

BETONARME YAPININ DOLGU DUVARI

Nejat BAYÜLKE (*)

Betonarme yapının taşıyıcı iskeletinin boşlukları yapay bloklarla yapılan duvarla doldurulur. Bu duvar, çoğunlukla pişmiş topraktan, tuğladan, yapılır. Tuğla, tarihin en eski yapı malzemesidir. Bu arada dolgu duvarlarında pişirilmeden hidrasyon ile sertleşmiş hafif ya da normal ağırlıkta beton bloklar da kullanılmaktadır.

Tasarımda yapıya ağırlık dışında bir katkısı olmaya- cağı varsayılan dolgu duvar malzemelerinin daya- nım özellikleri üzerinde çok durulmaz. Bu duvarların ısı yalıtımı özellikleri çok daha önemlidir.

Dolgu duvarın, yapının deprem ve düşey yükler altında davranışına, rijitlik, taşıma gücü, periyot ve sönüm gibi dinamik özelliklerine önemli katkıları vardır. Bu katkıların yapı hesap ve tasarımında genellikle dikkate alınmamasının nedeni bu dolgu duvar malzemelerinin dayanımlarının çok değişken olması yanında duvar dayanımına önemli katkısı olan işçiliğinin denetlenme zorluğundan da etkilenen duvar dayanımının çok değişken ve güvenilir olmamasıdır.

Ancak betonarme yapıda dolgu duvarın yapının davranışına olumlu katkı yapacak özelliklerini tanımak ve bundan olabildiğince yararlanmak ya da en azından olumsuz etkilerinden korunmak için dolgu duvarların özelliklerini bilmek gerekir.

Yapılardaki bütün duvarlar deprem yükleri karşısında “perde duvar”dır ve bütün perde duvarlar gibi taşıma güçlerine ulaşana kadar yatay yük taşırlar. Yatay yük taşımayacağı varsayılan duvarlar da “perde duvar”dır. Betonarme çerçeveli yapılarda kolonlar arasındaki tuğla dolgu duvarların sınırlı da olsa yatay yük taşıma gücü vardır. Bu sınırın altındaki yük düzeylerinde tuğla dolgu duvar önemli rijitliği olan “perde duvar”dır [FEMA-178].

DOLGU DUVARIN ÖZELLİKLERİ

Dolgu duvarların önemli dayanım özelliği duvardaki

bloğun dayanımı ile duvarın bir bütün olarak dayanımıdır. Çünkü duvardaki tuğla ile beton bloğun dayanımı ile tuğla, harç ve işçilikten oluşan duvarın dayanımı farklıdır. Duvarın duvar düzlemi içinde yatay derzlerine dik ve paralel etkiyen yükler altında dayanımları önemlidir. Derzlere dik yönde gelen yüklere dayanım duvarın “basınç” dayanımı, yatay yönde gelen yüklere dayanım “kesme” dayanımıdır. Deprem yükleri açısından duvarın kesme dayanımı önemlidir.

DUVARIN KESME DAYANIMI

Dolgu duvarın perde duvar olarak nitelenmesi kesme kuvveti taşımasının beklendiğini gösterir. Duvarın kesme dayanımı ne kadardır? Bu dayanım duvarın basınç dayanımına bağlı olarak verilebilir.

Duvarın basınç dayanımı ise duvardaki blok, harç dayanımı ve derzlere konulan harç kalınlığı ve yatay ve düşey derzlere harç konulmasına bağlıdır.

Yığma yapılarda kullanılan değişik duvar bloklarının basınç dayanım özellikleri ile ilgili bilgiler YİĞMA YAPILAR [Bayülke-1992] adlı kaynaktan sağlanabilir. Genellikle duvar basınç dayanımı tuğla ya da blok basınç dayanımının % 25-50’si kadardır. Düşük basınç dayanımlı tuğladan yapılmış duvarın basınç dayanımı duvar bloğunun basınç dayanımının %50’si, yüksek basınç dayanımlı tuğla ya da bloktan yapılmış duvarda ise duvar dayanımı bloğunun basınç dayanımının % 25’i kadardır (Bayülke-1992). Temel ilke yüksek dayanımlı tuğla ile yüksek dayanımlı harç kullanmaktır. Yüksek dayanımlı harç ile düşük dayanımlı tuğla kullanmanın duvar dayanımına katkısı sınırlıdır.

Deprem açısından tuğla ya da beton blok duvarın kesme dayanımı, tuğlalar arasındaki yatay derzlere gelen kuvvetler altındaki kesme dayanımı, önemlidir. Çünkü kırılma biçimleri duvardaki yatay derzlere paralel düzlem içinde etkiyen kuvvet altında kesme kırılmasıdır.

Duvarın yatay derzlere paralel doğrultuda etkiyen

(*) İnşaat Yüksek Mühendisi

kuvvetlere karşı duvarın kesme dayanımı ilk anda duvar malzemesi ile harç arasındaki yapışmaya, aderansa bağlıdır. Tuğla ile harç arasındaki yapışma, tuğlanın su emme özelliklerine bağlıdır. Tuğlanın çok su emmesi harcın yeteri kadar sertleşmesine engel olabilir. İçinde kireç olan harçlarda su kaybı daha az dayanım kazanımı ve sertleşme daha yavaştır. Kireçli harç daha plastik olduğu için iki tuğla arasındaki boşlukları daha iyi doldurup tuğla ile harç arasında daha büyük bir yapışma arayüzeyi sağlar.

Duvar çatlayınca tuğla ile harç arasındaki yapışma (aderans) yok olur, duvarın kesme dayanımı bu çatlak ara yüzeyindeki tuğlalar ya da bloklarla harç arasındaki sürtünme kuvveti ile oluşur ve çatlak genişleyip duvar blokları birbiri üzerinde kaydıkça sürtünme alanı azalacağı için sürtünmeye bağlı kesme dayanımı da giderek azalır. Duvardaki düşey yük büyük ise sürtünmeye bağlı kesme dayanımı daha yüksektir.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi'ndeki sarsma tablasında değişik özellikte malzemeden yapılmış deney yapılarının duvarlarında ölçülmüş en büyük "nominal" kesme gerilmeleri aşağıdaki Tablo-1'de verilmektedir (Bayülke ve Diğerleri-Nisan 2003).

Duvarın kesme dayanımı kullanılan malzemenin ve

harcın dayanımına bağlıdır. Kullanılan tuğlanın yada bloğun düşey delik oranı ve basınç dayanımına ve harcın dayanımına ve duvar işçiliğine bağlı olarak tuğla dolgu duvarlarında 0.75 ile 3.00 kg/cm² arasında değişen kesme dayanımları gerçekleştirilir. Pratik olarak betonarme çerçeveli yapıların dolgu duvarlarının nominal kesme dayanımlarının 1.0 ile 2.0 kg/cm² arasında olduğu kabul edilebilir. 3.50 m açıklığında ve 0.20 m genişliğinde bir dolgu duvarın düzlemine paralel olarak taşıyabileceği kesme kuvveti 350 cm x 20 cm x 1.0 kg/cm² = 7 000 kg kadardır.

Betonarme yapıların dolgu duvarlarında kullanılan değişik malzemelerin dayanım özellikleri aşağıdaki gibidir:

Yatay Delikli Dolgu Tuğlası

Yatay delikli dolgu tuğlalarının basınç dayanımı düşüktür. Bunun bir nedeni boşluk oranlarının büyük olması, diğeri ise boşlukların doğrultusuna dik yönde yüklenmeleridir. Ancak duvara yerleştirme biçimi nedeni ile ara yüzeylerin tümü harçla doldurulabilir. Düşey derzlere genellikle harç konulmamaktadır. Yük taşımadığı kabulü nedeni ile genellikle çok az harç kullanılarak yapılmakta ve çoğu zaman basınç dayanımı çok düşük olan yatay delikli tuğla ve harç kullanılmaktadır. Yapının düşey ve yatay deprem yüklere karşı dayanımına katkısı çok sınırlı bir dolgu duvar malzemesidir.

Dolu Harman Tuğlası

Harman tuğlası dolu olduğu için iki tuğla arasındaki tüm yüzeye harç konulabilir. Tuğlanın bütün alt ve üst yüzü harç ile yapışır. Tuğlalar arasındaki düşey derze de harç konulur. Harman tuğlasının çok önemli bir özelliği üst yüzündeki "harç cebi"dir. İki tuğla arasındaki bu çukurluğa giren harç bir "kesme takozu" oluşturur. Tuğladaki cepteki harç da duvarın kesme dayanımını önemli miktarda artırır. Bu malzeme ile yapılmış dolgu duvarın yatay yüke dayanımı ve rijitliğe katkısı yüksektir. Ancak küçük boyutlu olması duvar işçiliğini artırmaktadır. Fabrika tuğlalarının yaygın biçimde piyasada bulunması nedeni ile artık betonarme yapılarda hemen hiç kullanılmamaktadır.

Boşluksuz olması nedeni ile birim ağırlığı daha büyük olan harman tuğlasından yapılmış duvarların yapının ağırlığına katkısı daha büyüktür.

Deliksiz harman tuğlası ile yapılmış yığma yapıların 1995 Dinar depreminde az hasar gördükleri, üstlerine sonradan çok delikli blok tuğla ile yapılmış katlar yıkılırken ayakta kaldıkları gözlenmiştir.

Hafif Beton Briket, Cüruf Briket

Bu malzemelerden yapılmış duvar blokları genellikle boşlukludur. Blokların basınç dayanımları hem

Tablo 1 - Duvar Deneylerinden Hesaplanmış Nominal Kesme Dayanımları

Malzeme Cinsi	Duvar Nominal Kesme Dayanımı kg/cm ²	Duvar Nominal Kesme Dayanımı / Harç Çekme Dayanımı Oranı
Düşey delikli tuğla delik oranı %50	1.11	0.182
Düşey delikli tuğla delik oranı %60	0.74	0.067
Düşey delikli tuğla delik oranı %50	1.36	0.314
Düşey delikli tuğla delik oranı %35	2.82	0.094
Harçla dolu geçmeli boşluklu briket (AUBE)	2.41	0.595
Ponzalı Bimsbeton blok	1.78	0.198
Gazbeton blok 1 (2 katlı)	1.24	0.065
Gazbeton blok 2 (tek katlı)	2.13	0.112
Boş geçmeli boşluklu briket (AUBE) (harçsız)	1.211	-
Şekillendirilmiş gazbeton blok (harçsız)	0.68	-

yapıldıkları agregaların gözenekli ve düşük yoğunluklu hem de blokların boşluklu olması nedeni ile çok düşüktür. Çoğu zaman 15-25 kg/cm² arasındadır. Bu malzemeler ile yapılmış duvarların dayanımı ve rijitliğe katkısı sınırlıdır. Malzemenin hafif olması yapının ağırlığına olumlu bir katkıdır. Düşük dayanımlı olmaları hafif ve orta şiddetli depremlerde hasar görüp yıkılmalarına ve önemli boyutta onarım masrafı çıkmasına neden olabilir.

Hava Boşluklu Hafif Beton Blok (Gazbeton)

Bu malzemenin de hafif olması duvarların yapının ağırlığına katkısını sınırlayacağı için yapıya gelen deprem kuvvetinin azalması açısından olumludur. Bu malzemeden blokları bağlamak için yüksek dayanımlı özel harç kullanılmaktadır. Ancak malzeme bir birine yapıştıran harç iki blok arasındaki yüzeylere, yatay ve düşey derzler tam olarak sürülmemiş ise duvarın kesme dayanımı yüksek dayanımlı harca karşın sınırlı olmaktadır.

DUVARIN YAPI İÇİNDEKİ DURUMU

Dolgu duvarlar yapının betonarme iskeleti içindeki hacimleri ayırmakta ve yapının dış kabuğunu oluşturmaktadır. Bu nedenle dolgu duvarlar çoğunlukla betonarme çerçevenin açıklıklarını doldurmakta ve betonarme kolonlar ve kirişler tarafından kuşatılmış bir düzlem oluşturmaktadır. Ancak bazı durumlarda betonarme çerçeve dışında da bölme duvarı olarak da yapılmaktadır. Bundan başka çerçeveyi tam doldurmayan, ya da çerçeve dışında ise tavana kadar ulaşmayan yığma duvarlarda yapılmaktadır.

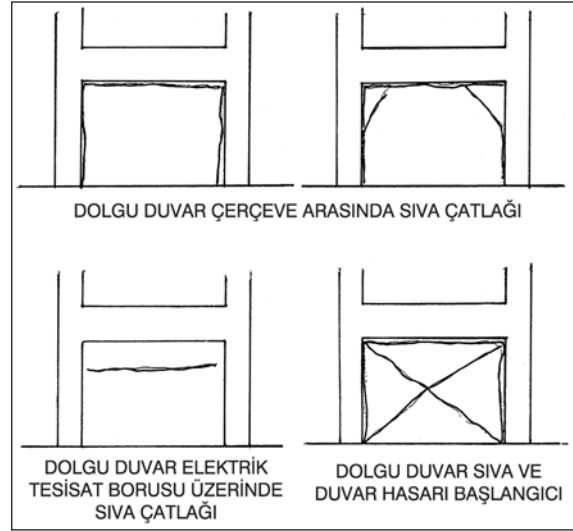
Dış cephe ve iç bölme duvarlarının içindeki kapı ve pencere kasalarının duvarların dayanımını artırıcı katkısı vardır.

Yapı bir deprem sırasındaki salınım yaparken duyulan çıtırtı ve gacırtı biçimindeki sesler, yapıdaki taşıyıcı olan ya da olmayan elemanlar arasındaki, dolgu duvarları ile kiriş ve kolon arasında, ya da dolgu duvarlardaki çatlaklar arasındaki sürtünmenin sonucudur.

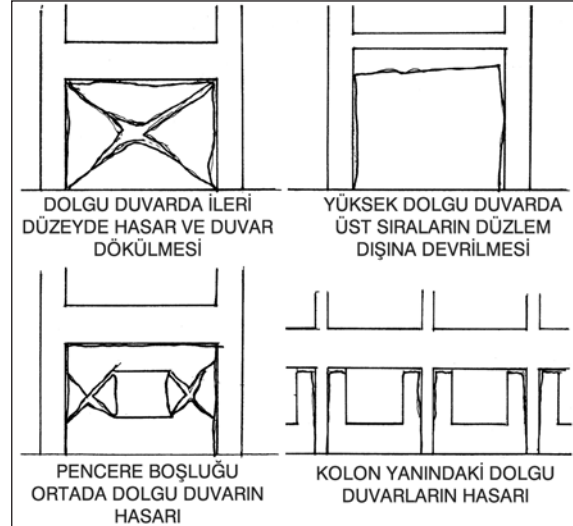
BETONARME ÇERÇEVE DÜZLEMİ İÇİNDEKİ DOLGU DUVARIN DAVRANIŞI

Betonarme çerçeve içindeki duvarlar genellikle çerçeve tarafından korunur. Aynı zamanda çerçevenin hareketini kısıtlayıp yatay yük taşırlar. Bu tür duvarların hasar aşamaları, çatlak biçimleri, Şekil-1 ve Şekil-2'de verilmektedir.

Önce dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrışma ile başlayan hasar daha sonra daha yüksek deprem yatay yük düzeylerinde X-biçimine kesme çatlakları ile ilerlemektedir (Şekil-1).



Şekil 1 - Çerçeve İçindeki Dolgu Duvar Hasar Biçimleri



Şekil 2 - Çerçeve İçindeki Dolgu Duvar Hasar Biçimleri

Daha da yüksek yatay yük düzeylerinde X-çatlakları çok genişlemekte ve duvardan kırılmış ve çevresi tümü ile çatlamış tuğla ve duvar parçaları dökülmektedir (Şekil-2). Daha ileri hasar aşamalarında, betonarme çerçevede büyük ötelenmeler ve kolon alt ve üst uçlarında mafsallaşma olduğu durumlarda ise dolgu duvar tümü ile dökülmektedir (Resim-1).

Duvar hasar düzeyi yapının depremde yaptığı kat ötelenme oranına da bağlıdır. Betonarme kolonların elastik ötelenme oran sınırı 1/100, kat yüksekliğinin 1/100'ü kadar, alınabilir. Bu yaklaşık olarak 2.5-3.5 cm kadardır. Oysa tuğla dolgu duvar 1 mm kadar ötelenildiği zaman çatlamaktadır. Kiriş altına kadar uzanan duvarın yüksekliği 200 cm alınırsa 1/2000 gibi ötelenme oranında tuğla duvar çatlamaktadır. Tuğla duvarın çatlak genişliği duvar yük-



Resim 1 - Dolgu Duvarı Tümü ile Yıkılmış Çerçeve Açıklığı (1 Ekim 1995 Dinar Depremi)

sekiğine bölündüğü zaman depremde olmuş kat ötelenme oranı bulunabilir. Tuğla duvarda 1.0 cm'yi aşan, 1/200 gibi bir ötelenme oranında, çatlaklar duvarda ağır hasar başlangıcı olarak kabul edilebilir. Bu ötelenme miktarı ise betonarme kolonun 1/300 gibi bir miktarda ve elastik bölge içinde kalan bir ötelenme oranıdır. Çünkü betonarme kolonun 2.5-3.0 cm gibi elastik ötelenme miktarı yanında duvarda hasar yaratan 1.0-1.5 cm ötelenme kolonda hasar yapmayacaktır.

Duvar dolgu malzemesinin basınç dayanımı çok düşük ise X-biçimindeki çatlak yerine yatay kesme çatlağı oluşması 1998 Adana-Ceyhan depreminde gözlenmiştir (Resim-2). Bölgede kullanılan boşluklu ve düşük dayanımlı beton briketlerin çok ince olan dış kabuklarının depremde tümü ile kırıldığı ya da duvarlarda yatay kesme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir (Resim-2) ve (Resim-3).

Betonarme çerçevenin dayanımının yetersiz olması dolgu duvarın yapının davranışına olan katkısını değiştirmektedir. Betonarme kolonların düşük basınç dayanımlı ve yetersiz etriyeli olması, kolonun salınım yapamadan kesmeden kırılarak düşey yükünü taşıyamayıp çökmesine neden olmaktadır. Yapının zemin katındaki dolgu duvarları bir noktaya kadar yapının tümü ile göçmesine engel olabilmektedir. Resim-4'de 1998 Ceyhan depreminde



Resim 2 - Düşük Dayanımlı Briket Dolgu Duvarı Hasarı (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)



Resim 3 - Düşük Dayanımlı Briket Dolgu Duvarı Hasarı (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)

zemin katında dolgu duvarı olan bölümü yıkılmamış, dolgu duvarsız tarafı yıkılmış yapı görülmektedir. Briket dolgu duvarı kolonda kesme kırılması olduktan sonra düşey yük taşımaya da katılabilmektedir. Resim-5'deki dolgu duvar kolonunun hasarından sonra düşey yük taşımaya başlamıştır: duvarın üst sırasındaki briket düşey yük altında çatlamış ve yerinden oynamıştır.

Dolgu duvar yük taşıma gücü sınırlı olduğu için küçük depremlerde çatlar ve yapının rijitlik ve dayanımına katkısı azalır. Buna karşılık duvarda oluşan çatlak ara yüzeylerinde yapının salınımı ile büyüyen



Resim 4 - Zemin Katında Dolgu Duvarsız Bölümü Yıkılan Duvarlı Bölümü Yıkılmayan Yapı (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)



Resim 5 - Kolon Kesme Kırılmasından Sonra Düşey Yük Taşıyan Briket Dolgu Duvarı (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)



Resim 6 - Orta Açıklıktaki Yüksek Dolgu Duvarını Düzlem Dışına Devrilmesi, Ara Kirişli Duvar Devrilmemiş (6 Eylül 1975 Lice Depremi)

sürtünme yapının sönümünü artırır. Sönüm artışı yapıya gelen deprem kuvvetini azaltır.

Yüksek çerçeveler içindeki duvarın, çerçeve boşluğu 2.50-3.00 metreden büyük ise, yük taşıma ve rijitliğe katkısı azalır. Yüksek çerçeve içindeki dolgu duvarın çerçeve düzlemi dışına devrilme tehlikesi de başlar. (Resim-6 1975 Lice Depremi). Rijitliğe ve yük taşımaya katkısı artırmak ve duvarın düzlem dışına devrilmesini önlemek için 3.0 metre ve daha yüksek dolgu duvarın ortasına ara hatıl yapılması deprem yönetmeliğinin bir gereğidir.

DÖŞEMEYE OTURAN VE BETONARME ÇERÇEVE DÜZLEMİ DIŞINDAKİ DUVARIN DAVRANIŞI

Döşemeye oturan ve hiçbir yere bağlı olmayan ve tavana kadar da uzanmayan tuğla bölme duvarların yapıya yalnızca bir ağırlık katkısı vardır. Bu tür duvarların düzlemleri dışına devrilme eğilimi çok yüksektir. (Resim-7 1975 Lice ve Resim-8 2003 Bingöl Depremlerinden). Yaklaşık otuz yıl ara ile yapılmış bu iki yapı da yatılı bölge okulunda yatakhane binasıdır. Her iki yapıda da en üst katlardaki yatakhanelerde bölmeler oluşturmak amacı ile yapılmış ve tavana kadar uzanmayan bölme duvarlar vardır. Her ikisinde de sonuç aynıdır. Tavana kadar ulaşmayan dolgu duvarının depremde devrileceği ve deprem açısından sakıncası olduğu ve duvarın devrilmeye karşı korunması gereği mimari tasarımcılarca bilinmediği ve öğrenilmediği anlaşılmaktadır. Şekil-3'de düzlemleri dışına devrilme olasılığı yüksek duvarlardan örnekler verilmektedir

Dış cephelerde konsol çıkmalara oturan duvarlar da bir betonarme çerçeve içinde değildir. Bu duvarlar iç duvarlara göre çok daha kolay düzlemleri



Resim 7 - Döşemeye Oturan ve Çerçeve İçinde Olmayan Bölme Duvarın Yıkılması (6 Eylül 1975 Lice Depremi)



Resim 8 - Döşemeye Oturan ve Çerçeve İçinde Olmayan Bölme Duvarın Yıkılması (1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi)

dışına devrilmekte ya da “perde duvar” niteliğinde görünüp depremin başında taşıyabileceği en büyük yük alıp çatlamakta ve yıkılmaktadır.

Betonarme çerçevenin içini tam doldurmayan duvarlar kendi düzlemlerinde yana kayabilir (Şekil-4).

Betonarme çerçeve düzleminin dışındaki duvarlar bir “perde duvar” gibi kesme etkisi ile kırılabilirler (Şekil-5 ve Resim-9).

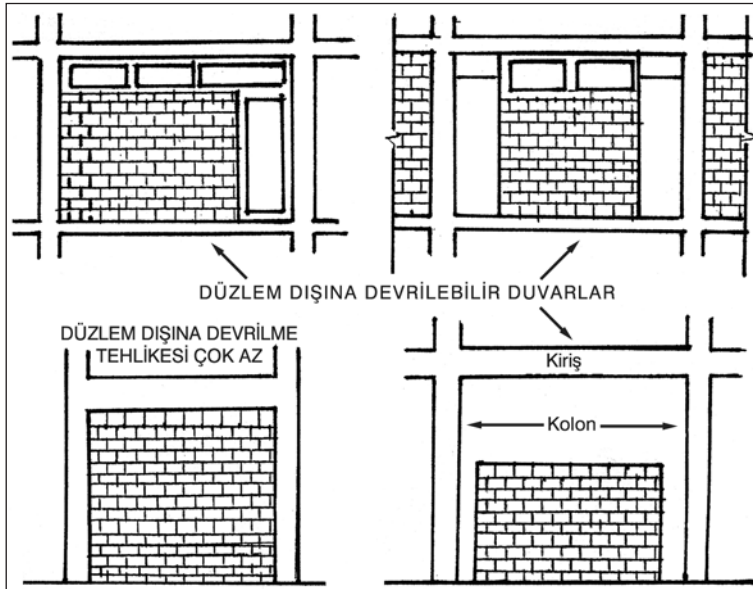
Yüksek kalkan duvarlar da düzlemleri dışına devrilir (Resim-10)

SANDVIÇ DUVAR DAVRANIŞI

Isı kayıplarının azaltılması için 1983 yılında kabul edilmiş ısı yalıtımı yönetmeliği gereği pek çok yapının dış duvarları arasında yalıtım maddesi olan çift katlı sandviç duvar olarak yapılmaktadır. İç ve dış taraftaki duvarlar arasında bir bağlantı yoksa genellikle daha ince, 1 / 2 tuğla ya da 8.5 cm kalınlığında olan dış taraftaki tuğla duvarın yıkıldığı ilk kez 1992 Erzincan depreminde ve daha başka depremlerde de gözlenmiştir. (Resim-11, 1992 Erzincan Depremi ve Resim-12, 17 Ağustos 1999 Depremi).

DUVARLARIN YAPININ DAVRANIŞINA ETKİSİ

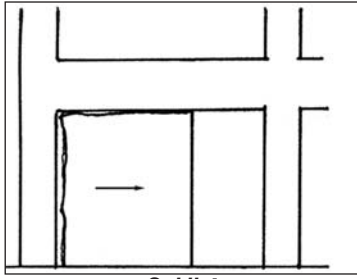
Bölme duvarı yapının davranışına iki biçimde katılmaktadır. Bunlardan biri yapının kütlesine katkıdır. Duvarın birim ağırlığı ve duvarların kalınlığı ve içinde duvar olan çerçevelerin sayısı yapının kütlesine katkı olmaktadır. İkinci katkı ise dolgu duvarın rijitliğe katkısıdır. Duvar kalınlığının, dolgu duvar yüksekliğinin, doldurulmuş çerçeve açıklıklarının miktarının ve duvar malzemesinin elastisite modülünün yapının rijitliğine etkisi vardır.



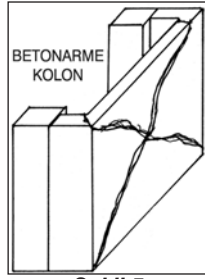
Şekil 3 - Düzlem Dışına Devrilme Olasılığı Yüksek Bölme Duvarlar

RIJİTLİĞE KATKI

Dolgu duvarlar çatlamadan önce rijit elemanlardır. Yapının titreşim periyodunu küçültürler. Ancak deprem kuvvetlerinin büyümesi ile çatlayıp hasar gördükçe rijitliğe katkıları azdır. Bu durum dolgu duvarsız ve bitmiş durumlarda periyodu ölçülmüş yapıların periyotlarında olan değişimlerden gözlenmektedir. Dolgu duvarların deprem başlangıcında çok rijit olmasının bir sonucu, eğer planda simetrik olarak yapılmamışlarsa yapının kütle ve rijitlik merkezi arasında bir farklılık olmasına neden olurlar ve yapıda burulma etkileri ortaya çıkabilir.



Şekil 4



Şekil 5

Şekil 4 - Çerçevenin Tam Sınırlamadığı Duvarın Yana Kayması

Şekil 5 - Çerçevenin Dışındaki Duvarda Hasar



Resim 9 - Betonarme Çerçeve Dışındaki Duvarlar Perde Duvar Gibi Davranır; Duvarda Kesme ve Burulma Kırılması Olur (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)



Resim 11 - Sandviç Duvarda Bağlanmamış İç ve Dış Duvarlar Düzlem Dışına Devrilebilir (13 Mart 1992 Erzincan Depremi)



Resim 12 - Sandviç Duvarda Bağlanmamış İç ve Dış Duvarlar Düzlem Dışına Devrilebilir (17 Ağustos 1999 Adapazarı Depremi)



Resim 10 - Yüksek Kalkan Duvarların Hasarı ve Düzlem Dışına Devrilmesi (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi)

SÖNÜME KATKI

Dolgu duvarlar ile çerçevenin kolon ve kirişlerle olan ara yüzeylerindeki hareket, yapıya sönüm sağlamaktadır. Dolgu duvarla çerçevenin ayrışması, dolgu duvar içinde olan çatlaklar yapının sönümünü daha da artırır. Bu ara yüzeyler arasındaki hareketin sonucu oluşan sürtünme kuvvetleri önemli miktarda deprem enerjisi tüketir.

YAPININ TİTREŞİM PERİYODUNA KATKI

Salt çerçeve yapılarında dolgu duvarı yapıldıktan sonra titreşim monitörü ile periyodu ölçülmüş yapılarda titreşim periyotlarında büyük değişimler gözlenmiştir [Bayülke-1989]. (Şekil-6). Periyot değişimleri çok düşük yatay yük ya da çok düşük genlikli titreşimlerde gözlenmiştir. Bu yapıların bitmiş durumdaki, dolgu duvar ve sıvaları yapılmış durumda, titreşim periyotları çıplak çerçeve durumundaki periyotlarının % 50 - 70'i kadardır. Dolgu duvarlar yapıların çıplak çerçeve konumundaki rijitliğini 2-4 kat artırabilmektedir. Duvarın rijitliğe katkısı aslında daha büyüktür. Çünkü dolgu duvarlar yapının ağırlığını da artırırlar. Ağırlık artışı yapı periyodunu artırmaktadır. Ancak rijitlikte olan artışın neden olacağı periyot azalmasının küçük bir bölümü ağırlık artırımının getireceği daha sınırlı periyot artışını fazlası ile karşılamaktadır.

Gözlenen bu davranış değişikliği "düşük" bir yatay yük düzeyinde olmuştur. Gerçek bir depremde ise yapıya etkiyen yatay yük çok daha büyüktür. Büyük

yatay yüklerin olduğu depremlerde dolgu duvarların yapının rijitlik ve periyot üzerindeki katkısı giderek azalmaktadır.

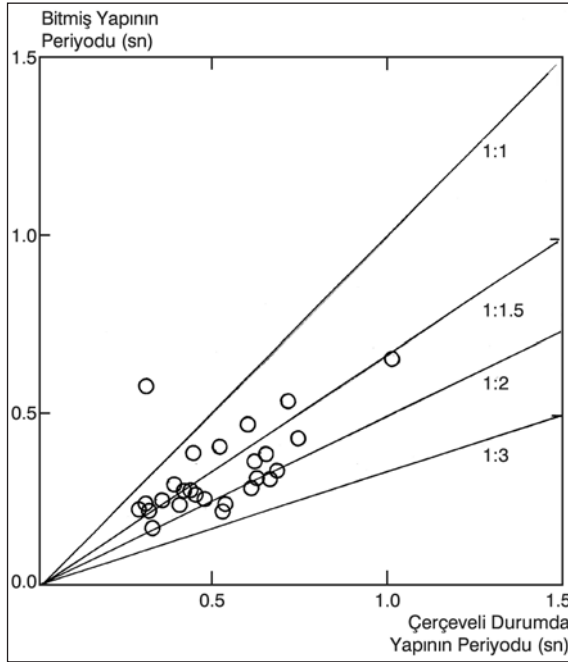
1971 San Fernando depreminden etkilenen 15 katlı betonarme kabuk ile örtülü çelik çerçeveli bir yapıda (Chopra-1981) her iki asal yönde çevrel titreşimlerden ölçülen periyotlar 1.32 ve 1.88 saniye; deprem sırasında yapıda ölçülen ivme kaydından hesaplanan periyotlar sırası ile 2.84 ve 2.77 saniye; depremden sonra çevrel titreşimlerden ölçülen periyot 2.10 ve 2.15 saniye; ve yalnızca çerçevelerin rijitliği dikkate alınarak hesaplanmış periyotlar ise 3.31 ve 3.19 saniyedir.

Hesaplanan ve ölçülmüş periyotlar arasındaki bu farklılıklar taşıyıcı olmayan bölme duvarların davranışa katkısını kanıtlamaktadır. Deprem şiddetli ise taşıyıcı olmayan elemanların katkısı giderek azalmaktadır. Periyot ölçümlerinin yapıldığı bu binanın tabanında 1971 San Fernando depreminde ölçülen ivme 0.10-0.14 g ($g=981 \text{ cm/sn}^2$) kadardır. Yapının çatısında ölçülen ivme ise 0.18 ve 0.19 g olmuştur. Yapıya bu depremde gelen yükler tasarım yüklerinin biraz üzerinde yüklerdir.

Şiddetli depremlerde salınımları ölçülmüş yapıların periyotları ile analitik yöntemlerle hesaplanmış periyotları arasında önemli farklar vardır. Periyot hesaplarında dolgu duvarların katkısı dikkate alınmadan bulunan periyotlar yapıda alınmış deprem kuvvetli hareket kayıtlarından hesaplanmış periyotlara göre daha uzundur. Buna karşılık dolgu duvarların rijitliğe olan katkısı da dikkate alınmış periyotlar ile depremde ölçülmüş periyotlar birbirine daha yakındır. Deprem kuvvetlerinin genliğinin büyümesi ve dolgu duvarda çatlak oluşması ile birlikte yapıların titreşim periyotları uzamakta ve yapının salt taşıyıcı çerçeve sistemi dikkate alınarak hesaplanmış periyoduna yaklaşmaktadır.

Dolgu duvarların varlığı bir depremin başında, daha doğrusu düşük yatay yük düzeylerinde, yapının periyodunu kısaltır. Deprem sonucu duvarların çatlayıp hasarın başlaması ve giderek artması ile yapının periyodu uzamakta ve yalnızca taşıyıcı sistem dikkate alınarak bulunmuş periyoduna yaklaşmaktadır. Bir diğer deyişle dolgu duvarın yapının titreşim periyoduna katkısı azalmaktadır. Deprem sırasında yapı periyodundaki değişimler de yapıya gelen deprem yükünün düzeyini değiştirmektedir.

"Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" Madde 6.7.4.4'de Ampirik denklemle hesaplanmış 1nci mod periyodu (T_{A1}) 1.00 sn' den büyük olan yapıların deprem tasarımında dolgu duvarın katkısı dikkate alınmadan analitik yöntemlerle hesaplanmış periyodun (T_1) ampirik denklemle hesaplanmış periyottan (T_{A1}) en çok %30 fazla ola-



Şekil 6 - Betonarme Çerçeve Yapılarda Dolgu Duvarın Yapının 1. Mod Titreşim Periyoduna Etkisi

bileceği kabul edilmektedir: $T_1 \leq 1.30 T_{A1}$.

Bu yaklaşım ile bir depremin başında, duvarların daha hasar görüp rijitliğe ve yük taşımaya katkısı azalmadan, tümü ile ortadan kalkmadan, yapının hesap periyodunun gerçek periyodundan %30 kadar daha büyük alınmasına izin verilmektedir. Bu durum yönetmelikteki hesap spektrumuna göre yapının deprem hesap kuvvetinin daha küçük alınmasına yol açmaktadır.

Depremin başında daha hasar oluşmadan yapının periyodu çok daha kısadır. Hesap yükünün daha büyük alınmasının daha gerçeğe yakın olacağı sanılmaktadır.

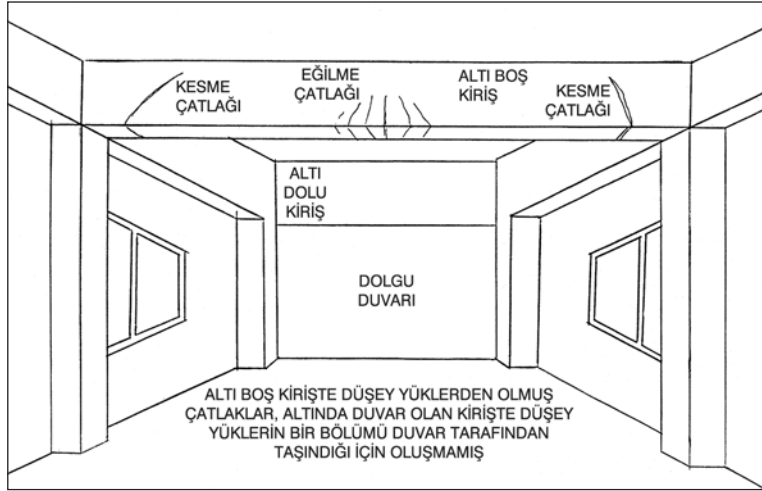
Tartışılması gereken yapının deprem hesabında yapının hangi durumundaki periyoduna göre tasarım kuvvetlerinin seçilmesidir: Yapı, hafif şiddetli bir depremde ya da şiddetli bir depremin başında, deprem hareketinin çok şiddetli olduğu anlarda, deprem hareketinin sonuna doğru ve bir sonraki depremin başında farklı titreşim periyotlarında salınım yapmaktadır. Tasarımda hesap spektrumundan yatay yük seçilirken yapının dolgu duvarsız ya da dolgu duvarlı periyodu mu kullanılmalıdır? Ampirik periyot denklemleri bir anlamda ortalama bir dolgu duvar katkısı içermektedir.

YÜK TAŞIMAYA KATKI

Bazı yapıların deprem hasarı, dolgu duvarların dayanıma katıldığını göstermektedir. Dolgu duvarlı ve duvarsız çerçevelerin yatay yükler altında davranışlarını belirleme deneylerinde dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yüklere karşı dayanımlarının dolgu duvarsız çerçeveler göre en az iki kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak dolgu duvar malzemesinin çok boşluklu ve düşük dayanımlı tuğla ve beton briketten olduğu durumlarda dolgulu çerçevenin dayanım artışı, yatay yük taşımaya katkısı, dolgu duvarsız çerçeveye göre en çok %40 kadar daha fazla olmaktadır [Vintzeleou-1989]. Dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden çıkarılmış bu katkı miktarı yapının gerçek depremdeki davranışında deprem enerjisi tüketiminde kullanılmaktadır.

DÜŞEY YÜK TAŞIMAYA KATKI

Altında dolgu ya da bölme duvarı olmayan kirişlerin daha çok sehim yaptığı bilinmekte ve gözlenmektedir. Bazı yapılarda altında dolgu duvarı olmayan



Şekil 7 - Altında Dolgu Duvar Olan ve Olmayan Kirişlerdeki Çatlaklar
(Haziran 2000 Orta-Çankırı Depremi)

kirişlerin açıklık ortalarında ya eğilme momenti ya da mesnetlerine yakın bölgelerinde kesme çatlakları ya da her iki tür çatlağın birlikte olduğu gözlenir. Oysa aynı boyutta ve açıklıkta fakat altında dolgu duvar olan kirişlerde bu çatlaklar yoktur. (Şekil-7, Çankırı'da Okul Sınıfı, 2000 Orta Depremi). Bu fark kirişin düşey yükünü altındaki duvara aktarması sonucudur.

Benzer bir durum bir kirişin altındaki dolgu duvarının kaldırılması ile oluşur. Altındaki dolgu duvar kaldırılınca kirişinin sehimi artar. Bir üst katta altı boşalan bu kirişin üzerindeki dolgu duvarda, kirişin sehiminin artması nedeni ile, alt tarafında yatay çatlaklar olabilir.

Bütün bu belirtiler dolgu duvarların kirişlerin düşey yüklerini taşımaya katkısının olduğunu gösterir.

DEPREM YÜKÜ TAŞIMAYA KATKI

Dolgu duvarlarla ilgili bir gözlemle konuya girilebilir:

“Yapılardaki bütün duvarlar perde duvarlardır. Perde duvarlar yatay yük taşıyan yapı elemanlarıdır. Hepsisi taşıma güçlerine ulaşana kadar yatay yük taşırlar. Yatay yük taşımayacağı varsayılan duvarlar da “perde duvar”dır. Betonarme çerçeveli yapılarda kolonlar arasındaki tuğla dolgu duvarların sınırlı da olsa yatay yük taşıma gücü vardır. Bu sınırın altındaki yük düzeylerinde tuğla dolgu duvar önemli rijitliği olan “perde duvar”dır [FEMA-178]”.

Bu yaklaşım gereği tuğla dolgu duvarlar yatay yük taşırlar. Şiddetli bir depremin başlarında ya da hafif şiddetli depremlerde, deprem yüklerinin küçük olduğu zamanlarda tuğla dolgu duvarlar yatay yük taşırlar ancak duvar hasar gördükçe bu katkı gidecek azalır.

Dolgu duvarlar deprem hasarı nedeni ile düşey yük taşıyamayan kolon ve kirişlerin düşey yüklerinden de pay alabilirler (Resim-4 ve Resim-5, Ceyhan 1998 depremi).

Dolgu duvarların deprem ve düşey yükleri taşımaya katkısı hesaplarda dikkate alınmaz. Bunun nedenlerinden bazıları katkının önceden kestirilememesi ve sayısal olarak tanımlanamamasıdır. Bu katkı bir deprem sırasında yapının hasarını azaltır. Daha da önemli olarak yapının yıkılmasını ve can kaybını önleyebilir.

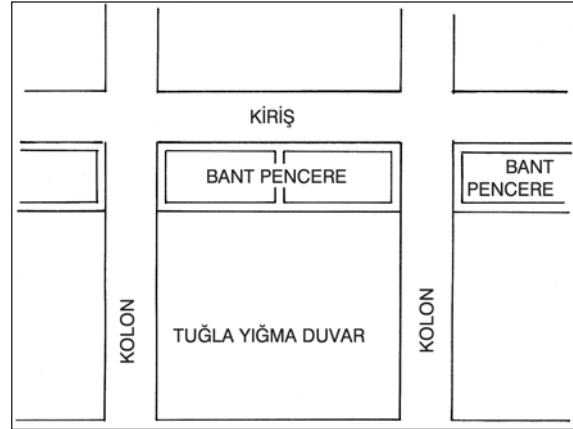
DAVRANIŞA KATKI

Kısa Kolon Davranışı

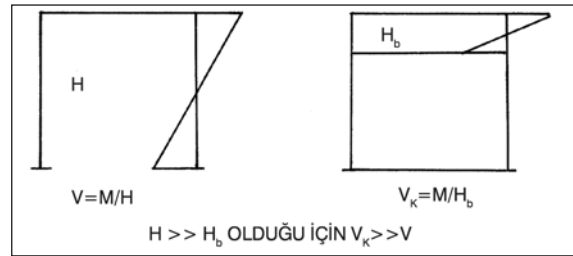
Yapıların bodrum katlarına ve iç koridorlarına ışık gelmesi için kolonların üst başlarında bant pencere yapılması ile kolonların boyları kısaltılmakta, rijitleşen kolonların payına daha büyük kesme kuvvetler düşmekte, kolon boyunun kısalması ile moment kırılması için gereken kesme kuvvetleri büyümekte ve eğilme kırılması olmadan kesme kırılmasını önlemek için sağlanmış kesme dayanımı aşıldığı için eğilme kırılmasından önce kesme kırılması olmaktadır. (Resim-13).



Resim 13 - Kısa Kolon Kırılması
(22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi)



Şekil 8a - İki Yanında Bant Pencere Olan Kolon



Şekil 8b - Kolon Boyunun Kısalması Sonucu Eğilme Kırılması İçin Gereken Kesme Kuvvetinin Artışı

Dolgu duvarların neden olduğu “kısa kolon kırılması” duvarın mimari nedenlerle bant pencere olarak yapılması sonucudur (Şekil-8). Bant pencere nedeni ile kolonun boyu (h) yerine bant pencere yüksekliği olan (h_b) kadar olmakta, boyu kısalan kolonun rijitliği ise hesaplarda kabul edilen l/h yerine l/h_b olmaktadır. Bu nedenle de boyu “kısalan” kolonun kat kuvvetlerinden aldığı pay artmaktadır.

Dolgu duvar yoksa ya da çok zayıf bir dayanımda bir duvar ise ve kolonun moment taşıma gücü M ise kolonun moment kırılması için gereken kesme kuvveti $V=M/h$ dir. Eğer kolonun kesme kuvveti taşıma gücü $V_r > V$ ise moment kırılmasından önce kesme kırılması, bir diğer deyişle “kısa kolon kırılması” olmayacaktır. Kolon momentten kırılacaktır.

Bant pencere yapılması ile kolonun boyu h_b olmaktadır. Bu durumda eğer kolonun moment taşıma gücü yine M ise eğilme kırılması için gereken kesme kuvveti $V_k=M/h_b$ olacaktır. Burada $h_b < h$ olduğu için $V_k > V$ olmaktadır. Kolonun kesme kuvveti taşıma gücü olan V_r ’den büyüktür ancak V_k ’den küçüktür. Bu nedenle kolon M moment kapasitesine ulaşmadan, V_k , V_r ’yi aşınca kolonda “kısa kolon kırılması” denilen kesme kırılması olacaktır.

Kısa kolon kırılmasında dolgu duvar malzemesinin dayanımı önemlidir. Kolonun yanındaki dolgu duvarı



Resim 14 - Kısa Kolon Kırılmasının Olmadığı Düşük Dayanımlı Briket Dolgu Duvarlı Bant Pencere (13 Mart 1992 Erzincan Depremi)



Resim 16 - Betonarme Çerçeve ile Birlikte "Perde Duvar" Gibi Deprem Yüğü Taşımış Dolgu Duvar (17 Ağustos 1999 Düzce Depremi)



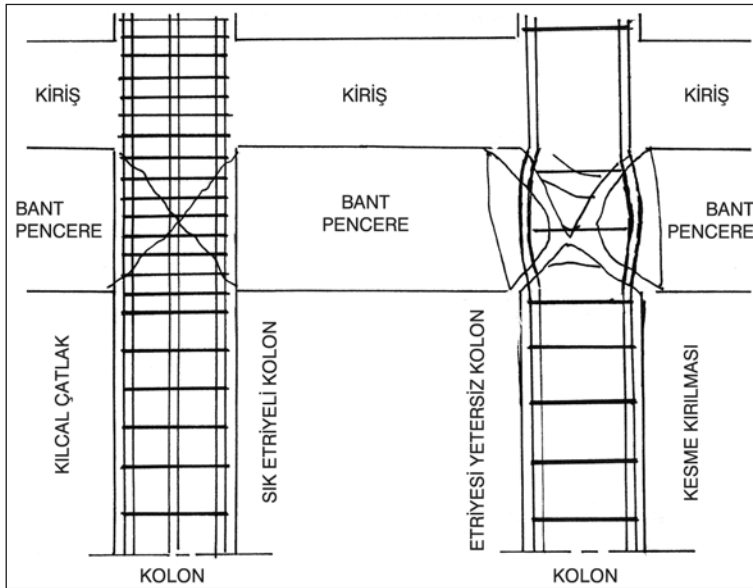
Resim 15 - Bant Pencere Bölümü Sık Etriye Kolonda Beton Çatlar Ancak Kısa Kolon Kırılması Olmaz (18 Kasım 1983 Erzincan Depremi)

taş, dolu tuğla ve betonarme dolgu, bodrum kat duvarları, yapılmışsa "kısa kolon kırılması" olurken, boşluklu cüruf briketten yapılmış dolgu duvarı varsa kısa kolon kırılması olmayabilir (Resim-14).

Kolonun ucunda kısa kolon kırılması beklentisi ile etriye sıklaştırması yapılmışsa (Şekil-9), betonun çatlaması önlenemese de yıkım düzeyinde kesme kırılması önlenabilir (Resim-15).

"Perde Duvar" Davranışı

Tuğla dolgu duvar ile betonarme çerçeve birbirine yapışık ise perde duvar gibi davranış beklenebilir. Çerçevenin kolonları ile dolgu duvar güçlü uç elemanları (kolonlar), flanşları ve zayıf gövdesi (tuğla dolgu duvar) olan bir perde gibidir. Dolgu duvarların kesme kuvveti taşımaya katkısı vardır. Bu davranışa örnek Resim-16'da görülmektedir. Bu yapıda harman tuğlasından yapılmış dolgu duvar iki ucundaki kolonlarla birlikte bir I-kesitli perde gibi davranmıştır. Burada kolonlar perdenin "flanşları", tuğla duvar ise "gövde" 'dir. Ancak gövde kesme kuvveti taşımak için oldukça zayıftır. Bu nedenle de gövdede kesme kırılması olmuştur. Duvar ve ucundaki kolonun birlikte bir I-kesitli perde gibi davranmasında betonarme kolon ve dolgu duvarın kesme dayanımlarının birbirine çok yakın değerlerde olmasının da bir etkisi olabilir. Betonarme kolonun kesme dayanımının tuğla duvar kadar düşük olması daha güçlü bir olasılıktır.



Şekil 9 - Kolon Ucunda Etriye Sıklaştırması Kısa Kolon Kırılmasını Önler, Betonda Çatlak Kılcal Boyutta Kalır

DOLGU DUVARIN ÇERÇEVE DAYANIM VE RİJİTLİĞİNE KATKISINI HESAPLAMA YAKLAŞIMLARI

Dolgu duvarın çerçeve yapının davranışına katkısı yapı tasarımıda dolaylı bir biçimde dikkate alınmaktadır. 1975 tarihli "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"e göre yapının duvar cinsine göre K-Yapı tipi katsayısı değişmekte idi. Zayıf dolgu duvarlı ya da duvarsız yapının K-katsayısı dolgu duvarlı yapılara göre %30 kadar daha büyük alınmakta idi.

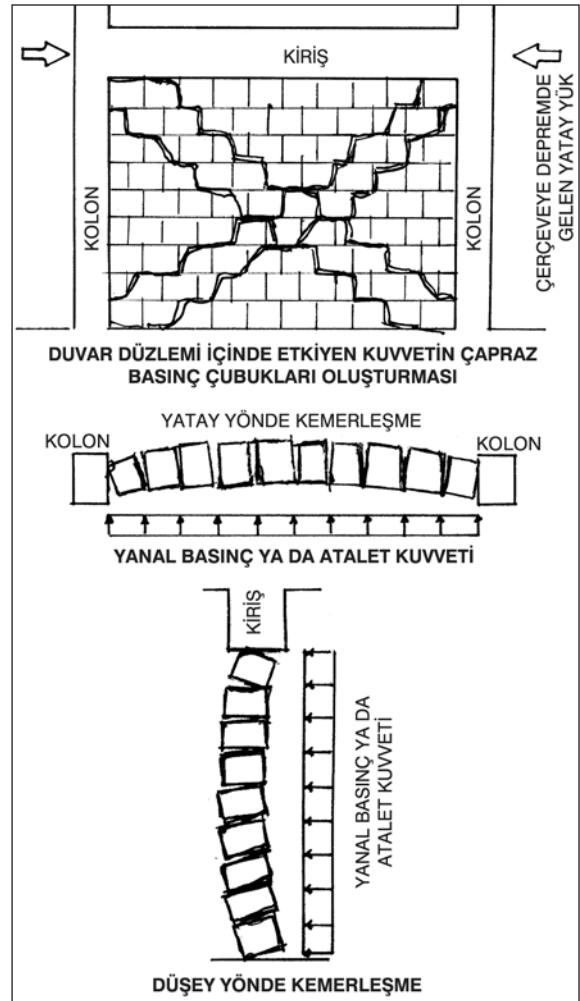
1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre yapının periyodu düşük genlikli yapı titreşim ölçümlerinden çıkarılmış ve yapının dış boyutlarına bağlanmış ampirik denklemlerden hesaplanmaktadır. Bu ampirik yöntemin dayandığı periyot ölçümlerinde dolgu duvarların katkısı dolaylı bir biçimde vardır.

Yapının taşıyıcı sistemin elemanlarının rijitliklerinden gidilerek hesaplanan ve dolgu duvar rijitliğini dikkate almayan periyodu daha uzundur. Ampirik yöntemle hesaplanan periyodu 1.00 sn'den büyük olan yapılarda analitik yöntemle bulunan periyot ampirik periyottan en çok %30 fazlası alınarak hesap spektrumundan deprem hesap yükü alınmaktadır. Ancak yukarıda anlatıldığı gibi yapının tasarımında kullanılacak yapı periyodu yapının hangi yüklenme ya da hasar düzeyine karşılık olmalıdır?

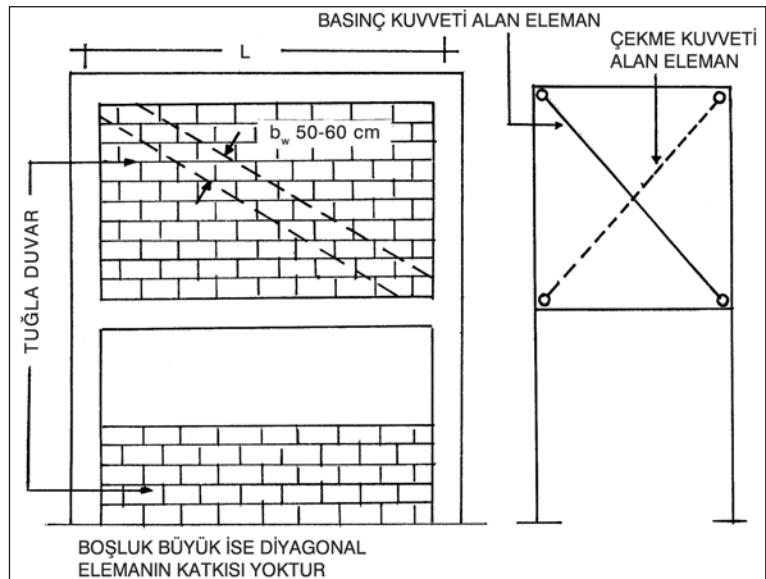
Mimari planında dolgu olan yapı çerçevelerinde dolgu duvarın rijitliğe katkısını hesaplayan ve buna göre her katın dolgu duvarlı çerçevelerinin rijitliğini ve buradan giderek kat rijitliğini ve dolgu duvarlı çerçevelerin kolonlarına gelen yatay deprem hesap yüklerini belirleyen bir tasarım ve analiz yöntemi, bilgisayar programı yoktur.

Gülkan ve Wasti (1993) analitik çalışmada dolgu duvarın çerçevenin yanıl yük-öteleme ilişkisine katkısının, dolgu duvar yüksekliğinin, çerçevenin iç yüksekliğinin %50-60'ından daha büyük olduğu durumlarda, giderek etkili olmaya başladığını göstermişlerdir. Dolgu duvarın yüksekliği çerçeve iç yüksekliğinin %80'i kadar olduğu durumlarda kolona gelen kesme kuvveti, dolu duvar hiç yok iken gelen yükten %50 daha büyük olmaktadır. Bu durum bilindiği gibi "kısa kolon" kırılmasına neden olmaktadır.

Dolgu duvarın düzlemi içinde yer aldığı betonarme çerçevenin etkisi ile Şekil-10'daki gibi çatlaması, bölme duvarın betonarme çerçeve-

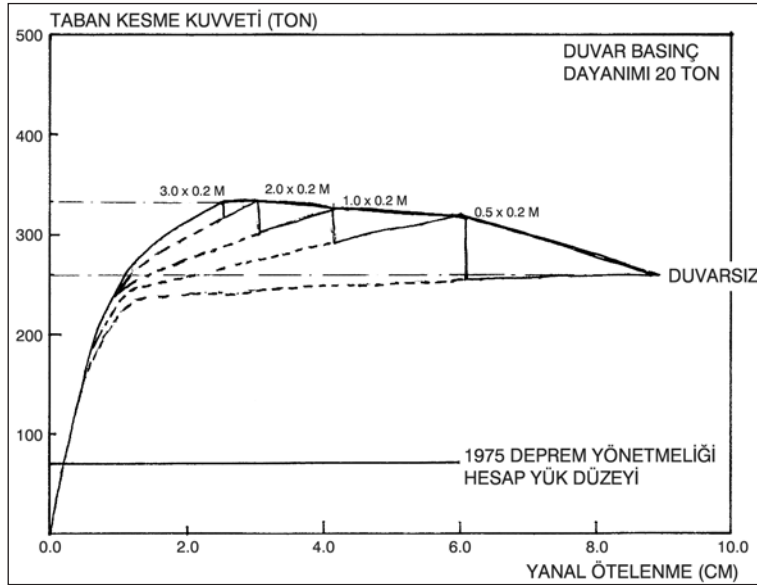


Şekil 10 - Betonarme Çerçeve İçindeki Dolgu Duvarın Düzlemi İçinde ve Düzlemine Dik Yükler Altında Davranışı

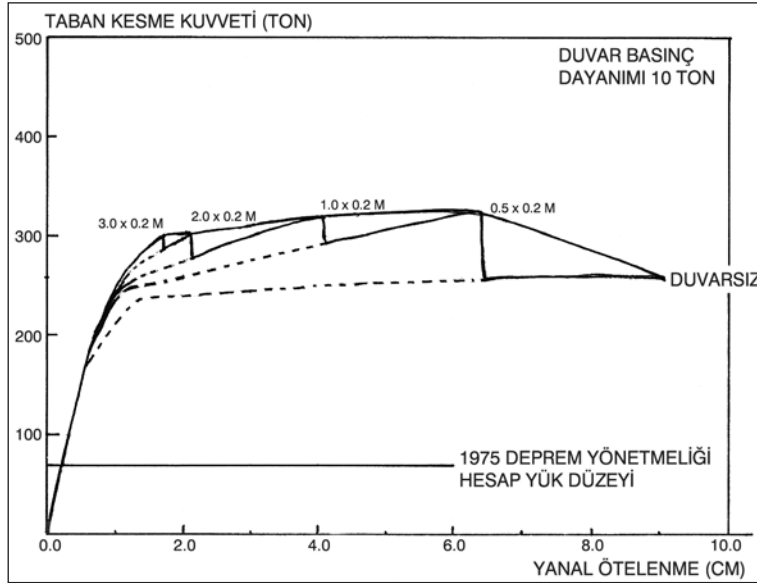


Şekil 11 - Dolgu Duvarların Diyagonal Elemanlarla Rijitlik ve Dayanıma Katkısının Modellenmesi

nin rijitlik ve dayanımına katkısının, duvarın bir bölümünün diyagonal eleman olarak çerçeveye rijitlik veren ve yalnızca eksenel yük taşıyan basınç çubuk elemanları aracılığı ile temsil edilebileceğini göstermektedir [Çıtıptıoğlu ve Doğan-1993]. Dolgu duvarların bir bölümü ya da belli genişlikte çapraz bir duvar eleman parçası, A en kesit alanlı ve E elastisite modüllü bir basınç çubuğu olarak modellenenebilir (Şekil-11). Bu çubuğun genişliği 50-60 cm, kalınlığı duvar kalınlığı kadar alınabilir [Vintzeleu-1989]. Duvar elastisite modülü ise, güvenli tarafta olarak duvar basınç dayanımının 100 katı kadar alınabilir [Bayülke-1992].



Şekil 12 - Betonarme Yapının Dolgu Duvarları Dikkate Alan İtme Analizi (Dolgu Duvarın Dayanımı Yüksek)



Şekil 13 - Betonarme Yapının Dolgu Duvarları Dikkate Alan İtme Analizi (Dolgu Duvarın Dayanımı Düşük)

Dolgu duvarı temsil eden çapraz elemanın katkısı deprem yükleri duvarı çatlatmadan önce en yüksek düzeydedir. Şekil-1'de gösterilen kılcal düzeyde çapraz çatlaklar oluşunca duvarın hem yük taşımaya hem de rijitliğe katkısı azalır. Çapraz çatlakların genişlemesi ve ara yüzeylerindeki sürtünme ile duvarın sönüme katkısı ve yapının sönüm oranı artacaktır. Dolgu duvarın katkısı çerçevenin yatay ötelenme oranının 1/300 - 1/250'sine kadar olduğu yatay ötelenmelerde önemli olabilir.

Burada anlatılan bu yöntem örnek bir yapıya uygulanmış ve yapının SAP2000 programı kullanılarak

dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız yatay yük-ötelenme ilişkisi çıkarılmıştır [Bayülke ve diğerleri-2003]. Bu ilişkide dolgu duvar elemanı duvarın hasarının artması ile en kesiti giderek azalan bir çapraz eleman olarak modellenirken yük taşıma özellikleri de giderek azalan bir eleman olarak ele alınmıştır. Şekil-12'den görüleceği gibi başlangıçta yapıya önemli bir dayanım sağlayan dolgu duvarlar hasar nedeni ile hem en kesitinin, diğer bir deyişle rijitliğinin azalması ile yapının yatay ötelenmesi artmaktadır. Şekil-13'de daha düşük dayanımlı bir duvardaki hasarla birlikte kesit azalması durumunda yapının yük ötelenme ilişkisi verilmektedir.

SONUÇ

Dolgu duvarların betonarme çerçevesi yapıların deprem davranışına olumlu ve olumsuz katkıları vardır.

Dolgu duvar malzemesinin cinsi, harç dayanımı ve duvar işçiliğine bağlı olarak duvarları dayanım ve rijitliğe katkısı değişir.

Yapıların önemli dinamik özelliği olan titreşim periyotlarının hesabında dolgu duvarın katkısını dikkate alan ampirik denklemler kullanılmaktadır. Bu denklemlerden hesaplanan periyotlar hafif depremlerde ve şiddetli depremlerin ilk saniyelerindeki yapı davranışını daha doğru temsil etmektedir.

Bant pencere neden olabileceği kısa kolon hasarını önlemek için kolonların bant pencerelerine rastlayan bölümlerine kesme kuvveti taşıma güçlerini artıracak sık aralıklı etriye-

ler konulmalı ve kolonun elastik ötelenmesinin kısıtlanmaması için dolgu duvar ile kolon arasına esnek ve su geçirmeyen malzeme konulmalıdır.

Çerçeve açıklıklarını tam dolduran duvarların yüksek dayanımlı tuğla ve harç ile yapılması, yapıların yatay yük taşıma gücünü artıracaktır.

Isı yalıtımı için yapılmış dış cephe sandviç duvarlarda iç ve dış taraftaki duvarlar birbirine bağlanmalıdır.

Kalkan duvar, betonarme çerçeve dışında dolgu ve bölme duvarlar ve ya hiç yapılmamalı ya da bu duvarlar düzlemleri dışına devrilmeyecek biçimde tavana ve tabana bağlanmalı ve desteklenmelidir.

Yazıda betonarme çerçeve yapıdaki delikli ve deliksiz tuğla, hafif beton blok, gazbeton blok ile yapılmış duvarların yapının çeşitli özellikleri ve davranış biçimlerine olan etkisi ve katkısı gerçek depremlerden gözlenmiş örneklerle anlatılmaya çalışılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu yazının hazırlanmasına destekleri için EKC Yapı Denetim Hizmetleri Ltd. Şti. ve TEK-DEN Beton ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Ltd. Şti. Yöneticileri Cengiz Arkoç, Engin Demirel ve Kazım Şat'a teşekkür edilir.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975*
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998
 Bayülke, Nejat (1989) "Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar" Teknik Yayınevi, Ankara

Bayülke, Nejat (1992) "Yığma Yapılar, Genişletilmiş 2nci Baskı" Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 184 sayfa

Bayülke Nejat, Kuran Fikret, Doğan Akif, Kocaman Cahit, Memiş Halim ve Soyale Lale (2003a) "Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarının Karşılaştırılması" 5nci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, Bildiri No., AT-108

Bayülke Nejat, Köksal Teoman Selçuk, Yazgan Ahmet Utku, Çeken Ulubey, Kocaman Cahit ve Kuran Fikret (Nisan 2003b) "Özel Biçimde Şekil Verilmiş Gazbeton Bloklarla Yapılmış Yığma Bir Yapının Sarsma Tablası Deneyi Raporu" Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı

Chopra A.K. (1981) "Dynamics of Structures, A Primer" Earthquake Engineering Research Institute

Çıtıptıoğlu, E. ve Doğan, E. (1993) "Depreme Dayanıklı Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Tasarım ve İnşaatı İçin Öneriler" Proje ve Yapı Denetimi Sempozyumu, 14-15 Ekim 1993, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

FEMA-178 (1989) "A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary)" Earthquake Hazards Reduction Series 47, FEMA-178 June 1989

Gülkan, Polat ve Wasti, Tanvir (1993) "Çerçeve Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme" Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre 25-27 Mayıs 1993, Bildiriler Kitabı, Ankara, sayfa 39-52

Meli, R., Muria-Vila, D., Quaas, R and Paolucci, R. (1998) "A Study of Site Effects and Seismic Response of an Instrumented Building in Mexico City" Journal of Earthquake Engineering Vol.2, No.1, pp 80-111

Vintzeleou, E. (1989) "Infilling of Reinforced Concrete Frames as a Strengthening Intervention" Seminar on the Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, 12-13 April, 1989, İzmir, Türkiye