

Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi

M. SİVRİ¹, F. DEMİR², A. KUYUCULAR³

^{1,2} Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü, ISPARTA

³ Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü, DENİZLİ

Özet: Bu çalışmada, betonarme binaların tasarım ve projelendirilmesinde, taşıyıcı eleman olarak hesaba katılmayan dolgu duvarların, yapının deprem davranışına etkileri konu edilmiştir. Dolgu duvarların ve planda duvar yerleşiminin yapı davranışına etkisini incelemek amacıyla değişik dolgu duvar yerleşimlerine sahip betonarme yapı ele alınmıştır. Dolgu duvarların modellenmesi için eşdeğer diagonal eleman kullanılmıştır. Dolgu duvarlar yapının rijitliğini değiştirmektedir. Rijitliğe bağlı olarak yapı periyodu ve yapıya gelen deprem kuvvetlerinin de değiştiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Dolgu duvar, düzensizlik, duvar, dinamik analiz.

Effects of Masonry Infill to Earthquake Response and Collapse Mechanism of Frame Structure

Abstract: In this study, effects of nonstructural masonry infills on the earthquake response of reinforced concrete structure are investigated theoretically. Considering reinforced concrete structures with different configuration of masonry infills are dealt to examine the effects of irregular infill. The diagonal strut model is adopted and used modeling masonry infill. Masonry infills change structure ductility. It is seen that depending on ductility, period and earthquake forces applied to structure are also differs.

Keywords : Infilled frame, irregularity, masonry, dynamic analysis.

Giriş

Dolgu duvarlar tasarım sırasında, ikinci derece yapı elemanı olarak düşünülmektedir ve analizde karşılaşılan karmaşıklıktan dolayı hesaplarda nadiren dikkate alınmaktadır. Buna karşın, duvarların yapı davranışına etkileri, bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Harpal, Paul ve Sastry,1998, Hong, Guo-Wei ve Yong, 2002, Sahota ve Riddington, 2001, Nollet ve Smith, 1998). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki dolgu duvarları yapının deprem davranışını büyük ölçüde etkilemektedir.

Dolgu duvar yapının yanal rijitliğini büyük ölçüde artırmaktadır. Diğer taraftan, planda düzensiz yerleşiminden kaynaklanan burulma etkileri, yumuşak kat oluşması ve kısa kolon davranışı gibi olumsuz etkileri de vardır.

Bu çalışmadaki amaç yapının hasar görmesine ve göçmesine neden olan deprem yer hareketinde dolgu duvarların betonarme yapının davranışı ve performansı üzerindeki etkilerini belirlemektir. Hesaplarda Düzce (1999) ve Erzincan (1992) deprem kayıtları yer hareketi olarak alınmıştır.

Dolgu Duvarların Etkileri

Dolgu duvarlar betonarme yapı sistemlerinde genellikle yapıyı bölümlere ayırmak için kullanılmaktadır. Bu duvarlar yapının çerçeve sisteminden sonra inşa edildiği için yapısal olmayan elemanlardır. Dolgu duvarlar, mimari fonksiyonları yerine getirmek amacıyla yapılmalarına karşın yapının yanal yük dayanımını da artırmaktadır. Dolgular dayanım ve rijitliklerinden dolayı yapı sisteminin dinamik davranışını da etkilemektedirler. Yapılan birçok çalışmada, dolgu duvarsız sistemlerin davranışı ile dolgu duvarlı sistemin davranışı arasında büyük farklılıklar bulunduğu belirtilmektedir (Harpal Singh, Paul, D.K., Sastry). Başka bir deyişle, dolgular yapının yanal rijitliğini artırmaktadır. Yapı sisteminin kütledeki ve rijitliğindeki bu artıştan dolayı dinamik etkileri ve davranışı da değişmektedir. Son yıllarda yaşanan Erzincan, Düzce ve İzmit depremlerinde dolguların yapı dayanımına ve rijitliğine büyük ölçüde etkilediği görülmektedir.

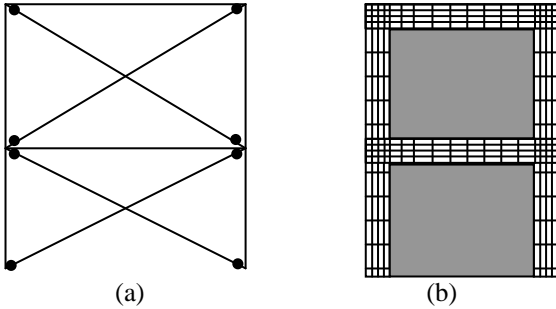
Bununla birlikte, dolgu duvarlı yapıların modellenmesi ve deprem etkisindeki davranışının analizi, basit ve kolay değildir. Yapı sisteminin davranışı genellikle doğrusal olmadığından dolayı deneysel verilerle doğrulanmayan analitik yöntemlerle sistem davranışını çözümlenemeyen hataları artıracaktır.

Analizlerde dolguların etkilerini hesaba katma zorluğu aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır (Penelis ve Kappos, 1997);

- Malzeme özelliklerin değişken olması ve dolayısıyla dayanım ve şekil değiştirmelerin farklı olması;
- Dolgu elemanlarının çerçeve elemanlar ile etkileşimi;
- Yer hareketi sırasında hasarların büyük ölçüde düzensiz olması.

Genelde, dolgu duvarların yapının sismik davranışındaki etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Dowrick, 1987, Tossios, 1984);

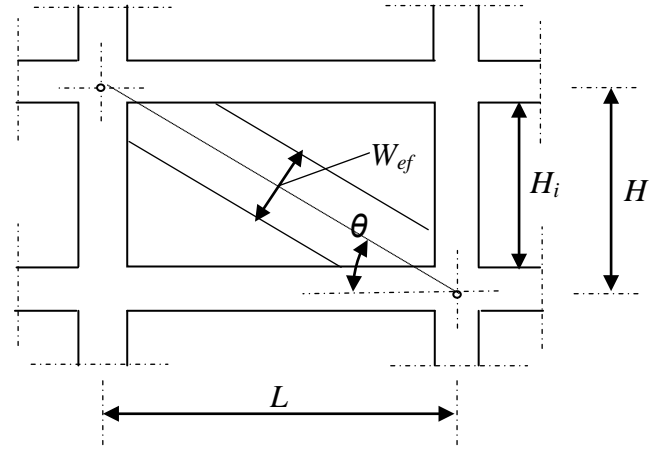
- Yapının rijitliğini artırır, yapı periyodu düşer ve bu nedenle yer hareketindeki taban kesme kuvvetlerini artırır,
- Planda ve düşeyde yapının yanal rijitliğindeki dağılımını da değiştirir,
- Sismik hareketin bir kısmı dolgu duvarlar tarafından taşınır ve böylece yapı sisteminin yükü azalır.
- Yapının enerji yutma kapasitesini de oldukça artırır.



Şekil 1. Dolgu duvar modelleri (a) Diagonal eleman modeli, (b) Sürekli eleman modeli

Dolgu Duvarların Modellenmesi

Genellikle dolgu duvarlı sistemlerin analizinde, duvarlar Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi eşdeğer çubuk eleman olarak veya Şekil 1(b)'deki gibi sürekli eleman olarak tanımlanır. Eşdeğer çubuk eleman yöntemin kullanımı basittir fakat gerçek davranışa yakınsaklığı sürekli eleman modeli kadar hassas değildir. Dolgu duvarların çubuk elemanlarla gösteriminde, doğrusal olmayan rijitliklerinin belirlenmesinde bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle duvar içerisinde bulunan kapı ve pencerelerden dolayı diyagonal rijitliği değişmektedir. Ayrıca, duvar içinde göçme durumunun belirlenmesi de pek mümkün değildir. Sürekli eleman modelinde her bir sonlu elemanın özellikleri ile dolgunun doğrusal olmayan davranışı doğru olarak tanımlanır ve hem malzeme özellikleri hem de geometri özelliklerinde uygun değerler alınırsa kesin sonuçlar bulunabilmektedir. Fakat modelleme ve analiz çok karmaşıktır (Hao, Ma ve Lu,2002).



Şekil 2. Dolgu Rijitliğinin Hesabında Kullanılan Değerler

Şekil 1'de gösterilen donatısız duvar elemanın plandaki elastik rijitliği, genişliği W_{ef} olan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile temsil edilmektedir. Kalınlığı duvar kalınlığına eşit olan çubuğun genişliği aşağıdaki gibi verilmektedir (Negro, P., Colombo);

$$W_{ef} = 0.175 (\lambda_h H)^{-0.4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (1)$$

burada;

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_i t \sin 2\theta}{4 E_c I_c H_i}} \quad (2)$$

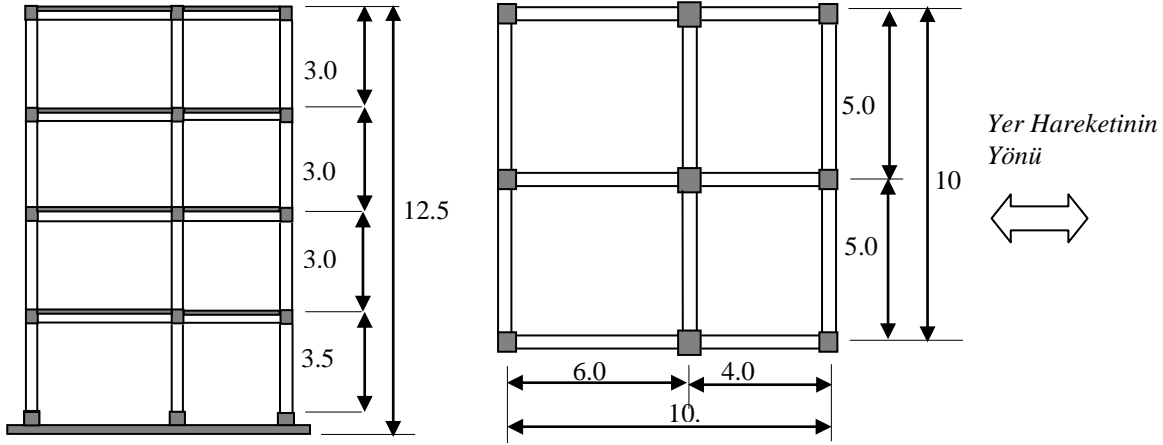
H ve L çerçeve elemanların yüksekliği ve eni, E_c ve E_i kolon ve diagonal elemanların elastisite modülü, t dolgu panelin kalınlığı, θ eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı, I_c kolon elmanın atalet momenti ($b.h^3/12$) ve H_i panelin yüksekliğidir.

Bu çalışmada, duvarların gösterimi için basitliği nedeniyle eşdeğer diyagonal eleman modeli seçilmiştir. Sayısal analizlerle seçilen çerçeve sistemlerin yer hareketindeki davranışları bu yöntem kullanılarak incelenmiştir.

Sayısal Örnek

Negro ve Colombo (1997) tarafından deneysel araştırmaları yapılan bina sayısal analiz için kullanılmıştır. Dört katlı betonarme binanın planı ve geometrik özellikleri Şekil 3'de verilmiştir.

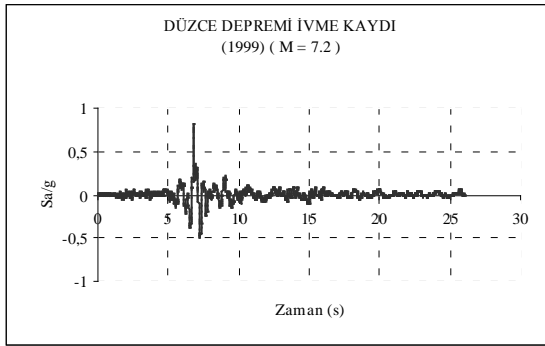
Bina 10m genişliğinde, 10m boyunda ve 12.5m yüksekliğindedir. Analizde tipik yük durumları hesaplanmıştır (ölü yükler 2 kN/m^2 ve hareketli yükler 2 kN/m^2). Beton sınıfı C25 olarak alınmıştır.



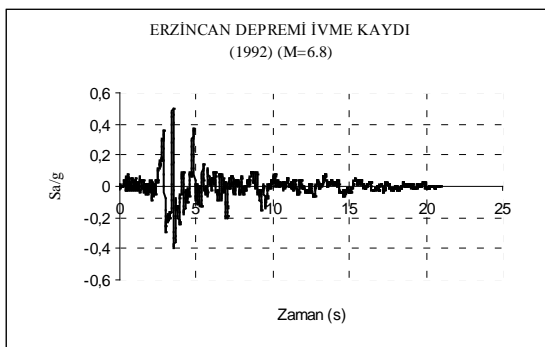
Şekil 3. Yapı planı ve kesiti (uzunluklar metre)

Negro ve Colombo (1997) deneylerinde dış çerçevelere yerleştirilen dolgu duvarların kalınlıkları 190mm olarak alınmıştır. Analizlerde duvarların elastik özelliklerinin yapı davranışına etkisini incelemek amacıyla $t=190\text{mm}$, $t=90\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $E_d=10\ 000\ \text{MPa}$ ve $f_d=5\ \text{Mpa}$, $f_d=2\ \text{Mpa}$ değerleri kullanılmıştır.

Analizler de üç tip çerçeve ele alınmıştır: (a) dolgu duvarların bulunmadığı ve ağırlıklarının alınmadığı çerçeve (temel çerçeve), (b) dolgu duvarların bulunduğu çerçeve (dolgulu çerçeve), (c) zemin kat hariç diğer katlarda dolgu duvar bulunan çerçeve (yumuşak kat). Temel çerçeve, dolgulu çerçeve ve yumuşak kat için hesaplanan çatı yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri Düzce Depremi için Şekil 6, 7 ve Erzincan Depremi için Şekil 8, 9'da verilmiştir.



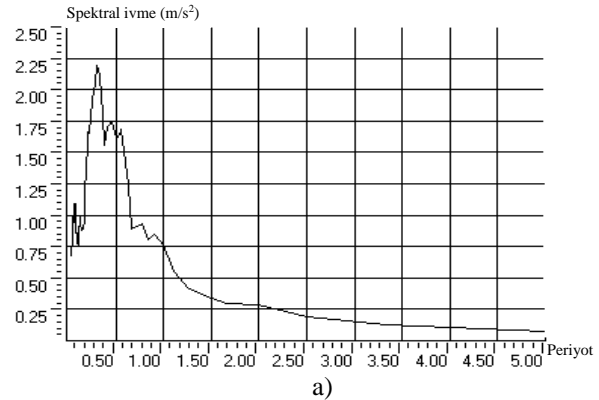
a)



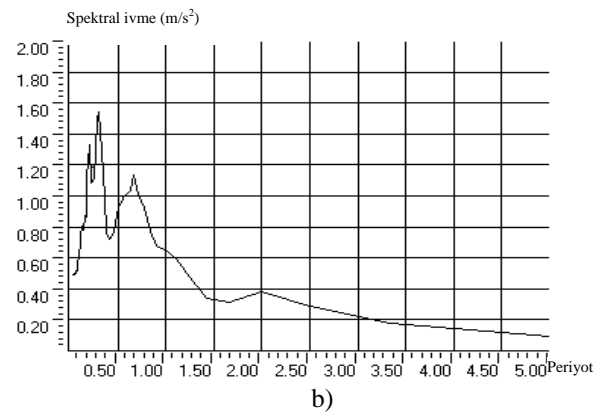
b)

Şekil 4. Yer ivme kayıtları (a) Düzce (b) Erzincan

Şekil 4'de verilen Düzce ve Erzincan depremi kayıtları zaman tanım aralığı analizi ile Şekil 3'de verilen yapıya etkilmiş ve Şekil 5'de gösterilen doğrusal davranış spektrumları elde edilmiştir.

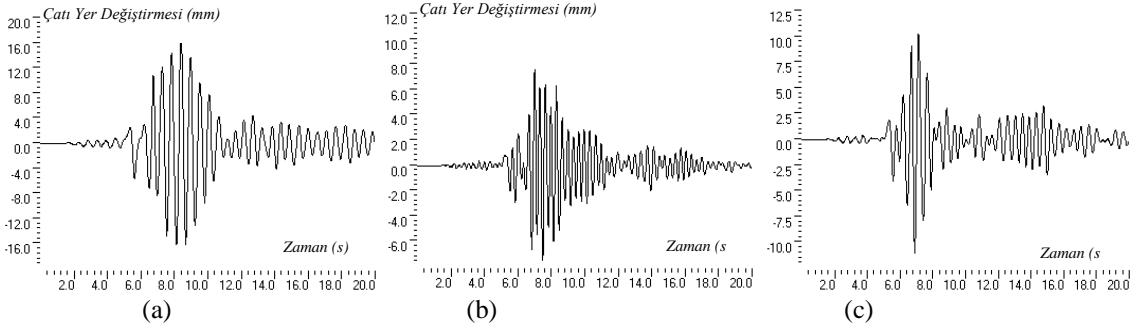


a)

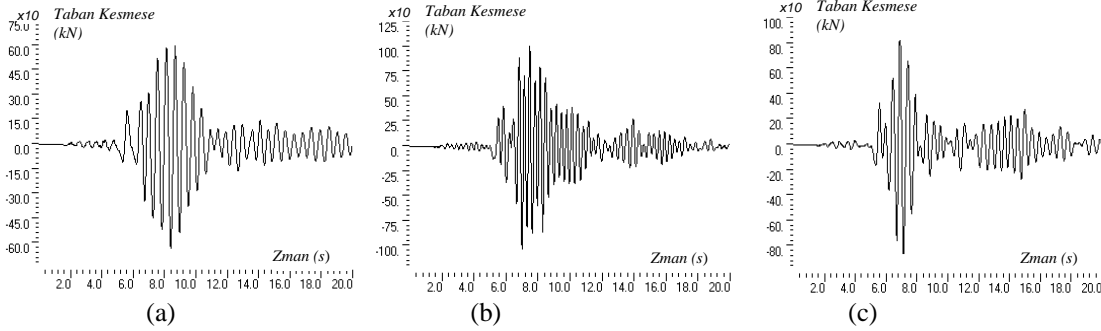


b)

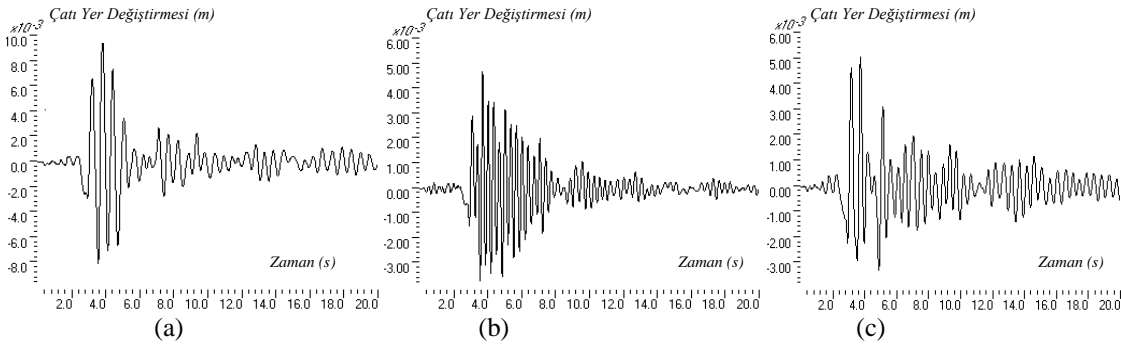
Şekil 5. Doğrusal davranış spektrumu (a) Düzce Depremi (b) Erzincan Depremi



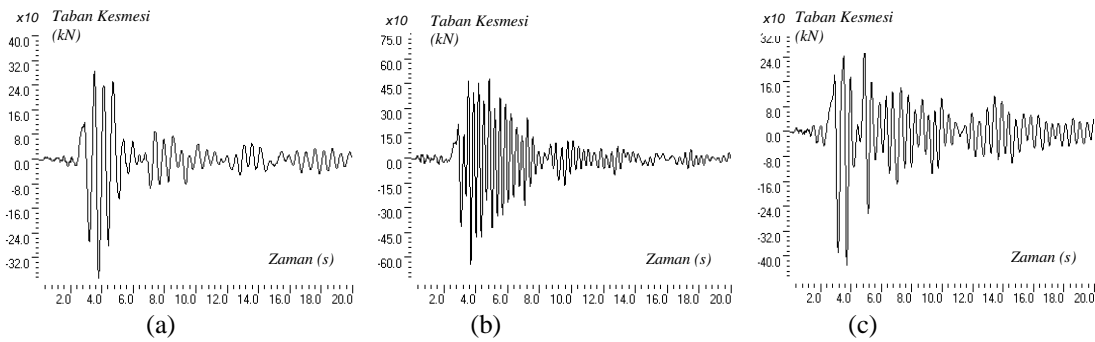
Şekil 6. Düzce Depremi etkisinde zaman tanım aralığı analizi yapı çatı deplasmanları a) temel çerçeve, b) dolgulu çerçeve, c) yumuşak katlı çerçeve ($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)



Şekil 7. Düzce Depremi etkisinde zaman tanım aralığı analizi yapı tasan kesme kuvvetleri a) temel çerçeve, b) dolgulu çerçeve, c) yumuşak katlı çerçeve ($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)



Şekil 8. Erzincan Depremi etkisinde zaman tanım aralığı analizi yapı çatı deplasmanları a) temel çerçeve, b) dolgulu çerçeve, c) yumuşak katlı çerçeve ($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)



Şekil 9. Erzincan Depremi etkisinde zaman tanım aralığı analizi yapı tasan kesme kuvvetleri a) temel çerçeve, b) dolgulu çerçeve, c) yumuşak katlı çerçeve ($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)

Tablo1. Deprem kuvveti yönündeki yapı periyotları

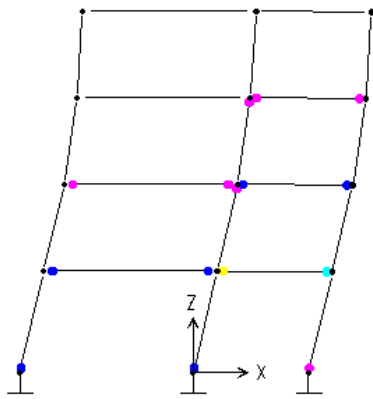
Yapı	Deney Sonuçları (Negro, Colombo 1997) Periyot (s) (t=190mm, E _d =25 000 MPa, f _d =5 Mpa)	Çalışmada bulunan periyotlar (s)			
		t=190mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=190mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=90mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=90mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa
Temel Çerçeve	0.5618	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596
Dolgulu Çerçeve	0.3030	0.3329	0.4352	0.4169	0.5064
Yumuşak Katlı Çerçeve	0.6024	0.4614	0.5119	0.5022	0.5514

Tablo 2. Düzce Depremi çatı yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti

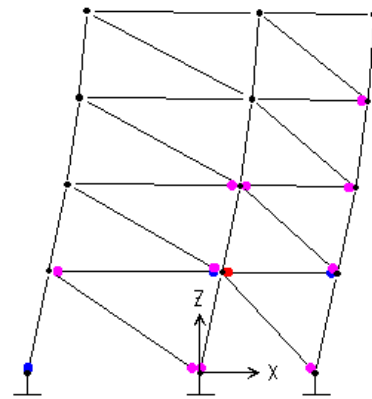
Yapı	Maksimum çatı yer değiştirmesi (mm)				Maksimum taban kesme kuvveti (kN)			
	t=190mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=190mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=90mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=90mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=190mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=190mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=90mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=90mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa
Temel Çerçeve	16.8	16.8	16.8	16.8	627	627	627	627
Dolgulu Çerçeve	7.6	11.0	9.7	13.4	1030	816	800	761
Yumuşak Katlı Çerçeve	11.0	12.6	12.6	16.0	892	792	803	820

Tablo 3. Erzincan Depremi çatı yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti

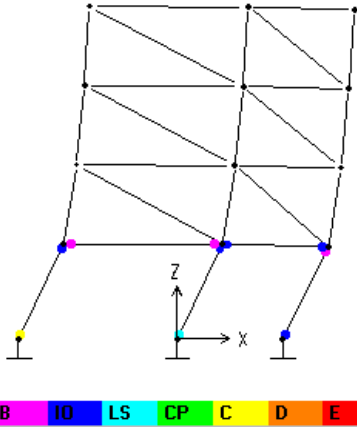
Yapı	Maksimum çatı yer değiştirmesi (mm)				Maksimum taban kesme kuvveti (kN)			
	t=190mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=190mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=90mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=90mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=190mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=190mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa	t=90mm, E _d =25 000 MPa f _d =5 Mpa	t=90mm, E _d =10 000 MPa f _d =2 Mpa
Temel Çerçeve	9.9	9.9	9.9	9.9	384	384	384	384
Dolgulu Çerçeve	4.7	4.5	4.0	7.7	638	363	351	475
Yumuşak Katlı Çerçeve	5.1	7.7	7.2	9.4	425	487	483	494



Şekil 10. Temel çerçeve göçme mekanizması
(t=190mm, E_d=25 000 MPa, f_d=5 Mpa)

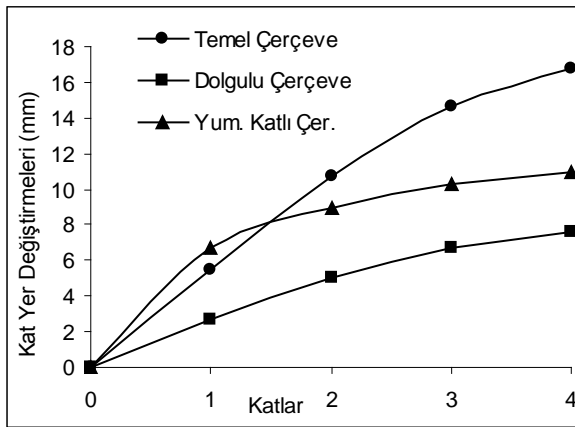


Şekil 11. Dolgulu çerçeve göçme mekanizması
(t=190mm, E_d=25 000 MPa, f_d=5 Mpa)



Şekil 12. Yumuşak katlı çerçeve göçme mekanizması
($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)

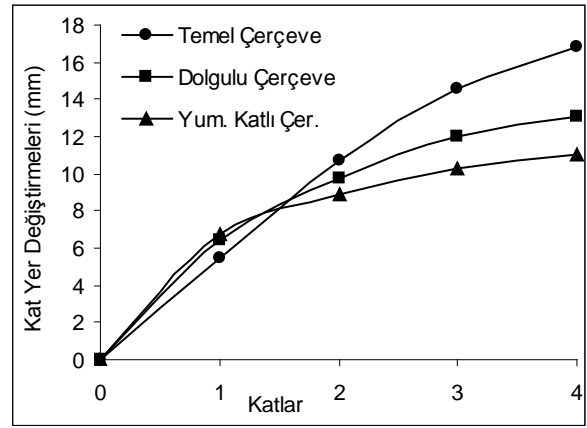
Yapılan analizlerden doğrusal davranış sonuçları Tablo 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Şartnamelerinin çoğu dolgu duvarlarının etkisini ihmal etmektedir. Buna karşın Tablo 1, 2 ve 3'de verilen değerler karşılaştırıldığında, farklı duvar yerleşimleri ve duvar özellikleri için yapının periyodu ve dinamik davranışı önemli derecede değiştiği görülmektedir. Tablo 2'de, maksimum çatı yer değiştirmesi Düzce Depremi için 16.8 mm ve Erzincan Depremi için 9.9 mm elde edilmiştir ($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$). Dolgu duvarlı çerçevenin maksimum çatı yer değiştirmesi temel çerçeveye göre yanal rijitlikteki artışa bağlı olarak 2.2 kat daha azdır. Kat seviyelerindeki yer değiştirmeler Şekil 13-16'da verilmiştir. Temel çerçevenin 4. kat yer değiştirmesi, yumuşak katlı çerçeve ve dolgulu çerçevenin kat yer değiştirmesinden daha fazla olmaktadır.



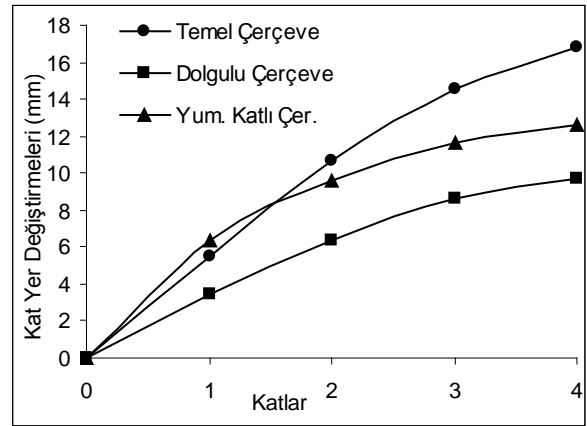
Şekil 13. Kat Yer Değiştirmeleri (Düzce Depremi)
($t=190\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)

Tablo 2 ve 3'de görüldüğü gibi yumuşak katlı çerçevenin taban kesme kuvveti her iki deprem için temel çerçevenin taban kesme kuvvetinden büyüktür. Fakat yumuşak katta rijitlikte bir değişim olmamasına karşın kesit tesirleri ve yumuşak kat yer değiştirmesi artmaktadır.

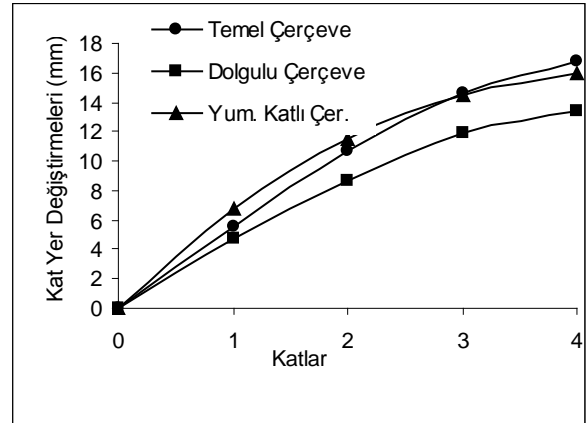
Şekil 10'da temel çerçevede mafsallaşma kirişlerde ve kolonların temele bağlantı noktasında olmaktadır.



Şekil 14. Kat Yer Değiştirmeleri (Düzce Depremi)
($t=190\text{mm}$, $E_d=10\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=2\ \text{Mpa}$)



Şekil 15. Kat Yer Değiştirmeleri (Düzce Depremi)
($t=90\text{mm}$, $E_d=25\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=5\ \text{Mpa}$)



Şekil 16. Kat Yer Değiştirmeleri (Düzce Depremi)
($t=90\text{mm}$, $E_d=10\ 000\ \text{MPa}$, $f_d=2\ \text{Mpa}$)

Dolgulu çerçevede ise mafsallaşmalar önce duvarlardan başlamaktadır. Yumuşak katlı çerçevede dolgu duvarlardan dolayı üst katların rijitliği de artmıştır. Rijitlikteki artışla deprem kuvvetleri de artmaktadır.

Şekil 12'de görüldüğü gibi yumuşak katın rijitliğinde artma olmadığı için mafsallaşma yumuşak katta olmaktadır.

Sonuç

Yapılan incelemeler, dolgu duvarlarının yapı dinamik davranışını büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Yapının dayanım ve güvenilirliğini dolgu duvarlardan dolayı değiştirmektedir. Dolgu duvarlı yapının yer değiştirme ve taban kesme kuvveti dolgu duvarsız yapıdan daha farklı olmaktadır. Yumuşak katlı yapının taban kesme kuvveti arttığından dolayı yumuşak kat

rölatif yer değiştirmesinin arttığı görülmektedir. Yumuşak kattaki yer değiştirme artışından dolayı kesit tesirleri artmakta ve yapı daha güvensiz hale gelmektedir. Fakat duvarların düzenli yerleştirildiği yapıda dayanım ve güvenilirlik büyük ölçüde artmaktadır. Dolgu duvarların planda ve düşeyde yerleştiriliş biçimleri ile duvarların elastik özellikleri yapı dinamik davranışı etkilediği açıkça görülmektedir. Dolgu duvarların etkilerini ihmal eden yaklaşımlar yapının güvenilirliğini azaltmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Dowrick, D.J., 1987, Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects, John Wiley & Sons, New York.
- [2]. Harpal Singh, Paul, D.K., Sastry, V.V., 1998, Inelastic Dynamic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, Computers and Structures, Vol.69, pp. 685-693.
- [3]. Demir, F., Sivri, M., 2002. Earthquake Response of Masonry Infilled Frames, ECAS 2002, Ankara
- [4]. Hong hao, Guo-Wei M., Yong L., 2002, Damage Assessment of Masonry Infilled RC Frames Subjected to Blasting Induced Ground Excitations, Engineering Structure, Vol.24, No.6, pp.671-838.
- [5]. Negro, P., Colombo, A.,1997, Irregularities Induced by Nonstructural Masonry Panels in Framed Buildings, Engineering Structures, Vol. 17, No.7, pp.576-585.
- [6]. Nollet, M.J., Smith, B.S., 1998, Stiffened-Story Wall-Frame Tall Building Structure, Computers and Structure, Vol. 66, No. 2-3, pp.225-240.
- [7]. Penelis, G.G., Kappos, A.J., Earthquake-Resistant Concrete Structure, & E FN Spon, An imprint of Chapman & Hall, London.
- [8]. Sahota, M.K., Riddington, J.R., 2001, Experimental Investigation into Using Lead to Reduce Vertical Load Transfer in Infilled Frames, Engineering Structure, No 23, pp.94-101.
- [9]. Sivri, M., Dolgulu çerçevelerin Deprem Davranışı, S.D.Ü. Y.L. Tezi, Isparta
- [10]. Tassios, T.P., 1984, Masonry Infill and R/C Walls Under Cyclic Actions, CIB Symposium on Wall Structure, Invited State-of-the Art Report, Warsaw.