

OKUL BİNALARININ DEPREM GÜVENLİĞİ İÇİN MİNİMUM DİZAYN KRİTERLERİ

Polat Gülkan¹

ÖZET

Deprem sonrası incelemeler, esaslı ve gerçek manada yapısal tesir yaratmak üzere tertiplenmiş perde duvarına sahip betonarme yapıların en şiddetli depremlerde dahi yıkılmadıklarını, hatta deprem sonrası kullanılabilirlik derecelemesi bakımından çoğu zaman “hemen içine girilebilir” mertebesinde hasara uğradıklarını göstermektedir. Bu yazı, geçmişteki tecrübenin ışığı altında, Milli Eğitim Bakanlığınca inşa ettirilecek betonarme bütün okulların can güvenliğini artırmak amacıyla statik hesapları ne derse desin asgari miktarda perde duvarına sahip olacak şekilde boyutlandırılmasını teklif etmektedir. Gerekçeler, “performansa dayalı deprem hesabı” formülasyonuna dayandırılmaktadır.

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

Giris

Yazımızın başlığı her ne kadar sadece “okul” binalarını konu ediniyor gibi dursa da burada konu edinilecek dizayn ölçütleri betonarme olarak inşa edilecek bütün önemli binalar için de geçerlidir. Okul binalarını örnek diye ele almamızın en taze sebebi 1 Mayıs 2003 tarihinde Bingöl’de meydana gelen depremde bunlarda meydana gelen ağır hasar ve yol açtıkları kabul edilemez can kaybıdır. Konu, hissiyata yer vermeden ve kimseye kusur dağıtmadan bazı gözlemleri ön plana çıkarmamızı gerektirmektedir. Sebebi ne olursa olsun görünen odur ki kamu hizmet binalarımız (ve bu arada okullarımız) içinde bulunan insanlara deprem hali söz konusu olduğunda yeteri kadar can güvenliği sağlamakta zorlanmaktadır. Bunu her hangi bir bakanlığı tenkit etmek, her hangi bir düzenin veya meslek grubunun yetersizliğinin sonucu olarak göstermek için ifade etmiyoruz. Ülkemize mahsus bir durum da budur, demek için altını çiziyoruz.. Öyle olmasaydı Milli Eğitim Bakanlığı sismik tehlikenin fazla olduğu yörelerdeki binlerce okulu “deprem testi”ne tabi tutuyor olmazdı, Sağlık Bakanlığı Dünya Bankası kredisıyla benzer işleri hastane binaları için yaptırmazdı.

Çoğu kamu hizmet binalarının konutlardan, sanayi yapılarından önemli bir farkı vardır: bunların barındırdığı insanlar o binaların içinde olmak mecburiyetindedir. Bir taraftan ilköğretim yasası aracılığıyla ailelerden çocuklarını asgari 8 yıl okula göndermelerini istemek, ama diğer taraftan da bu okul binalarını deprem söz konusu olduğunda yeterli mukavemette inşa ettirememek birbirleriyle bağdaşır işler değildir. Aynı şekilde hasta olduğu için tıbbi tedavi için hastaneye girmek zorunda olan insanları bir de depremde ilave tehlike içinde bulundurmamak izah edilebilir mi? Ama ülkemizde okul da, hastane de itfaiye binası da, üstelik te bu grup binalar için deprem şartnamemizde özel kayıtlar, artırılmış eşdeğer yatay kuvvetler, daha hassas hesap metotlarını ihtiva eden kompüter programlarını kullanma şartları, v.b. yazılı olmasına rağmen depremde yıkılabilmektedir. Demek ki bir yanda mühendislerin uyması gereken özel hükümler ve yerine getirilmesi şart koşulan inşai tedbirlerden meydana gelen kısmen hayali bir dünya, bir yandan da çoğu zaman beton ve yuvasından fırlamış donatı çubuklarından meydana gelen tümseklerin temsil ettiği gerçek dünya bulunuyor.

Bu yazının amacı, üstteki paragrafın işaret ettiği çelişkiye cevap aramak için betonarmeden imal edilecek okul söz konusu olduğu zaman hesap-kitap ne derse desin mühendisin binaya yerleştirmesi şart olan betonarme perdelerin miktarını rasyonel çizgilerle ispatlamaktır. Hatta, daha da ileri gidip “ortaya koyacağımız perde şartlarına uyulduğu zaman diğer düşey yük taşıyıcı elemanların sadece düşey yüklere göre hesaplanması dahi kabul edilebilir” şeklinde (mühendislik kavramıyla katiyen uyuşmayan) bir tezi satır aralarına gizlemek mümkündür. Bu tezi anlatmak ve savunmak için biraz dolambaçlı bir yol takip edeceğiz. Konuyla doğrudan ilgili olmayan bazı arka plan bilgilerini veya konumuzun yan senaryosu olarak düşünebileceğimiz malumatı, içinde metin yazılı kutular vasıtasıyla aktaracağız. İlk kutumuzu, yürürlüğe girdiği 1933 tarihinden beri ABD California eyaletinde hiç bir okul binasının depremde yıkılmamasını temin eden Field Kanununa tahsis ediyoruz.

1. California Okul Binalarına İlişkin Özel “Field” Kanunu

Los Angeles yakınlarındaki Long Beach şehri 10 Mart 1933 tarihinde tahmini aletsel büyüklüğü $M_s = 6.2$ olan bir depreme sahne oldu. Bu deprem bir kaç bakımdan kayda değer sonuç doğurdu. İlk olarak, dünyada ilk defa bir depremin meydana çıkardığı kuvvetli yer hareketi bir ivme kaydı olarak bu depremde elde edildi. Depremde 70 kadar okul tamamen yıkılırken 120 tanesi ağır hasar gördü ve bunların 41'i daha sonraki inceleme ardından güvensiz bulunduğu için yıkılmaları kararlaştırıldı. Bu binaların çoğu takviyesiz kargirden imal edilmişti. Deprem 120 kişinin hayatına mal olurken bunların 5'i o sırada cimnastikhanelerde bulunan okul çocuğuydu. Bu çocukların hayatını kaybetmesi o kadar büyük bir toplumsal infial yarattı ki California Eyalet Meclisi üyesi Charles Field 10 Nisan 1933'te yürürlüğe giren bir kanun taslağı hazırlayarak bundan böyle eyalette inşa edilecek her okulun, kanunla ihdas edilen “Eyalet Mimarı”ınca denetlenmesini zorunluk haline getirdi. Field Kanunu ilerleyen deprem mühendisliği pratiği paralelinde epeyce tadilata uğramıştır ve o zamandan beri tek bir çocuğun veya öğretmenin veya deprem sırasında okul binasında bulunan birinin burnu dahi kanamamıştır. Okulların inşası ve diğer masrafları “Okul Bölgesi” denilen kurumlarca mahalli olarak toplanan vergilerle finanse edilir, ama bunların inşa ve deprem detayları eyalet valisine hesap veren Mimar tarafından denetlenir. Yani binanın deprem sorumlusu bu adamdır. Depremin doğurduğu bir başka önemli sonuç ta California eyaletinde imtihanla alınabilen ruhsatlı inşaat mühendisi ünvanına ilaveten bir de bu ünvanı kazanmış mühendislerin belirli bir tecrübe elde ettikten sonra (iki gün ve 16 saat süren) imtihanına girme hakkını elde ettikleri “yapı mühendisi” kategorisini yaratmış olmasıdır. California'da deprem hesabı içeren proje yapma hakkı münhasıran bu ünvana sahip mühendislerin yetkisindedir. Sadece ruhsatlı olan yetkin mühendisler ancak 3-4 katlı, ahşap ve basit binaların hesabına imza atma hakkına sahiptir. Elinde yalnızca diploması olan mühendislerin proje sorumluluğu alma hakkı bulunmamaktadır.

Bu yazı, aynı zamanda “Türkiye’de de okulların deprem güvenliğini sağlamak için Field’a benzer düzenlemeler yapılabilir mi?” sorusuna bir cevap aramaktadır. Bunun ne kadar gerekli olduğunu çarpıcı bazı alıntı ve görüntülerle ortaya koyacağız. Eğer bu ülkede okuyan öğrencinin can güvenliğine verilen önem ABD’dekinden az değilse okul binaları için hesap ve inşa kurallarınının çıtasını yukarıya çekmeye kimsenin itirazının olmaması gerekir.

1971 Bingöl'üne Geri Dönüş

En güncel deprem o olduğu için Bingöl'den başlamak mümkündür. Ancak 1 Mayıs 2003 depremi Bingöl'ün ve yakın yörenin uzun deprem tarihinde yalnızca tek bir kilometre taşıdır. Bundan bir önceki Bingöl'ü etkileyen büyük deprem ($M_s = 6.8$) 28 Mayıs 1971'de meydana gelmişti ve bu deprem de ilgili yer bilimleri uzmanları ve mühendislerce rapor konusu edinilmişti. Bu depremin doğurduğu etkilere ait bazı gözlemleri Seymen ve Aydın (1972)'den okuyabiliriz:

“... en fazla hasar bölgesi, kuzeyde Kaplıca (Ilıca), Ağaçeli, doğuda Tekören, Ardıçtepe, güneyde Yamaç köyleri ile batıda Bingöl'ü içine alacak şekilde sınırlanan elips biçimindeki alan olarak saptanmıştır.

Deprem sonucu alüvyal zeminde, özellikle episantr bölgesinde (Çeltiksuyu-Kaplıca arasında) daha kuzeyde Çobantaşı ve Aktepe köyleri yakınlarında ve Bingöl'ün güneyindeki Ormanardı köyü yakınında birtakım yarık ve kademeli açık tansiyon çatlakları oluşmuştur. Kayma zonları 50 ila 500 m uzunlukta kesintiler halinde art arda ve birbirlerine paralel yahut subparalel olarak, Bingöl'ün güneyindeki Ormanardı köyü yakınlarından başlayıp, Çeltiksuyu, Sarıçiçek köyleri ile Kaplıca arasında pek yaygın olarak görülerek Çobantaşı köyü yakınlarına kadar 35 kilometrelik bir mesafede izlenebilmişlerdir.”

Şimdi de, Bingöl'de bulunan üç ilköğretim binasının 1 Mayıs 2003'teki deprem sonrasında çekilen görüntülerini Şekil 1'den inceleyelim.



(a) Çeltiksuyu İlköğretim Okulu



(b) Sarıççek İlköğretim Okulu



(c) Kaleönü İlköğretim Okulu

Şekil 1. Bingöl ve Yakın Çevresinde Aynı Tarzda Yıkılan Üç Okul Binası

Bu resimler arasında Çeltiksuyu okulunun tamamen kat mekanizması haline gelen ve 85 öğrenci ve nezaretçi öğretmenin hayatını kaybetmesine yol açan yatakhane binası bulunmamaktadır. Fotoğraflarda gösterilen sınıfların yer aldığı dersane blokları önemsiz detaylar dışında tamamen aynıdır. Aralarında mevcut 10-15 km mesafe, farklı zemin şartları, farklı vaziyet planı doğrultularına rağmen , hepsi de zemin kattaki kayma mukavemetinin yetersizliği sonucu kat mekanizması haline gelmiş ve elden çıkmışlardır. Yani, deprem gece yerine gündüz meydana gelseydi belki de eğitim gören çocukların bazılarını ders sırasında kaybedecektik. Açıktır ki, 1972’de yerinde yapılan jeolojik gözlemlerin hiç biri raporda isimleri geçen köylerdeki bu binaların hesabında ve inşasında göz önünde bulundurulmamıştır.² Yani, işin Türkcəsi, afet zararlarının azaltılması yolunda kimse ders çıkarmamıştır.

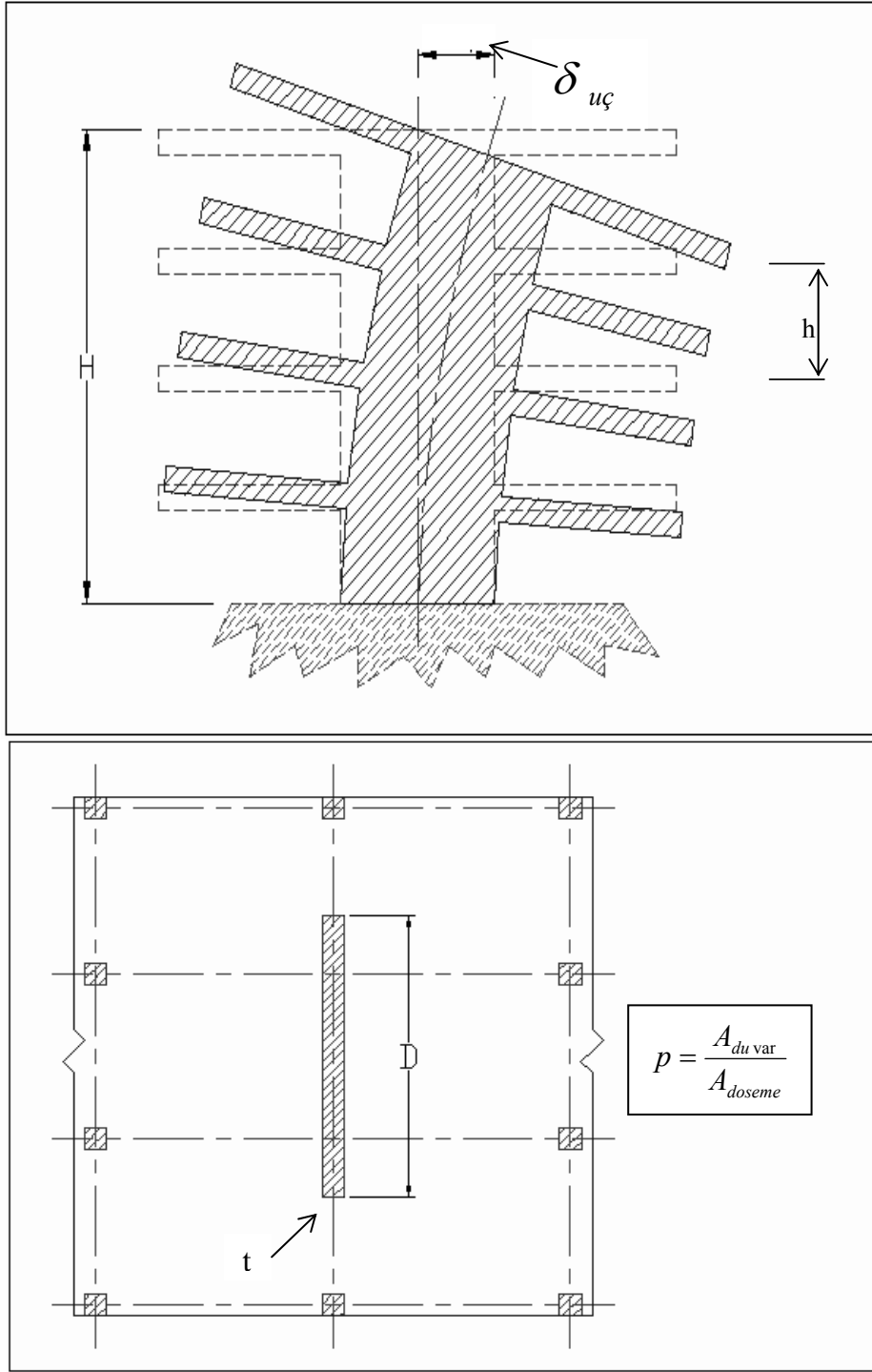
Betonarme Perde Duvarlı Betonarme Binaların Dinamiğine Genel Bakış

Deprem sonrası incelemeler kati bir şekilde şunu göstermektedir ki iyi tertiplenmiş yeterli miktarda perde duvarlarına sahip binalardaki hasar pek az olmakta ve sandviç halindeki yıkılma meydana gelmemektedir. Hatta bu duvarların genel (malzeme, işçilik) kalitesinin pek iyi olmadığı durumlarda dahi bu genelleme geçerliğini korumaktadır. Fintel (1991) bu tezi en iddialı bir şekilde ortaya koyan bir makale kaleme almıştır. Hakiki manada perde duvarına sahip binaların ülkemizdeki deprem sonrası incelemeleri de aynı sonuca destek vermektedir. Biz de ispatı daha sonra yapılmak üzere bu faraziyeyi kabul edelim ve bir adım daha giderek yatay deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından taşındığı, varsa diğer bütün düşey elemanların sadece kendilerine gelen düşey yükleri aşağıya aktardığı hayali bir sistemi göz önüne alalım. Bu taşıyıcı sistemin çok yüksek bir okul binasına ait olamayacağı bellidir. Ayrıca burulma gibi tesirler de tamamen ihmal edilmektedir.

Modellememizi Şekil 2’de gösterilen sistem vasıtasıyla kurabiliriz. Sistemdeki her perde duvarı gibi bu duvar da deprem hareketinin etkisi altında kendi düzleminde yalnızca yatay ötelenmeler yapmakta ve kat hizalarında taşıdığı kütlelerin meydana çıkardığı atalet kuvvetini ankastre edildiği temele aktarmaktadır. Betonarme yapıların şiddetli yer hareketleri altındaki dinamik davranışında birkaç önemli gösterge vardır:

1. Dinamik tepki en baştaki bir-iki modda meydana gelir, en önemli olanı ilk moddur.
2. Ölçülen birinci mod periyodu her zaman çatlama kesit hesabıyla bulunan periyottan daha büyüktür. Bu, diğer modlar için de geçerlidir.
3. Salınım olurken periyotta meydana gelen uzamanın yanısıra sönüm de artar.
4. Elastik kabul ile bulunan periyot ve sönüm oranları artsa dahi lineer modların birbirine olan ilişkisi çok farklılaşmaz.

² Ne yazık ki bu gözlemin örnekleri başka yerlerde de bulunuyor. 1 Şubat 1944’te $M_s = 7.3$ ’lük bir depreme maruz kalıp yer yer 5 m’nin üzerinde yüzey yırtılmalarına sahne olan Gerede’de bu gün neredeyse bütün kamuya ait bina (belediye, kaymakamlık, öğretmen evi, lise, lojman, hapishane, sağlık tesisi, yurt, v.b.) sanki seçilmiş gibi 1944’te yırtılan fayın üzerinde dizilmiştir. Dericilik sanayii tesisleri de böyledir. Benzer örnekleri maalesef çoğaltabiliriz.



Şekil 2. Temsili Perde Duvarlı Yapı

Bina hesabı açısından bu hususlar önemlidir. Klasik deprem hesabı mühendislerin kuvvet tesirlerini daha iyi tanımlarından ötürü ivme cinsinden ifade edilen kuvvetlere göre yapılır ama hasarın kontrol altında tutulması ivme veya kuvvetlerin bilinmesi ile değil yerdeğiştirmelerin bilinmesi ile kabil olur. Eğer yerdeğiştirmeler güvenilir şekilde hesaplanabilir ve iyi detaylandırma sayesinde kesme veya ankraj göçmeleri önlenebilirse lokal olarak kuvvetlerin önemi azalır. İşte yerdeğiştirmelerin, yani “performans”ın, hesaplanmasına dayanan deprem hesabının esası budur. Eğer Şekil 2’deki yapının belirli sınırların altında kalmak üzere şekil değiştirmesini temin edebilirsek detaylandırma ve boyutlandırma rutin usüllere göre yerine getirilebilir.

Şekil 2’deki modelin birinci periyodu T (yapı dinamiğinin temel kitaplarından alınabileceği gibi)

$$T = 1.79H^2 \sqrt{\frac{\mu}{EI}} \quad (1)$$

ifadesiyle verilir. Burada

H = toplam yükseklik
 μ = birim duvar boyuna isabet eden kütle
EI = eğilme rijitliği

Eğer Şekil 2’deki malumatı buraya nakledersek

$$\mu = \frac{A_{doseme} \mu_{doseme}}{h} \quad (2)$$

ifadesi çıkar. Denklem (2)’de μ_{doseme} birim döşeme alanına isabet eden küttedir. Diğer taraftan Şekil 2’den N = kat adedi olduğuna göre

$$A_{doseme} = \frac{A_{du\ var}}{p} \quad (3)$$

$$H = Nh \quad (4)$$

ifadelerini yerine koyarak

$$T = 1.79N^2 h^2 \sqrt{\frac{A_{du\ var} \mu_{doseme}}{hp \frac{1}{12} A_{du\ var} D^2 E}} = 6.19 \frac{HN}{D} \sqrt{\frac{\mu_{doseme} h}{pE}} \quad (5)$$

bulunur. Eğer Denklem (5)’i çatlama ve diğer tesirlerden dolayı periyodun uzadığını hatıra getirip “bildiğimiz mühendislik katsayısı” 1.41 ile çarparsak 6.19 sayısının yerine 8.75 sayısı gelir.

Duvarların Uç Yerdeğiştirmesinin Hesabı

şimdi Denklem (5) yardımıyla hesapladığımız periyodun şekil 2’deki konsol kirişteki ne kadar $\delta_{u\check{c}}$ ile ilgili olduğunu hesaplayalım.

Depreme dayanıklı yapı şartnamelerinin hemen hepsi binanın mukavemet etmesi istenen taban kesme katsayısını veren bir denkleme sahiptir. Bir de bu kuvvetin bina yüksekliği boyunca nasıl dağıtılacağına ilişkin bir başka ifade vardır. Tabiidir ki şartnamede başka hükümler de sıralıdır ama toplam kuvvet ve bunun (genellikle ters üçgen olan) dağılımı önem arzeder. Halen yürürlükte olan ve adına kısaca “deprem şartnamesi” diyeceğimiz “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ölkemizde inşa edilecek W ağırlığındaki bina ve benzeri yapıların hesabında gözönüne alınacak toplam taban kesme kuvveti V için

$$V = \frac{A_0 I S(T)}{R_a(T)} W \quad (6)$$

denklemini verir. Burada

A_0 = deprem bölge katsayısı (1nci derece bölgeler için 0.4)

I = önem katsayısı (okul ve hastane türü önemli binalarda 1.5)

S(T) = spektrum katsayısı:

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 < T < T_A) \\ S(T) &= 2.5 & (T_A < T < T_B) \\ S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} & (T > T_B) \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem (7)’deki T_A ve T_B periyot değerleri spektrumun köşe değerleridir. Bu makale başka bir amaçla yazıldığı için deprem şartnamesindeki bazı gerekli gördüğümüz düzeltmeleri 2 No.lu kutu içinde ayrıca konu ediniyoruz.

R_a deprem yükü azaltma faktörüdür ve farklı taşıyıcı sistemler için bir tablo halinde verilir. Daha fazla düktil olacak şekilde boyutlandırılan ve detaylandırılan sistemlerin R_a ’ları daha büyüktür. T_A ’den küçük periyotlu yapıların düktilite ihtiyaçları aşırı olabildiği için bunlar alt sınırı 1.5 olan çok küçük R değerlerine göre hesaplanır. Ancak hassas bir periyot hesaplamak betonarme gibi çatlama, rötne, büzölme gibi zaman tesirlerine maruz sistemlerde zaten mümkün olmadığı, zemin deformasyonlarının periyodu her zaman zannedildiğinden daha büyük hale getirdiği için $I/R_a = 1$ alırsak sistemin “elastik” kalmasını temin edecek hali tarif etmiş oluruz. Bu hal için 1nci derece deprem bölgesinde $T < T_B$ için $S_a = 2.5 A_0 g = 10 \text{ m/s}^2$ olarak hesaplanır.

Spektral ivme S_a ile spektral yer değiştirme S_d arasında

$$S_a = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 S_d \quad (8)$$

ilişkisi vardır. Buradan $S_a = 10 \text{ m/s}^2$ olduğuna göre $S_d = 0.25 T^2 \text{ (m)}$ çıkartılır. Spektral yer değiştirme $0 < T < T_B$ aralığında bu ifade tarafından verilecektir.

2. Deprem Şartnamesinde Yatay Kuvvetin Hesaplanması Üzerinde Görüş

Şartname, hesabı yapıp inşa edilen binaların ileride maruz kalabilecekleri deprem tesirlerine göre güvenli boyutlandırılmasını amaçladığına göre kuvvetleri eskiden meydana gelmiş depremlerin genel özelliklerinden çıkartılmış ortalama değerler olarak verir. Türkiye’de hesaba esas alınan deprem, ortalama her 475 yılda bir meydana gelen depremdir. Onun için hesap spektrumu Denklem (7)’de olduğu gibi düzgün ve yuvarlatılmış ifadeye sahiptir. Köşe periyotları için şu tablo geçerlidir:

Zemin Sınıfı	$T_A \text{ (s)}$	$T_B \text{ (s)}$
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Ancak bu periyot değerleri Türkiye’de alınan kayıtlardan çıkarılmış değildir ve bizim bildiğimiz kadarıyla göz kararı tayin edilmiş değerlerdir.

İkinci tutarsızlık Denklem (7)’nin sabit hız bölgesini tarif eden üçüncü ifadesidir. Spektral

hız S_v ile spektral ivme S_a arasında $S_a = S_v \left(\frac{2\pi}{T} \right)$ ilişkisi olduğuna göre sabit hız için

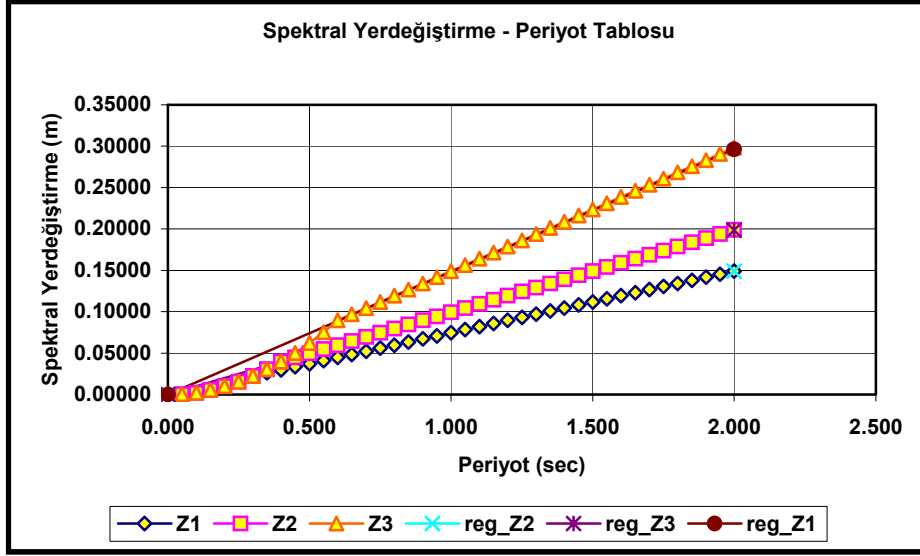
S_a veya $S(T)$ ’nin burada $T^{-0.8}$ değil T^{-1} ile değişmesi gerekir. Emniyetli tarafta kalmak ve kuvveti artırmak gayesiyle spektral denklik ihlal edilmektedir.

Temsili binanın Z3 sınıfındaki bir zeminde olduğunu kabul edelim. Şartname doğruysa $T_B = 0.6 \text{ s}$ olacaktır. O halde $T > 0.6 \text{ s}$ için (Denklem (7)’deki üst kuvveti 1 almak kaydıyla)

$$S_a = 2.5 \left(\frac{0.6}{T} \right) \times (0.4) \times (10) = \frac{6}{T} = S_d \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \text{ denklğine göre}$$

$$S_d = 0.15 T \quad (9)$$

elde edilir. $T = 0.6 \text{ s}$ için her iki spektral yer değiştirme denklemi de $S_d = 0.09 \text{ m}$ vermektedir. Her ne kadar Denklem (9) elastik durumdaki değer ise de düktilite oranının 5’i aşmadığı durumlarda elastik kalan veya elastik sınır ötesine geçen sistemlerin yaklaşık aynı yer değiştirmeye maruz kaldıklarını hatırlamak yeterlidir (eşit yer değiştirme kuralı). Gerçek deprem kayıtlarının yer değiştirme spektrumları incelendiğinde görülecektir ki bunlar Denklem (9) gibi bir doğru değildir, inişli-çıkışlı bir şekilde artan yer değiştirme gösterirler. Ama gerçek kayıtların ivme spektrumları da Denklem (7)’de olduğu gibi yuvarlatılmış eğriler değil, gelişigüzel tepe ve vadileri olan grafiklerdir. Bunların mühendislik uygulamalarında kullanılmaları için yuvarlatılması gereklidir. Yüzde 5 sönüm oranı ve Z1-Z3 için S_d ile T ’nin değişimi Şekil 3’te sergilenmektedir. Eğrilerin her biri düz bir çizgi ile de temsil edilebilir. Şekil 3’teki lineer regresyon çizgileri bu amaçla çizilmiştir.



Şekil 3. Farklı Zemin Sınıfları için S_d -T İlişkisi

Hesaplarımızın sonuncu basamağında Denklem (5) ile hesapladığımız periyot ve Denklem (9) ile hesapladığımız spektral yer değiştirmeyi Şekil 2’deki perde duvarının tepe noktasındaki $\delta_{uç}$ değerini hesaplamakta kullanacağız. İdeal bir konsol kirişin birinci modundaki etkin kütesinin eğer yüksekliğin 2/3’nde toplandığını kabul edersek $\delta_{uç} = 1.5S_d$ olur. O halde

$$\frac{\delta_{uç}}{H} = \frac{1.5S_d}{H} \quad (10)$$

demek kabildir. Dikkat çekmek istediğimiz nokta şudur: $\frac{\delta_{uç}}{H}$ oranı Şekil 2’deki sistemin ortalama kat arası relatif ötelenmesini gösterir. Eğer perdeye saplanan kirişlerin eğilme rijitliğini ihmal edecek olursak ($I_{kiriş}/I_{perde} = 0$) gerçek en büyük relatif kat arası yer değiştirme en üst kat ile onun altındaki kat arasında meydana gelir. Buna karşılık $I_{kiriş}/I_{perde} = \infty$ ise bu değer zemin ile ilk kat arasındadır. Denklem (10)’daki “ortalama” değer ve $N = \frac{H}{h}$ ifadesinin kullanılması sonucu

$$\frac{\delta_{uç}}{H} = 1.97 \frac{H}{D} \sqrt{\frac{\mu_{doseme}}{Eph}} \quad (11)$$

ifadesi çıkar. Denklem (11)’in sağ tarafındaki bazı değişkenlerin önceden bilindiğine dikkat edilirse, mesela $\mu_{doseme} = 1.2 \text{ t/m}^2$, $h = 3 \text{ m}$, $E = 27'000 \text{ MPa}$ alındığında

$$\frac{\delta_{uç}}{H} = 0.00024 \frac{H}{D} \sqrt{\frac{1}{p}} \quad (12)$$

elde edilir. Denklem (12) farklı H/D oranları için Şekil 4’te çizilmiştir.

Denklem (12)'deki H/D oranı bizi 3 No.lu kutuya yönlendirmektedir.

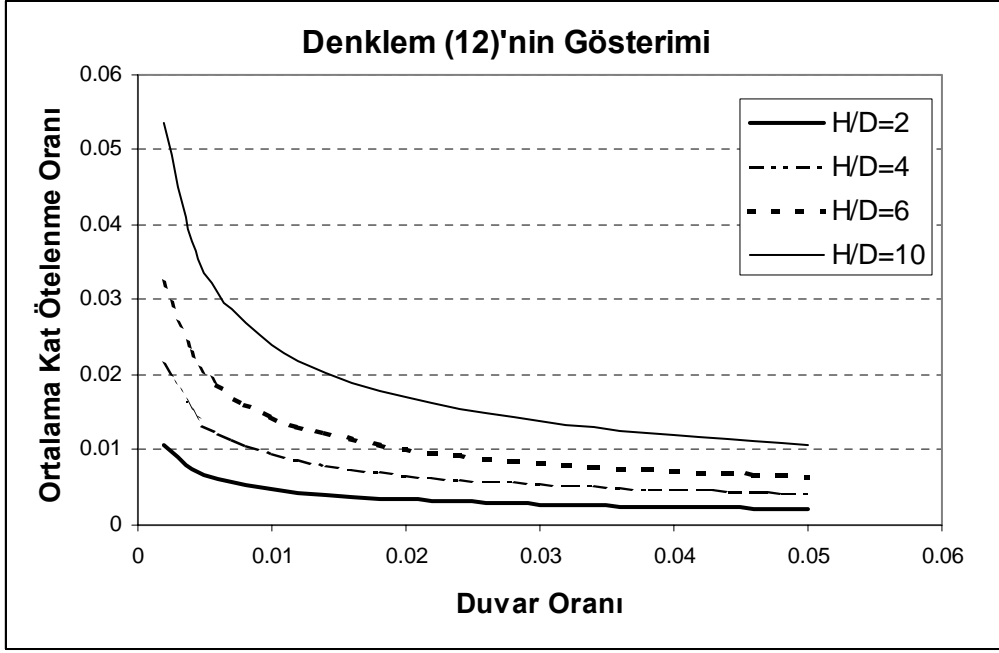
3. Perde Duvarı Neye Denir?

Halen ülkemizde yürürlükte olan ve betonarme yapıların inşasıyla ilgili TS500 standardına göre “betonarme duvarlar planda uzun kenarın kısa kenara (kalınlığa) oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı elemanlar”dır. Ayrıca kalınlığın 0.15 m'den az olmaması da şarta bağlanmıştır. (Buna karşı gelen ölçüler 1975 tarihli Deprem Şartnamesinde 5 ve 0.15 m idi. Yani 0.75 mx0.15 m boyutlara sahip bir eleman “perde” olduğu zannedilip çizimlerde öyle adlandırılmaktaydı. Benzer dejenere boyutlara sahip kolonlar meydana gelen depremlerde yapıya gelen kuvvetler karşısında perde olduğunu iddia edemeden yıkılıp gitmiştir. Göçerek onlarca insanın ölmesine sebep olan çok sayıdaki binanın Yalova Ağır Ceza Mahkemesince bilirkişiler arasındaki çelişkiyi gidermesi ümidiyle tarafımıza gönderilen projesinde bu cins sözüm ona perdeler bulunmaktadır. Ama bu perdeler Fintel (1991)'in bahsettiği perdelerle aynı değildir.) Buna karşılık, Deprem Şartnamesi (tünel kalıpla imal edilen binalarla ilgili olarak getirilen bir istisna dışında) minimum duvar kalınlığını 0.2 m olarak vermektedir. Uzun kenarın kısaya oranının 7 veya daha fazla olması kistası burada da aranmaktadır. Demek ki mühendis 1.4 mx0.2 m kesit alanına sahip düşey elemanlar tertiplerse bunlar aniden “perde” olmaktadır. Acaba 5 katlı ve saçak yüksekliği 14 m olan bir binada (H/D = 10) bu eleman perde midir? Bu sorunun cevabını vermeden önce ne ACI 318 (ABD), ne EC 3 ve EC 8 (Avrupa Birliği), ne de SIA 162 (İsviçre) yönetmeliklerinin perdeyi böyle tarif etmediğini belirtmek lazımdır. Perde, bir parçası olduğu çerçevede yatay deprem kuvvetlerinin büyük kısmını karşılayan, çerçeve ile etkileşme yaratacak rijitliğe ve mukavemete sahip, belirli inşai imalat detaylarına uygun düşey elemandır. Yapı statik teorisi, perdeyi perde yapan özelliğin D/t değil, H/D (Bkz. Şekil 2 ve Denklem (12)) olduğunu gösterir, çünkü perde duvarı esas itibarıyla düşük eksenel yüke maruz derin bir konsol kiriştir. Köşe boylarının oranı planda değil, yükseklik kesitinde yani boyda önemlidir.

Perdelerin hesabı 1960 ve 70li yıllarda dünya literatüründe de ilgi odağı olmuş, günümüzün popüler yapı statik yazılımlarında ise pratikte karşılaşılan durumlara cevap veren sonlu elemanlar sayesinde rutin şekilde hesaplanır hale gelmiştir. Ülkemizin teknik literatüründe “perde-çerçeve etkileşmesinin pratik hesabı”na yönelik çok sayıda bildiri ve makale kaleme alınmıştır. Bunların çoğu pratik veya hassas yaklaşımlar değildir.

Betonarme perdelerin çok sayıda laboratuvar deneyleri ile de mukavemet ve davranışları araştırılmıştır. ABD-Japonya arasında 1980li yıllarda yürütülen ortak araştırma projesi bir örnek olarak sayılabilir. Mesela, Wood (1989) yaptığı literatür araştırmasında 37 deney sonucunu özetlemektedir. Bu deneylerde kullanılan numunelerin H/D oranları 1.3-4.0, D/t oranları da 19-28 arasında değişmekteydi. Numuneler gerçek yapıların ölçeklenmiş temsili olduğuna göre Türkiye’de sadece kendine mahsus bir perde duvarı tarifinin bulunduğu ortaya çıkmaktadır.

TS 500 ve Deprem Şartnamesinin revizyonu ileride ele alındığında bu hususun düzeltilmesi lazım gelecektir.



Şekil 4. Duvar Yüzdesine Göre Ortalama Kat Ötelenmesi

Denklem (12) düşey yönde lineerdir, yani belirli bir duvar yüzdesi için en üst katın ötelenme oranı H/D ile lineer değişim göstermektedir. Buna karşılık sabit $\delta_{uç}/H$ için H/D 'ye bağlı olarak hızla artan duvar oranlarının sağlanması gerekli olmaktadır. Bu yazıda ele aldığımız duvar oranı tek bir kata ait olan değerdir. Yani $H/D = 4$ ve $\delta_{uç}/H = 0.01$ için gerekli görünen $p = 0.0092$, eğer söz konusu bina 4 katlı ise perde alan toplamının toplam döşeme alanına oranı için 0.0023 değerine karşı gelmektedir. Aynı kat ötelenme oranını $H/D = 10$ ile sağlamak için $p = 0.05$ olmak zorundadır. Narin, yani H/D oranları büyük, “perde” duvarlarının aşırı miktarlarda tertiplenmedikleri zaman bir işe yaramadığını buradan görmek mümkündür. Tabiidir ki standardize edilen bir özel teknik şartnamede perde duvarları için bir de alt sınır koymak gerekecektir. Hesapların farklı malzeme sınıfları, kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alındığı durumlar, farklı mimari şekiller için de tekrarlanması gerekebilecektir.

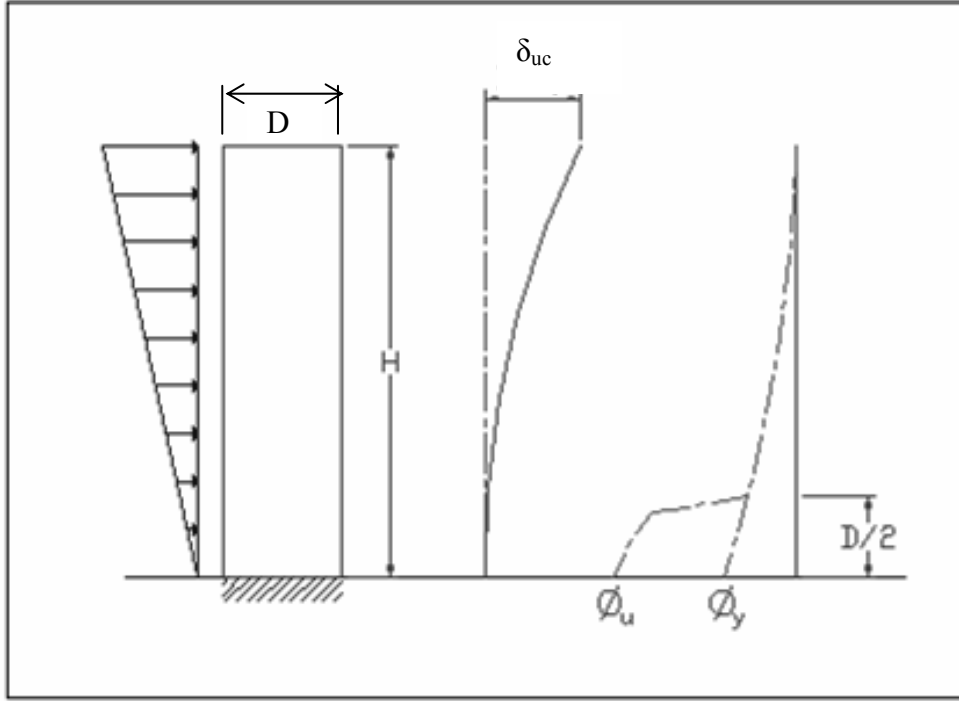
Performansa dayalı deprem hesabına basit bir örnek teşkil eden bu formülasyondan görüleceği gibi kuvvet bu noktaya kadar hiç gözönüne alınmamıştır. Sorulabilir ki “bu perdenin maruz kalacağı moment nedir, kayma gerilmesi nasıl tahkik edilecektir, boyuna ve enine donatıyı neye göre yerleştireceğiz?” Cevap basittir: uç yer değiştirme bilindiğine göre, o değeri yaratacak kuvvetleri tersten giderek hesaplayabiliriz. Kuvvetlerin faktörlerle tadil edilmesinden sonra iç zorlamalar ve onların gerektirdiği donatı miktarları da klasik yollardan tespit edilecektir. Tabiidir ki halen yürürlükte olan bütün şartnamelerin gerektirdiği diğer şartların da tahkik edilmesi ve yerine getirilmesi lazımdır. Ancak, bu yazıda yer alan miktarda duvarların konulmasıyla kat arası yer değiştirmeler kontrol altına gireceğinden kolon-kiriş bağlantıları ve yatay ve düşey taşıyıcı eleman uç noktaları rahatlayacak ve bunları “süneklik düzeyi normal” tarzda detaylandırmak mümkün olacaktır.

Başka Performans Göstergeleri

Buraya kadar sistemdeki hasarın kontrolsüz miktarda meydana gelmemesi için duvar normalize edilmiş uç yer değiştirmesini tahdit etme kriterini ele aldık. Ama başka kriterler de konulabilir. Örnek olarak duvardaki global düktilite talebinin belirli sınır değerini aşmaması şartını koyabiliriz. Bunun bir başka ifadesi “duvar uç yer değiştirmesi δ_{uc} duvarda ilk akmanın olduğu andaki yerdeğiştirme δ_y 'in belirli bir katını geçmesin” şeklinde yazılabilir. Bu halde Denklem (12)'yi

$$\frac{\delta_{uc}}{\delta_y} = 0.00024 \frac{H^2}{D\delta_y} \sqrt{\frac{1}{p}} \quad (13)$$

şeklinde yazmamız gerekecektir. Şimdi Şekil 5'teki durumu inceleyelim.

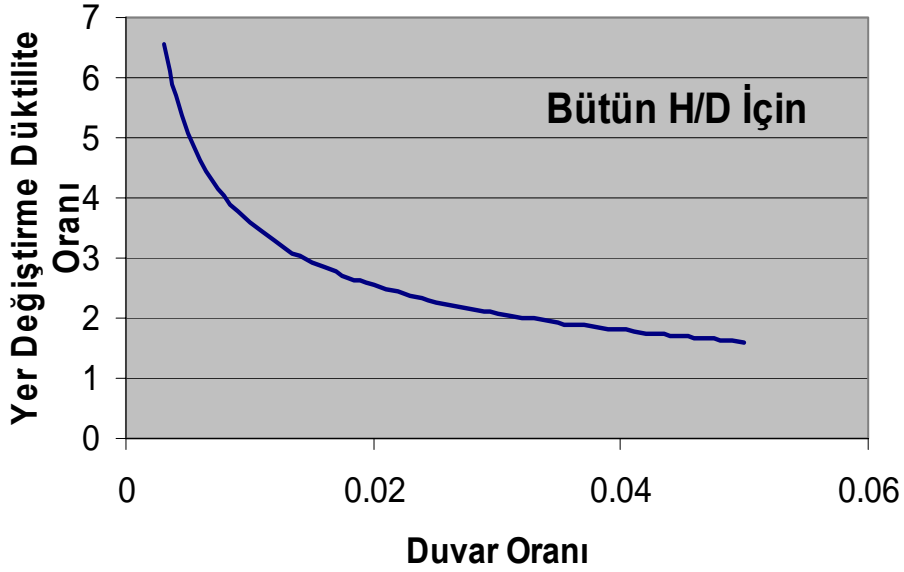


Şekil 5. Duvardaki Eğrilik Dağılımı

Betonarme kesitler akma noktasına kadar yaklaşık lineer bir moment-eğrilik ilişkisine sahiptir. Onun için $\delta_y = 0.33\phi_y H^2$ denkliği geçerlidir. Diğer taraftan akma gerilmesi 240 MPa olan donatı çeliğine sahip kesit için $\epsilon_y = 240/200\ 000 = 0.0012$, aynı andaki $\epsilon_c = 0.0008$ ($< \epsilon_{cu} = 0.002$) dersek $\phi_y \cong 0.002/D$ olur. Bunların Denklem (13)'teki yerlerine konulması sonucu

$$\frac{\delta_{uc}}{\delta_y} = 0.36 \sqrt{\frac{1}{p}} \quad (14)$$

elde edilir. Denklem (14) Şekil 6'da çizilmiştir. Görülüyor ki bu hal için H/D oranı her hangi bir rol oynamamakta, ayrıca sabit bir duktilite oranı da bulunmamaktadır.



Şekil 6. Duktilite Oranının Gerektirdiği Duvar Oranları

Bu durumda da hesap uç yer değiştirmesi akmadaki yer değiştirmenin belirli bir katı olarak ifade edildiğinde iç kuvvetler yine geriye doğru gitme yoluyla hesaplanabilir.

Sonuncu orneğimiz duvarın basınc birim ksalmasının kontrol edilmesi kriterinin uygulanması olacaktır. Burada Şekil 7'de sergilenen hal için kullanılacak betonarme kesitlerin mekaniğinin bilinen temel prensiplerini hatırlamak durumundayız. Kullanacağımız notasyon standarttır.

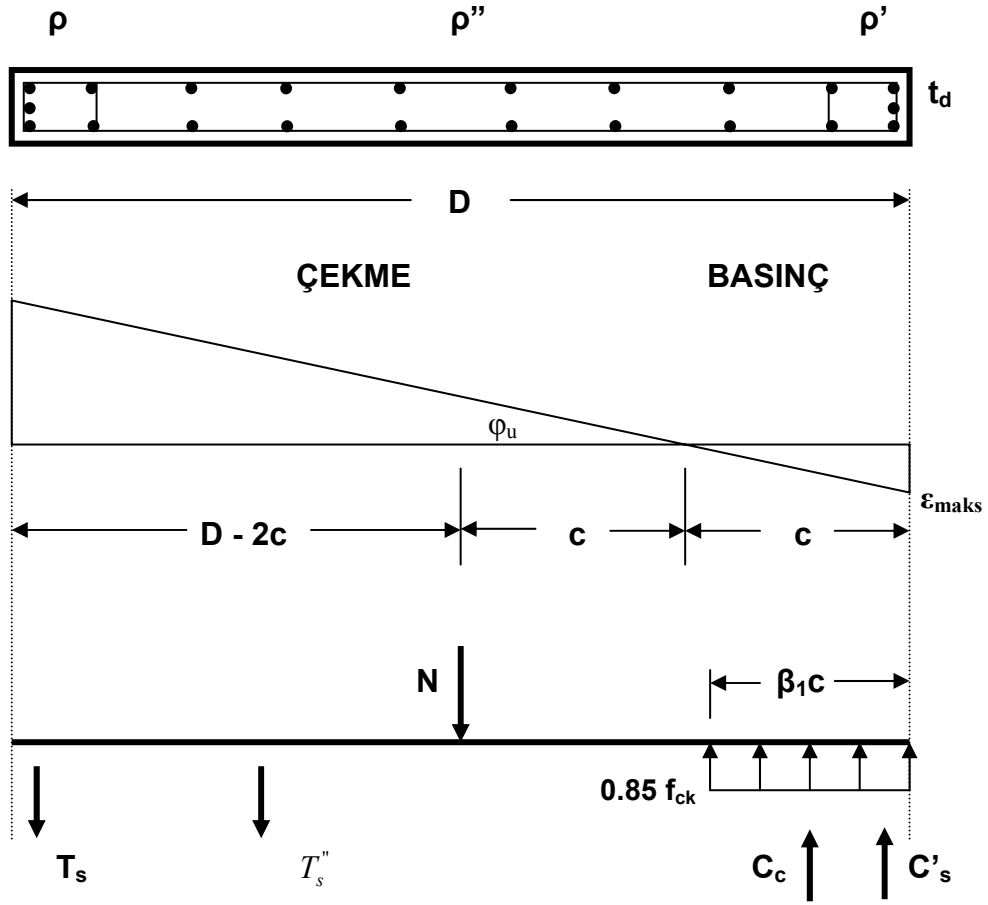
İlk önce c mesafesi dahilinde dűşey gövde donatısının çekme ve basınc kuvvetlerinin eřit olduğunu hatırlamamız gerekir. Kesit üzerindeki kuvvetlerin dengesi

$$N + (D - 2c)t_d \rho'' f_{yk} + Dt_d \rho' f_{yk} - Dt \rho' f_{yk} - \beta_1 c (0.85 f_{ck}) t_d = 0 \quad (15)$$

ifadesini yazmamızı sağlar. Diğer taraftan $\varphi_u = \frac{\varepsilon_{maks}}{c}$ eşitliğinden $c = \frac{\varepsilon_{maks}}{\varphi_u}$ olduğuna

göre Denklem (15)'i (D t_d f_{ck}) ile bölerek Denklem (16) çıkarılabilir. Bu denklemdeki α ve γ katsayıları gerçek akma sınırının f_{yk}'den büyük olması ve pekleşme tesirlerini göstermektedir. Bunların her ikisi de 1.25 olarak hesaplara dahil edilebilir.

$$\varepsilon_{maks} = \left[\frac{\frac{N}{Dt_d f_{ck}} + \frac{\alpha f_{yk}}{f_{ck}} \left(\rho + \rho'' - \frac{\gamma}{\alpha} \rho' \right)}{0.85 \beta_1 + 2 \rho'' \frac{\alpha f_{yk}}{f_{ck}}} \right] \varphi_u D \quad (16)$$



Şekil 7. Dikdörtgen Perde Duvarı Kesiti

Denklem (16) duvarın şekil değiştirebilme kapasitesinin ifadesidir. Şimdi Denklem (13) veya (14)'teki global yer değiştirmeleri bununla ilişkilendirelim. Kullanacağımız model Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu şekilden

$$\delta_{u\phi} = \delta_y + \theta_p H \quad (17)$$

ifadesini yazabiliriz. $\theta_p H$, kesitte akma meydana geldikten sonraki uç yer değiştirmesidir. Plastik mafsal boyu hesaplarda $D/2$ olarak alınabilir. Eğer Şekil 5'teki temsili eğrilik değişimlerini doğru çizgilerle gösterirsek

$$\delta_{u\phi} = 0.33\varphi_y H^2 + 0.5(\varphi_u - \varphi_y) H D \quad (18)$$

elde edilir. $\varphi_y \cong 0.002/D$ kabulü bizi

$$\varphi_u D = 0.002\left(1 - \frac{2H}{3D}\right) + 2 \frac{\delta_{u\phi}}{H} \quad (19)$$

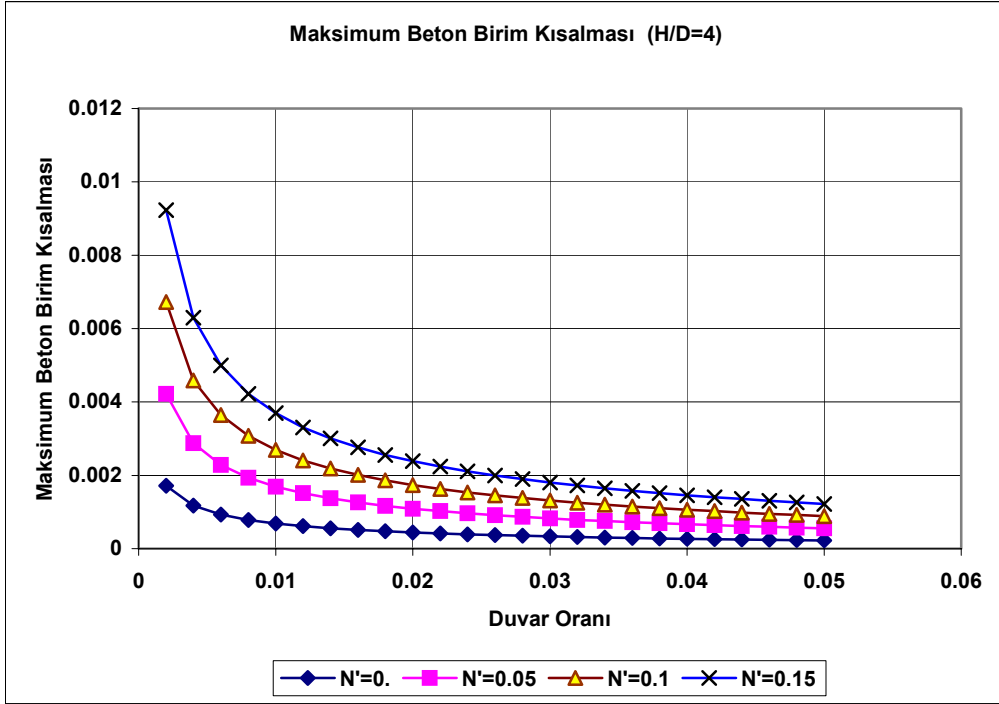
veya Denklem (12)'in Denklem (19)'da yerine konulmasıyla

$$\varphi_u D = 0.002\left(1 - \frac{2H}{3D}\right) + 0.00048 \frac{H}{D} \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad (20)$$

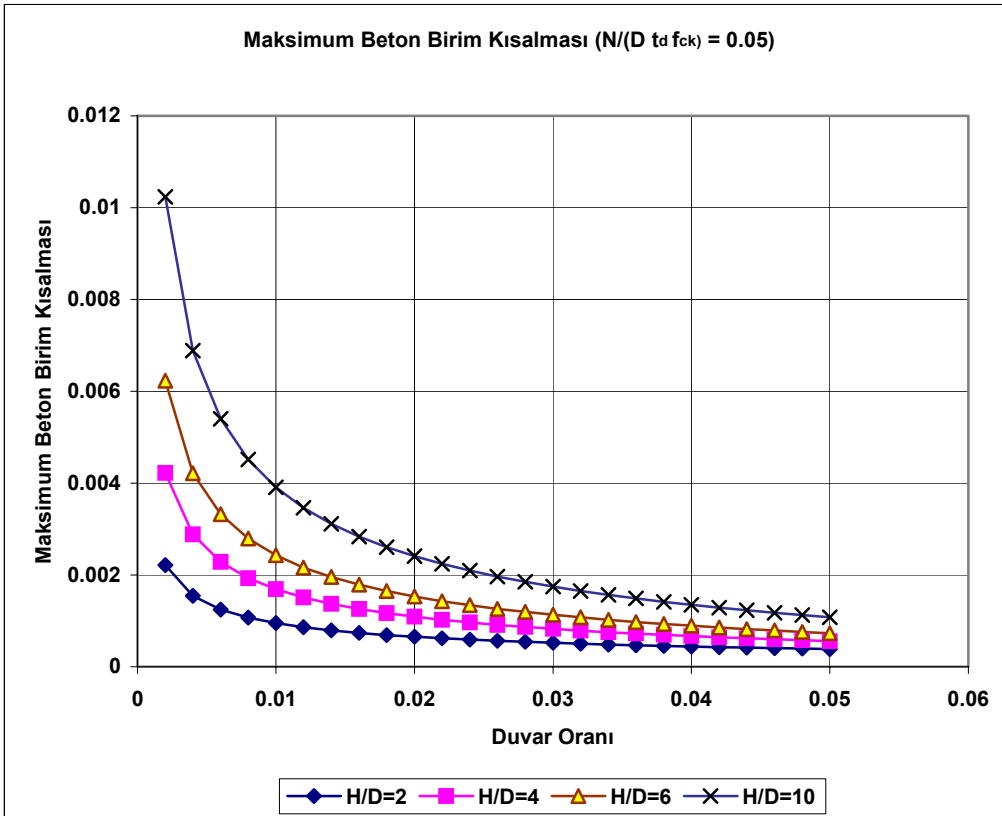
elde edilir. Denklem (16) ile (20) beraberce hesapta kullanılabilir. Bunlar ilk bakışta gereksiz yere karmaşık gözükseler dahi parametrelerin çoğunun standart uygulamalarda pek az değiştiğini hatırlamak gerekir. Mesela Şekil 8, perde uç bölgesindeki donatının simetrik olarak yerleştirildiği dikdörtgen duvarlar için basınçtaki maksimum birim kısalmayı göstermektedir. Burada $f_{ck} = 20$ MPa, $f_{yk} = 220$ MPa, uç bölge donatı oranları $\rho = \rho' = 0.01$, duvar gövde oranı $\rho'' = 0.0025$, $\alpha = \gamma = 1.25$, $\beta_1 = 0.85$ alınmıştır. Formülasyonda iki adet bağımsız değişken grubu olduğundan önce sabit $H/D = 4$ fakat değişken $N/Dt_d f_{ck}$ alınmış, ikinci şekilde ise $N/Dt_d f_{ck} = 0.05$ kabul edilip bu sefer H/D değiştirilmiştir. Buradaki denklemlerin çıkarılışının başlangıcı Shimazaki ve Sozen (1985) ve Gülkan v.d. (1997)'te bulunmaktadır.

Görüleceği gibi eğer betondaki birim kısalma miktarını örnek olarak seçebileceğimiz 0.003 değeri ile sınırlamak istersek bunu yüksek H/D veya $N' = N/Dt_d f_{ck}$ oranlarının bulunduğu durumlarda ancak hatırı sayılır miktarda perde alanı sağlamakla gerçekleştirmek mümkündür. Bekleneceği gibi düşük aksenal basınca maruz ve hakiki perde boyutlarına sahip perdelerin bulunması işi kolaylaştırmaktadır. Yapıdaki hasarın en iyi göstergesi ϵ_{maks} 'tir.

Bütün bu denklem çıkarılışlarının ve sonuçların farklı deprem bölgeleri, farklı yerdeğiştirme spektrum ifadeleri ve zemin sınıfları için malzeme özelliklerinde, donatı yerleştirme tarzlarında ve duvar geometrilerindeki değişimleri de göz önüne alıp tekrarlamak lazımdır.



(a) Değişken Eksenel Yük



(b) Değişken H/D

Şekil 8. Betondaki Maksimum Birim Kısalma

Son Düşünceler

Başta okullar olmak üzere devlete ait binaların büyük çoğunluğunun betonarme 4 veya 5 katlı, hesabında veya imalatında hata ve kusurların meydana gelebildiği geçmiş tecrübeyle sabit, taşıyıcı sistemden meydana geldiğini biliyoruz. Örnek, Şekil 9’da 1992’deki depremden sonra tamir edilirken gösterilen dört katlı Erzincan Kazım Karabekir Lisesi olarak seçilebilir. Resimdeki kolonlar 30 cm kenarlara sahipti ve binada herhangi bir perde bulunmamaktaydı. Projelerin pek çok sayıda kimse tarafından kontrol edildiği bürokratik akışta, ihale dosyasında bir yığın mühür, kaşe ve imza bulunmasına rağmen bu cılız kolonların Erzincan’da inşa edilen bir okul binasında bulunmasının isabetsizliği demek ki dikkate gelmemiştir. Acaba buna benzer projeye sahip okul binaları başka nerede inşa edilmiştir?

Görünen odur ki betonarme yapıdan vazgeçilmesi, binaların altına deprem izolasyon sistemlerinin konulması gibi tedbirlere yakın vadede ulaşmak ta söz konusu değildir. Öyleyse bu binaların deprem güvenliğini artırmak için gözlemlerimizin ve teorinin gösterdiği şekilde duvarlara başvurmak en iyi yol olmaktadır. Milli Eğitim Bakanlığının özel bir teknik şartname hazırlayıp bundan böyle inşa edilecek bütün okul binalarının tercihan plan çerperinde ve simetriyi bozmayacak tarzda yerleştirilmiş, betonarme inşaat standartlarının öngördüğü donatı detaylarına sahip, adına “perde” denilmesi için sahip olması gereken toplam yükseklik/genişlik oranına sahip betonarme duvarlarını statik hesaplar ne derse desin şart koşması sonuç doğuracak bir adım olacaktır. Bu duvarlar mutlaka bir maliyet artışına yol açacaktır, ama bu maliyet artışı kaba inşaat içinde belki yüzde 15, ancak toplam maliyette en kötümser tahminle yüzde 3-4 mertebesinde kalacaktır. Sağlayacağı toplumsal fayda bunun çok üzerindedir. Okulların ve diğer resmi binaların afet sonrasında hemen kullanılabilir durumda olmasının parayla ifadesi mümkün değildir. O halde binalarımızdan beklenen deprem performansının baştan hesaba dahil edilmesi zamanı gelmiştir. Böyle bir kanuni düzenlemenin yurt dışından ithal edilen örneğini California’daki Field Kanununda ve yasanın o eyaletin öğrencilerine verdiği can güvenliğinde bulmaktayız.



Şekil 9. Erzincan Kazım Karabekir Lisesinde Kolonlar

Kaynaklar

Seymen, İ. ve Aydın, A. (1972): “Bingöl Deprem Fayı ve Bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile İlişkisi,” *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, Sayı 79, s. 1-9.

Fintel, M. (1991): “Shearwall-An Answer for Seismic Resistance?,” *Concrete International*, Vol. 13, No. 7, pp. 48-53, July.

Wood, S.L. (1989): “Minimum Tensile Reinforcement Requirements in Walls,” *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 4, September-October, pp. 582-591.

Shimazaki, K., ve Sozen, M.A. (1985): “Seismic Drift of Reinforced Concrete Structures,” Research Report of Hazama-Gumi Ltd., Tokyo, Japan.

Gülkan, P., Sozen, M.A., Ersoy, U., Yorulmaz, M., ve Aşkar, G. (1997): “Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Tespiti için Alternatif Bir Yaklaşım,” Türkiye Deprem Vakfı Yayını No. TDV/TR 97-011, İstanbul.