

27 ŞUBAT 2010 ŞİLİ DEPREMİNDE BETONARME PERDE DUVARLI ÇOK KATLI YAPI HASARI

Derleyen: Nejat BAYÜLKE

Güney Amerika'da Büyük Okyanus kıyısında Şili'de 8.8 büyüklüğündeki 27 Mart 2010 depreminden çok sayıda çok katlı yapı etkilendi. Ancak az sayıda çok katlı yapı yıkıldı ya da onarılmaz boyutta hasar gördü.

Bu yazı, ABD'de bu depremi inceleyenlerin PEER, SEAOC ve LATBDC () sitelerindeki resim ve diğer bilgilerin Türk İnşaat Mühendisliğine aktarılmasının yararlı olacağı düşüncesi ile yazılmıştır.*

ÇOK KATLI YAPILAR

Türkiye'de bir zamanlar çoğunlukla 5-6 katlı apartmanlar ve işyerleri yapılıırken yaklaşık 15-20 yıldır kat adetleri 15-30 ve daha da yüksek olan yapılar çok yaygın bir biçimde yapılmakta. Bu çok katlı yapılarımız şu ana kadar ciddi (çok şiddetli) bir deprem yaşamadı.

Şili'de gerek 1985 gerekse 2010 depreminde "çok katlı" yapılar çok önemli iki şiddetli deprem sınavından geçti. Türkiye, Şili'deki gibi Richter ölçeğine göre 8.8



21 Eylül 1999 Tayvan Depreminde 22 katlı yapının zemin kat köşe kolonunda basınç kırılması

Şekil 1. Tayvan 1999 depreminden çok katlı yapı hasarı.

büyüklüğünde bir deprem olması beklenmesede, 7.0 - 7.5 büyüklüğünde depremlerle zorlanacak bir deprem ülkesidir. Büyük depremlerimiz bu çok katlı yapılarımızı yakın bir gelecekte deneyecek. Özellikle 7.0-7.5 büyüklüğünde deprem beklenen Marmara Denizi çevresinde yapılmış çok sayıda çok katlı yapılarımızın karşılaşacağı deprem şiddeti ve bu depremler karşısındaki davranışları ve bu depremlere dayanacak biçimde tasarlanmaları konusunda Şili depremlerinden öğrenilecekler vardır.

Bu arada 1999 yılında Taiwan'da olan bir başka depremden etkilenmiş hasar görmüş hatta yıkılmış çok sayıda "çok katlı" yapılardan da öğrenilecekler var. Çok katlı yapıların zemin kat köşe kolonlarına çok büyük basınç kuvvetleri gelebilir (**Şekil 1**).

Çok katlı yapı yatay deprem yükleri altında genellikle "eğilme" davranışı gösteren yapı. 8-10 katın üzerindeki yapılar eğilme davranışı gösterir. Davranış yapının zemine bir ankastre giriş davranışı gibidir. Üst katlara gidildikçe yatay ötelenme ve şekil değiştirme. Katlararası ötelenme oranları üst katlarda hızla artar. Eğilme tipinde olmayan yapı "kesme" tipi yapıdır. Yatay yük altında en büyük kat arası ötelenme zemin kattadır ve üst katlara doğru kat arası ötelenme miktarı giderek azalır.

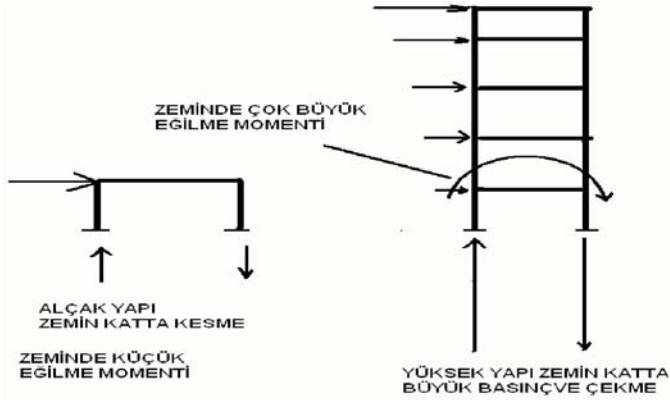
Eğilme tipi yapının zemin katında eğilme momenti daha önemlidir. Yapı çok yüksek olduğu için zemin katta büyük eğilme momenti yaratacak yatay yük küçüktür. Kesme tipi yapı yüksek olmadığı için yatay yük altında zemin katta büyük eğilme momentleri olması için çok daha büyük yatay yükler gerekir. Bu büyük yatay yükler ise eğilme momentinin kritik bir eşiğe gelmesinden önce kesme dayanımı aşan boyutlara ulaşır. Bu nedenle "kesme" tipi yapıda zemin katta kesme dayanımı önemlidir.

Çok katlı yapıların bir başka özelliği yatay yükler etkisinde zemin katlarında büyük basınç ve çekme kuvvetleri oluşmasıdır (**Şekil 2**).

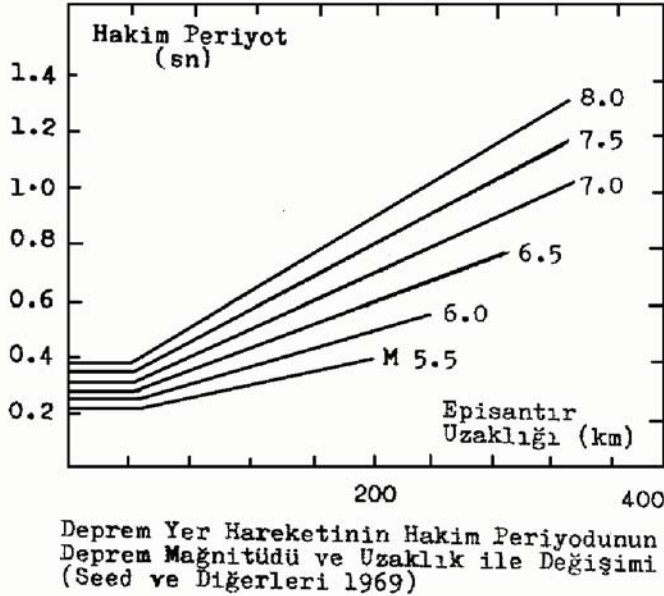
UZAK DEPREMLER

Deprem yer hareketleri değişik periyot ve genlikte pek çok sinüsoidal titreşimlerden oluşur. Yer hareketinin "kısa" periyotlu bileşenleri deprem merkezinden uzaklaşınca hızla sönerken, "uzun" periyotlu bileşenler çok uzaklara gidebilir (**Şekil 3**).

"Yüksek" yapıların uzak depremlerden daha çok etkilenmesi beklenir. Yüksek yapıların öz titreşim periyotları da uzundur. Çok katlı yapıların uzak depremlerden daha çok etkilenmesinin nedeni deprem kuvvetli yer hareketinin ve yapının periyot özellikleridir.



Şekil 2. Çok katlı yapılarda deprem yatay yükleri zemin katta büyük eğilme momentleri ve çekme ve basınç kuvvetleri oluşturur.



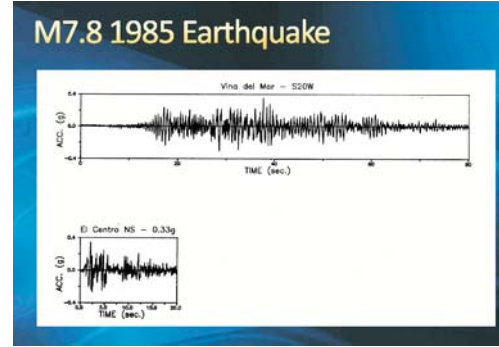
Şekil 3. Deprem kuvvetli yer hareketi hakim periyodunun mesafe ve deprem mağnitüdü ile değişimi.

Bu durum Şili depreminde de gözlenmiştir. Deprem merkezinden hemen 250 km kadar uzakta olan başkent Santiago'da çok sayıda çok katlı yapıda hasar olması deprem yer hareketinin ve çok katlı yapıların özelliklerinin bir sonucudur.

8.8 büyüklüğündeki depremin kuvvetli yer hareketi yüzlerce km uzakta da hasar yapacak genlikte olmuştur. 1985'de olan Şili

depreminden farklı olmayan 2010 depreminin ivme kaydının süresi yine 1985 depreminde olduğu gibi çok uzundur (**Şekil 4**).

Richter ölçeğine göre 8.8 büyüklüğündeki Deprem merkezinden 105 km uzakta olan Concepcion kentinde yer hareketinin uç ivmesi 0.6 g kadar ölçülmüştür. Oysa 7.2 büyüklüğündeki 12 Kasım 1999 depreminde hareket eden faydan



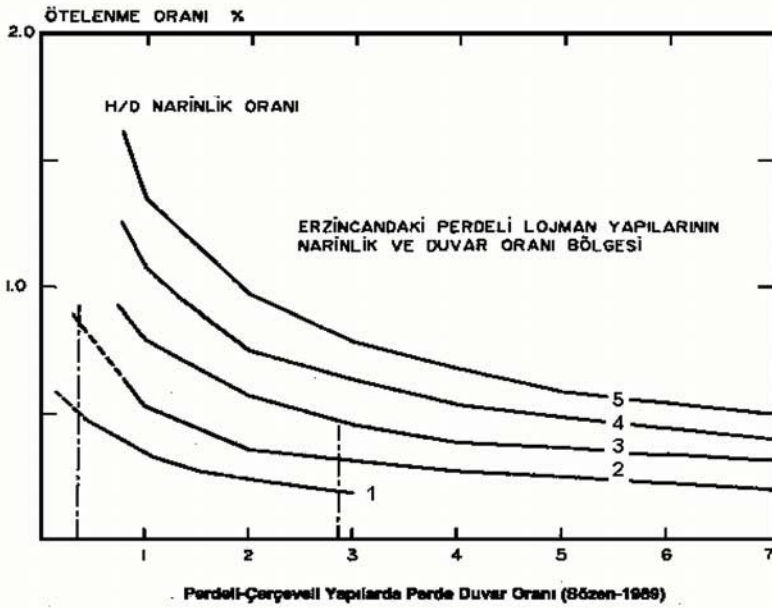
Şekil 4. 1985 Şili ve 1940 El Centro (ABD) Depremlerin kuvvetli yer hareketlerinin karşılaştırılması.

3-5 km kadar uzakta olan Düzce'de ölçülen yer hareketinin uç ivmesi 0.5 g kadardır. Şili'deki betonarme perde duvarlı yapılarda gözlenen deprem hasarında, olağanüstü büyük deprem kuvvetleri ile zorlanmış olmalarının da büyük katkısı vardır.

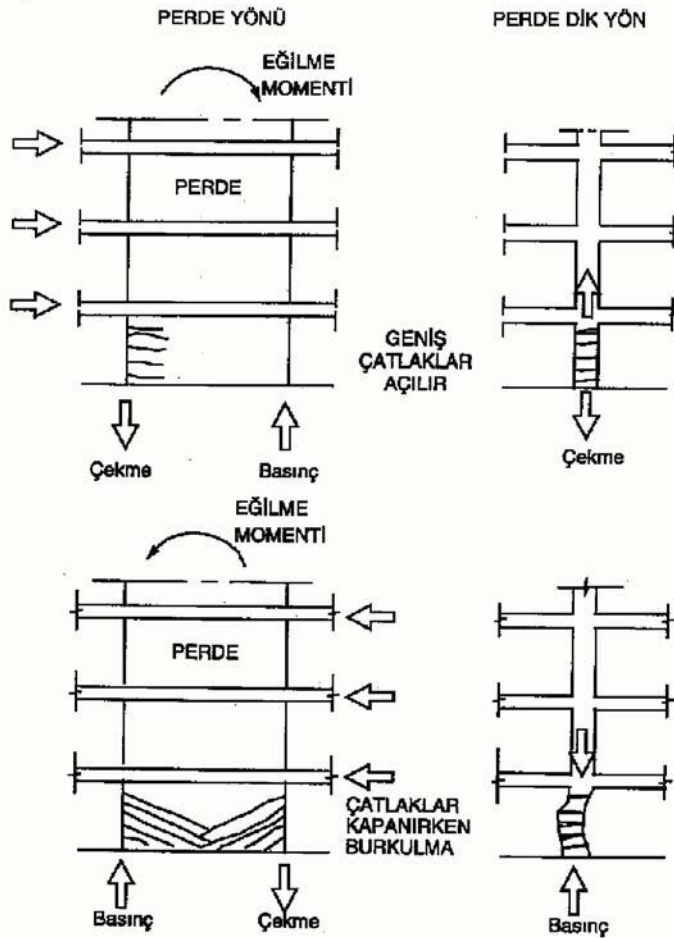
HASAR VE ALINACAK DERSLER

Şili'de 1985 depreminde gözlenen çok katlı betonarme yapı dayanım ve deprem davranışlarından Sözen (1989) tarafından aşağıdaki perde duvarı ile ilgili tasarım önerisi geliştirilmiştir. Perde duvarlı yapıların yükseklik/en ya da boy oranına bağlı olarak yatay ötelenmelerinin belli miktarda olması için gereken perde duvar alanları çıkarılmıştır (**Şekil 5**).

Şili de çok katlı yapı tasarımında Yönetmelikte kat ve kütle düzensizlikleri dikkate almamaktadır. Perde duvarların uçlarında çok iyi sarılmış uç elemanı ya da uç donatısı koşulları da yoktur. Buna karşılık deprem tasarım yükleri altında kat ötelenme oranı 0.002 h'dir. Perde duvarlı yapı için $R = 6.0$ düşünülürse izin verilen limit ötelenme oranı %1.2 gibi olup Türkiye deprem yönetmeliğine göre % 2 olan değerden daha azdır. Bu yaklaşım



Şekil 5. Çok katlı yapılar için tasarım perde duvar miktarları (Sözen 1989).



Şekil 6. İnce perde duvarlarda düzlem dışına burkulma.

daha çok perde alanı gerektiği anlamına gelmekte ve uç elemanı yapmamak daha çok perde alanı ile giderilmektedir. Daha çok perde alanı narin perdeler yapılmasına ve narin perdelerin de düzlem dışına burkulmasına neden olabilmektedir.

Perde duvarlar düzlemleri doğrultusunda çok rijit olmalarına karşılık dik yönde çok ince ve narindir. Bu durum perdelerin düzlem dışına burkulmalarına neden olabilmektedir (Şekil 6). Perde uçlarında büyük çekme ve basınç kuvveti çifti oluşturan eğilme momentlerinin yaratacağı kalıcı hasar daha sonra duvarın kısa yönde burkulmasına neden olmaktadır.

2010 ŞİLİ DEPREMİNDEN BETONARME PERDE DUVAR HASAR ÖRNEKLERİ

Şili 2010 depreminde gözlenmiş tipik perde duvar hasarı örnekleri Şekil 7, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13'de verilmektedir.

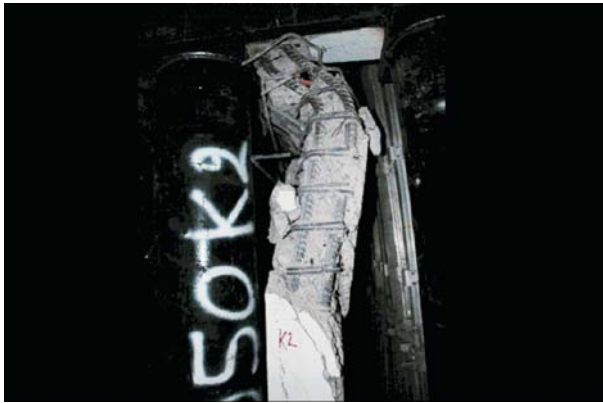
DAHA YÜKSEK DAYANIMLI PERDE DUVARLAR NASIL OLMALI?

Yapılan ilk ve genellikle gözlemsel ve niteliksel değerlendirmelere göre perde duvarlardaki hasar nedenleri ve daha yüksek dayanımlı perdeler için, bir çoğu daha öncede bilinen, gerekenler şöyle sıralanabilir:

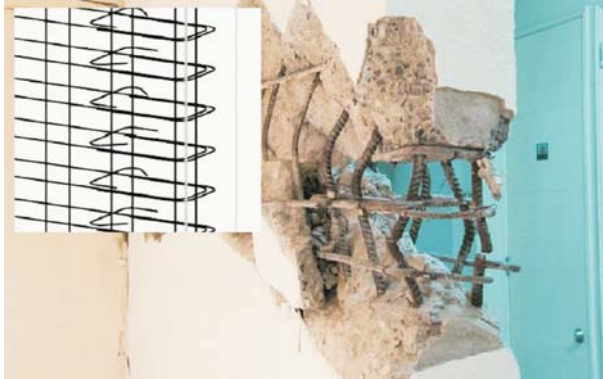
- 1- Çok katlı yapıların zemin katlarında genişliği 20 hatta 17.5 cm olan çok ince perde duvarlar yapılmıştır.
- 2- Perde duvarların uçlarında oluşan büyük çekme ve basınç kuvvetlerini taşıyacak donatılar miktar olarak azdır.
- 3- Perde uç donatıları arasındaki beton aralığı çok azdır.
- 4- Bu perde uç donatıları ayrı etriyelerle sarılmamış; perde gövde yatay donatıları perde uçlarında 90° derece bükülerek etriye gibi



Şekil 7. Betonarme perdede basınç kırılması.



Şekil 8. Betonarme perde yanal burkulma kırılması.



Şekil 9. Eğilme momentinden dolayı perde uç donatısı kopması ve donatı burkulması. Uç donatılarında sargı donatısı yerleştirme biçimi yeterli olmamış.

kullanılmak istenmiştir.

5- Uçları 90° derece bükülmüş etriyeler hep açılmıştır.

6- Projelerde perdelerin her iki yüzündeki donatıları birbirine bağlayan “çirozların” sık konulması belirtilmiş olmasına karşın uygulamada ya hiç ya da çok az “çiroz” kullanıldığı gözlenmiştir.

7- Perde uç donatılarının yaklaşık perde kalınlığı kadar



Şekil 10. Eğilme momentinden dolayı perde uç donatısı burkulması. Uç donatıları etriye ile sarılı değil gövde yatay donatılarının perde ucunda 90 derece bükülmüş olması. Boyuna donatıları yeteri kadar sarmamış.



Şekil 11. Birbirine çok yakın iki perde arasında “bağ kirişi” gibi zorlanmış döşeme kenarlarında eğilme çatlakları.



Şekil 12. Zemin katta küçültülmüş perde. Perdelerinde büyük hasara karşı yıkılmamış yapı. İleri düzeyde perde hasarı ile azalmış taşıma gücü yapı ağırlığı ve kullanım yüklerini taşımak için yeterli olduğu için tümü ile yıkılma olmamış.



Şekil 13. Çok katlı yapının yüzeye çok yakın radye temelinde dönme.

aralıkla konulmuş etriyelerle sarılması yetersiz kalmıştır. Bu bölümdeki etriyelerin 10 cm'den de daha az aralıklarla konulması gerektiği görülmektedir.

8- Zemin katlarda perde duvar kalınlıklarının en az 25 hatta 30 cm genişlikte olmalıdır.

9- Perde uç elemanı ve gövde donatılarının kat geçişlerinde yeterli bindirme boyları olmalıdır.

10- Zemin ya da bütün katlarda hiçbir şekilde perde duvar en kesitleri kısaltılmamalı. Taşıyıcı

sistemin rijitliğinde büyük değişme olmadan sürekliliği sağlanmalıdır.

11- Çok sayıda betonarme perde duvarda çok ileri düzeyde basınç, eğilmeden dolayı basınç ve çekme kırılması ve perdenin kısa yönünde yanal eğilme momenti kırılması olmasına karşın yıkılan perde duvarlı yapı sayısı 4 ve ağır hasar gördüğü için yıkılacak yapı sayısının da ön belirlemelere göre 50 kadar olduğu sanılmaktadır. Az sayıda binanın göçmüş olmasının nedeni çok ileri düzeyde hasarla birlikte

düşey yük taşıma gücü azalan perdelerin geriye kalan düşey yük taşıma güçleri yapının kendi ağırlığı ve kullanımdan kaynaklanan düşey yüklerden yine de daha büyük olmasıdır.

SONUÇ

Betonarme perde duvarlı yapıların 2010 Şili depremindeki davranışlarından öğrenilenlerin Türkiye'de tasarlanan ve inşaa edilen çok katlı yapılarda dikkate alınması hatırlatılır.

(*) PEER: Pacific Earthquake Engineering Research Center; **EERI:** Earthquake Engineering Research Institute, **LATBDC:** Los Angeles Tall Buildings Design Council.

Sözen, M. A. (1989) "Orta Yükseklikte Betonarme Yapıların Depreme Karşı Tasarımında Şili Formülü" İnşaat Mühendisleri Odası X uncu Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt-II, Sayfa 283-314.

ŞUBEMİZ TARAFINDAN 2011 YILINDA YAPILACAK ÇALIŞTAY, KONFERANS, KONGRE VE SEMPOZYUMLAR

- "İnşaat Mühendisliği Kurultayı Çalıştayı - 1" 23-24 Ekim 2010
- "9. Ulaştırma Kongresi" 16-18 Mayıs 2011: YTÜ Oditoryumu / İstanbul
- "7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı" 31 Mayıs - 3 Haziran 2011: İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi / İstanbul
- "8. Ulusal Beton Kongresi" (İzmir Şube ile ortak), Prof. Dr. Ferruh KOCATAŞKIN Anısına: 5-6-7 Ekim 2011 / İzmir
- "4. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu" 24-26 Ekim 2011 İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi / İstanbul
- "2. Yapı Denetimi Sempozyumu" 17-18 Kasım 2011, İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi / İstanbul

ÇEŞİTLİ ETKİNLİKLER

- "Çelik Yapılar : Kültür & Sürdürülebilirlik 2010 Uluslararası Sempozyum" 20 - 22 Eylül 2010: Ayrıntılı bilgi: <http://www.sscs2010.com>
- "VI. Ulusal Hidroloji Kongresi" 22-24 Eylül 2010: Pamukkale Üniv. Kongre ve Kültür Merkezi - Denizli Ayrıntılı bilgi: <http://pau.edu.tr/hidroloji>
- "ZM13 Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi" 30 Eylül - 1 Ekim 2010: İstanbul Kültür Üniversitesi Ayrıntılı bilgi: <http://zm13.iku.edu.tr>
- "Buildist Yapı Malzemeleri Fuarı" 30 Eylül - 3 Ekim 2010: İstanbul Fuar Merkezi CNR Expo Yeşilköy - İstanbul Ayrıntılı bilgi: <http://www.buildist.com.tr>
- "NDTMS - 15-18 May 2011" International Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures: Ayrıntılı bilgi: <http://www.ndtms.itu.edu.tr>