

Betonarme Binaların Depreme Karşı Davranışında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi

Oğuzhan ÇELEBİ¹ ve Kemal BEYEN²

Özet

Betonarme bina tasarımı ve performans değerlendirmesi yapılırken dolgu duvarların sönümleyici etkisi göz önüne alınarak modellenmesi ve yapı sönüm karakteristiği bu çalışmada tartışılmıştır. Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslara göre dolgu duvarın betonarme bina davranışına katkısı çalışma yapısı üstünde incelenmiştir. Betonarme bina mod birleştirme yöntemiyle Türk deprem yönetmeliğinde verilen tasarım depremi için analiz edilerek uygun dolgu duvar özelliklerine karar verilmiştir. Belirlenen dolgu duvar ile modellenmiş çalışma yapısı zaman tanım alanında yerel üç farklı deprem kaydı ile analiz edilerek en hasarlı davranışı gösteren deprem şartlarında binada dolgu duvar katkısı duvarlı ve duvarsız modellenmiş çalışma yapısında nümerik olarak gözlemlenmiştir. Çalışmanın safhalarında sönümleyici sistemler ele alınarak dolgu duvarlar ile analitik sonuçları karşılaştırılmalı olarak tartışılmış fayda zarar sonuçları gösterilmiştir.

Bu çalışmada, kritik kat (zemin kat) seviyesindeki kolonların ötelenme, kesme kuvvetleri ve eleman gerilme güç yitimleri üzerinden performansları karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarların bir binanın performans değerlendirilmesinde veya tasarımında bir yapı elemanı olarak kullanılmasında kolon kesme taleplerinde önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı arttıkça depremden gelen kesme kuvvetlerinin arttığını ve kolon kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Binalar, Performans Değerlendirilmesi, Dolgu Duvar, Sönümleyici Sistemler

The Effect of Infill Walls and Damping Systems on Behaviors of Reinforced Concrete Buildings Against Earthquake

Abstract

In this study, damping characteristics of reinforced concrete buildings considering the damping effects of the infill walls are discussed in case of the performance evaluation and design. The contribution of the infill walls to the behavior of reinforced concrete was investigated on the structure model according to the performance criteria enforced in the Turkish earthquake code. Reinforced concrete building is first analyzed for the code proposed design earthquake by mode superposition method and suitable infill wall characteristics were determined. Model structure with decided infill walls was later analyzed in time domain by three different local maximum

¹ İnşaat Mühendisi

İlgili yazar / Corresponding author: turk.oguz86@gmail.com

² Doç. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Bu makaleye atıf yapmak için- *To cite this article*

Çelebi, O. ve Beyen, K. (2018). Betonarme Binaların Deprem'e Karşı Davranışında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi. *Afet ve Risk Dergisi*, 1(1), 9-25.

Betonarme Binaların Deprem'e Karşı Davranışında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi

credible earthquake records and differences in results are observed in case of the structure with infill walls and bare frame. Results of the frame with infill walls show great effectiveness in the member forces and structural behavior.

In this study, the performance of the columns at the critical floor (basement) level are compared over the member displacements, shear forces and bending moments in performance objectives. It has been found that there are significant differences in column shear capacity requirements when using infill walls as structural members. It was observed that as the compressive strength on the infill wall is increased, shear forces due to earthquake are increased and the column shear forces become decreased.

Keywords: Reinforced Concrete Buildings, Performance Evaluation, Infill Wall, Damping Systems

1. GİRİŞ

Yapılan çalışmalara ve yaşanan depremlere göre dolgu duvarlarının deprem altındaki binaların performansında önemli etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Betonarme binalara dolgu duvar yerleşimi yapılırsa binaların depreme karşı davranışında bazı olumsuzluklar giderilebilir. Bu olumsuzluklar, zayıf kat ve yumuşak kat olabilir. Dolgu duvarların simetrik olarak yerleştirilmesi kolonların kesme talebini azaltabilir lakin simetrik olmayan dolgu duvar yerleşimi kolonlarda burulmaya neden olabilir ve daha büyük kesme kuvvetleri talebi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bina tasarımı yapılırken dolgu duvarlar yapı elemanı olarak düşünülmelidir (Mertol, 2002).

Dolgu duvarların tasarımına ilişkin, çapraz basınç çubuk elemanlar konseptini ortaya koymuşlardır. (Smith ve Coull) Çapraz basınç çubuklarının eş değer kalınlığını, duvarın diyagonal uzunluğunun onda biri olarak varsaymışlardır (Smith ve Coull, 1991). Bu yöntemden farklı olarak dolgu duvarlar depremden önce perde eleman olarak çalışır (Mertol, 2002).

2. DOLGU DUVARIN BETONARME BİNAYA ETKİLERİ

Geçmişte yaşanmış depremlerden gözlemlendiği gibi dolgu duvarlar bir yapı elemanı olarak davranmaktadır. Depremden sonra dolgu duvarlar güçlendirme elemanı olarakta kullanılmıştır. Dolgu duvarların etkin işlevi binanın taşıyıcı elemanlarında meydana gelen hasar şartlarında yapısal eleman gibi yük taşımaya devam etmesi ve binanın oluşan göçme mekanizmasını değiştirmesi ve nihai göçmeyi engellemesidir. Dolgu duvarların deprem yükleri altında yapısal davranışa en büyük katkısı yanal rijitlik artımında ortaya çıkar. Dolgu duvarlarda delikli tuğla kullanılırsa betonarme çerçevenin rijitliği artırmanın yanısıra çerçevenin sünekliliğide artar. Delikli tuğla, tuğlalar arası harç dolgu ve üst sıvalarıyla beraber oluşan taşıyıcı yapı sünekliliği kontrol edilebilir hale getirebilmektedir. Delikli tuğla duvarlar yapının ötelenmesini hasar olarak oluşan çatlaklar ile kontrollü şekilde azaltabilir. Oluşan bu çatlakların ara yüzeylerindeki sürtünme ile yapının sönümü artar. Böylece depremden gelen enerji tuğlalar arası oluşan mekanik kırılma ve yüzeyler arası sürtünmeyle sönümlenir. Enine ve boyuna donatılarla techiz edilmiş tuğla duvarlar taşıyıcı sistemlerin sünekliliğini ve kapasitesini arttırılabilir.

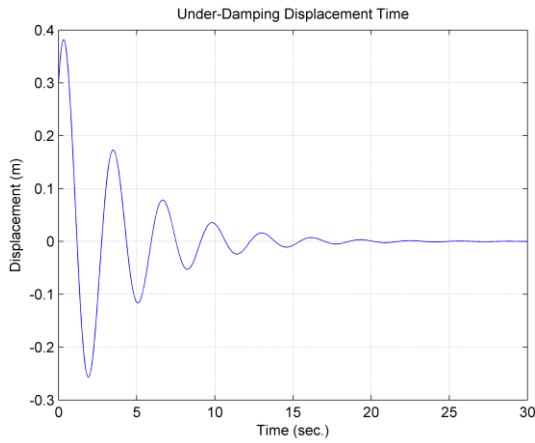
3. SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLER

3.1. Titreşim Enerjisinin Sönümü

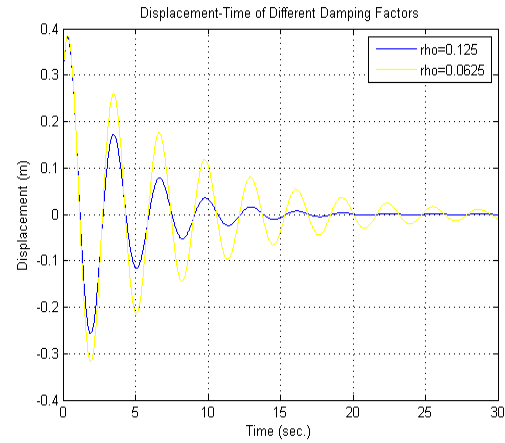
Depremden yapıya etki edilen enerji yapı içinde tüketilerek, bu etkilere karşı tepki oluşturmalıdır. Yapının plastik deformasyon yapabilmesi, donatının akma dayanımına ulaşması, betonun çatlaması, mesnet türlerine göre farklılık gösteren sürtünme ile bu deprem enerjisi tüketilebilir. Bu olaylara yapının sönümü denir. Depremden yapıya gelen dinamik yüklemeleri durdurabilecek minimum sönüme kritik sönüm denir. Yapıda deprem enerjisi tüketilirken, yapının plastik deformasyon yapabilmesi gerekir. Yapıda hasar oluşmalı ama yapı göçme performans düzeyini

sağlamamalıdır. Yapı plastik deformasyon yaptıkça artan süneklilikle deprem etkileri karşılanmaktadır. Plastik deformasyonlar ikinci merteye etkileriyle yapının çökmesine neden olabilir. Yapının sönümü yapının periyodu ile orantılıdır ama yapının periyodunu artıracak işlevler yapılırsa yapıda ciddi çatlaklar oluşarak yapının göçmesine neden olunabilir (Mertol, 2002).

Betonarme binada istenilen titreşim enerjisi sönümü Şekil 1’de gösterildiği gibidir. Burada deprem enerjisi sönümlenmektedir. Şekil 2’de farklı sönüm oranlarında enerji sönümü görülmektedir. Sönüm oranının belirli bir oranda artması depremden gelen enerjiyi daha fazla sönümlendiği gözlenmiştir.



Şekil 1. Titreşim enerjisi sönümü



Şekil 2. Farklı sönüm oranlarında enerji sönümü

3. 2. Enerji Sönümü

3. 2. 1 Viskoz Sönüm

Yapının bulunduğu su veya hava ortamının meydana getirdiği sönüme dış viskoz sönüm denir. (Mertol, 2002). Yapı analizinde göz önüne alınmayabilir. Yapıyı oluşturan yapı malzemelerinin sönümüne iç viskoz sönüm denir. Malzemenin hızıyla doğru orantılıdır. Yapı analizinde göz önüne alınır. (Mertol, 2002).

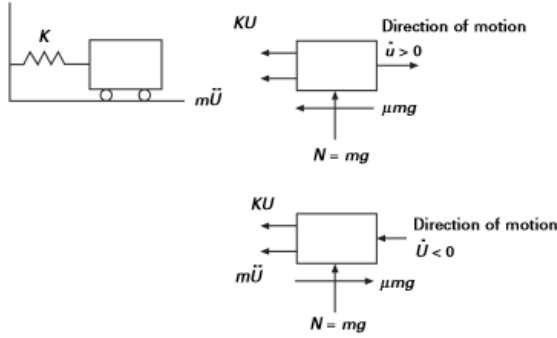
3. 2. 2 Coulomb Cisim Sönümü

Dolgu duvarlarda oluşan çatlaklar arasındaki yüzeylerde sürtünmeden dolayı sönüm meydana gelir. Bu sönüme Coulomb rijit cisim sönümü denir (Mertol, 2002). Kuru sürtünme olarakta adlandırılır. (Mertol, 2002). Geliştirilen sürtünme kuvvetleri titreşim genlik ve frekansından bağımsızdır. Bu kuvvetler kütlelerin zıt yönünde hareket ederler ve büyüklüğü esasen sabittir. Ayrıca bu kuvvetler hızdan ve yer değiştirmeden bağımsızdır. Coulomb sönümünün analitik modele uygulanması zor olduğundan, eşdeğer viskoz sönüme çevrilerek analitik modele yansıtılır. Şekil 3’te Coulomb cisim sönümü gösterilmiştir. (S. Rajasekaran, 2009)

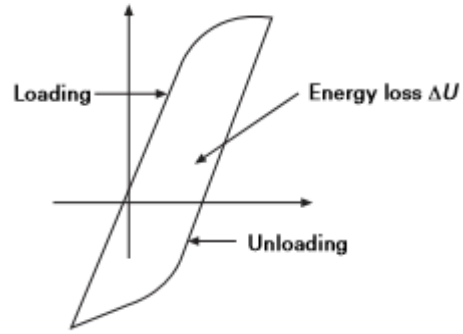
3. 2. 3 Çevrimsel (Hysteresis) Sönüm

Gerçek yapılar idealize edilmiş viskoz sönümlenme şeklini göstermez. Taşıyıcı elemanlar çevrimsel olarak gerildiğinde, elemanların iç yüzeylerinde kaymadan ve ötelenmeden kaynaklanan iç sürtünmeye bağlı olarak enerji kendiliğinden yayılır.

Bu sönüm şekli Şekil 4’te gösterildiği gibi, sönümlenme kuvveti ile deformasyon arasında bir faz gecikmesiyle oluşur. Bu eğriye histerezis döngüsü denir (S. Rajasekaran, 2009).



Şekil 3. Coulomb cisim sönümü



Şekil 4. Çevrimsel sönüm

3.3. Sönüm Oranlarının Belirlenmesi

İnşa edilmemiş yapıdaki titreşimlerin sönüm oranının belirlenmesi çok zordur. İnşa edilmiş yapıda sönüm oranı, binaya özel cihazlarla zorlanmış titreşim uygulanarak belirlenebilir. Örneğin, sönüm oranı 0,02 olan bir yapının ivmesi sönümsüz haldeki ivmenin yaklaşık %55-60'ı kadardır. Sönüm oranı artarsa ve 0,05 olursa bu değer %35-25 olabilir. Sönüm oranı 0,02 olan bir zemin ivmesinin 1/4'ü viskoz sönüm, 3/4'ü plastik deformasyonlarla sömülür. Çünkü plastik deformasyondan oluşan sönüm oranı viskoz sönümden daha büyüktür (Mertol,2002). Bu çalışmada dolgu duvarların deprem etkisinde binaya etkisini incelediğimizden daha çok coulomb rijit cisim sönümü, hysteresis sönümü (plastik deformasyon) ve kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan viskoz sönümü analitik modele etki ettirilmiştir. Gerekli olan sönümleri idealize edilmiş eşdeğer viskoz sönüme çevirerek tek bir sönüm altında betonarme binada modal analiz yapılmıştır.

Yapının göçmeden plastik deformasyon yapabilmesi depremden gelen enerjiye karşı iyi bir sönüm özelliği göstermiştir. Genel olarak düşük genliklerde sönüm oranı 0,01-0,02 ve deprem gibi hareketlerde sönüm oranı 0,05-0,1 olarak değişir. Yüksek modlarda frekans arttıkça sönüm oranı artmaktadır (Mertol, 2002).

Sönüm oranı;

$$\rho = \frac{c}{c_{cr}} \quad 1$$

Burada c yapısal sönüm ve c_r ise kritik sönümdür. $c_r = 2\sqrt{km}$ olarak hesaplanır. k yapının rijitliği m ise yapının kütesidir (S. Rajasekaran, 2009).

Bu durumda,

- $\rho > 1$ ise over-damping. Kritik üstü sönümdür. Hesap modeli oluşturmamızda sıkıntılar yaşanabilir. İstenmeyen durumdur (S. Rajasekaran, 2009).
- $\rho < 1$ ise critically-damping. Kritik sönümdür (S. Rajasekaran, 2009).
- $\rho = 1$ ise under-damping. Kritik altı sönümdür. Titreşimden doğru sonuç alınabilmesi için bu şartın sağlanması gerekir. İstenen durumdur (S. Rajasekaran, 2009).

Şekil 2'de farklı sönüm oranlarında enerji sönümü mevcuttur.

Sönüm Oranları;

Dolgu Çelik Bacalar'ın sönüm oranı 0,00-0,02. Ara duvarlı, narin kolonlu, büyük açıklıklı betonarme binaların sönüm oranları 0,02-0,04. Temelleri kuvvetli dolgu betonarme ve çelik yapıların sönüm oranları 0,04-0,08 arasında değişebilir (Mertol, 2002).

3.3. Sönümde Plastik Deformasyonların Etkisi

Süneklik bir yapının göçmeden plastik deformasyon yapabilme yeteneğidir (Mertol, 2002). Süneklik yapının sönümü hakkında bilgiler verir. Süneklik oranı ne kadar fazlaysa sönüm oranında o kadar fazladır. Plastik deformasyonlar yapıya hasar verebilir ama sönüm oranını önemli ölçüde arttırabilir (Mertol, 2002). Betonarme binalardaki dolgu duvarlar sistemin sönüm değerini önemli ölçüde arttırırlar. Deprem esnasında dolgu duvarlar çatlar ve yapıda hasar oluşmadan plastik deformasyonlar ve sürtünme kuvvetleri, depremden gelen enerjiyi yutarlar. Betonarme perdelerde, dolgu duvarlar gibi işlev görürler. Yapının yerden aldığı enerji ve yapıdan çıkan enerji arasındaki fark ne kadar fazlaysa yapı o kadar çok deplasman, hız ve gerilmeye maruz kalır. Yapıdaki deplasmanlar elastik sınırı aştığında, yapıda hasarlar meydana gelebilir. Bu deformasyonların oluşturduğu hasar, çatlak ve akmalar depremden gelen enerjiyi önemli miktarda sönümlediği gözlenmiştir. Bu hasarlar can ve mal kaybına neden olmamalı ve hemen kullanı seviyesinde olmalıdır. Bu hasarları oluşturabilecek olan dolgu duvarlardır.

4. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİNE İLİŞKİN ESASLAR

RYTEİE (Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar)'de dolgu duvarın etkisini incelemek için belirli bir katsayı tanımlanmıştır. Bu katsayıyı işleme katabilmemiz için RYTEİE' de bazı sınır şartları konulmuştur. Bu şartlar sağlanırsa bu katsayı bulunarak, dolgu duvarın etkisi incelenebilir (RYTEİE, 2013).

Binanın kritik katında değerlendirmenin yapıldığı doğrultuda,

$$\frac{\sum Ak_n}{A_p} \geq 0,002N \quad 2$$

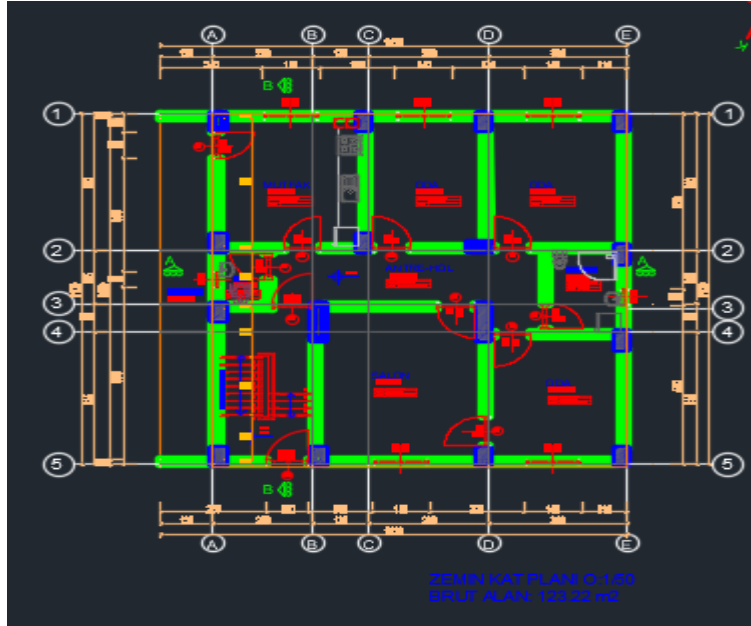
$$\frac{\delta}{h} < 0,015 \quad 3$$

Denklem 2'de ifade edilen $\sum Ak_n$ zemin kattaki boşluk oranı %5'i geçmeyen, dolgu duvarı modellemek için kullandığımız eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğunun, kalınlığına oranı 40'dan küçük olan dolgu duvarların toplam enkesit alanıdır. A_p zemin katın alanı, h zemin katın yüksekliği δ görel kat ötelemesi, N ise zemin ve bodrum katların dışında olan toplam katın sayısıdır (RYTEİE, 2013).

Yukarıda belirtmiş olduğumuz şartlar sağlandıktan sonra dolgu duvarının binanın deprem performansına etkisi incelenebilir. Bu çalışmada, RYTEİE'de tanımlanan basitleştirilmiş yöntemin yeterliliği incelenerek, farklı duvar malzemesi kullanılması durumunda önerilen katsayının güvenilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada kullanacağımız bina bir zemin ve üç normal kattan oluşan dört katlı binadır. Binamızda mimari projeye (Şekil 4) göre yerleştirdiğimiz duvarlarda yukarıda belirtilen şartların geçerli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Görel kat ötelemesi ve duvar alanlarının brüt alana oranları kontrolü

KATLAR	dimax (m)	δ (m)	h (m)	δ/h	$\delta/h=0,015$	$\sum Ak_n$	A_p	N	0,002N	$\sum Ak_n/A_p$
4	0,038	0,007	3	0,002333	<	183,075	109,49	3	0,006	1,672071
3	0,031	0,01	3	0,003333	<					
2	0,021	0,0119	3	0,003967	<					
Zemin	0,0091	0,0091	3	0,003033	<					

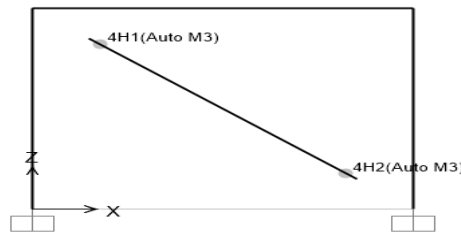


Şekil 4. Betonarme bina mimari plan

5. ANALİTİK MODEL

Analitik modelimizi, non-linear olarak tanımlanmış olup Şekil 5'te gösterilen iki ucu plastik mafsallı eşdeğer basınç çubuğuyla modelleyerek betonarme çerçevedeki etkisi incelenmiştir.

FEMA 356'ya göre eşdeğer basınç çubuğunun, dolgu duvarın etkisini betonarme çerçeveye etkisini tam anlamıyla yansıtmaları için doğru model kurularak, dolgu duvar ile betonarme kolonların birlikte çalışması sağlanmalıdır. İmal edilmesi gereken eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliğini doğru bir şekilde hesaplanması gerekir (FEMA 356 Washington D.C, 2000). Aşağıda eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliğinin nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir (FEMA 356 Washington D.C, 2000).



Şekil 5. İki ucu plastik mafsallı eşdeğer basınç çubukları

$$a_{dolgu} = 0,175(\lambda h_{kol})^{-0,4}d \quad 4$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{dolgu}b_w \sin(2\beta_s)}{4EIh}} \quad 5$$

$$\beta_s = \frac{\text{dolgu yüksekliği}}{\text{dolgu uzunluğu}} \quad 6$$

a_{dolgu} = Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
 h_{kol} = Kolonun merkezden merkeze yüksekliği
 d = Dolgu duvarının köşegen uzunluğu
 λ = Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
 E_{dolgu} = Dolgunun elastisite modülü
 b_w = Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı
 E = Betonarme kolonun elastisite modülü
 I = Betonarme kolonun atalet momenti
 H = Dolgu duvarın yüksekliği

5. 1. Bina Analitik Modeli

Betonarme binamız 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Betonarme bina Z2 zemin sınıfına ve 4 katlı plana sahiptir. Binanın ölçüleri 10 m X 11 m olup ve kat planı Şekil 6'da gösterilmiştir. Türk Deprem Yönetmeliğinde belirtilen mod birleştirme deprem yükü yöntemiyle analiz yapılmıştır (DBYBHY, 2007). X yönü deprem kuvveti E_x ve Y yönü deprem kuvveti E_y olarak tanımlanmıştır.

Betonarme binada kullanılan dolgu duvarların kalınlığı 20 cm'dir. Ortalama basınç beton dayanımı $f_c = 30$ Mpa'dır. Betonun elastisite modülü Mander'in önerdiği formülle hesaplanmıştır. Denklemdaki beton basınç dayanımı birimi MPA'dır.

$$E = 5000\sqrt{f_c} \quad 7$$

f_c burada beton basınç dayanımıdır. Eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliği kat planına ve dolgu duvarlarının modelde duruş şekline göre hesaplanmıştır.

Bu makalede dolgu duvarın betonarme bina üzerindeki etkisi incelendiğinden, farklı malzeme dayanımlarına göre ayrı ayrı modeller kurularak analizler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarları betonarme binaya modellerken FEMA356'da belirtilen farklı malzeme dayanımları esas alınmıştır. Dolgu duvarı iyi dayanıma sahipse alınacak malzeme dayanımı en fazla 6,2 MPa eğer kötü durumdaysa 2,1 MPa ve orta derecede iyi veya kötüyse 4,1 MPa alınmalıdır (FEMA 356 Washington D.C, 2000). Ayrıca dolgu duvarların elastisite modülü için ise hem Türk Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY, 2007) belirtilen hem de FEMA 356'da (FEMA 356 Washington D.C, 2000) belirtilen formülleri esas alınarak eşdeğer basınç çubukların özellikleri belirlenmiştir. Denklemdaki f_d 'nin birimi MPA'dır.

$$E_{dolgu} = 200f_d \quad 8$$

$$E_{dolgu} = 550f_d \quad 9$$

Denklem 8 DBYBHY (Türk Deprem Yönetmeliği)'ne ve Denklem 9 FEMA 356 (Amerikan Yönetmeliği)'ya aittir. Örnek olarak efektif eş değer basınç çubuğu kalınlığı hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

$$\beta_s = tg^{-1} \frac{4}{5} = 42,95$$

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{400^4}{12} = 2,13 \times 10^9 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 200 \text{ mm}$$

$$E_c = 5000\sqrt{30} = 27386 \text{ N/mm}^2$$

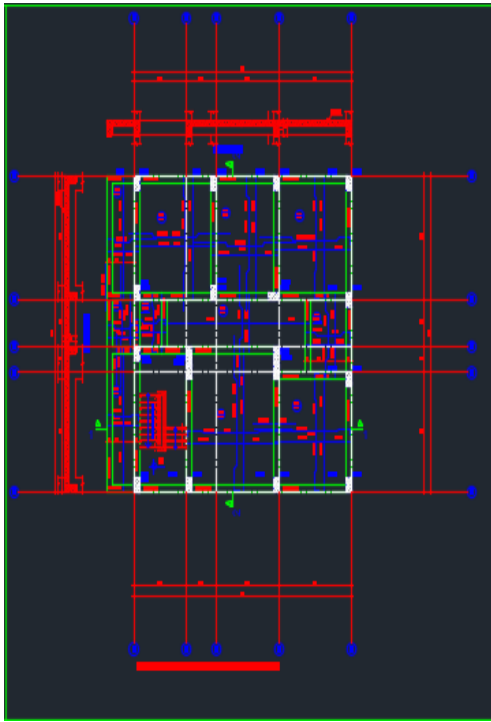
$$h_{duvar} = 375 \text{ mm}$$

$$f_{duvar} = 6,2 \text{ MPa}$$

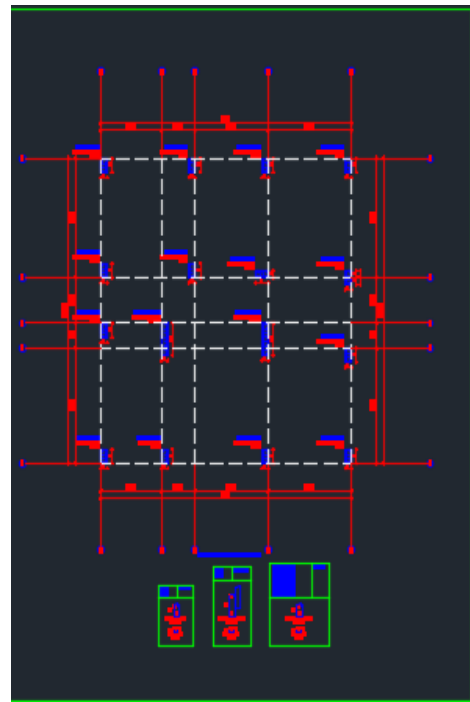
$$\lambda = \frac{4 \sqrt{1240 \times 200 \times \sin(85,91)}}{\sqrt{4 \times 27386 \times 2,13 \times 10^9 \times 375}} = 1,28 \times 10^{-3}$$

$$a_{dolgu} = 0,141 \text{ m}$$

Analitik olarak dolgu duvarın eş değer kalınlığının bulunmasına dair yukarıda örnek sunulmuştur. Bu analitik işlemler farklı duvar özellikleri kullanılarak FEMA 356 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre tekrardan hesaplanarak farklı modal analiz sonuçları sunulmuştur.



(a) Kalıp planı

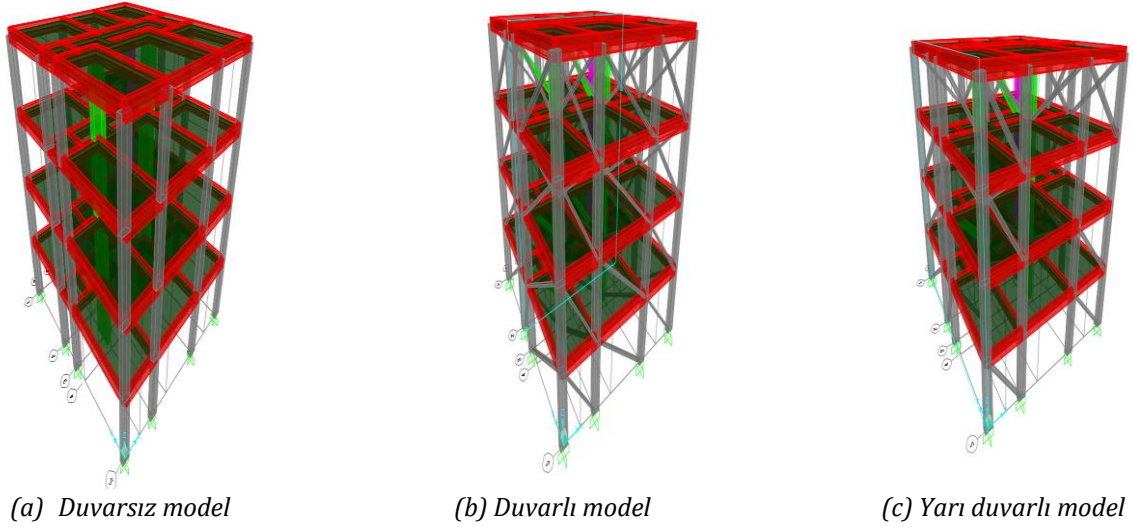


(b) Kolon aplikasyon planı

Şekil 6. Betonarme bina kat planı

Dolgu duvar modeli yukarıda hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu efektif genişliği değerine göre kurulmuştur. Şekil 7'de 4 katlı binanın duvarsız modeli, duvarlı modeli ve simetrik yerleştirilmeyen dolgu duvarı modeli gösterilmiştir.

Simetrik olmayan dolgu duvar yerleşiminde, aksların bazılarında duvar yoktur. Böyle bir model kurulduğunda binanın katları birbirlerine göre göreceli ötelenmeleri farklı olabileceğinden burulma düzensizliği meydana gelebilir. Betonarme binada oluşabilecek burulma düzensizliğinin yanı sıra yumuşak kat (komşu katlar arası rijitlik düzensizliği) oluşabilir çünkü dolgu duvarların olduğu katlar daha dolgu duvarın az olduğu katlara göre daha fazla rijit olacağından komşu katlar arası rijitlik düzensizliği oluşabilir. Tüm katlarda rijitlik uyumu olması ve burulma düzensizliği oluşmaması için dolgu duvarı bütün akslarda simetrik olarak yerleştirilmelidir.



Şekil 7. Duvarlı ve duvarsız modeller

6. ANALİZ SONUÇLARI

İlk olarak binanın duvarsız modeline, mod birleştirme deprem yükü yöntemi uygulanmıştır ve daha sonra binada modal analiz yapılarak ($R=1$) kütle katılım oranları ve kritik kattaki kolon kesme kuvveti talepleri hesaplanmıştır (DBYBHY, 2007). Daha sonra farklı duvar özelliklerine sahip binanın, farklı sönüm özellikleri ve farklı yönetmeliklerde belirtilen şartnameler uygulanarak kritik kattaki kolonların kesme kuvvetleri mukayese edilmiştir. Bununla birlikte duvarlı ve duvarsız modellerin burulma düzensizliği ve komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği mukayese edilmiştir.

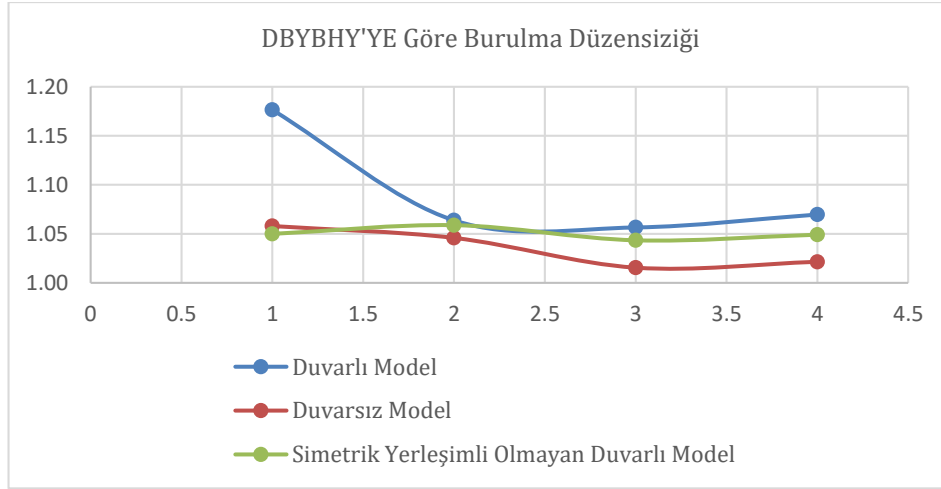
Tablo 2. Duvarsız bina kütle katılım oranları

Duvarsız Model				
Mod	Periyot (s)	X yönlü kütle katılım oranı	Y yönlü kütle katılım oranı	Burulmalı kütle katılım oranı
1	0,43	0,79	0	0
2	0,36	0	0,78	0
3	0,34	0	0	0,78

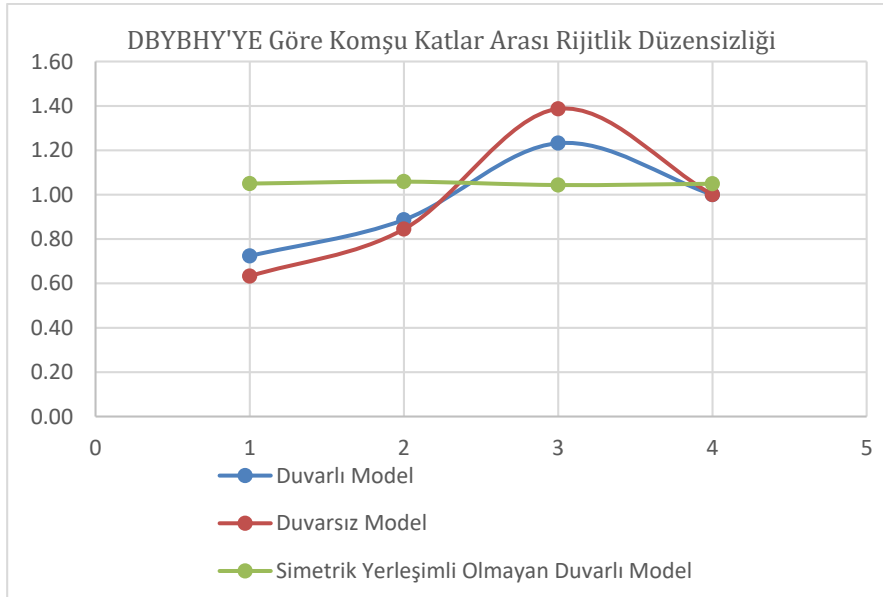
Tablo 3. Duvarlı bina kütle katılım oranları

Duvarlı Model				
Mod	Periyot (s)	X yönlü kütle katılım oranı	Y yönlü kütle katılım oranı	Burulmalı kütle katılım oranı
1	0,21	0,68	0	0
2	0,19	0	0,67	0,54
3	0,18	0	0	0,68

FEMA 356 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre farklı duvar malzemesi kullanılarak modeller kurulmuştur. Betonarme binanın farklı duvar malzemesi özelliklerine göre Ex yüklemesi altında analizi yapılarak kritik kattaki kolonların kesme kuvveti kontrolleri yapılmıştır. Depremden gelen kesme kuvvetinin kritik kattaki kolonlar tarafından en iyi karşılandığı durum Türk Deprem Yönetmeliği'nin öngörmüş olduğu simetrik dağılımlı ve malzeme dayanımı $f_d = 6,2 \text{ Mpa}$ olan duvarlı bina modeli olarak görülmüştür. Simetrik dağılımlı olmayan duvar ise kolonlara gelen kesme kuvvetini arttırmıştır.



Şekil 8. Burulma düzensizlikleri

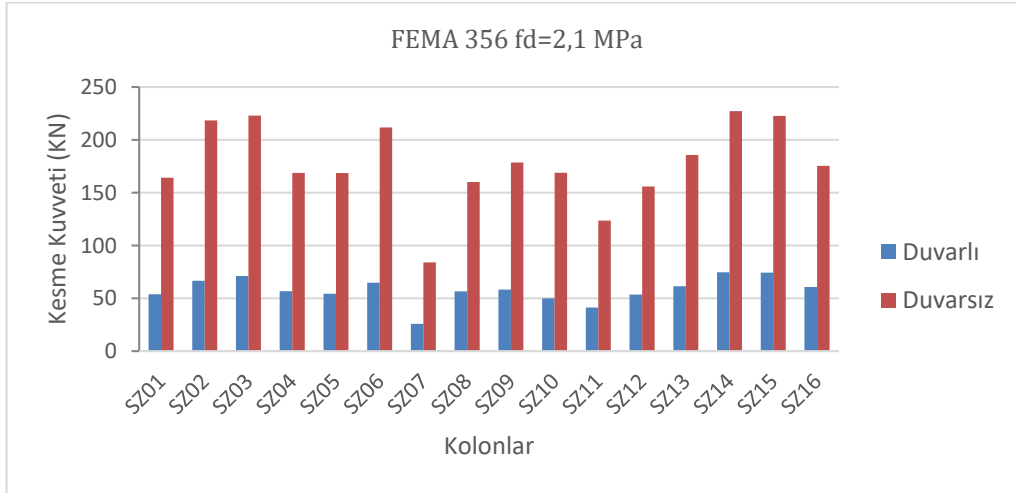


Şekil 9. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

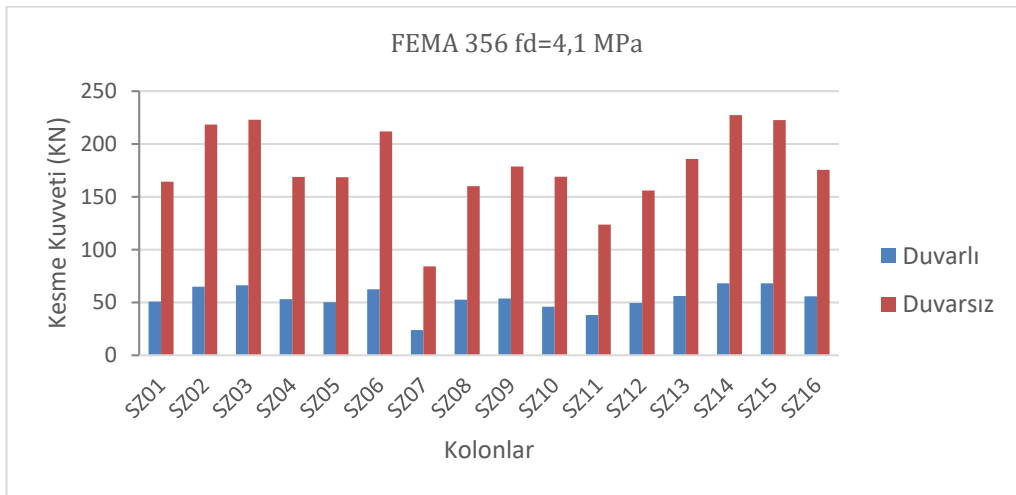
Dolgu duvarlı binanın kritik kattaki kolonları depremin kolonlarda oluşturduğu kesme kuvvetlerini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların kolon kesme kuvvetlerini azaltmasının yanı sıra betonarme binada rijitliği arttırdığı gibi aynı zamanda binanın hakim mod periyodunu azalttığı gözlemlenmiştir. Bu da depreme karşı binanın salınımlarını arttırabilir.

Şekillerden de anlaşılacağı her iki yönetmelikte de duvar dayanımı 6,2 MPa olan dolgu duvarlı binanın kolonları depremin kolonlarda oluşturduğu kesme kuvvetlerini daha çok azaltıyor. Şekil 16'da en iyi malzeme dayanımlı duvarı iki farklı yönetmelik için mukayese edilmiştir. DBYBHY'ye göre yapılan hesapta depremin oluşturduğu kesme kuvvetlerini FEMA 356'ya göre yapılan hesaba göre daha çok azaltmıştır.

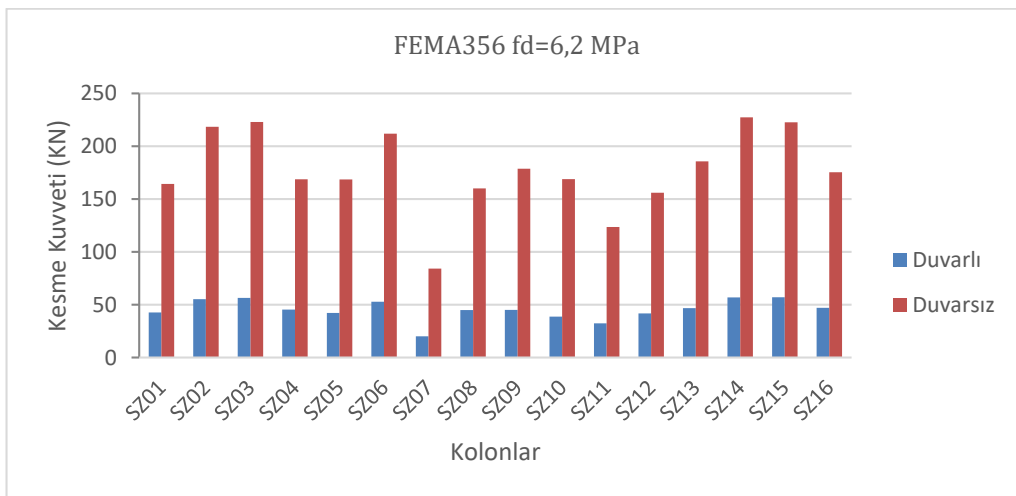
Analiz sonuçlarında, Depreme karşı en iyi davranış özelliği gösteren bina DBYBHY'ye göre tanımlanan malzeme dayanımı 6,2 MPa olan dolgu duvarlı binadır. Bu malzeme dayanımlı dolgu duvar ele alınarak zaman tanım alanında PGA (en yüksek ivme değeri) değerleri birbirinden farklı Ankara'da (Şekil 17), İzmir'de (Şekil 18) ve Uşak'ta (Şekil 19) meydana gelen deprem kayıtları binaya zeminden girdi olarak verilerek analizler yapılmıştır.



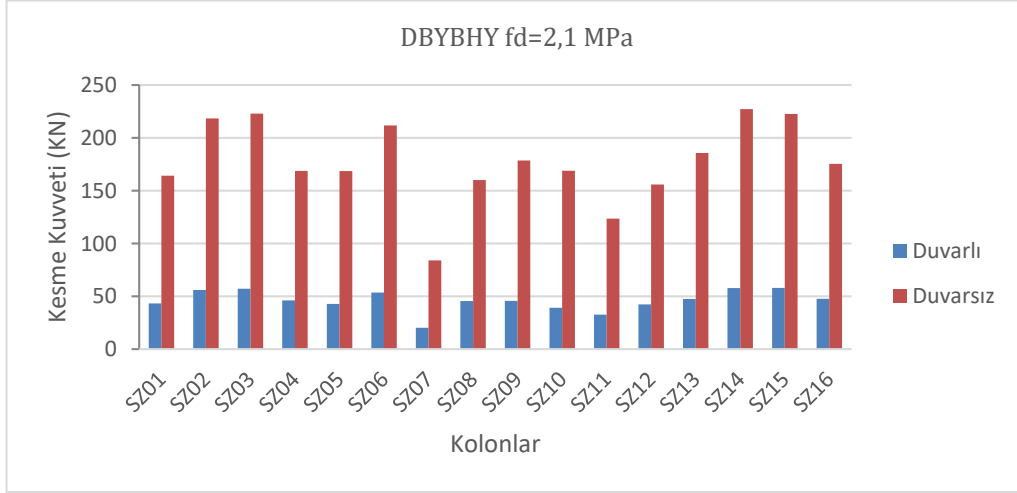
Şekil 10. FEMA 356 yönetmeliğine göre malzeme dayanımı 2,1 MPa olan duvar



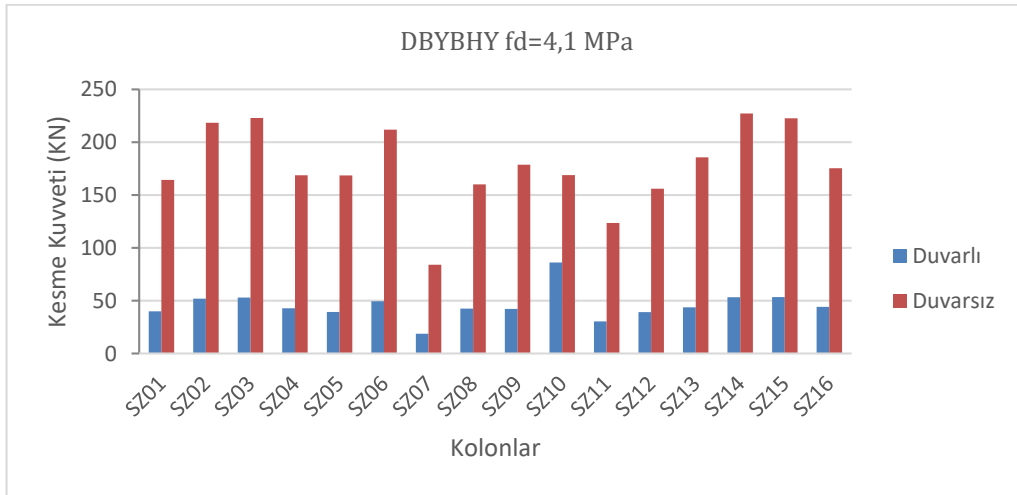
Şekil 11. FEMA 356 yönetmeliğine göre malzeme dayanımı 4,1 MPa olan duvar



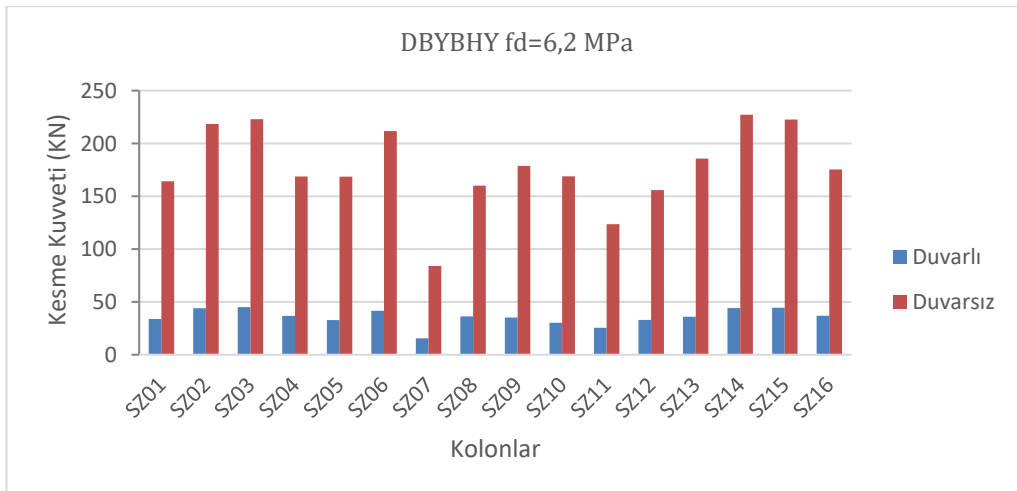
Şekil 12. FEMA 356 yönetmeliğine göre malzeme dayanımı 6,2 MPa olan duvar



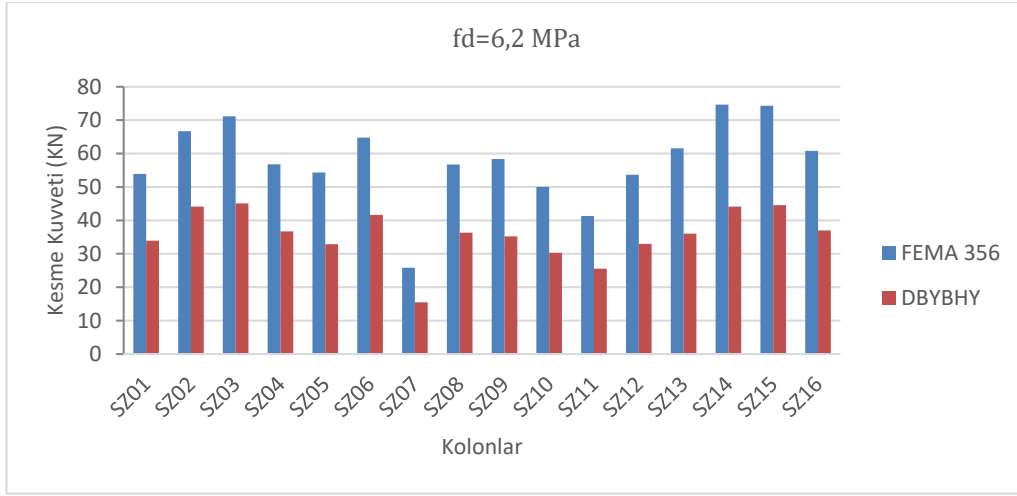
Şekil 13. DBYBHY'ye göre malzeme dayanımı 2,1 MPa olan duvar



Şekil 14. DBYBHY'ye göre malzeme dayanımı 4,1 MPa olan duvar



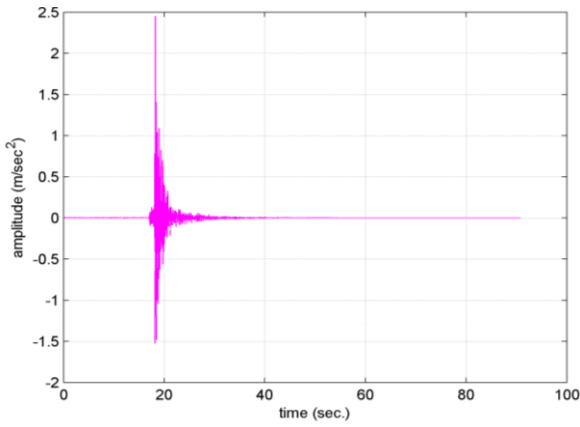
Şekil 15. DBYBHY'ye göre malzeme dayanımı 6,2 MPa olan duvar



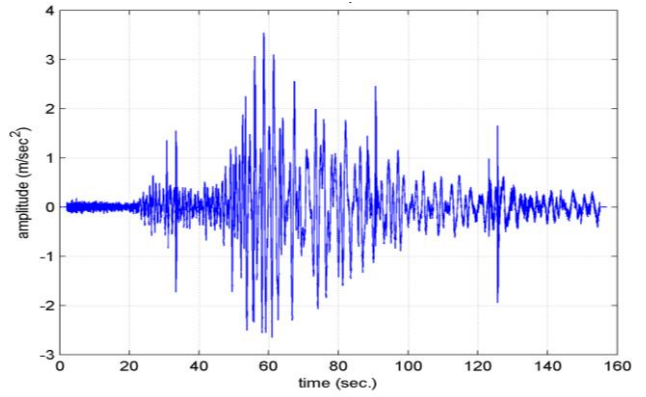
Şekil 16. DBYBHY Ve FEMA 356'ya göre malzeme dayanımı 6,2 MPa olan duvar

Zaman tanım alanında hesap yönteminde birbirinden farklı üç deprem binaya etki ettirilerek binada en olumsuz davranışı oluşturan deprem seçilerek binanın taşıyıcı elemanlarında performans değerlendirilmesi yapılır (DBYBHY, 2007).

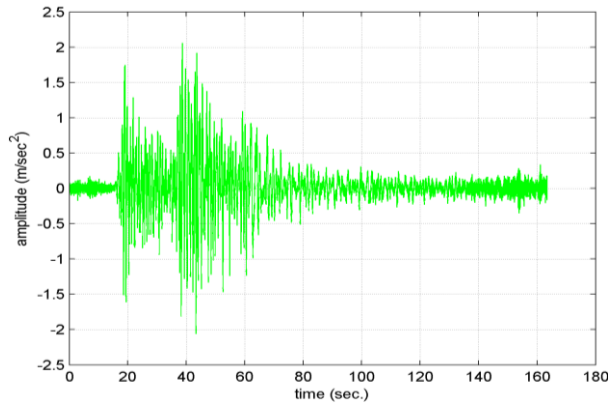
Bu çalışmada zaman tanım alanında hesap yapılmasının nedeni dolgu duvarların betonarme bina üzerindeki sönümleyici etkisini belirlemektir.



Şekil 17. Ankara Depremi



Şekil 18. İzmir Depremi



Şekil 19. Uşak Depremi

Betonarme Binaların Deprem'e Karşı Davranışında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi

Zaman tanım alanında analiz yapıldıktan sonra katlardaki depreme karşı salınımları dolgu duvarlı ve duvarsız modelde görebilmek için frekans tanım alanında hesaplarda yapılmıştır.

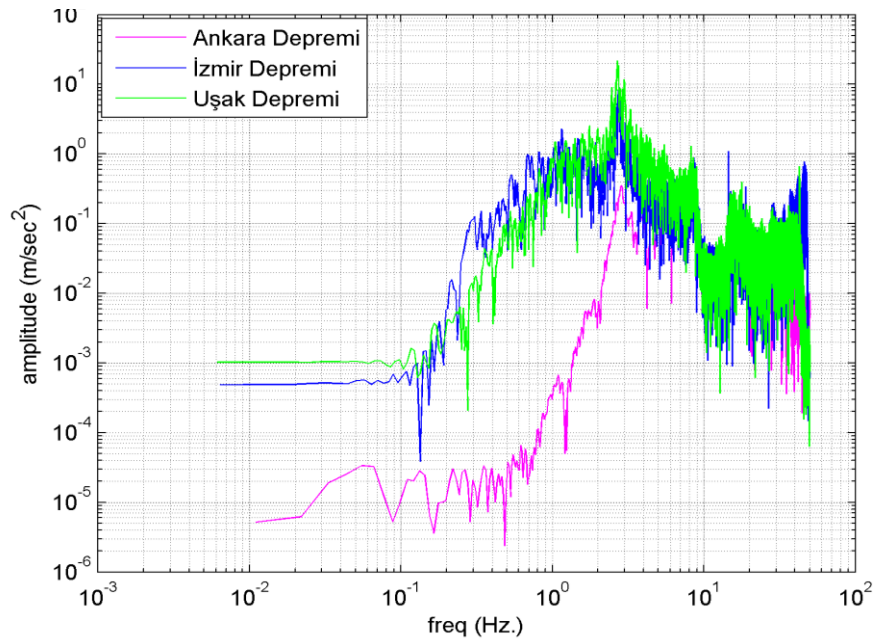
Zaman tanım alanında binaya verilen üç farklı deprem girdisinden elde edilen analize göre, üç farklı deprem kayıtlarının binada oluşturduğu taban kesme kuvvetleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Duvarlı modelin taban kesme kuvvetlerini belirli ölçüde azalttığı gözlenmiştir.

Binaya girdi olarak verilen üç depremden binada en fazla taban kesme kuvvetini oluşturan Uşak Depremidir. FTA (Frekans Tanım Alanı)'da yapılan hesapta dolgu duvarlı binanın kritik katında hangi deprem daha fazla salınım yaptırırsa, binaya en olumsuz davranışı yaptıracak olanda o depremdir.

Tablo 4. Duvarlı ve duvarsız model taban kesme kuvvetleri

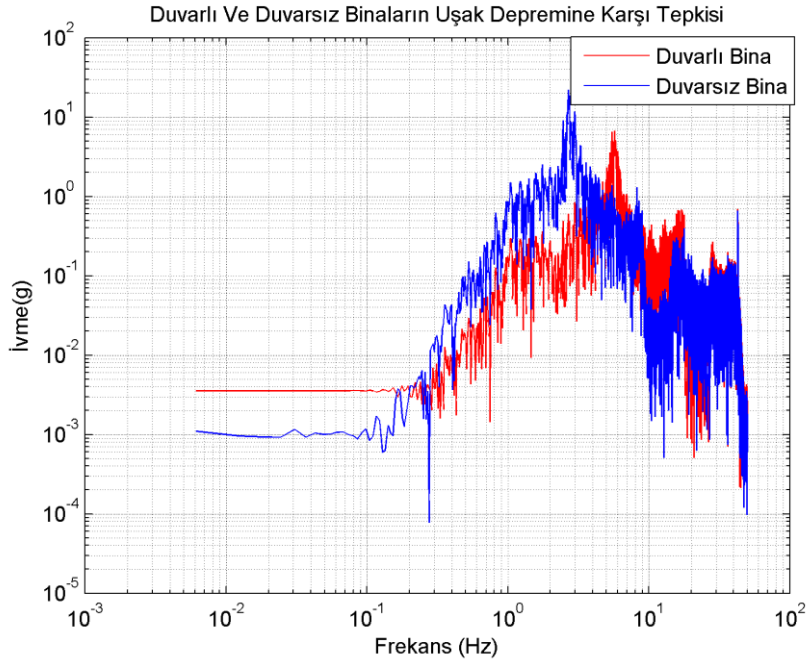
Taban Kesme Kuvveti (KN)			
Deprem	Duvarlı Model	Duvarsız Model	Simetrik Olmayan Duvar Modeli
İzmir Depremi	1565	1624	1646
Ankara Depremi	1364	1623	1642
Uşak Depremi	1284	1695	1674

Tablo 4'te gösterilen sonuçlar zaman tanım analizinde yapılan analiz sonucunda elde edilmiştir. Betonarme binanın kat tepkileri frekans tanım alanında yapılan hesaplara göre bulunmuştur (Beyen, 2015). Bu çalışmada zemin kat tepkisi ele alınmıştır. Şekil 20'de duvarsız binaya etki eden üç depreme göre zemin kat kolonlarının yapmış olduğu kat tepkileri gösterilmiştir. Bina en fazla salınımı Uşak Depremi etkisinde yaptığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla dolgu duvarın betonarme binanın davranışına ne derecede etki ettiğini görebilmek için en olumsuz şartlar oluşturan Uşak Depremi kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 20. Duvarsız binanın üç depreme karşı tepkisi

Dolgu duvarın Uşak depreminden gelen enerjiyi duvarsız binaya göre daha fazla sönümlendiği gözlenmiştir. Şekil 21'de dolgu duvarın depremde gelen enerjiyi duvarsız binaya göre daha fazla sönümlendiği gözlemlenmiştir. Duvarsız modelin depreme karşı en fazla ivme değeri gösterdiği anda duvarlı model 10 kat daha aşağıda ivme değeri göstermiştir. Bu da duvarlı modelin sönüm oranını arttırdığını göstermiştir.

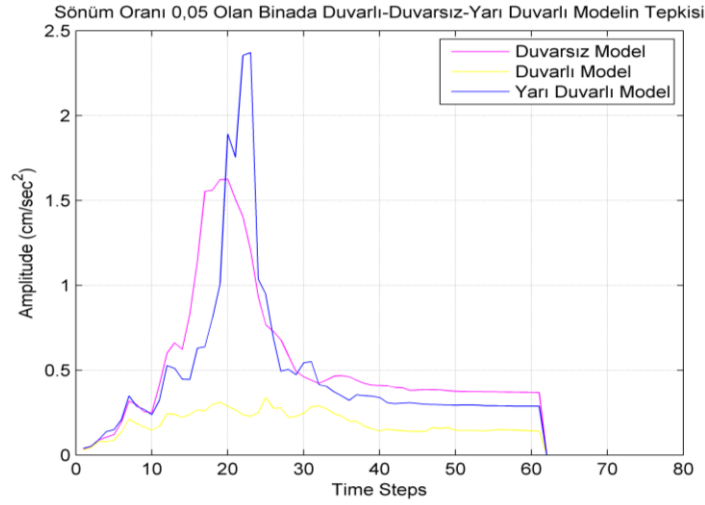


Şekil 21. Duvarlı ve duvarsız modelin Uşak depremine karşı tepkisi

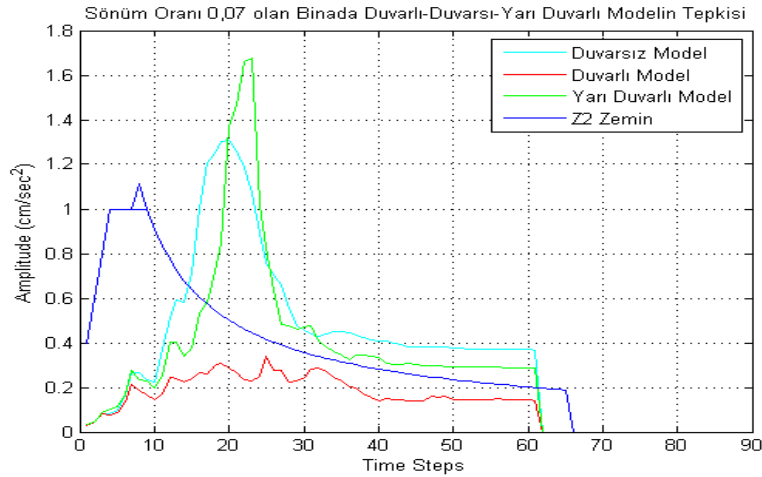
Betonarme binada sabit sönüm oranına göre duvarlı, duvarsız ve yarı duvarlı (simetrik yerleşimi olmayan duvar) binaların Uşak Depremine karşı yapmış olduğu spektral ivmesel tepkiler Şekil 22'de gösterilmiştir. Duvarlı binanın en az model ivme yaptığı gözlemlenmiştir. Yarı duvarlı bina ise en fazla ivmesel tepki göstermiştir. Yarı duvarlı modelde duvarlar simetrik olarak yerleşmediğinden dolayı taşıyıcı elemanlarda burulma meydana geldiği izlenmiştir. Bu burulmadan dolayı taşıyıcı elemanlar daha çok hasar aldığı gözlemlenmiştir.

Betonarme bina çerçevesi, sağlam temelli olduğu durumlarda sönüm oranı 0,04 ile 0,08 arasında değişebilir (Mertol, 2002). Bu binada sönüm oranı 0,07 olduğu varsayılarak üç modelinde bu sönüm oranına göre vermiş olduğu ivmesel tepkiler Şekil 23'te gösterilmiştir. Betonarme bina Z2 zemin grubunda tasarlandığına göre bu zemin grubunun modal kapasite eğrisi Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına göre çizdirilmiştir (DBYBHY, 2007). Bu üç binanın Uşak Depremine karşı vermiş olduğu tepkiler, Z2 zemin grubunu modal kapasite eğrisiyle karşılaştırılmıştır. Duvarlı binanın Z2 zemin grubunun modal kapasitesini karşıladığı gözlemlenmiştir.

Şekil 23'te görüldüğü gibi duvarlı binanın ivmesel eğrisi Z2 zemin grubuna ait modal kapasite eğrisinin altında kalmıştır. Bu modal kapasitenin karşılandığını göstermektedir. Yarı duvarlı model ve duvarsız modele ait binaların modal kapasite eğrisini aştığı gözlemlenmiştir. Yarı duvarlı ve duvarsız binanın taşıyıcı elemanları modal kapasiteyi karşılayamadığı için elemanlar can güvenliği hasar bölgesinde olabilir.



Şekil 22. Sönüm oranı 0,05 olan bina modellerinin modal ivme tepkileri



Şekil 23. Depreme karşı yapılan modal ivme tepkilerinin modal kapasite eğrisiyle karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Betonarme binanın performansı değerlendirilirken dolgu duvarın betonarme binanın depreme karşı davranışına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada duvarlı, duvarsız ve simetrik olmayan kısmen duvarlı modeller kurularak sonuçları tartışılmıştır. Zaman tanım alanı sonuçlarıyla, modal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir.

Dolgu duvarların bir binanın performans değerlendirilmesinde veya tasarımında bir yapı elemanı olarak kullanılmasında kolon kesme taleplerinde önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı arttıkça depremden gelen kesme kuvvetlerinin arttığını ve kolon kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Betonarme binalara dolgu duvarları yerleştirirken simetrik olmasına dikkat edilmesi gerekir. Simetrik olmayan dolgu duvarı yerleşimi olunca kat ötelemelerinin ve kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında bina düzensizlikleriyle karşılaşılabilir. Binada burulma düzensizliği oluşabilir. Dolgu duvarlar betonarme binada yapı elemanı olarak kullanıldığında burulmalı kütle katılım oranında, burulma düzensizliğinde artış göstermiştir. Bina'nın rijitliğini arttırmış ve doğal hakim periyodunu azaltmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, zaman tanım alanında binaya zeminden verilen üç farklı depreme karşı betonarme binanın iyi bir davranış göstermesi için dolgu duvarın bir yapı elemanı olarak kullanılması öngörülmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, frekans tanım alanında dolgu duvarlı binanın zeminden etki eden deprem enerjisini önemli ölçüde sönümlediğini gözlemlenmiştir. Çünkü duvarsız modele ait bina deprem enerjisine karşı dolgu duvarlı modele ait binaya göre en fazla 3 kat daha fazla ivme değeri göstermiştir. Bu durum, dolgu duvarın deprem enerjisini önemli ölçüde sönümlediğini göstermiştir.

Bu çalışmada, zaman tanım alanında zemin katın en olumsuz davranışı oluşturan depreme karşı modal ivme tepkilerini incelenmiştir ve dolgu duvarlı binada depremin oluşturduğu modal ivmelerin binanın tasarlandığı Z2 zemin grubunun modal kapasitesini karşıladığı tespit edilmiştir. Deprem esnasında taşıyıcıların tanımlanan bu şartlar altında belirgin hasar bölgesinde kaldığı izlenmiştir.

Dolgu duvarların modellenmesine ilişkin esaslarda farklı deprem yönetmeliklerinin belirlemiş olduğu şartlar uygulanarak, farklı analiz sonuçlar elde edilmiştir. FEMA 356' ya göre depremin kolonlarda oluşturduğu kesme kuvvetlerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Beyen, K. (2015). Hasar tanılama analizlerinde frekans-zaman çözümlenmesi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, İzmir.

DBYBHY. (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Prepared by ASCE for Federal Emergency, Washington D. C.

Mertol, A.ve Mertol, H.C. (2002). "*Deprem mühendisliği depreme dayanıklı yapı tasarımı*". Kozan Ofset, Antalya, Türkiye.

Rajasekaran, S. (2009). *Structural dynamics of earthquake engineering: theory and application using MATHEMATICA and MATLAB*. Elsevier.

RYTEİE. (2013). "*Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar*". Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Stafford Smith, B., & Coull, A. (1991). *Tall building structures: analysis and design*. Wiley-Interscience.