlidir. Deprem yönetmeliklerinde bu detay-

lar verilmektedir. Şekil 6'da farklı özelliklere sahip sistemlerin plastik mafsallı oluşturmadaki hiyerarşileri ve buna bağlı olan kapasite eğrileri gösterilmektedir.

Bir Uygulama Örneği

Ceyhan'da 1998 depreminde orta derecede hasar gören yapılar arasında ilginç bir örnek vardır. Şekil 7.a'da gösterilen bina şekil 7.b'deki kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışı göstermiş, ancak deprem dayanımı yetersiz olduğundan kirişlerinde epeyce hasar meydana gelmiştir. Binanın tipik kat planı şekil 7.b'de verilmektedir. Binaya deprem öncesi durumunda elasto-plastik itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi, tüm elemanları elasto-plastik olarak modellenen bir yapıya statik eşdeğer deprem kuvvetleri ile düşey yükler deprem kuvvetlerinin adım adım artırılması ile uygulanır. Sonuçlar, toplam taban kesme kuvveti-tepe ötelenmesi ilişkisinin elde edilmesiyle tek dereceli bir sistem gibi yorumlanabilir. Elde edilen eğriye

kapasite eğrisi adı verilir. Binanın kapasite eğrisi şekil 7.c'de görülmektedir. Deprem öncesi durumu ifade eden alttaki eğrinin 1997 Deprem Yönetmeliği'nin ilgili dayanım gereksinimini karşılamadığı görülmektedir. Ancak bina oldukça sünek bir elasto-plastik davranış sergilemektedir. Daha sonra binaya şekil 7.d'de gösterilen perde duvarlar eklenmiş, mevcut elemanlar ise deprem geçirdiği için çatlaklı olarak kabul edilmiştir. Bu durumda yapılan itme analizi sonucunda şekil 7.c'de üstte görülen kapasite eğrisi elde edilmiştir. Hasarlı binaya itme yönünde sadece %3 oranında perde konması bile davranışta önemli fark yaratmıştır.

Sonuç

Bir yapının depreme dayanıklı tasarımı, ancak tasarımcının bilgisayar analizinden elde ettiği sonuçların öncesini ve sonrasını hayal edebilmesi ile mümkündür.

Haluk Sucuoğlu
Prof.Dr., ODTÜ, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi