

BETONARME YAPILARDA %1 ORANINDA PERDE KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Hüseyin TEKEL

1. Giriş

Son yıllarda yapı malzemelerindeki gelişmeler betonarme yüksek yapılara olanak yaratmış, ticaret merkezlerinde arsalarla olan taleplerde yüksek yapılara olan ihtiyacı doğurmuştur. Yüksek yapılardaki gelişmeye paralel olarak, mevcut yapıların güçlendirilmesi ihtiyacının artması, son yıllarda, deprem perdelerini inşaat mühendisliğinin önemli gündem maddeleri haline getirmiştir.

Güçlendirme kapsamındaki betonarme perdeler, ülkemizde ilk kez yaygın şekilde 13 Mart 1992 Erzincan depreminde gündeme gelmiştir. Mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, yeni deprem yönetmeliğinin koşulları, betonarme perdeleri vazgeçilmez yapı elemanları haline getirmiştir. Son Erzincan depreminden sonra, konuyla ilgili bazı kişi ve kuruluşlar, her türlü betonarme yapıların güçlendirilmesinde belli oranlarda perdelerin kullanılmasının yararını vurgulayarak bu oranlar için ampirik formüller önermişlerdir. 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra, bölgedeki orta hasarlı yapıların güçlendirilme çalışmalarında da, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yayınlanan esaslar doğrultusunda, benzer uygulamalara gidilmiştir.

1997 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)'te perdelerin kullanılmasına geniş yer verilmiştir. **2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (ABYBHY)**'te ise, buna ek olarak, Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi başlığı altında, yönetmeliğe yeni bir bölüm ilave edilmiştir.

Maalesef, bizde perde elemanlarının kullanılması ihtiyacı, teknik gerekçelerden daha çok, betonarme yapılarında istenen kalitenin tutturulamamasından kaynaklanan zaafiyetin giderilmesi ihtiyacından kaynaklanmıştır. Çünkü, uygulamada sünek yapı üretiminde çok büyük hatalar yapılmakta, önemli boyutlarda ihmallerle karşılaşmaktadır. Çerçeve sistemler perdeli sistemler kadar yapım hatalarını

affedici olmadıklarından, depremlerde tanık olduğumuz sonuçlarla karşılaşmaktadır.

Gerçi yüksek yapılarda betonarme perdelerin kullanımı çeşitli nedenlerle, yararlı ve hatta bazı koşullarda zorunlu olmaktadır. Hatta betonarme perdeler büyük eğilme rijitlikleri ve kesme alanları nedeniyle, bir güvenlik elemanı olarak her yükseklikteki yapılar için tavsiye edilmektedirler.

1992 Erzincan Depremi'nden sonra yapılan incelemeler, yürürlükteki yönetmeliğin yeterli olmasına karşın, pratikte üretilen yapıların deprem davranışlarının yeterli olmadığını göstermiştir [1]. Özellikle, birçok yapının yeter sünekliğe sahip olmadıkları için göçtükleri anlaşılmıştır. Süneklik konusunda yapılan en önemli hatalar, betonların istenilen mukavemette olmaması, donatı işçiliğinin kötü, yeterli etriye donatısının olmaması, etriye sıklaştırılmasının yapılmaması ve kolon kiriş birleşim bölgesinde gerekli özenin gösterilmemesi sayılabilir. Kısaca, sorun bilgisizlik, uygulamadaki hata ve ihmallerden kaynaklanmaktadır. Buna rağmen sünek yapılar üretmek, yapılan hataları tolere edebilmek, depremlerle ilgili temel kavramları yerleştirmek amacıyla 1997 yılında yeni deprem yönetmeliği hazırlanmıştır. Geçen süredeki deneyimler ışığında bu yönetmelik revize edilerek, yeni ilavelerle birlikte 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmelikte yapılara yeter sünekliği kazandırmak, yanıl deplasmanları sınırlandırmak ve ekonomik tasarımlar yapmak konusunda perdeler önemli görevler düşmektedir. Gerçi yönetmelikte yapılarda kullanılacak perde oranıyla ilgili hiç bir koşul yer almamaktadır. Ancak, uygulamada perde elemanlarının zorunlu olduğu ve kullanılacak perdelerin her iki doğrultuda asgari %1 oranında olması gerektiği konusunda yaygın bir kanı mevcuttur. Konuyla ilgili olarak, Erzincan Depreminden sonra yapılan çalışmalar bu kanının kaynağını teşkil etmektedir [2]. Bu tarihten sonra yapılan çalışmalarda da benzer önerilerde bulunulmuştur [2-1]. İşte bu nedenle bu çalışmada, yaygın bir şekilde empoze edilen bu

oranının belli kriter ve bakış açısıyla bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. 2007 DBYBHY ile İlgili Perde İlişkilerinin İncelenmesi

Yönetmenlikte, betonarme binaların yatay yük taşıyıcı sistemlerinin sadece çerçevelerden, sadece perdelerden veya çerçeve ve perdelerin bileşimlerinden oluşabilmesine müsaade edilmektedir. Hatta sünekli düzeyi yüksek çerçeveli sistemlerin enerji tüketme kapasiteleri dikkate alınarak, bu sistemlerin R Davranış Katsayıları diğer sistemlerinkinden daha yüksek seçilmiştir. Bir bakıma çerçeveli sistemlere olan güven belirtilmiş ise de, büyük yanıl kuvvetlerin perdelerle karşılanmasının daha güvenli olacağı yaygın bir kanıdır.

Yönetmeliğin, madde 3.6 Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerle ilgili bölümünde, perde gövde kalınlığının 200 mm'den ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden az olmamak koşulu ile birlikte, birde perdelerin toplam alanlarıyla ilgili aşağıdaki koşullar getirilmiştir.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0,002 \quad (1)$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0,5 f_{ctd} \quad (2)$$

eşitlikleri ile ilgili olarak “Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda, 1 ve 2 koşullarından her ikisinin de sağlanması durumunda perde duvar kalınlığı, binalardaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır.” denilmektedir. (Bu çalışmadaki notasyon ve indisler 2007 tarihli DBYBHY'den alınmıştır.)

Dikkat edilirse, yukarıdaki eşitlikler dolaylı olarak, tüm yatay yükleri perdelerle alan sistemleri tanımlamaktadırlar.

Uygulamada ve bazı kaynaklarda gerekli perde alanları değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Özellikle depremde hasar görmüş olan yapılar başta olmak üzere, yapı oturma alanının 0,01'i oranında perde kullanılması önerisi yaygındır. Örneğin inşaat mühendisliği el kitabında “Her bir doğrultuda oluşturulacak dolgu çerçeve duvarlarının kesit alanlarının bina katlarının toplam alanına oranı 0,0025'ten az olmamalıdır. Ayrıca hiçbir zaman o doğrultuda perde kesit alanlarının toplamı, binanın tabandaki kesit alanının 0.01'den az olmamalıdır.” ifadesi kullanılmaktadır. 2003 Bingöl Depreminden sonra Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından takviye edilecek orta hasarlı yapıların takviye esaslarını belirten “Binalar İçin Yapısal Değerlendirme ve Güçlendirme Projeleri Hazırlama Esasları” adlı

tebliğde de aynı koşul vurgulanmıştır. Tebliğde, ayrıca “Taşıyıcı yapı zayıflıklar içeriyorsa (yumuşak ve zayıf kat, kısa kolon gibi),

$$\Sigma A_w \geq 0,003 \Sigma A_{pi} \quad (3)$$

eşitliği ile toplam perde alanı artırılmaktadır. Benzer eğilim muhtelif kaynaklarda da yer almaktadır.

Gerçekte, bu yaklaşım bilimsel değildir. Ancak, mühendislikte, kesin çözümü bilinmeyen problemlerin çözümünde ampirik formüllerin kullanılması yaygındır. Ampirik formüller kesin çözümleri vermedikleri için, sonuçlarının irdelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma benzer irdelemelere bir örnek olarak yapılmıştır.

Yönetmelik, böyle yorumlara bağlı oranlar ve tavsiyeler yerine, daha kesin verilere, yapıda kullanılan malzeme özelliklerine, depremin bölgesel özelliklerine ve belli hesap yöntemlerine dayanarak hareket etmeği ön görmektedir ki, bu yöntem daha gerçekçi ve bilimsel olmaktadır. Bununla birlikte, tamamen perde duvarlarla inşa edilen veya tamamen çerçeveli olan sistemlerde sağlanması gereken koşullar açıktır. Ancak, perde ve çerçevelerden ibaret karma sistemlerde perde miktarıyla ilgili olarak alt ve üst sınırlar belirtilmiş olmasının dışında, yeterince açıklık mevcut değildir. Haklı olarak, bu konu mühendislerin öngörüsüne bırakılmıştır. Günümüzde yapı sistemlerinin bilgisayar programlarıyla hazırlanması dizayn aşamasını hızlandırmıştır. Ancak mühendislerin düşünme, irdeleme ve yorumlama alışkanlıklarını olumsuz etkilemiştir. Hâlbuki mühendis bir yapıyı hesaplarken her aşamada yapının davranışını ve statik hesap sonuçlarını kontrol edip yorumlamalıdır. Kullandığı eşitlikleri irdeleyebilmelidir. İşte bu noktadan hareketle, aşağıda perde ve çerçevelerden meydana gelen karma sistemlerde, ilgili eşitlikler dikkate alınarak, perde ihtiyacının tespiti bir görüş oluşturulmaya çalışılmıştır.

Yönetmenlikte, bir yapıya etkiyen deprem kesme kuvveti,

$$V_t = S(T)A_0 I W / R \quad (4)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Bir betonarme perdenin kesme kapasitesi ise, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımı, ρ_{sh} perde donatısı oranı, f_{yd} donatının tasarım akma gerilmesi cinsinden,

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yd}) \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Bu iki tanımdan yararlanarak, çeşitli perde oranlarının irdelenmesi ve perde oranları hakkında bir sonuca varılması mümkün olabilmektedir. Aşağıda bu temel eşitliklerden hareketle yürürlükteki yönetmeliğin

kapsamında, betonarme perdelerle ilgili oranlar değerlendirilip irdelenecektir.

1. $\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0,002$ (DBYBHY'in 3.14 maddesi) eşitliğinden hareketle perde oranının hesabı:

n yapının katsayısı, A_p ise bir katın oturma alanı olmak üzere, perde oranı,

$$\Sigma A_g / A_p = 0.002n \quad (6)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Bu eşitlik dikkate alınarak, yatay yüklerin tamamının perdelerle taşındığı durumlar için, kat sayısına bağlı olarak ihtiyaç duyulan perde oranı Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1 - Kat Sayısına Bağlı Olarak Perde Oranları

n Kat Sayısı	Perde Oranı %	n Kat Sayısı	Perde Oranı %
1	0.2	6	1.2
2	0.4	7	1.4
3	0.6	8	1.6
4	0.8	9	1.8
5	1	10	2

Bu sonuçlara göre yaygın şekilde önerilen %1 perde oranının, 5 katlı bir yapının tüm yatay yüklerini karşılayabilecek perde oranına denk geldiği görülmektedir. Yönetmelikte süneklik bakımından karma sistemler için, "Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_s \leq 2/3$ olması durumunda, deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı taşıyıcı sistemin tamamı için kullanılabilir." Denilmektedir. Buna göre yukarıdaki perde oranının 7 katlı binalara karşı geldiğini de kabul edebiliriz. Kat sayısı 7'yi geçince gerekli perde oranı artmaktadır.

2. $V_t / \Sigma A_g \leq 0,5F_{ctd}$ (DBYBHY'in 7.14 maddesi) eşitliğinden hareketle perde oranının hesabı:

Deprem etkisinde meydana gelen kesme kuvveti yönetmenlikte,

$$\begin{aligned} V_t &= W A(T_1) / R_a(T_1) \\ &= n A_p w_k A_0 I S(T) / R_a(T_1) \\ &= n A_p w_k A_0 I S(T) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 I W \end{aligned} \quad (7)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitliklerdeki A_g , A_p dışındaki değerlerin rakamsal olarak tespit edilmesi mümkündür. Malzemelerle ilgili değerler için, uygulamada en çok kullanılan StlII ve BS20 için $f_{ctd} = 10 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yd} = 3650 \text{ kg/cm}^2$, $\rho_{sh} = 0,0025$ değerlerini kabul edebiliriz. En olumsuz koşullarda $A_0 = 0.40$,

$I = 1,5$, $R_a = 6$, $S(T) = 2,5$ katsayıları kullanıldığında,

$$V_t = 0,25 n A_p w_k \quad (8)$$

bulunur. Bu ifadeyi (7) eşitliğinde kullanınca,

$$\Sigma A_g / A_p = 0.5 n w_k \quad (9)$$

ifadesi bulunur.

Burada w_k yatay deprem etkisini hesaplamakta kullanılan,

$$w_k = g_k + n q_k \quad (10)$$

eşitliği ile tanımlanan yapının k'inci katının hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan birim alan ağırlığıdır. Genelleştirmek amacıyla bu değer tüm katlarda sabit alınmıştır. Uygulamada, normal betonarme yapılarda yapı elemanlarının zati ağırlıkları da dâhil w_k değeri 0,600 ile 750 t/m² arasında değişmektedir. En olumsuz koşullarda bu değer 0,750 t/m² değerini almaktadır. Yukarıdaki eşitliklerde bilinen değerlerden hareketle kuvvetler Newton, uzunluklar mm cinsinden yerine konulup sadeleştirilince,

$$\Sigma A_g / A_p = 0,0038 n \quad (11)$$

İfadesi bulunur. n katsayısına bağlı olarak hesaplanan perde oranları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 - Kat Sayısına Bağlı Olarak Perde Oranları

n Kat Sayısı	Perde Oranı %	n Kat Sayısı	Perde Oranı %
1	0.38	6	2.28
2	0.76	7	2.66
3	1.14	8	3.04
4	1.52	9	3.42
5	1.9	10	3.8

Tabloda, %1 perde oranının yaklaşık 3 katlı yapıya karşı geldiği görülmektedir.

3. $V_r = V_t$ eşitliğinden hareketle perde oranının tespiti:

V_t 'nin 4, V_r 'nin 5 nolu eşitliğindeki ifadeleri ve eşitliklerdeki bilinen değerler kullanılarak sadeleştirildiğinde BS20, StlII için,

$$\Sigma A_g / A_p = 0,0012 n \quad (12)$$

eşitliği bulunmaktadır. Bunlarla ilgili sonuçlar da Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3'te ise tüm yatay yükleri karşılayabilecek %1

Tablo 3 - Kat Sayısına Bağlı Olarak Perde Oranları

n Kat Sayısı	Perde Oranı %	n Kat Sayısı	Perde Oranı %
1	0.12	6	0.72
2	0.24	7	0.84
3	0.36	8	0.96
4	0.48	9	1.08
5	0.6	10	1.2

perde oranı yaklaşık olarak dokuz katlı bir yapıya karşı gelmektedir. Yani %1 oranındaki perde ile dokuz katlı bir yapıda tüm deprem yüklerinden kaynaklanan kesme kuvvetleri karşılanabilmektedir. Karma sistemler için geçerli olan $\alpha_s \leq 2/3$ oranıyla ilgili yorumu katarsak, %1 perdenin on katlı yapıya karşı geldiğini kabul edebiliriz.

Yukarıdaki tabloların incelenmesinden görülebildiği gibi, aynı malzemenin kullanıldığı bir yapıda, perde alanının tespitinde kullanılan bağıntılara ve malzeme cinsine bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bunlardan hangisinin esas alınması konusunda bir açıklık mevcut değildir. Genelde koşullar asgari oldukları için en olumsuz durumun dikkate alınması gerekmektedir. Mühendislik ürününün sadece güvenlikle değil, aynı zamanda estetik, fonksiyon ve özellikle ekonomik faktörleriyle birlikte ele alınması gerekmektedir. Yani sonuç, mühendisin koşulları irdelemesine kalmaktadır.

Tüm yatay yüklerin tamamının perdelerle karşılanması durumunda, kolonların yatay yük taşıma kapasitesi ihmal edilmiş olacağından, böyle bir yaklaşımın ekonomik olmayacağı açıktır. Bunun için yukarıdaki oranları dolu perde ve çerçeve sistemlerinden oluşan karma bir sistem için değerlendirmek daha gerçekçi olacaktır. Yönetmelikte süneklik düzeyi yüksek sistemler için, perdelerin karşılayacakları kesme kuvvetinin, sisteme etkileyen toplam kesme kuvvetine oranlarının $\alpha_s \leq 75$ olması istenmektedir madde 2.5.2.1 bu oranın alt sınırı belirtilmemiştir. Ancak, bir kriter olarak süneklik bakımından karma sistemler için önerilen 0.40 oranını kabul edebiliriz.

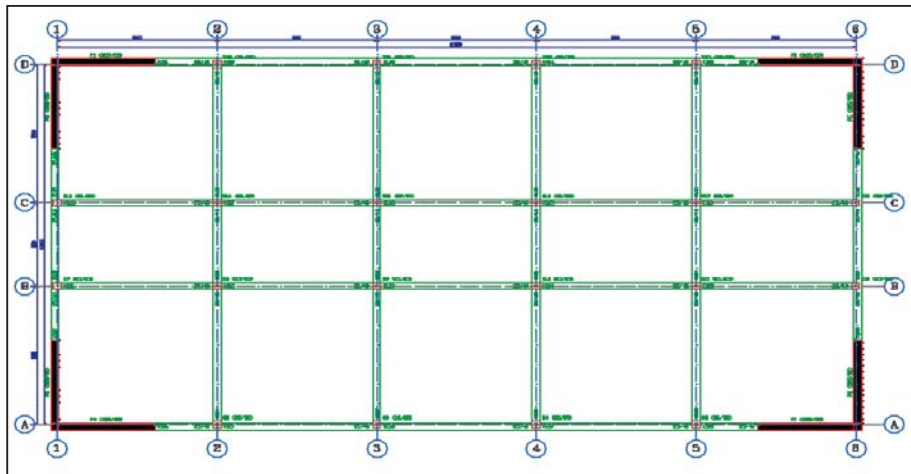
Tablolardaki sonuçlar, tüm yatay kuvvetleri perdeler alabilecek

şekilde düzenlenmiştir. Bu oranlar da gerekli düzeltmeler yapıldığında yukarıdaki kat sayılarının da değişeceği açıktır. Ortalama olarak perdelerle kolonların yatay yükleri eşit oranlarda paylaştıkları kabul edilirse, yukarıdaki sonuçlardan hareketle, yeni yapılar için %1 perde oranının deprem bölgelelerine bağlı olarak 5-10 katlı yapılar için yeterli olduğu sonucuna varabiliriz. Bu oran yeni yapılar için tavsiye edilebilir, güçlendirme projelerinde yapının performansına bağlı olarak perde oranının seçimi, mühendisin tercihine bırakılmalıdır. Zaten mevcut yapının performans hesabı, betonun mukavemetine, donatının kullanım şekli ve oranına, incelenen yapıyla ilgili bilgi düzeyine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik ihtiyaç duyulan perde oranına da yansımaktadır. Yukarıdaki sonuçlar kabaca bir fikir vermek amacını taşımaktadır.

3. İrdelemenin Bir Yapı Sistemine Uygulanması

Yukarıdaki sonuçların somuta uygulanabilmesi için, örnek olarak planı Şekil 1'de verilen, bir doğrultuda 5, diğer doğrultuda 3 açıklı bir yapı sistemi seçilmiştir. Yapının boyutlar 13 x 25 m, oturma alanı ise 325 m²'dir. Yapının dört köşesine her bir doğrultuda toplam yapı alanının %1'i oranında L şeklindeki deprem perdeleri yerleştirilmiştir. Planı, kat yüksekliği ve perde oranı sabit tutularak, kat sayısı sırasıyla birden ona kadar artırılmıştır. Yapının ve yük dağılımının düzgün olduğu varsayarak, her kattaki deprem kuvvetleri katın ağırlık merkezine etkilmiştir. Yani yönetmenliğin yeni binalar için öngördüğü $\pm 5\%$ eksantrisitenin etkisi ihmal edilmiştir. Deprem kuvvetlerinin hesabında Probinga Orion 14, kesit tesirlerinin bulunmasında SAP2000 v8 statik programları kullanılmıştır.

Kat sayısına bağlı olarak %1 oranında perde içeren sistemde devrilme momenti ile kesme kuvvetleri



Şekil 1 - Kat Sayısı Değişken Örnek Yapının Planı

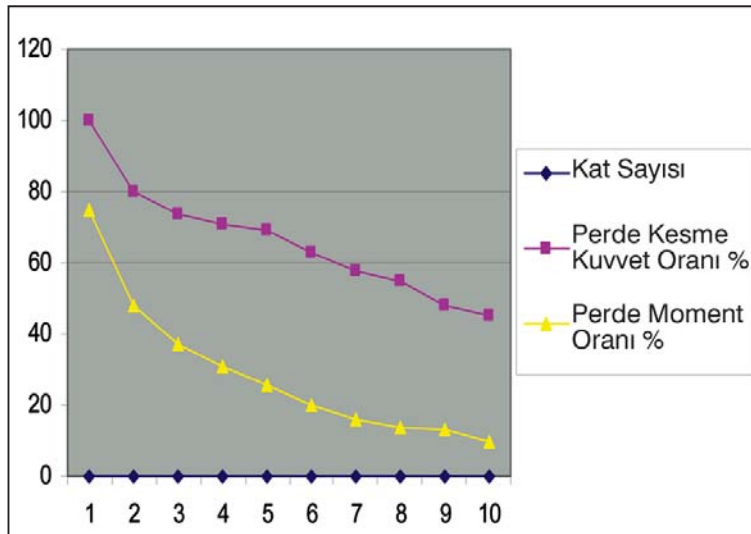
oranının dağılımı Tablo 4'te, bu tablo değerleri ile hazırlanan değişim eğrileri Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 2'deki üst eğri kat sayısına bağlı olarak %1 oranındaki perdelerin karşılamış oldukları kesme kuvvetinin oranını, alttaki eğri ise perdelerin karşılamış oldukları devrilme momentlerinin oranını göstermektedir. Bu dağılım yapının en çok zorlanan temel katında temel kolon ve perdeleri için verilmiştir.

Bu hesaplamalarda perdelerin aktardığı kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri direkt olarak seçilmiştir. Bazı çalışmalarda önerilen, perdelerle saplanan kiriş momentlerinin etkileri dikkate alınmamıştır [1]. Bu nedenle perdelerin aktardığı moment oranları %30 ile %50 oranlarında düşük çıkmıştır. $\alpha_s \leq 2/3$ oranını dikkate aldığımızda kesme kuvvetine göre

Tablo 4 - Kesme Kuvvetleri ve Moment Oranlarının Dağılımı

Kat Sayısı	Perde Kesme Kuvvetleri Oranı %	Perde Moment Oranı %
1	100	75
2	80	48
3	74	37
4	71	31
5	69	26
6	63	20
7	58	16
8	55	14
9	48	13
10	45	10



Şekil 2 - Kesme Kuvvetleri ve Moment Oranlarının Dağılımı

6 katlı bir yapının tüm yatay kuvvetlerinin %1 oranındaki perdelerle alındığını kabul edebiliriz. Bu kat sınırının üstündeki yapıları karma sistemler olarak değerlendirmemiz gerekmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, moment kesit tesirleri dikkate alındığında %1 perde oranının karma sistemlerinde ön görülen $\alpha_m \geq 0.45$ koşulunu 3 katlı yapılar için sağlamakta, bunun üstündeki katlarda sağlamamaktadır. Kesme kuvvetleri dikkate alındığında ise, bu oran 10 katlı yapılara kadar sağlanmaktadır.

Teorik olarak, normal yapılarla yüksek yapıları ayıran sınır, yapıların davranış şekline bağlıdır. Normal yapılar kesme etkisi altında yanıl deplasman davranışı gösterirken, yüksek yapılar eğilme etkisi altında devrilme davranışı göstermektedirler. Başka bir deyimle, normal yapılarda kesme kuvvetleri, yüksek yapılarda ise eğilme momentleri etkili olmaktadır. Aslında, buna bağlı olarak deprem perdeleri de normal yapılardan çok yüksek yapılarda efektif kullanılmaktadırlar. Çünkü, normal yapılarda moment kolu kısa olduğu için perdenin moment taşıma gücüne ulaşabilmesi için büyük bir kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucunda da normal yapılarda kesme kırılmalarının olasılığı eğilme kırılmasından daha yüksektir. Perde rijitliği yüksekliği ile orantılı olduğu için, normal kat perdeleri, yüksek yapı perdelerinden daha rijit oldukları içinde daha büyük kesme kuvvetlere maruz kalıyorlar. Normal yapılardaki kesme kuvvetlerinin bu özelliği dikkate alınmış olsa gerek ki, 2007 yılında uygulamaya giren yeni deprem yönetmeliğinde, perdelerin karşıladığı eğilme momentinin yapıya etkiyen toplam eğilme momentine oranı α_m yerine, kesme kuvvetlerinin oranı olan α_s oranı kullanılmıştır.

Bu davranışlara bakmadan, bir yapının bu iki sınıftan hangisine dahil olduğunu söylemek mümkün olmasa da, pratikte 10 katlı bir yapıya kadar olan yapıların kesme etkisi altındaki davranışı gösterdiği kabul edilebilir. Yani bu yükseklikteki yapılara kadar olan yapıların normal yapılar olduğu ve dolayısıyla, eğilme momentlerinden daha çok kesme kuvvetlerinin etkili olduğu söylenebilir.

2007 DBYBHY' de açık olmamakla birlikte, 3. ve 4. deprem bölgelerinde koşullu olarak sünekliliği normal yapılara müsaade etmesi ve yine koşullu olarak eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasını 25



Resim 1 - Erzincan Depreminden Sonra Silahlı Kuvvetler Lojmanları



Resim 2 - Yapım Hatasının Sebep Olduğu Hasar

m yüksekliğindeki yapılarla sınırlamasının altında da bu davranış farklılığının yattığı kabul edilebilir.

4. Deprem Sonrası Yapılan Gözlemler

Yakın zamanda meydana gelen en tahrip edici depremlerden biri, 13 Mart 1992 tarihinde Erzincan ilimizde meydana gelen, 6.3 şiddetindeki depremdir. Bu depremde betonarme yapılar adeta deneye tabi tutulmuşlardır

Ordu merkezi olan bu ilimizde çok sayıda silahlı kuvvetler lojmanları mevcuttur. 1980'li yıllarda yapılan lojmanlar genellikle tip olup aynı taşıyıcı sisteme sahiptirler. Beş katlı olan bu yapılarda, her iki yönde ortalama %0,7 oranında perde kullanılmıştır. Bu yapıların hiç birinde göçme olmadığı gibi

çoğunluğu depremi hafif hasarla atlattır. Resim 1'de bu lojmanlardan birkaçı görülmektedir.

Aynı grubun içindeki birkaç lojman ağır hasara uğramış, bir kısmında da orta hasar tespit edilmiştir. Ancak, orta hasarlı lojmanlarla ağır hasarlı lojmanlar incelendiğinde, hasar nedeninin taşıyıcı sistemin yetersizliğinden değil, Resim 2'de görüldüğü gibi yapım hatalarından kaynaklanmıştır. Resimdeki ağır hasarlı zemin kattaki kolonun bodrum kat elemanları ile bir döküm olmadığı, arada bir derz kaldığı bunun sonucunda, burulma etkisinde kalan dış kolonda ağır hasar oluşmuştur.

Benzer şekilde ağır hasar bölgelerinde hep yapım hataları tespit edilmiştir. Resimde arka planda görülen ve aynı grup lojman bloğunda hiçbir hasar gözlenmemektedir. Lojmanların çoğu, depremi hafif hasarla atlattır.

Bu yapıların tümünde, sadece uzun doğrultudaki merkez perdelerde kesme çatlakları meydana gelmiştir. Başka hiç bir perdede kesilme ve eğilme hasarına rastlanmamıştır.

Bu yapıların tamamında betoniyer betonu kullanılmış ve etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Yani tamamı süneklik düzeyi normal sistemlerdir. Bu sonuçlar, bu yükseklikteki yapılar için kullanılan perde oranlarının yeterli olduğunu, hasar düzeyleri deplasman koşullarının da sağlandığını ve yapılardaki perdelerde kesme kuvvetlerinin etkili olduğunu göstermektedir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün yakın zamanda meydana gelen depremlerde yaptığı incelemelerde de, sekiz katlı yapılara kadar olan yapılarda perdelerin kesme etkileri altında kaldıkları sonucuna varılmıştır [4].

Sonuç

1. Yönetmeliklerdeki ampirik eşitlikler kullanılarak bulunan sonuçlar arasında ve bu sonuçlarla örnek yapı sonuçları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklar devrilme momentlerinde oldukça fazla, kesme kuvvetlerinde ise kabul edilebilir oranlardadır.

2. Perde oranı için ilgili yönetmelik bağıntılarından hareket edilerek kesin bir sonuca varmak mümkün değildir. Bu sonuçların, farklı eşitliklerin sonuçları ile birlikte dikkate alınmasıyla bazı yargılara varmak mümkündür. Tablo 1'deki sonuçlar %1 oranındaki perdenin 5 katlı, Tablo 2'deki sonuçlar 3 katlı ve Tablo 3'teki sonuçlar 9 katlı bir yapının tüm yatay kuvvetlerini taşımak için %1 perde oranının yeterli olduğunu göstermektedir. $\alpha_s \leq 2/3$ oranını da dikkate alırsak ortalama olarak %1 perde oranının altı katlı bir yapının tüm yatay yüklerini aldığını kabul edebiliriz. Bu kat sayısının üstündeki yapıları karma yapı olarak değerlendirmemiz gerekecektir.
3. Tablo 4 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi on kata kadar olan yapılarda perdeler devrilme momentinden daha çok kesme etkisini karşılamaktadırlar. Bu sınıf yapılar kat sayılarına göre yapılan sınıflandırmada normal yapı sınıfına dahildirler. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin etkin olması normaldir.
4. [3]'teki çalışmada belirtildiği gibi perdelerin eğilme momentlerine, bağlı kirişlerin momentleri de dahil edilirse, devrilme momentleri oranı da kesme kuvvetleri oranlarına yaklaşacaktır. Ancak, bu yapı sınıfları için devrilme momentler yerine kesme kuvvetlerinin baz alınması daha gerçekçi olacaktır.
5. Yukarıdaki sonuçlar %1 oranındaki perdelerin, yaklaşık olarak, on katlı yapılara kadar olan yapıların, deprem etkilerinin %40'ını aldığı görülmektedir. Bu değer sünek sistemler için ön görülen %75'in altında, karma sistemler için istenen düzeydedir.
6. Bu orandaki perdelerin bu kat sayılarındaki yapıların tüm yatay kuvvetlerini taşımasa da, çerçvelerin katkı payları da dikkate alındığında yeterli olabilmektedir. Bu orandaki perdelerin yeterliliği yapılan diğer sayısal çalışmalarda da görülmüştür. Bu oran, perde oranının tespiti için önerilen,

$$\alpha_p = N^2/40000 + 0.005 \quad (13)$$
 eşitliği ile verilen oranın üstünde,

$$\Sigma A_g = N \times A_p \times 0.002 \quad (14)$$
 Eşitliği ile önerilen oranın altındadır. [3, 4]. İkinci eşitlikte %1 oranı beş katlı yapı için gerekli orana karşı gelmektedir.
7. Bu orandaki perdenin kullanılmasıyla, normal sünekli çerçeve ve yüksek sünekli perdelerden oluşan daha ekonomik karma sistemlerin kullanılması da mümkün olabilmektedir. Bu durumda, kolon boyutları küçüleceğinden yukarıdaki tablo

ve diyagramlarındaki perde kesme ve eğilme momentleri oranları da artacaktır.

8. Bu sonuçlar dizayn için dikkate alınabilir, güçlendirme çalışmalarında ise yapının hasar durumu ve performansı dikkate alınarak gerekli perde ihtiyacı tespit edilmelidir. Bu ise tamamen mühendisin bilgi, deneyim ve sezgisine bağlıdır.

Kaynaklar

- [1] Hüseyin Tekel, Ergin Atımtay "Hasarlı Bir Yapının Deprem Davranışının İncelenmesi ve Öğrenilen Dersler", Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 1995, İstanbul.
- [2] Uğur Ersoy, "Erzincan'da Deprem Geçirmiş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi İlkeleri", Kurs Notları
- [3] Günay Özmen, "1997 Deprem Yönetmeliği ve Yapı Sistemleri", İnşaat Mühendisleri Dergisi.
- [4] Nejat Bayülke, "Perde Duvarlı Yapıların Davranışı", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Son Bahar Dönemi Semineri, Ankara, 2004.
- [2-1] Uğur Ersoy, "Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesinde ODTÜ Yaklaşımı-Deneysel Çalışmalar ve Uygulamalar", Prof. Dr. Kemal Özdeni Anma Semineri, 10 Mayıs 2002, İTÜ, İstanbul.

Notlar:

[2-1]. De,

$$\Sigma A_{dc} \geq 0.002 \Sigma A_p$$

$\Sigma A_{dc} \geq 0.001 A_{pt}$, olarak verilmiştir. Burada,

ΣA_{dc} : her bir doğrultudaki dolgu çerçeve alanlarının toplamını,

ΣA_p : binadaki tüm katların plan alanlarının toplamı,

A_{pt} : binanın tabandaki alanını göstermektedir. [8]

TMH, aidat borcu olmayan ve adresi güncel üyelerimize gönderilmektedir.