

DOLGU DUVARLARIN BETONARME TAŞIYICI SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİ

Seyit Ali KAPLAN*

ÖZET

Kolon ve kirişlerin oluşturduğu taşıyıcı çerçeve sisteminin arasını dolduran duvarlar sismik yük altında çok önemli rol oynamaktadır. Gelişi güzel yerleştirilmiş duvarlar binanın simetrisini bozmaktadır. Duvar içindeki kapı pencere gibi boşluklar da duvar etkisini önemli derecede etkilemektedir. Duvarların etkisini hesaba katmadan binanın doğal periyodu, deprem yükü, her bir kolona ve kirişe transfer olan deprem yük miktarı, yapıdaki düzensizlik durumu, yapının deprem karşısında toplam gücü, deprem altında oluşabilecek göçme biçimi, kolonlarda kısa kolon oluşma mekanizması gibi önemli parametreler yanlış değerlendirilmiş olmaktadır. Birçok ülke standardı dolgu duvarların bina statik sistemine etkisini hesaba katılmasını önermektedir. Dolgu duvarların uygun ve bilinçli yerleştirilip hesaba katılmaması durumunda yapılan hesaplar sonucu elde edilen değerlerin gerçeği yansıtmayacağı deneysel çalışmalarla saptanmıştır. Yapı tasarımının gerçekçi olabilmesi için, uygulanacak analiz hesapları dolgu duvarların taşıyıcı sisteme etkisi itibara alınarak yapılmalıdır.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi bir binaya gelen deprem yük miktarı binanın doğal periyodu değerine bağlıdır. Duvarların kiriş kolon çerçeve sistemi içerisinde bulunması halinde (dolgu duvar) taşıyıcı sistemin deprem yatay yüküne karşı daha güçlü olduğu ve daha az deplasman yatığı deneysel sonuçlardan yansımaktadır. Birçok ülke standardı bina doğal periyodunu ve buna bağlı olarak deprem yatay yük miktarını ampirik denklemler ile belirlemektedir. Duvarların etkisi adına yönetmeliklerde yer alan önerilerden bazıları aşağıda verilmiştir. Binanın doğal periyodu kütle ve rijitlik parametrelerine bağlıdır. Başka bir deyişle, dolgu duvarlar, rijitliği etkile-

yen önemli bir parametredir. Dolgu duvar hesaba katıldığında çıplak çerçeveye göre binanın doğal periyodu azalmaktadır. Doğal periyot değeri binaya gelen yatay deprem kuvvetini belirleyen bir parametredir. Dolayısıyla binaya gelen yatay deprem kuvvetinin gerçek değeri ancak dolgu duvarların hesaba katılması ile elde edilebilir.

İsrail Standardı (İsraili code SI-413 1995) Bina doğal periyodu için:

$$T_a = 0,049 h^{0.75} \quad (1)$$

analitik ifadesini önermiş ve herhangi bir dinamik analizle hesaplanan bina doğal periyot değerinin maksimum değeri olarak,

$$T_a = 0,068 h^{0.75} \quad (2)$$

ifadesiyle belirlenen değerden fazla alınmamasını önermiştir.

Örneğin, Bir bodrum + Bir giriş + 5 Normal kat, toplam 7 katlı bir binanın taban alanı; bodrum çevresi toprak perdeli, kat yüksekliği 2.8 metre ise ve bodrum üst seviyesinden itibaren deprem etkisi tatbik edilecek bir bina için, (x) yönü 10 metre, (y) yönü 13 metre, deprem uygulanacak kat adedi = 6, toplam yükseklik, $h = 6 \times 2,8 = 16,8$ m olarak hesaba katılırsa; İsrail standardının sayısal örnek için verdiği değerler, $T_a = 0,049(16.8)^{0.75} = 0.41$ saniye, Maks. $T_a = 0,068(16.8)^{0.75} = 0.56$ saniye olarak elde edilir. Herhangi bir dinamik analizde belirlenen değer yukarıdaki ampirik ifadelerce verilen değerler arasında kalması önerilmiştir.

Kosta Rika Standardı (Costa Rican Seismic Code, 1986) Dolgu duvarlı olması halinde Bina doğal periyot değeri için:

$$T_a = 0.08N \quad (3)$$

denklemini önermiştir. Burada; N = binada deprem uygulanan kat sayısıdır. Yukarıdaki örnek için doğal periyot; $T_a = 0.08 \times (6) = 0.48$ saniyedir.

(*) Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - sakaplan@istanbul.edu.tr

Fransız Standardı (AFPS-1990) Dolgu duvarlı bina doğal periyodu hesabı için:

$$T = 0.06 \frac{h}{\sqrt{d}} \sqrt{\frac{h}{2d+h}} \quad (4)$$

denklemini önermiştir. Burada; h = Bina yüksekliği, d = Deprem yönünde bina boyutudur.

Fransız standardına göre sayısal örnekteki değerler:

(x) yönü doğal periyodu için:

$$T = 0.06 \left(\frac{16.8}{10} \right) \sqrt{\frac{16.8}{(2 \times 10) + 16.8}} = 22 \text{ saniye} \quad \text{ve}$$

(y) yönü için:

$$T = 0.06 \left(\frac{16.8}{13} \right) \sqrt{\frac{16.8}{(2 \times 13) + 16.8}} = 18 \text{ saniye}$$

olarak elde edilir.

Cezayir Standardı (Algerian Seismic code 1988) binaların doğal periyodu için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$T_a = 0.05 \cdot h^{0.75} \quad (5)$$

Avrupa Birliği Standardı (Euro code -8, 2003) Bina yüksekliği 40 metreye kadar;

$$T_a = C_i \times h^{0.75} \quad (6)$$

$$C_i = \frac{0.075}{\sqrt{A_c}} \quad A_c = \sum A_i \left(0.2 + \frac{l_{wi}}{h} \right)^2$$

denklemlerini önermektedir. Burada $l_{wi}/h \leq 0.9$ değeri ile sınırlandırılmıştır. l_{wi}/h değerinin (0,9) ile sınırlandırılması (yüksekliğinin az) basık kat olması durumunda hesaplanan değer daha gerçekçi olması içindir. C_i katsayısı dolgu duvarlar için düzeltme katsayısıdır ve sünek (esnek) binalar için daha büyük değerler alır.

A_c = Birinci katta etkili olan dolgu duvar alanı

A_i = Birinci katta (i)nci etkili dolgu duvar kesit alanı

l_{wi} = Birinci katta (i)nci dolgu duvarın deprem yönündeki uzunluğu

Kolombiya Standardı (NSR-84 1984)

$$T_a = \frac{0.09 \times h}{\sqrt{d}} \quad (7)$$

$$d = d_{s \max} \sum_{s=1}^{N_s} \left(\frac{d_s}{d_{s \max}} \right)^2$$

ifadelerini önermiştir. Burada:

d, d_s , $d_{s \max}$ birimi metre.

d_s = her bir duvarın yataydaki uzunluğu

$d_{s \max}$ = deprem yönünde yatayda duvarların en uzununu

N_s = duvar sayısı (düşünülen doğrultuda)

Kolombiya Standardı daha sonraki sayısında (NSR-98 1998)

Avrupa Standardının önerdiği; denklemi tavsiye etmiştir. Ancak; $C_i \leq 0.07$ değerini bir üst limitle sınırlamış ve

$$A_c = \sum A_i \left(0.02 + \left(\frac{l_{wi}}{h} \right)^2 \right) \quad (8)$$

$l_{wi}/h \leq 0.9$ olarak belirlenmiştir.

Filipin Standardı (NSCP 1992)

$$T_a = C_i \times h^{0.75} \quad (9)$$

$$C_i = \frac{0.03048}{\sqrt{A_c}}$$

$$A_c = \sum A_i \left(0.2 + \left(\frac{l_{wi}}{h} \right)^2 \right); \quad \frac{l_{wi}}{h} \leq 0.9$$

denklemlerini önermiştir.

Bina doğal periyodu, T_a , hesabı için ampirik denklemlerin hepsinde parametrelerin tamamını hesaba katamayan sınırlamalar bulunmaktadır. Bunu dik-kate alan birçok ülke standardı bina doğal periyodu T_a hesabı için Rayleigh denklemini önermektedirler.

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{ei}^2}{g \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta_{ei}}} \quad (10)$$

Burada

W_i = sismik ağırlık, birimi (kg)

δ_{ei} = elastik yer değiştirme (deplasman), birimi (m)

F_i = sismik kuvvet, birimi (N)

g = yer çekimi ivmesi, birimi (m/s^2)

Gerçekte ampirik denklemler ile hesaplanan periyot T_a değeri, dinamik yöntemle göre hesaplanandan daha güvenlidir. Çünkü bir binanın modellenmesinde çok sayıda kabuller yapılmaktadır. Örneğin, yapısal olmayan dolgu duvarların rijitliğe katkısı, beton ve duvarların elastisite modülü değerleri, harekete iştirak eden elemanların atalet momentleri

gibi parametrelerin sismik etkiyle değişir olması, Rayleigh denkleminden elde edilen sonuçların gerçek davranışı temsil edebilmesini zorlaştırmaktadır. Rayleigh yöntemiyle hesaplanan periyot değerinin, ampirik denklemle hesaplanan değerden %30 oranından daha fazla alınmaması tavsiye edilmektedir.

2. YATAY YÜKÜ PAYLAŞIMI

Betonarme taşıyıcı sistemin deprem etkisine karşı direnç göstermesi taşıyıcı sistemin yatay rijitliğine bağlıdır. Kiriş ve kolonların oluşturduğu çerçevenin çıplak olması veya çerçeve içinde dolgu duvar bulunması, yatay rijitlik değerini etkilemektedir. Dolgu duvarlar betonarme çerçevenin yatay rijitliğini çok büyük oranda artırmaktadır. Çerçevenin yatay rijitliği ve dolgu duvarın yatay rijitliği oranına göre sismik etkiye karşı direnç oluşur. Bu davranış bütün katlar için geçerlidir. Dolgu duvarlar başlangıçta çok rijit davranış gösterirler ve çok yüksek oranda yatay yükü kendi üzerlerine çekerler, fakat gevrek olduklarından çerçeveden önce hasar görürler. Duvardan boşalan kuvvetler taşıyıcı sisteme transfer olur, taşıyıcı sistem transfer olan kuvvetleri taşıyabilir olmalıdır. Başka bir deyişle, taşıyıcı sistemin hem duvar var iken hem de duvar yok iken deprem kuvvetlerini taşıyabilir kapasiteye sahip olması gerekir.

Kolombiya Standardı (NSR 98-1998) binaya gelecek toplam sismik kuvvetin tamamını taşıyabilecek potansiyelin betonarme çerçeve sisteminde bulunmasını önermektedir.

Yapı üzerine etkiyen sismik kuvvetler birçok faktöre bağlıdır. Deprem büyüklüğü ve karakteri, yapının fay hattına uzaklığı, bölgenin jeolojik yapısı, yapının yatay yüke direnç gösterecek taşıyıcı sistemin tipi gibi faktörler önemli faktörler olarak sayılabilir. Yapının güçlendirilmesinde ve projelendirilmesinde yukarıda belirtilen faktörler itibara alınarak hesaba katılması gerekir. Yapının simetrik veya asimetric olması durumuna göre gerçek sonuçları verecek hesap yönteminin uygulanması gerekir. Duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılmadan yapılan hesaplar yapıda simetri sağlandığını gösterse de duvar etkisinin itibara alınması halinde yapının simetrikliği bozulabilir. Bütün bu davranış durumlarından çıkan sonuç, deprem etkisi altında yapının hem duvarlı duruma göre çözümünü hem de yapının duvar etkisini kaybetmesi durumuna göre çözümünün yapılarak, yapıyı göçme tehlikesinden koruyacak ve emniyete alacak hesap yönteminin uygulanması gerekir. Yatay yüke göre yapının projelendirilmesinde düzensizlik koşulu ön plana gel-

mektedir. Duvar etkisi hesaba katıldığında yapının taşıyıcı sistemi yeterli olmalıdır. Duvarlar deprem sürecinde hasar gördüğünde ve üzerindeki yükü taşıyıcı sisteme aktardığında yine taşıyıcı sistem yeterli olmalıdır. Daha proje safhasında bu alternatif çözümlerin yapılması mümkündür ve mutlaka yapılarak depreme karşı güven sağlanmalıdır. Yapıdaki düzensizlik durumunu İnternasyonal Standart (IBC) "Planda Düzensizlikler" ve "Düşeyde Düzensizlikler" olarak iki kategoride toplamıştır.

3. PLANDA DÜZENSİZLİKLER

Bir yapıda planda düzensizlik durumları aşağıda belirtilen sebeplerden oluşabilir.

- Simetrik olmayan geometrik yerleşim
- Rijitlik ağırlık merkezinin ara mesafesi (eksant-risite) çarpımından oluşan burulma momentleri değerinin önemli mertebeye ulaşması
- Yatay yüke karşı direnç gösterecek elemanların birbiri ile paralel düzen oluşturmaması
- Planda köşelerde girinti miktarının hesapları etkileyecek büyüklükte olması
- Yatay yüke karşı duran düşey eleman yük hattının sapması

Plandaki düzensizliği oluşturan önemli bir parametre rijitlik dağılımıdır. Söz konusu olan rijitlik olunca çerçeve içini dolduran dolgu duvarlar önemli rol oynayabilmektedir. Dolayısıyla de dolgu duvarlar hesaba katılarak düzensizlik durumunun kontrol altına alınması gerekir. Dolgu duvarlar hesaba katılmadığı takdirde, aşağıda belirtilen sorunlar görmezden gelinmiş olunacaktır.

Dolgu Duvarlardan Dolayı Oluşan Düzensizlikler

Dolgu duvarların asimetric yerleşimi bina planında beklide olabilecek en yüksek mertebeli düzensizliklerin sebebidir. Burulma düzensizliği oluşunca betonarme kolonların üzerine gelen kesme kuvveti hem yüklerin oluşturduğu kesme kuvvetini hem de burulmadan dolayı oluşacak kesme kuvvetini taşımak zorunda kalmaktadır. Yani, burulma düzensizliği kesme kuvveti artışına neden olmaktadır. Dolgu duvar etkisini hesaba katmadan binanın projelendirmesi, geçekte var olan duvar etkisinin görmezden gelinmesidir. Dolgu duvarlar hem yük dağılımını hem de rijitlik merkezini etkilediği için dolgu duvarın taşıyıcı sisteme etkisinin mutlaka hesaba katılması gerekir.

Bazı Standartlarda görülmeyen burulma etkisini hesaba katmak amacı ile sismik yükün belli bir

eksantrisite ile etkidiği hesaba katılır. Örneğin, Türk Deprem yönetmeliğinde her iki yönde %5 eksantrisite ile sismik yük tatbik edilerek binadaki taşıyıcı sistemin %5 burulma etkisini taşıyabilecek kapasiteye sahip olması istenir. Bu varsayım dolgu duvarların etkisine yönelik değildir ve sadece yapılan diğer kabullerin hatası varsa karşılarsın diye düşünülen tedbirdir. Zira, duvarlar çok yüksek mertebelerde etki yapar. Duvar etkisini çok önemli bir parametre olarak kabul etmek ve gerekli hesapları yaparak depreme karşı bina emniyetini sağlamak zorunludur. Depreme karşı yapının projelendirilmesinin gerçekçi olabilmesi için duvarların Taşıyıcı Sisteme etkisi mutlaka hesaba katılmalıdır.

4. DÜŞEY DÜZENSİZLİKLER

Bir binada oluşması muhtemel düşey düzensizlik

- Yumuşak ve zayıf katlar
- Komşu katlar arasında KÜTLE / RİJİTLİK oranlarının çok farklı oluşu
- Komşu kat plan ölçülerinde büyük farklılık olması
- Yatay yük sisteminde yataylıktan önemli sapmalar olması

olarak sınıflandırılabilir. Yukarıda belirtilen düşey düzensizliği yaratabilecek en önemli parametrelerden biri dolgu duvar olabilir. Örneğin, giriş kat dükkan veya park olarak kullanılması için duvar yok ise, diğer üst katların mesken olarak kullanılması için duvar var ise duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılmadığı taktirde oluşması muhtemel düzensizlik durumu gizlenmiş olmaktadır. Duvarların sebep olduğu kısa kolon etkisi de çok önemli hasarlara sebep olmaktadır. Şekil 1'de duvarların oluşturduğu sonuçlardan bazıları şekilsel olarak gösterilmiştir. Duvarların hesaba katılmaması halinde gerçekte var olan düzensizlik gizlenmiş olmaktadır. Yani, kolon ve perdelerin düşey düzen-

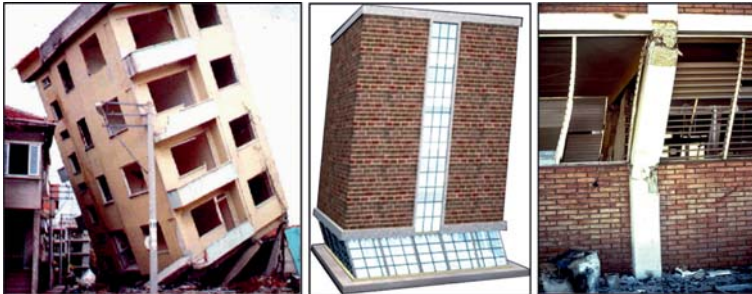
sizlik durumunu belirlemek için duvar etkisini ve dağılımını hesaba katmak gerekir. Duvar etkisini hesaba katmadan düşey veya yatay düzensizlik yok denemez. Çünkü duvarların hesaba katılmayışı düzensizliğin gizlenmesine sebep olmaktadır. Kısaca belirtmek gerekirse; duvar etkisini hesaba katmadan, rijitlik merkezinin tayini, yatay yüklerin taşıyıcı kolon ve kirişlere dağılımı, bina doğal periyodu gibi parametreler için hesaplanacak değerler gerçekleri yansıtamaz. ve duvar etkisini hesaba katmadan yapılacak projeler depreme karşı emniyeti belirsizliğe teslim edilmiş olmaktadır.

Avrupa Standardı (Euro code-8, 2003) Dolgu duvarların az olduğu katlarda duvar azlığından kaybolan gücün miktarı kadar aynı katta kolon güçlerinin artırılmasını tavsiye etmektedir. Avrupa Standardı, binada birinci katta duvarlar yapılmış ve mesken olarak kullanılıyor olsa bile daha sonra iş yeri olarak kullanılmasının muhtemel olduğunu itiraza alarak, birinci katta kolon etrilyelerinin kolonun tüm boyunca sarılma bölgesi gibi sıklaştırılmasını önermektedir. Ayrıca, sadece bir tarafında duvar bulunan normal kat kolonlarının da (köşe kolon gibi) tüm kolon boyunca etriye sıklaştırılması yapılmasını önermektedir.

Bulgaristan Standardı (Bulgarian Seismic Code, 1987) komşu katlar arasında rijitlik oranı %50'den az ise yumuşak kat olarak vasıflandırır. Yumuşak kat elemanlarının tasarım yükünün artırılmasını önermiştir. Yani, binaya gelecek yük hesabında proje yükü belirlenirken yumuşak kat yükünün daha fazla alınmasını önerir ve yumuşak kat taşıyıcı sisteminin, üç misli daha fazla yatay yük taşıyacak kapasiteye sahip olması istenmektedir.

Kostarika Standardı (Costa Rican Seismic Code 1998); Yapı taşıyıcı sistemlerinin temelden çatıya kadar tüm bina boyunca sürekli olmasını önermektedir.

İsrail Standardı (SI-413 1995); herhangi bir kat, üzerindeki katın yatay rijitliğinden %70 daha az rijitliğe sahip olması halinde söz konusu katı yumuşak kat olarak vasıflandırır. Ayrıca üst taraftaki üç katın rijitlik ortalamasından %80 daha az rijitliğe sahip olan kat, yumuşak kat olarak vasıflandırılır. Hem zayıf katın, hem de altındaki ve üstündeki katların proje yükü 2 ilâ 3 misli artırılmaktadır. Yani, düzensiz katlardaki taşıyıcı sistemin, normal kata göre üç misli yük taşıma kapasitesine sahip olması istenmektedir. Ayrıca zayıf kat ve komşusu iki katın kolon etrilyeleri-



(a) Deprem titreşim enerjisinin giriş katı olan yumuşak katta yoğunlaşması,
(b) Yatay yük altında yumuşak katta aşırı deplasman oluşması,
(c) Kolon orta yüksekliğinde aşırı kesme kuvvetinin oluşması

Şekil 1 - Duvar Etkisi Sonuçları

nin minimum 8 mm çalı 100 mm ara ile tüm kolon boyunca devam eden etriye kullanılması kolon boyuna donatısının bindirme boylarının normal kat kolon donatısı bindirme boyundan %30 oranında daha fazla olması önerilmiştir.

Dolgu duvarın taşıyıcı sisteme etkisini hesaba katmadan bina düşey düzensizliğini belirlemek mümkün olamaz. Zira elde edilecek sonuçlar binanın var olan gerçek davranışını temsil edemeyen sonuçlar olacaktır. Bu nedenle hem düşey düzensizliğin etkili olduğunu kabul etmek hem de duvar etkisini hesaba katmamak kendi mantığı içinde çelişki yaratmaktadır. Düşey düzensizlik kontrolü için alınacak tedbirlerin geçerli olabilmesi için duvar etkisinin mutlaka hesaba katılması gerekir. Aksi halde yapılan hesaplar ve depreme karşı alınacak tedbirler geçerli olamaz ve dolgu duvarların etkisinin hesaba katılmayışı önemli bir gerçeğin göz ardı edilmesidir.

5. YATAY DEPLASMAN VE KAT SALINIMI

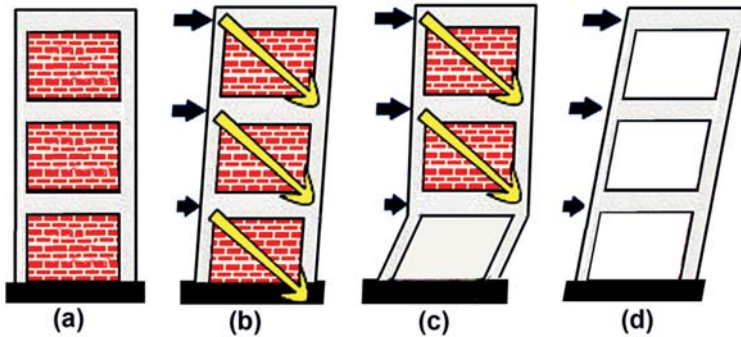
Dolgu duvarlı betonarme çerçevesel binaların, farklı seviyelerinde yatay deformasyon miktarı, binadaki dolgu duvarların dağılımına bağlıdır. Eğer planda yeterince duvar bulunuyor ise, yatay deformasyon miktarı az olur ve bina yüksekliği boyunca düzenli dağılım gösterir. Buna karşın, üst katlarda daha

fazla duvar bulunuyor ise yatay yer değiştirme, dolgu duvarın az olduğu veya duvarsız olduğu katta yoğunlaşır.

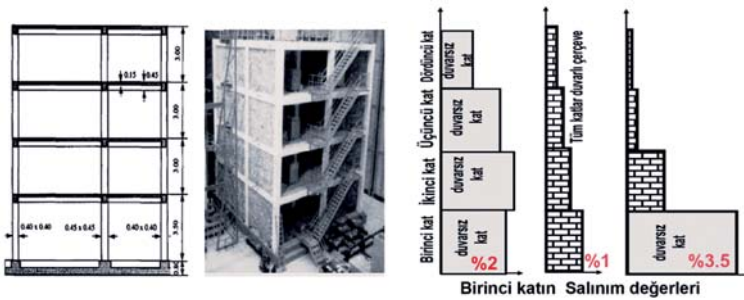
Binanın sünekliği ve enerji yutma kabiliyetine bağlı olarak, her bir katın yatay yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı (salınım) farklı değerler almaktadır. Duvarların kat salınım değerine etkisini amaçlayan çok sayıda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Örnek olması adına Şekil 3'de görülen deney sonuçları verilebilir. Deprem yönü olarak seçilen doğrultuda, bina, çıplak çerçeve olarak, yalnız alt katı duvarsız diğer katlar deprem yönünde duvarlı olarak, ve binanın tüm katları deprem yönünde duvarlı olarak deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen salınım değerleri Şekil 3'de verilmiştir

Şekilden görüleceği gibi kat deplasmanının kat yüksekliğine oranı (salınım) olarak birinci kat salınımı çıplak çerçeve için %2, tüm katlar duvar olması hali için salınım %1, üst katlar duvarlı birinci kat duvarsız (yumuşak kat) olması durumu için salınım %3.5 olarak deneylerden elde edilmiştir. Açık olarak görülüyor ki, taşıyıcı sistem içinde dolgu duvarların bulunması, çerçeve salınım değerini çok önemli derecede etkilemektedir. Deprem sonrasında yıkılan ve hasarlı binalardan deney sonuçlarına benzer göçmelerin olduğu da bilinen bir gerçektir.

Birçok standart (Euro code-8, 2003), (NBC-105, 1995), (NSR-98, 1998), (Costa Rican Seismic Code 1986) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin kat salınım miktarını %1 olarak sınırlamışlardır. (salınım oranları elastik hesap sonucu belirlenen deplasmanlar itibara alınarak belirlenmiştir.) FEMA-306(ATC 1999) tuğla duvar için %1.5, dolgu beton blok duvarlar için %2, dolgu beton duvarlar için %2.5 salınım sınır değerleri olarak belirlemiştir.



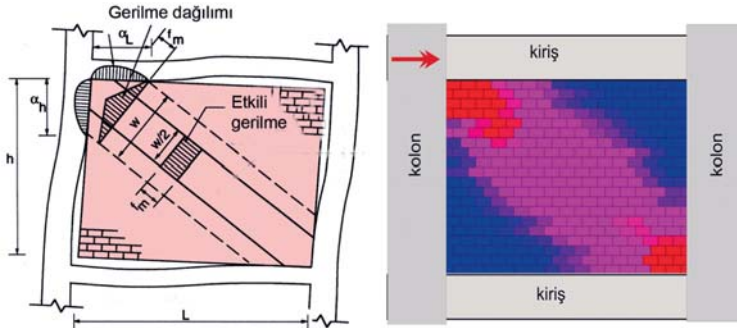
Şekil 2 - Dolgu Durumuna Göre Çerçevenin Eşit Yatay Yük Altındaki Kat Deplasmanı



Şekil 3 - Deprem Yönünde Duvar ve Salınım Durumu (P. Negro & G. Verzeletti)

6. DOLGU DUVARLARIN GÖÇME BİÇİMİ VE MUKAVEMETİ

Farklı etki durumlarına göre dolgu duvarlı çerçeve sistemi farklı göçme biçimleri gösterebilir. Dolgu duvar panelinin diyagonalinde oluşan kafes kiriş kuvvetinin diyagonal birleşim noktasında oluşturacağı kuvvete karşı, kolon kesme kapasitesinin kontrol edilmesi gerektiği Euro code-8 (2003) tarafından önerilmektedir. Nepal Standardı (NBC-



Şekil 4 - Yatay Etki Altında, Çerçeve İçi Dolgu Duvarda Oluşan Diyagonal Basınç Çubuğu

201 1995) dolgu duvarların diyagonal çerçeve olarak modellenmesini önermektedir. Dolgu duvar kalınlığı olarak yarım tuğla kalınlığının bile hesaba katılabileceğini kabul etmektedir.

İsrail standardı (SI-413 1995) Dolgu duvar kalınlığının 150 mm veya daha fazla olması durumunda sismik yüke karşı direnç gösterebileceğini kabul etmekte ve bina katındaki kesme kuvveti direncinin hesabı için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$V_R = 10 \left(\sum A_C \right) f_{vd} + 0.4 \left(\sum A_m \right) f_{mk} \quad (11)$$

Burada;

$\sum A_C$ = Düşünülen yöndeki kolonların kesit alanlarının toplamı

$\sum A_m$ = Düşünülen yöndeki dolgu duvarların kesit alanlarının toplamı

f_{vd} = Beton için projelendirmede kullanılan kayma mukavemeti

f_{mk} dolgu duvar için karakteristik kayma mukavemeti. Harç basınç mukavemeti ≤ 10 MPa olması halinde; $f_{mk} = 0.2$ MPa ve dolgu duvarda kullanılan basınç mukavemetinin daha küçük olması halinde $f_{mk} = 0.1$ MPa alınması önerilmiştir. FEMA -306 dolgu duvar diyagonal genişliği ($a = w/2$, Şekil 4) için aşağıdaki denklemleri önermiştir.

$$a = \left\{ 0,175 \cdot (\lambda_1 \cdot h_{col})^{-0.4} \cdot r_{inf} \right\} \quad (12)$$

Burada; h_{col} = Kolon yüksekliği (mm), r_{inf} = Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu (mm) λ_1 ve θ değeri aşağıdaki denklemlerle belirlenmektedir.

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} \times t_{inf} \times \sin 2\theta}{4 E_{fe} \times I_{col} \times h_{inf}} \right]^{0.25}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right)$$

Burada; E_{ma} = Dolgu duvar elastisite modülüdür ve

dolgu duvar prizma deneyinden elde edilen gerilme deformasyon eğrisinde maksimum mukavemetin %5 ve %33 noktalarını birleştiren doğrunun eğimi olarak belirlenir (Birim = MPa)

E_{fe} = Çerçeve malzemesinin elastisite modülüdür. Çerçeve betona ise Elastisite Modülü değeri (E_{fe}) bilinen bir yöntemle belirlenebilir. Örneğin, betonun elastisite modülü basınç mukavemetine göre belirlenebilir (Birim= MPa)

t_{inf} = Çerçeveye temas haldeki dolgu duvarın gerçek kalınlığıdır (Birim = mm)

θ = Dolgu duvarı temsil etmek üzere hayali olarak düşünülen diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır.

I_{col} = Kolonların atalet momentidir (Birim = mm⁴)

h_{inf} = Dolgu duvar yüksekliğidir.

Serbest Konsol Bir Duvar Hesabı

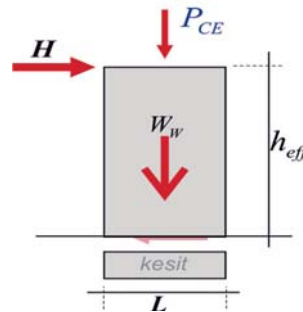
FEMA-306 Serbest Konsol Bir Duvar Hesabı için aşağıda belirtilen kapasite hesabının yapılmasını önermektedir.

a. Devrilmeye Karşı Kapasite Hesabı:

Konsol durumda serbest olarak oturmuş bir duvarın yatay doğrultuda tekil bir yük etkisi altında iken devrilmeye karşı kapasitesi aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Şekil 6).

$$V_r = 0,9 \cdot \alpha \cdot (P_{ce} + W_w) \cdot \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \quad (13)$$

Burada: α = Bir katsayıdır, Serbest "Konsol Duvar" için 0.5, serbest "Konsol Payanda" için 1.0 alınır. P_{ce} = Her bir yük kombinasyonu için eksenel basınç yükü, L = Duvar uzunluğu, h_{eff} = Yatay yük bileşiminin tatbik noktası yüksekliği, W_w = Duvar (veya payanda) ağırlığı.



Şekil 5

b. Yatay Derz Boyunca Kesilip Kayma Sonucu Göçme Kapasitesi

Duvarın yatay derz boyunca dış kuvvet etkisiyle kaymasına, derzdeki yapışkanlık ve derz boyunca sürtünme direnci karşı koymaktadır. Yapışkanlık direnci dış kuvvet etkisi ile derzin kesilmesine kadar etkilidir. Yapışkanlık etkisi ile birlikte Sürtünme Direnci'nin toplam kapasitesi için FEMA 306-1999 aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$V_{bjs1} = v_{me} \cdot A_n \quad (14)$$

Burada, v_{me} = Harcın yapışkanlıkla birlikte sürtünme mukavemeti, A_n = Derzin (ara dolgu varsa dolgunun) kesilen yüzey alanıdır.

Derz boyunca başlangıçta var olan yapışkanlık direnci ilk hareket oluşunca kaybolur ve Kayma Direnci olarak, sürtünme direnci kalır. Duvarın Kayma Kapasitesi hesabı için aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$V_{bjs2} = v_{frikion} \cdot A_n = 0,75 \left(\frac{P_{CE}}{1,5} \right) \cdot A_n = 0,5 P_{CE} \quad (15)$$

c. Diyagonal Çekme Kapasitesi

Düzlemi içinde yatay yük altında dolgu duvar diyagonalinde yüksek değerli basınç gerilmeleri gelişerek transfer olur ve duvarda çekme çatlakları oluşur. Diyagonal Çekme Kapasitesi için FEMA aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$V_{dt} = f'_{dt} \cdot A_n \cdot \beta \cdot \sqrt{1 + \frac{f_{ae}}{f'_{dt}}} \quad (16)$$

Burada: f'_{dt} = Diyagonal çekme mukavemeti, β = Bir katsayıdır ve (L/h_{eff}) oranına göre değer alır.

$(L/h_{eff}) < 0,67$ ise $\beta = 0,67$, $(L/h_{eff}) \geq 0,67$ ise $\beta = 1,0$

d. Topuk Ezilme Mukavemeti

$$V_{tc} = \alpha \cdot P_{CE} \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \cdot \left(1 - \frac{f_{ae}}{0,7 \cdot f'_{me}} \right) \quad (17)$$

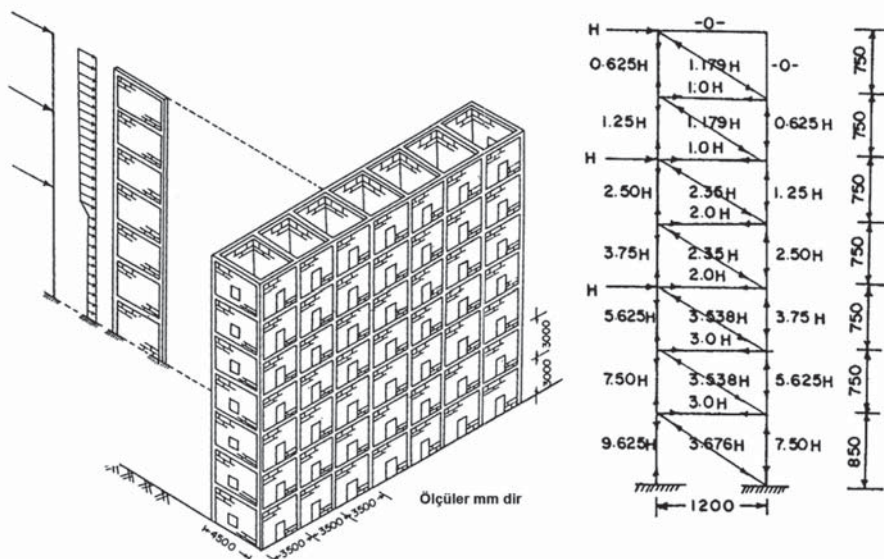
Burada: f_{ae} = Eksenel düşey yük gerilmesi, f'_{me} = Duvar basınç mukavemeti

7. BİR KATDAN FAZLA KATLI BİNALARDA DOLGU DUVAR DAVRANIŞI

Düşey katlarda dolgulu çerçevelerin yatay yükleri aktarması konusunda yapılan deneylerden tek katlı tek açıklıklı çerçevelerin davranışına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerin katlarda diyagonal basınç oluşması durumu deneysel çalışmalara konu olmuştur. Örnek olması adına Şekil 6'da deneysel bir çalışma sonucu verilmiştir.

8. DUVAR İÇİ BOŞLUKLARIN ETKİSİ

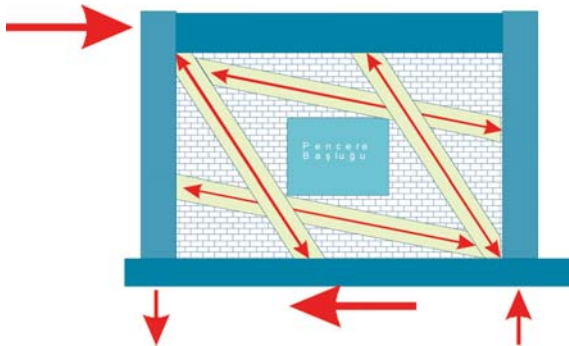
Binanın duvarlarında kapı ve pencere türü boşluklarında bulunması panelin mukavemetini ve rijitliğini azalttığından, duvarı çevreleyen betonarme çerçevenin gerçek davranışını etkilemektedir. Genel olarak diyagonal basınç çubuklarının oluşumu Şekil 7'de görüldüğü gibi varsayılabilir. Şekilden



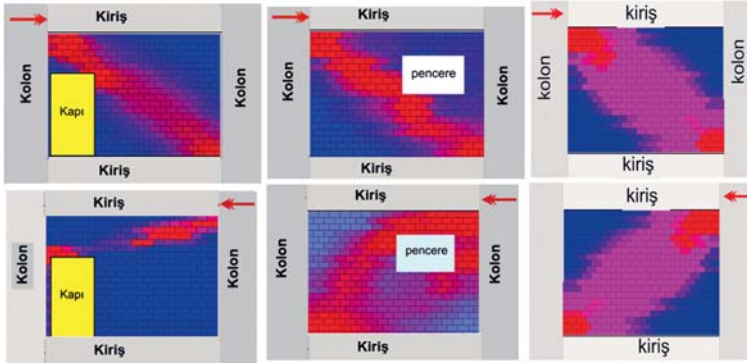
Şekil 6 - Yatay Yük Altında Dolgulu Çerçevenin Eleman Kuvvetleri (P. Govindan, M.lakshmiipathy and A.R. Santhakumar)

görüleceği gibi oluşan basınç çubuklarının bazı durumlarda kolon kiriş birleşim bölgesini bazı durumlarda ise doğrudan kolona etki yapmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yatay yükün soldan sağa sağdan sola yön değiştirmesi ve boşlukların pozisyonlarına göre oluşan basınç çubuklarının durumu Şekil 8'de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi dolgu duvar boşluklarının oluşan diyagonal önemli derecede etkilemektedir.

Dolgu duvarların içinde kapı ve pencere türü boşlukların bulunmaması durumunda yatay etkinin yön değiştirmesi basınç çubuğunun yön değiştirmesine sebep olur. Boşluk yok ise diyagonalde farklılık oluşmaz. Fakat dolgu duvar içinde pencere kapı türü boşluklar var ise oluşan diyagonal



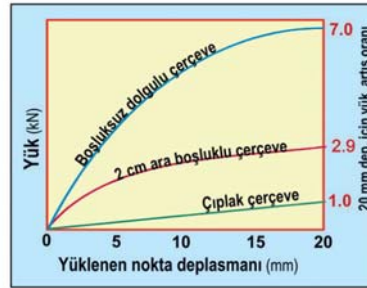
Şekil 7 - Dolgu Duvarda Boşluk Bulunması Halinde Diyagonal Basınç Çubukları



Şekil 8 - Yatay Kuvvet Yönüne Bağlı Olarak Boşluklu ve Boşluksuz Durumda Oluşan Diyagonal Basınç Çubuğu



Şekil 9 - Dolgu Duvar-Kiriş-Kolon Ara Yüzeyi Milimetrik Boşluk Etkisi



basınç çubuğu yatay yükün yön değiştirmesinden önemli mertebede etkilenir. Buradan yansıyan en önemli sonuç hem dolgu duvarın hesaba katılması hem de duvar içindeki boşlukların itibara alınarak hesapların yapılmasıdır. Başka bir deyişle, dolgu duvar içindeki boşlukların konumları itibara alınmalı ve deprem doğrultusunda soldan sağa, sağdan sola deprem etkisi ayrı ayrı hesaplanarak deprem etkisinin belirlenmesi gerekmektedir.

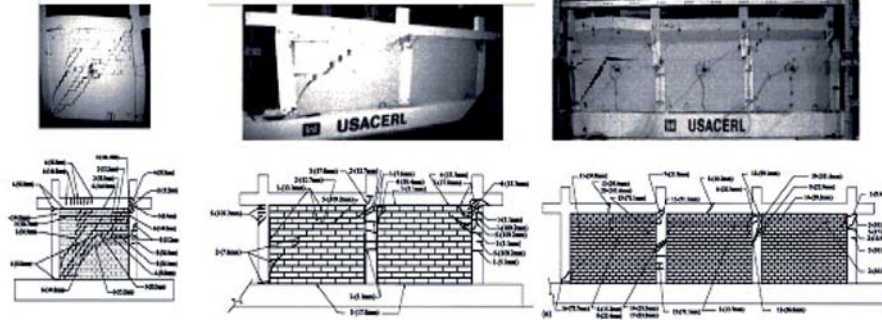
9. DUVAR KOLON KİRİŞ ARA YÜZEYİ BOŞLUK ETKİSİ

Duvar-kolon ve duvar - kiriş ara yüzeyindeki boşlukların etkisi çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Betonarme kolon ve kirişler yapıldıktan sonra arasına örülen duvarların betonarme kolon ve kirişlerin yüzeyine yekpare yapılması fiziki olarak mümkün değildir ve kolon yüzeyi ile tuğla duvar arasında milimetrik boşlukların bulunması olağan durumdur. Yapılmış çok sayıda deneysel çalışmalardan yansıyan sonuç milimetrik ara yüzey boşluklarının dolgu duvarlar etkisini önemli derecede etkilediğini göstermektedir (Şekil 9).

Yapılarda bazı uygulamacılar önce duvarları örülmede sonra kiriş ve kolon donatısı hazırlanarak betonu atılmaktadır. Çoğu kez kalıp malzemesinin daha az kullanılması için yapılan bu uygulama, aslında kolon duvar arasındaki yekpareliği sağlamakta ve dolaylı olarak dolgu duvardan dolayı taşıyıcı çerçevenin taşıma kapasitesini çok önemli mertebede etkilemektedir. Deprem sonrasında yıkılmayan binaların bir çoğunda duvarların düzgün örüldüğü ve birçoğunda ise önce duvar örüldüğü sonra taşıyıcı sistemin betonu atılarak taşıyıcı sistemle duvar arasında yekparelik sağlandığı görülmektedir.

10. DOLGU DUVARLARIN RİJİTLİĞİ

Yatay doğrultuda, dolgu duvarlı betonarme çerçeveler, dolgu duvarsız (çıplak) betonarme çerçevelere göre daha rijittir. Dolayısıyla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin başlangıç rijitlikleri dolgu duvarların rijitliğine bağlıdır. FEMA-306 dolgu duvarlar ile kolon-kiriş çerçeve ara yüzeyi boşluksuz olarak yapılmasını önermektedir.



Şekil 10 - Tek Açıklıklı-iki Açıklıklı ve Üç Açıklıklı Ardıışık Dolgu Duvarlı Çerçeve Deneyi (G.A.Chaar, M. Issa, S.Sweeney)

Düzlemi İçinde Birden Fazla Açıklıkta Dolgu Duvar Bulunması Durumu

Yapılan çok sayıda deneysel çalışmalar, birden fazla açıklıkta düzlemi içinde dolgu duvarların bulunması halinde, taşıyıcı sistemin rijitlik ve taşıma kapasitesinin misli ile arttığını göstermektedir. Deneysel çalışmalara bir örnek olmak adına Chaar tarafından yapılan deneysel çalışma sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.

Deneyde bir açıklıklı, iki açıklık ve üç açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve numuneler denenmiş ve elde edilen sonuçlar tek açıklıklı çıplak çerçeve deney sonuçları ile mukayese edilmiştir (Şekil.10). Yük uygulanan tepe noktasının deplasmanı 10 mm değere eriştiğinde elde edilen sonuçlar Şekil 11(a)'da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi 10 mm deplasman değerinde çıplak çerçevenin taşıdığı yük birim kabul edildiğinde, tek açıklıklı benzer çerçeve tuğla veya briket duvar dolgulu ise çıplak çerçeveye göre 3.5 kat daha fazla yük taşımaktadır. Benzer sonuçlar iki ve üç açıklıklı dolgulu çerçeveler için de elde edilmiştir. Örneğin, iki açıklıklı dolgulu çerçeve için kapasite 6.8 ve üç açıklıklı dolgulu çerçeve için 11.6 kat artmıştır. Her bir açıklık için artış miktarının yaklaşık 3.5 kat olduğu deney sonuçlarından yansımaktadır.

çerçeve 6.4 kat, üç açıklıklı dolgulu çerçeve 10.4 kat daha fazla yük taşımıştır.

Deneylerden yansıyan en önemli sonuç düzlemi içinde dolgu duvarlı çerçeve güçlerinin toplanabilmesidir. Aynı katta dolgu duvarlı çerçevelerin hem rijitlik hem taşıma gücü değerlerinin belirlenmesinde bilinen hesap yönteminin kullanılabileceğinin mümkün olabileceği mantığını güçlendirmektedir. Çerçeve tepe noktasına etkiyen yatay yük artırıldığında tepe noktası deplasmanı da artmaktadır. yatay yük ve buna bağlı tepe deplasmanının belirlenmesi durumunda kapasite eğrisi elde edilebilir.

Deprem yatay yük etkisi altında bina döşemesi kendi düzlemi içinde rijittir. Binanın bir yöndeki kapasite eğrisi aynı yöndeki duvarların kapasite eğrilerinin üst üste toplanması ile elde edilir.

Analitik olarak;

$$V_d(\Delta) = \sum_i V_i(\Delta)$$

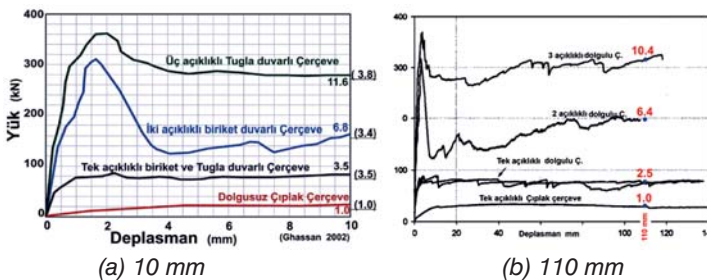
(i =Duvar indeksidir. $i=1, 2, \dots, n$)

ifadesiyle belirlenebilir. Bu ifadenin geçerli olabilmesi için binanın düzgün olması ve burulma etkisinin ihmal edilebilir mertebede olması gerekir. Duvar-1, duvar-2, duvar-3, çerçeve içinde düzlemi doğrultusunda yatay kuvvete karşı direnç gösteren dolgu duvarlar ise, duvarların kapasite ve rijitlik durumu,

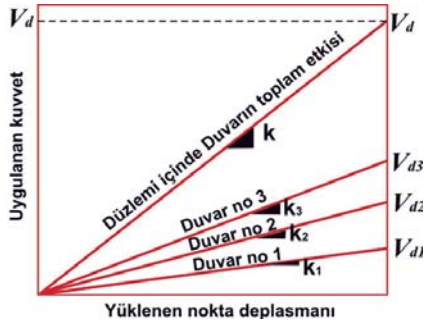
$$V_d(\Delta) = V_1(\Delta) + V_2(\Delta) + V_3(\Delta)$$

$$k = \frac{V}{\Delta} = \sum_i k_{etik}, \quad k = k_{etik1} + k_{etik2} + k_{etik3}$$

buradan anlaşılacağı gibi binanın kapasite hesabı için düzlemi içindeki harekete iştirak eden tüm duvarların kapasite değerlerinin belirlenmesi gerekir.



Şekil 11 - Yük Uygulanan Çerçeve Tepe Noktasının Deplasmanı 10 mm ve 110 mm İken Farklı Açıklık Durumunda Elde Edilen Yük-Deplasman İlişkisi (G.A.Chaar)



Şekil 12 - Düzlemi İçinde Farklı Duvarların Toplam Rijitlik ve Kapasiteleri

11. AYNI BİNA İÇİN HESAPLANAN DOĞAL PERİYOT DEĞERLERİ

Farklı ülke standartlarıncı önerilen denklemler kullanılarak TEK bir binaya gelen yatay yük değeri belirlendi ve Çizelge 1'de verildi. Çizelgeden görüleceği gibi Fransa Standardı =379 ton, İsrail Standardı =284 ton, Cezayir Standardı= 279 ton, Avrupa Standardı=351 ton, Filipin Standardı=351 ton, Kolombiya Standardı = 342 ton, Kostarika Standardı = 260 ton deprem yatay yükünün binaya etkideği sonucunu vermişlerdir.

Ampirik denklemlerin verdiği sonuçlar ile karşılaştırmak amacı ile, sonlu elemanlar kullanarak iki farklı analiz yapıldı. Her iki analizde duvarlar ağırlık olarak hesaba katıldı. Birinci analizde duvarlar sadece ağırlık olarak hesaba katıldı fakat duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılmadı. Yapılan analizde deprem yatay yük değeri olarak 187 ton elde edildi. İkinci analizde duvarların statik sisteme etkisi de hesaba katılarak analiz yapıldı ve deprem yatay yük değeri olarak 303 ton olarak elde edildi.

Çizelge 1'den görüleceği gibi duvar var iken duvarların sadece ağırlık olarak alınması ve taşıyıcı sisteme etkisinin itibara alınmaması önemli bir yanlışlığın yapılması anlamındadır. Çeşitli ülke standart önerileri doğrultusunda yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar da seçilmiş örnek için binaya gelen

deprem yükünün 300 ton civarında olduğunu göstermektedir. Ampirik denklem sonuçları gerçeğe yakın değerlerdir. Buna karşın duvarların sadece ağırlık olarak alınması ve statik sisteme etkisi ihmal edilmesi durumunda elde edilen deprem yatay yükü 187 ton olarak belirlenmiştir. Bu durumda, deprem yükü miktarında yapılan yanlışlık ihmal edilemeyecek derecede yüksek bir değerdir. Ayrıca duvarların binada yaratacağı burulma etkisi de itibara alındığında duvar etkisi hesaba katılmadığı takdirde binanın emniyetinin asla sağlanamayacağı ve yapıların hesapların hiçbir mana ifade edemeyeceği açık ve net ortaya çıkmaktadır.

Burada üzerinde durulması gereken önemli bir durum daha var. Yukarıda verilen ampirik denklemlerin en belirgin dezavantajı, bina içindedeki dolgu duvarların yerini ve durumunun hesaba katılmayışıdır. Örneğin, binanın bir tarafında dolgu duvarlar varsa, diğer tarafında duvarlar yok ise, binaya burulma etkisi gelecek ve düzensizlik söz konusu olacaktır. Fakat ampirik denklemler sadece doğal periyot değeri ile yetinmektedir. Dolayısıyla duvarların dikkate alınması mutlaka gerekir ancak duvarların bina katlarında dağılımının hesaplarda yaratacağı farklı durum da tümü ile ortaya çıkarılmalıdır Dolayısıyla dolgu duvarların hesaba katılması mutlaka gereklidir. Ancak, yalnız deprem kuvvetinin doğru hesaplanması yetmez. Duvar dağılımının sebep olacağı yatayda ve düşeyde oluşacak burulma düzensizliğinin belirlenmesi ve burulmadan oluşacak ilave kesme kuvveti ve kısa kolon durumlarının da belirlenmesi gerekir. Ancak bu sayede yapıyı depreme karşı gerekli emniyete kavuşturacak tedbirler alınabilmektedir.

12. DOLGU DUVARLARIN HESABA KATILMAYIŞINDAN DOĞAN SORUNLAR

Bazı standartlarda dolgu duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılır fakat diğer bazı standartlarda dolgu duvarlar sadece ağırlık olarak hesaba katılır ve taşıyıcı sistem kapasitesine etkisi hesaba katılmaz.

Örneğin hesabı istenen çerçevenin gerçek durumu Şekil 13(a)'da görüldüğü gibi ise, yani çerçeve içinde dolgu duvarlar bulunuyor ise yönetmeliğe göre duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılmadan çerçeve Şekil 13 (b)'de

Çizelge 1 - Aynı bina için farklı ülke standartlarının belirlediği deprem yük değerleri

Duvarsız Duvarlı ve Denklemi kullanılan Standartlar	Duvarların statik sisteme etkisi yok kabul edilirse	Duvarların statik sisteme etkisi var kabul edilirse	Standartlar						
			Fransa AFPS-1990	İsrail SI-413-1995	Cezayir A.C-1988	Avrupa Euro C-2003	Filipin NSCP-1992	Kolombiya NSR-84	Kostarika CRC-1986
Bina Doğal Periyodu	0,71	0,39	0,24	0,43	0,44	0,33	0,33	0,34	0,48
Aynı Bina için belirlenen Deprem Yükü (ton)	187	303	379	284	279	351	351	342	260

görüldüğü gibi kabul edilerek hesap yapılıyor ise elde edilen sonuçların gerçeği temsil edebilmesi sorgulanır durumdadır. Zira, yapılmış olan birçok deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre dolgu duvarların ihmal edilmesi durumunda elde edilen sonuçlar gerçek durumu temsil edemeyecek kadar farklıdır.

Duvarların hesaba katılmayışının diğer önemli bir sakıncası daha vardır. Deprem etkisi ile titreşime geçen binanın enerjisi duvar olmayan kısımlardaki taşıyıcı sistemde boşalarak binanın göçmesine sebep olmaktadır (Şekil 14).

Binaların genelinde giriş katlarında duvarlar yapılmamıştır. Projelendirilme sırasında yapılan hesaplarda duvarların rijitliği dikkate alınmadığı için enerji duvarsız kata yoğunlaşmaktadır. Duvarların rijitliği

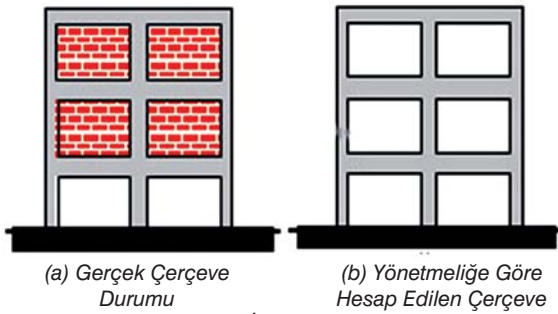
çok önemli rol oynamaktadır ve depremin oluşturduğu titreşim hareketi sırasında duvarlı olan katlar yekpare gibi davranış göstermektedir. Duvar olmayan katlarda yoğunlaşan enerji özellikle kolon başlarını keserek binanın göçmesiyle sonuçlanan bir davranış sergilemektedir. Deprem göçme biçimlerinden bazıları Şekil 15’de verilmiştir.

Şekilden görüleceği gibi normal katlarda pencere camları dahi kırılmazken tüm enerjinin duvarsız katlarda yoğunlaşarak boşalması binanın göçmesine sebep olmuştur. Yönetmelikte yumuşak kat yapmayınız kaydı konulmuştur. Yapının proje hesapları gerçek durumu temsil edebilmelidir. Doğru ve gerçekçi projenin uygulama safhası da doğru olmalı ve titizlikle sürekli denetim yapılmalıdır. Yukarıda sözü edilen deney sonuçları ve deprem sonrası göçme biçimleri depreme karşı emniyetin sağlanması için duvarların hesaba katılması ve duvarsız katlara yeterli gücün verilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

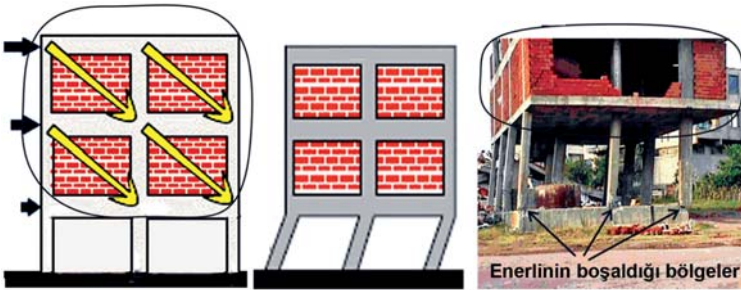
Duvarların sebep olduğu diğer önemli bir etken duvarların kolon boyunca devam etmemesi yani, kısa kolon oluşmasıdır.

Şekil 16’da görüldüğü gibi kolonun belli bir yüksekliğine kadar duvar olması halinde kolonun belli bir yüksekliğe kadar yatay etkiye karşı duvarlar tarafından desteklendiği ve kolon boyunun duvarsız kısmı normal kolon kesme kuvvetine oranla daha yüksek kesme etkisine maruz kaldığı bilinen bir gerçektir. Kısa kolon durumunu yaratan duvardır. Bu itibarla duvar etkisinin kısa kolon yaratıp yaratmadığı da

proje safhasında kontrol edilerek tedbir alınmalı yani, duvar etkisinin hesaba katılması kısa kolon durumunu belirlemek için de zorunlu olmaktadır. Örneğin, bina bodrum katlarında bulunan bant pencereler de kısa kolon oluşmasına sebep olmaktadır. Hatta bant pencere yüksekliği azaldıkça yatay deprem kuvveti çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Duvar



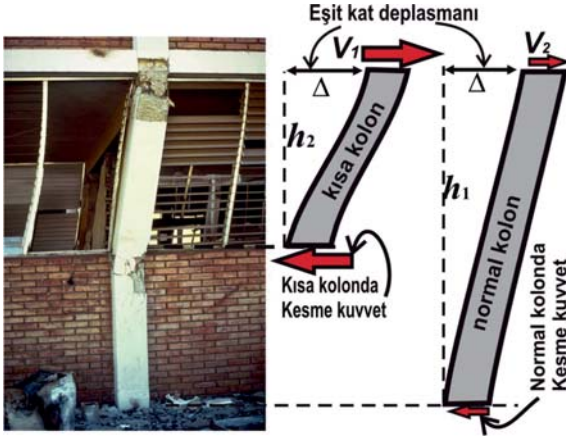
Şekil 13 - Çerçeve İçinde Dolgu Duvar Olması
Durumunda Dolgu Duvarların Statik Sisteme Hesaba
Katmadan Çerçeveyi Boş Olarak Kabul Ederek Analiz
Edilmesi



Şekil 14



Şekil 15 - Duvarların Hesaba Katılmayışı Sonucunda Deprem Enerjisinin Duvarsız Katlarda Yoğunlaşması
Sonucu Oluşan Göçmeler



Şekil 16 - Kısa Kolon Durumunda Oluşan Kesme Kuvveti, Normal Kolon Durumuna Göre Mili Mertebesinde Daha Büyüktür

ile kiriş arasında yarım tuğla yüksekliğinde açıklık bulunması veya duvarların kirişler ile birleşim ara yüzündeki birkaç 2-3 santimetre gibi açıklıkların bulunması da çok yüksek kesme kuvveti oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 17).

13. TÜRKİYE’NİN DEPREM BLANÇOSU

Türkiye genel olarak tümüyle deprem tehdidi altındadır. Geçmiş yıllarda olan depremlerin sebep olduğu hasarlar Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelgede verilen ilk deprem 1902 yılı Çankırı depremidir. Büyüklüğü 5.6 Ms olan deprem, Çankırı’da 3000 ağır hasar ve göçen bina olmasına sebep olmuştur.

Çankırı’nın 1902 tarihte bina sayısı dikkate alınırsa neredeyse var olan binaların tamamını mahveden deprem 5.6 Ms büyüklüğündeki bir depremdir. Çizelgedeki diğer deprem kayıtlarına bakıldığında durum farklı değildir.

Ne yazık ki hangi deprem sonucuna bakılsa iç karartıcı sonuçlar ile karşılaşmaktadır. Örneğin, 1939 Erzincan depreminde Erzincan’ın tamamı yıkılmıştır. Ayakta kalan tek bina 1932 yılında yabancı firma tarafından inşa edilmiş olan Erzincan Gar

binası olmuştur. Erzincan 1939 depreminden sonra sözde depreme dayanıklı binalar inşa edilmiştir. Yönetmeliklere uyulmuş, gerekli titizlik gösterilerek depremde yıkılmayacağına kesin gözle bakılan binalar yapılmıştır. 1992 yılında 6.8 büyüklüğünde Tunceli depreminde başta kamu binaları çok zarar görmüş, Hastaneler, Okullar, Belediye binaları, İtfaiye binası, Sanayi sitesi, Defterdarlık gibi önemli binalar büyük sayılmayan bir depreme dayanamayıp yerle bir olmuşlardır. Erzincan Gar Binası 1939 depreminde olduğu gibi 1992 depremini de hasarsız savmıştır. Bütün bu deprem sonuçlarını burada açıklamaya gerek yoktur. Son olarak 1999 yılında olan Adapazarı ve Düzce depremlerinin yarattığı mal ve can kaybı hala hafızalardan silinmiş değildir. Deprem hasarlarına bakıldığında deprem konusunda Türkiye’de mevzuat ve uygulamada çok önemli hataların yapıldığını kabul etmek gerekir. Zira, her deprem bir felaketle sonuçlanmaktadır.

Erzincan iki kez yerle bir olurken neden Gar binası ayakta kalabiliyor? sorusuna yanıt bulmak zorundayız. Mühendislik hizmetinde ve imar mevzuatında yanlışlığın kaynağını aramak zorundayız. Depremden zarar görmek ve ölümlerle felakete sürüklenmek bir kader yazgısı değildir. Deprem doğal bir harekettir ve felakete sebep olan yanlış sistemle inşa edilmiş ve detayları depreme göre uygun olmayan mühendislik hizmetinin bilinçsiz yapılması ve deprem yönetmeliği olarak yapılan önerilerin gerçeği temsil edemeyişi veya yetersizliği.

Çizelge 3’ten görüleceği gibi inanılması güç olan bir hasar tablosu ve can kaybı olmuştur. Depreme karşı havlu atmış durumda olduğumuzu kabul etmek zorundayız. Eğer gerçekler ile yüzleşmek cesaretini göstermez isek, depreme karşı neler yapılırsa depreme tedbir alınabilir sorusunun yanıtını bulamayız.

14. İRDELEME VE SONUÇ

Dolgu duvarların çok önemli rol oynayan bir parametre olduğu hem deneysel sonuçlardan hem de



Şekil 17 - Duvar-Kiriş Arasındaki Boşluk Etkisi ile Yatay Deprem Kuvveti Altında Oluşan Yüksek Değerli Kesme Kuvvetlerinin Sebep Olduğu Hasar Biçimi

Çizelge 2 - Türkiye'de olmuş depremlerden bazıları ve oluşan hasar tablosu

Tarih	Ms	Yer	Ağır hasarlı	Tarih	Ms	Yer	Ağır hasarlı
09.03.1902	5.6	Çankırı	3000	20.11.1945	5.8	Van	1000
28.04.1903	6.7	Malazgirt	4500	31.05.1946	5.7	Varto	1986
10.02.1903	5.8	Zara	1500	23.07.1946	7	Karaburun	824
09.08.1912	7.3	Mürefte	5540	17.08.1949	7	Karlıova	3000
04.10.1914	5.1	Bolvadin	1700	13.08.1951	6.9	Kurşunlu	3354
13.09.1924	6.9	Pasinler	4300	18.03.1953	7.4	Gönen	9670
07.08.1925	5.9	Dinar	2043	20.02.1956	6.4	Eskişehir	1219
08.02.1926	4.7	Milas	598	25.04.1957	7.1	Fethiye	3100
22.10.1926	5.7	Kars	1100	26.05.1957	7.1	Abant	4201
31.03.1928	7	Torbalı	2100	01.10.1964	7	Manyas	5398
18.05.1929	6.1	Suşehri	1357	31.08.1965	5.6	Karlıova	1500
06.05.1930	7.2	Hakkari	3000	07.03.1966	5.6	Varto	1100
04.01.1935	6.7	Erdek	600	19.08.1966	6.9	Varto	20007
01.05.1935	6.2	Digor	1300	22.07.1967	7.2	Adapazarı	5569
19.04.1938	6.6	Kırşehir	3860	26.07.1967	6.2	Pülümür	1282
22.09.1939	7.1	Dikili	1235	03.09.1968	6.5	Bartın	2073
21.11.1939	5.9	Tercan	500	23.03.1969	6.1	Demirci	1100
26.12.1939	7.9	Erzincan	116720	25.03.1969	6	Demirci	1826
20.02.1940	6.7	Develi	530	28.03.1969	6.6	Alaşehir	4372
13.04.1940	5.6	Yozgat	1250	28.03.1970	7.2	Gediz	9452
10.01.1940	5	Niğde	586	12.05.1971	6.2	Burdur	1389
10.09.1941	5.9	Ercis	600	22.05.1971	6.7	Bingöl	5617
12.11.1941	5.9	Erzincan	500	06.09.1975	6.9	Lice	8149
15.11.1942	6.1	Bigadiç	1262	25.03.1975	5.1	Kars	762
21.11.1942	5.5	Osmancık	448	19.08.1976	4.9	Denizli	887
20.12.1942	7	Niksar	32000	24.11.1976	7.2	Muradiye	9552
11.12.1942	5.9	Çorum	816	26.03.1977	5.2	Palu	842
20.06.1943	6.6	Hendek	2240	30.10.1983	6.8	Erzurum	3241
26.11.1943	7.2	Ladik	25000	05.05.1986	5.8	Malatya	824
01.02.1944	7.2	Gerede	20865	06.06.1986	5.6	Malatya	1174
06.10.1944	7	Edremit	1158	13.03.1992	6.8	Tunceli	6702
10.02.1944	5.4	Düzce	900	01.10.1995	5.9	Dinar	4909
05.04.1944	5.6	Mudurnu	900	14.08.1996	5.4	Çorum	707
25.06.1944	6.2	Gediz	3476	27.06.1998	5.9	Ceyhan	4000
20.03.1945	6	Ceyhan	650	17.08.1999	7.4	Kocaeli	50000



(a) 1939 ve 1992 depremlerini hasar almadan sağlamış olan Erzincan Gar Binası,
(b) 1992 depreminde yerle bir olan Erzincan Belediyesi Hizmet Binası

Şekil 18

deprem sonrası hasar biçimlerinden anlaşılmaktadır. Örneğin, kısa kolon oluşması, yumuşak kat oluşması, deprem kuvvetinin binadaki kiriş ve kolon elemanlarına dağılımı, bina rijitlik merkezi, bina doğal periyodu ve deprem kuvvetinin miktarı gibi faktörler üzerinde duvarların etkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Dolayısıyla bir çok parametreleri üzerinde etken olan dolgu duvarların önemle üzerinde durulması gerektiği açıktır. Duvarların bina içinde sadece mimari bölmeleri oluşturur denilerek önemsenmemesi, duvarları oluşturan tuğla türü malzemelerin kalite olarak bir standarda bağlanmayışı, duvar işçiliğinin de gelişigüzel yapılmasına göz yumulması çok önemli bir yanlışlık yapılmasıdır. Bina tasarımında uygulanan analizde dolgu duvar etkisinin itibara alınmaması gibi bir yanlışlık yapılması yapının daha proje safhasında belirsizliğe teslim edilmesidir.

Dolgu duvarların etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Yapı içindeki duvarları önemsiz bir dolgu malzemesi olarak değil en az betonarme sistem kadar etkili olduğunu kabul etmek gerekir
2. Kolon ve Kirişin oluşturduğu çerçeve içini dolduran duvarlar, çerçevenin rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini kat kat artırmaktadır.
3. Dolgu duvar içindeki kapı ve pencere türü boşluklar dolgu duvar etkisini azaltmaktadır.
4. Duvar-Kolon ve Duvar-Kiriş ara yüzeyindeki boşluklar birkaç cm. dahi olsa, duvar davranışını ve duvarın sağladığı taşıma kapasite artışını misli ile azaltmaktadır.
5. Dolgu duvar etkisi duvarı oluşturan tuğla, briket ve harç gibi dolgu malzemesinin özelliklerine bağlıdır.

Çizelge 3 - Ağustos ve Kasım 1999 Depremlerinde Hasar Gören Konut ve İşyeri Toplamının İllere Göre Dağılımı

31.07.2000 Sivil Savunma	Yıkık ve Ağır Hasarlı		Orta Hasarlı		Az Hasarlı		Toplam
	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	
Bolu	2.334	219	6.099	902	5.767	1.016	16.337
Bursa	141	5	571	25	1.371	68	2.181
Düzce	16.666	3.873	10.968	2.573	13.070	1.605	48.755
Eskişehir	90	21	167	18	398	32	726
İstanbul	3.073	532	15.102	2.510	17.870	2.280	41.367
Karabük	0	0	76	0	106	2	184
Kocaeli	35.845	5.478	41.091	5.861	45.606	6.221	140.102
Sakarya	24.678	5.146	18.406	3.764	27.230	2.699	81.923
Yalova	13.895	751	14.540	1.159	12.685	1.885	44.915
Zonguldak	108	6	311	3	952	9	1.389
Toplam	96.830	16.031	107.331	16.815	125.055	15.817	377.879

edemeyeceği ve binayı bek-
lide daha olumsuz duruma
sokacağı asla akıldan çıkarıl-
mamalıdır.

Kaynaklar

AFPS-90, 1990. *Recommendations for the Redaction of Rules Relative to the Structures and Installations Built in Regions Prone to Earthquakes*, French Association of Earthquake Engineering, Paris, France.

Algerian Seismic Code, 1988. *Algerian Earthquake Resistant Regulations*, Ministry of Town planning and Construction, Algiers, Algeria.

Applied Technology Council. *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings-Basic Procedures Manual*, FEMA-306

Bulgarian Seismic Code, 1987. *Code for Design of Buildings and Structures in Seismic Regions*, Bulgarian Academy of Science Committee of Territorial and Town System at the Council of Ministers, Sofia, Bulgaria.

Costa Rican Seismic Code, 1986. *Seismic Code of Costa Rica*, Federal College of Engineers and Architects of Costa Rica, San Jose, Costa Rica.

Euro code 8, 1996. *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 1-3: General Rules-Specific Rules for Various Materials and Elements*, DD ENV 1998-1-3: European Committee of Standardization, Brussels, Belgium.

European Committee of Standardization, 2003. *Euro code 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, preen 1998-1, Brussels, Belgium.

Ghassan Al-Chaar, Mohsen Issa, and Steve Sweeney, *Behaviour of Masonry-Infilled Nonductile Reinforced Concrete Frames* *Journal Of Structural Engineering* / August 2002 / 1055

P. Govindan, M.Lakshmi pathy, and A.R. Santhakumar *Ductility of Infilled Frames* *ACI Journal* July/August 1986 pp.567-576

NBC-105, 1995. *Nepal National Building Code for Seismic Design of Buildings in Nepal*, Ministry of Housing and Physical Planning, Department of Buildings, Kathmandu, Nepal.

NBC-201, 1995. *Nepal National Building Code for Mandatory Rules of Thumb for Reinforced Concrete Buildings with Masonry Infill*, Ministry of Housing and Physical Planning, Department of Buildings, Kathmandu, Nepal.

NSCP, 1992. *National Structural Code of Philippines*, Vol. 1, Fourth Edition, The Board of Civil Eng. of the Professional Reg. Commission, Manila, Philippines.

NSR-84, 1984. *Colombian Standards for Seismic Resistant Design and Construction*, Bogota, Colombia.

NSR-98, 1998. *Colombian Standards for Seismic Resistant Design and Construction*, Bogota, Colombia.

Paolo Negro And Guldo Verzeletti *Effect Of Infills On The Global Behaviour of Reinforced Concrete Frames: Energy Considerations From Pseudodynamic Tests*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 753-773 (1996)

SI-413, 1995. *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures*, The Standards Institution of Israel, Tel-Aviv, Israel.

- Binadaki bant pencere ve benzeri tür boşluklar kısa kolon etkisi oluşturmakta ve çok yüksek kesme kuvveti oluşmasına sebep olmaktadır.
- Bina doğal periyodu için verilen birçok ülke standartlarında yer alan denklemler aynı bina için deprem yatay kuvveti olarak birbirine çok yakın değerler vermektedir.
- Dolgu duvarların statik sisteme etkisi hesaba katılmaması durumunda elde edilen deprem yatay kuvveti ile standartlarca önerilen denklemlerin verdiği deprem kuvveti arasında misli ile fark olduğu sonucu elde edilmiştir.
- Dolgu duvarların statik sisteme etkisini hesaba katan dinamik analizle belirlenen deprem yükü ile standartlarca belirlenen deprem yükü değerleri uyum içinde yakın değerler olduğu sonucuna varılmıştır.
- Duvar etkisini hesaba katan dinamik analiz ile belirlenen deprem yükü ile, duvar etkisini hesaba katmayan dinamik analizle belirlenen deprem yükü arasında çok büyük fark oluşmuş ve duvar etkisi hesaba katılmadığı durumda binanın emniyetinin tehlikeye girdiği sonucuna varılmıştır.
- Dolgu duvarların statik sisteme etkisini hesaba katmayan analiz sonuçlarına göre yapılacak yeni projelerin depreme karşı gerekli emniyeti sağlamayacağı sonucuna varılmaktadır.
- Betonu düşük mukavemetli, donatısı korozyonla azalmış olan binaların güçlendirilmesinde sadece betonarme sistemi itibara alarak ve dolgu duvarların etkisini ihmal ederek yapılacak güçlendirme projelerinin gerçek durumu temsil