Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Suleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Science

19(1), 63-68, 2015

Çelik Çaprazla Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranışı

Mustafa SİVRİ[1], İlyas Devran ÇELİK[2], Mehmet FENKLİ[*3], Nurettin Alpay KIMILLI[2], Zeki AY[2]

[1]Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat, Isparta.
[2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta.
[3]Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi, Isparta.

(Alınış Tarihi: 09.12.2014, Kabul Tarihi: 18.03.2015)

Anahtar Kelimeler
Betonarme Çerçeve,
Dolgu Duvar,
Güçlendirme,
Çelik Çapraz,
Doğrusal Olmayan Davranış

Özet: Yetersiz ve hatalı inşa edilen betonarme çerçeve yapıların deprem dayanımlarının da zayıf olacağı aşikârdır. Son yıllarda yaşadığımız Marmara (1999), Bingöl (2003) ve Van (2011) depremlerinde moment taşıyan betonarme çerçeveli yapıların büyük çoğunluğu hasar görmüş veya yıkılmıştır. Bu yapıların çoğunluğunda taşıyıcı çerçeveler arası dolgu duvarlarla doldurulmuştur. Yapı taşıyıcı elemanı olarak hesaba katılmayan dolgu duvarlar yapı deprem davranışını büyük ölçüde değiştirmektedir. Yapı davranışının daha gerçekçi hesaplanabilmesi için dolgu duvarların dayanım ve rijitliğinin de hesaba katılması gerekmektedir. Çelik çaprazlarla güçlendirme, mekanik özellikleri, kolay ve hızlı uygulanabilirliğinden dolayı oldukça tercih edilen güçlendirme tekniklerinden biridir.

RC Frame Structure with Infill Wall Nonlinear Behavior of Retrofit with Steel Brace

Keywords
RC Frame,
Infill Wall,
Retrofit,
Steel Brace,
Nonlinear Behavior

Abstract: Improperly designed and constructed reinforced concrete (RC) buildings with moment-resisting frame (MRF) systems have proven to perform poorly in earthquakes. During recent earthquakes, particularly during the Marmara (1999), Bingol (2003), and Van (2011) earthquakes, large number of RC MRF buildings either sustained severe damage or collapsed. In most of these buildings, masonry infill walls were installed in the structural frames. These so-called non-structural infill walls can interfere with the structural system and may cause premature failure of the latter especially during stronger ground shaking. If infill walls are used to improve strength, stiffness and the overall performance of a structural system, they need to be designed and constructed accordingly. Diagonal strut FRP/steel strip system is one of the preferred retrofit techniques with its mechanical properties, ease of application and low disturbance to inhabitants.

1. Giriş

Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almaktadır. 1999 Marmara (Mw=7.4), 1999 Düzce (Mw=7.2), 2003 Bingöl (M=6.4) ve 2011 Van (7.2) depremleri Türkiye'deki yapı stokunun büyük oranda risk altında olduğunu göstermiştir. Ülkemizde halen karşılaşılan önemli sorunlardan biri, hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda betonarme binanın öngörülen depremlere karşı yeterli güvenliğinin olmaması ve taşıyıcı sisteminin bir deprem etkisinde, büyük oranda hasara uğrayacak, hatta göçebilecek durumda olmasıdır (Sucuoğlu 2000; Binici vd. 2004). Bu nedenle; deprem yüküne karşı dayanımı ve rijitliği yetersiz, hasar görmemiş betonarme binaların depreme dayanıklı duruma getirilmesi gerekmektedir.

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 (İrtem vd., 2007, Harpal vd., 1998, Hong vd., 2002, Sahota ve Riddington, 2001, Nollet ve Smith, 1998). Yapılan araştırmalar dolgu duvarların yapının

* *İlgili yazar: mehmetfenkli@sdu.edu.tr*

deprem davranışını büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, 3 katlı 2 açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçeve yanal davranışı ANSYS sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye çalışılmıştır. Dolgu duvarlı ve duvarsız betonarme çerçeve yapı davranışı farklı duvar dayanımları için karşılaştırılarak verilmiştir. Çelik çaprazlar ile güçlendirme yapılan dolgu duvarlı betonarme çerçevenin taşıma kapasitesi artış değerleri de verilmiştir.

1.1. 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.

Dolgu duvarlı yapıların modellenmesi ve deprem etkisindeki davranışının incelenmesi oldukça güçtür. Yapılan incelemelerde dolguların etkilerini hesaba katma zorluğu aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır (Penelis ve Kappos, 1997);

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

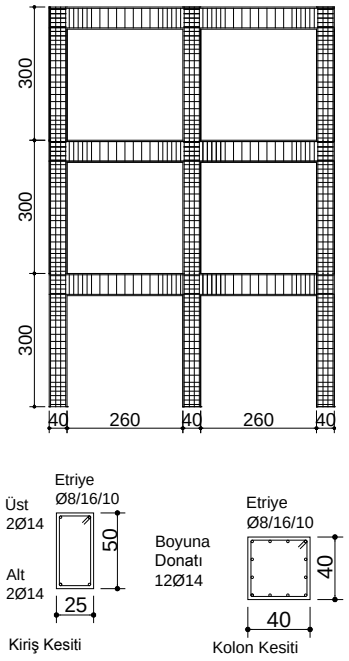
Genelde, dolgu duvarların yapının sismik davranışındaki etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yapının rijitliğini artırır, yapı periyodu düşer ve bu nedenle yer hareketindeki taban kesme kuvvetlerini artırır,
- Planda ve düşeyde yapının yanal rijitliğindeki dağılımını da değiştirir,
- Duvar yerleşimine bağlı olarak yumuşak kat veya yapıda burulma oluşturabilir,
- Sismik hareketin bir kısmı dolgu duvarlar tarafından taşınır ve böylece yapı taşıyıcı sisteminin yükü azalır,
- Yapının enerji yutma kapasitesini de oldukça artırır.

Dolgu duvarlarının modellenmesinde duvarı temsil edecek diyagonal elaman modeli oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Kolonlar arası açıklık, kolon yüksekliği, kapı ve pencere boşlukları gibi durumlar diyagonal genişliğini etkilemektedir ve gerçek davranıştan uzaklaşılmaktadır. Alam (2009) çalışmasında dolgu duvarlı betonarme çerçevenin davranışını ANSYS programıyla modellemiş ve deney verileriyle uyumlu değerler elde etmiştir.

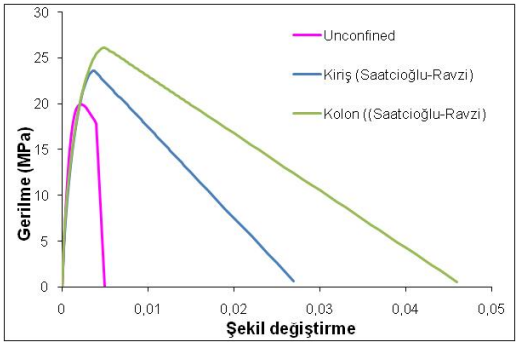
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmaya ait analizlerde kullanılan Dolgu Duvarlı ve Çelik Çaprazla Güçlendirilmiş Betonarme Çerçevenin Modeline esas teşkil eden geometrik özellikler Şekil 1.' de verilmektedir.



Şekil 1. Betonarme çerçeve boyut ve ölçüleri

Betonarme çerçevede kullanılan malzemeler C20 betonu ve S220 çeliğidir. Sargılı betonun gerilme - şekil değiştirme değerleri Saatçioğlu - Ravzi (1992) modeli ile hesaplanarak kolon ve kiriş için grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir. FEMA273' te duvar basınç mukavemetleri düşük, orta ve yüksek dayanımlı olarak verilmektedir. Düşük mukavemetli duvar dayanımı f_m=2MPa, orta mukavemette duvar dayanımı f_m=4MPa ve yüksek mukavemetli duvar dayanımı f_m=6MPa olarak verilmektedir. Elastisite modülü $E_m=500f_m$ ile hesaplanmış ve göçme şekil değiştirme değeri ε_{su}=0.0036 olarak alınmıştır.



Şekil 2. Beton malzeme gerilme - şekil değiştirme grafiği

Donatı çeliğininin elastiklik modülü 2.0e5 MPa olarak alınmıştır. DBYBHY-2007 de S220 ve S420 donatı çeliklerine ait bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir. ANSYS programında çelik malzemeler "Multilineer Isotropic Hardening" ile tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Donatı çeliğinin gerilme - şekil değiştirme değerleri

Çelik	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

Betonarme çerçeve elemanlarının sonlu elemanlar modelinde ANSYS programında beton için Solid65 elamanı kullanılmaktadır. Donatılar çubuk eleman olarak Link8 ile verilmiştir. Güçlendirme de kullanılan çelik şeritler ise Solid185 sonlu elamanı ile modellenmiştir. Donatı ve beton arasındaki aderans kuvvetinin yeterli olduğu, donatının beton içerisinden sıyrılmadığı kabul edilmiştir. Beton malzeme için ANSYS programında çatlama ve ezilme özelliklerinin de ayrıca tanımlanabildiği William Rankle değerleri tanımlanmıştır. Araştırmacılar tarafından tavsiye edilen (Kazaz, 2010., Dede, 2006.) açık çatlak kesme kuvveti iletim katsayısı (Open Shear Transfer Coef.) değeri 0.2, kapalı çatlak kesme kuvveti iletim katsayısı (Closed Shear Transfer Coef.) değeri 1.0 olarak alınmıştır. Dolgu duvarlarının kolon ve kirişlere temas yüzeyinde sürtünme katsayısı 1.0 olan sürtünmeli (friction) yüzey (Contact Surface) tanımlanmıştır. Duvar harcı ile beton yüzey arasında sürtünme kuvveti aktarılmasına karşın çekme gerilmelerinde beton yüzeyi ve duvar yüzeyi birbirinden ayrılmaktadır. Basınç gerilmelerinin hakim olduğu bölgelerde ise yüzey pürüzlülüğünün de etkisiyle sürtünme kuvvetinin tamamı aktarılmaktadır.

Çelik çaprazların düğüm noktalarına bağlantısını sağlamak amacıyla 400x400x10 ebatlarında çelik levhalar kullanılmıştır. Bu mesnet levhaları 100 mm. arayla yerleştirilen ϕ14 ankrajlarıyla betonarme çerçeveye bağlanmıştır 100x10 mm. çelik şeritlerde mesnet levhasına bağlanmıştır. Çelik şerit ve mesnet levhalar S420'dir.

Betonarme çerçeve kolon ve kirişleri ANSYS programında donatı düzeni göz önüne alınarak sonlu elamanlara (Mesh) bölünmüştür. Eleman ve düğüm noktası sayısı Çizelge 3.' te verilmiştir. Kat seviyelerindeki düğüm noktalarına toplamda 480kN olacak şekilde düşey yük verilerek yapı ağırlığı tanımlanmıştır. Analizlerde ilk adım olarak düşey yük için analiz yapılmış ve daha sonraki adımlarda tepe yatay deplasmanı verilerek analiz adımları devam ettirilmiştir. Yatay yük uygulanırken düğüm noktasına etkiyen tekil yük noktasal göçmeye neden olduğundan dolayı çözümde yakınsama hatası vermektedir. Bundan dolayı yatay yük en üst kat kolonunun yüzeyine 200x200x200 mm. ebatlarında çelik eleman vasıtasıyla aktarılmaktadır. Yükleme tepe noktadan yer değiştirme olarak verilmiş ve artımsal olarak etki ettirilmiştir. Modellerin özellikleri Çizelge 2.' de verilmektedir. Çizelge 3.' te de modellerin düğüm noktası sayıları ve sonlu eleman sayıları verilmiştir.

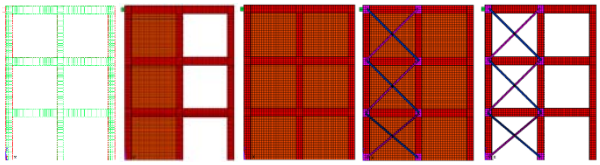
Çizelge 2. Model Özellikleri

Model 1	Betonarme çerçeve
Model 2a	Bir açıklığı dolgu duvarlı (2MPa) betonarme çerçeve
Model 2b	Bir açıklığı dolgu duvarlı (4MPa) betonarme çerçeve
Model 2c	Bir açıklığı dolgu duvarlı (6MPa) betonarme çerçeve
Model 3a	İki açıklığı dolgu duvarlı (2MPa) betonarme çerçeve
Model 3b	İki açıklığı dolgu duvarlı (4MPa) betonarme çerçeve
Model 3c	İki açıklığı dolgu duvarlı (6MPa) betonarme çerçeve
Model 4a	İki açıklığı dolgu duvarlı (2MPa) ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme çerçeve
Model 4b	İki açıklığı dolgu duvarlı (4MPa) ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme çerçeve
Model 4c	İki açıklığı dolgu duvarlı (6MPa) ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme çerçeve
Model 5	Çelik çaprazla güçlendirilmiş betonarme çerçeve

Çizelge 3. Modellerin düğüm noktası ve sonlu eleman sayıları

	Düğüm noktası sayısı	Sonlu elaman sayısı
Model 1	25992	28483
Model 2	32310	35322
Model 3	38628	42206
Model 4	40910	54186
Model 5	29636	35557

Çalışmada kullanılan betonarme çerçevelerin sonlu eleman modelleri Şekil 3.' te görülmektedir.



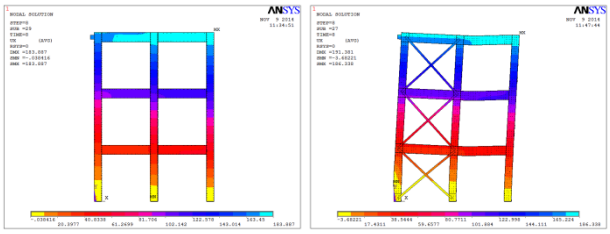
a)Model 1 b)Model 2 c)Model 3 d)Model 4 e) Model 5

Şekil 3. Betonarme çerçevelerin sonlu elaman modelleri

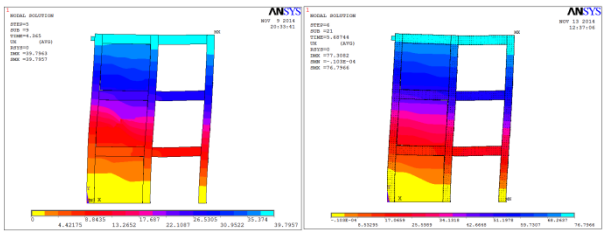
3. Araştırma Bulguları ve Değerlendirme

Analizi yapılan modellerde yük tepe noktadan artımsal olarak verilmekte adım adım çözüm elde edilmektedir. Betonarme çerçevenin analizinde düğüm noktalarını birbirine bağlayan boyuna ve enine donatılar sonlu elemanları bir arada tutmakta ve tepe yer değiştirmesi 183.9 mm.'ye kadar analiz devam etmektedir. Dolgu duvarlı çerçevelerin analizinde ise duvar elemanlarında çatlama ve ezilmeler oluştuktan sonra elamanın üzerindeki gerilme sıfır olmakta ve eleman düğüm noktasının yer değiştirmesi sonsuza giderek program iterasyonlara devam edememektedir. Bu durum programda yakınsama hatası olarak (Convergence Error) verilmekte ve analize devam edememektedir.

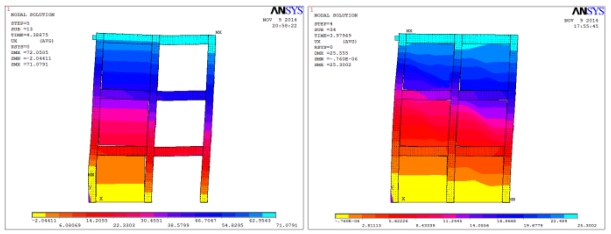
Modellerin ANSYS programı analizi sonucunda elde edilen X yönü yer değiştirme (u) ve asal gerilme diyagramları Şekil 4. ve 5.' te verilmiştir. Dolgu duvarlı modellerde duvarlarda diyagonal olarak asal gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir. Dolgu duvar malzemesinin dayanımı arttıkça da diyagonal gerilmeler daha da belirginleşmektedir. Gerilmelerin artmasıyla duvarlarda çatlama ve ezilmeler oluşmakta ve dolayısıyla duvarın yük taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bu nedenle duvarın hasar görmesiyle yükü betonarme çerçeve taşımaya devam etmektedir. Bir açıklığı dolgu duvarlı olan çerçevede yatay yük taşıma kapasitesi 1.5 kat artmıştır. İki açıklığı da dolgu duvarlı olan çerçevede yatay yük taşıma kapasitesi yaklaşık 3.5 kat ve çelik çaprazla güçlendirildiği durumda ise 5.5 kat artmıştır. Çelik çaprazlarla güçlendirilen betonarme çerçeve yatay yük taşıma kapasitesi 2.3 kat artarken sünek davranışta korunmuştur (Çizelge 4).



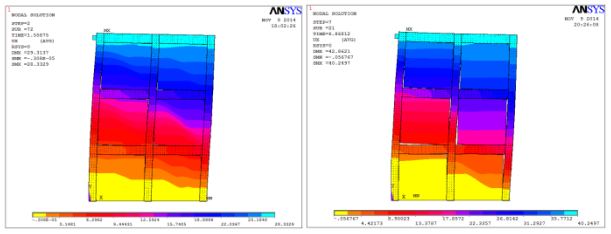
a) Model 1 (u=183.9mm) b) Model 5 (u=186.3mm)



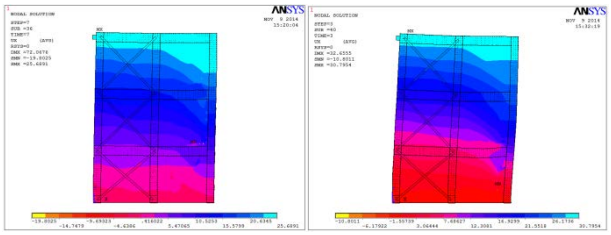
c)Model 2a (u=39.7mm) d)Model 2b (u=76.9mm)



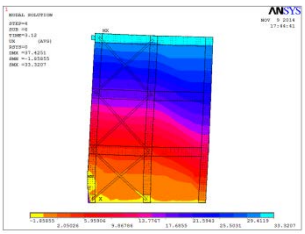
e) Model 2c (u=71.1mm) f) Model 3a (u=25.3mm)



g) Model 3b (u=28.3mm) h) Model 3c (u=40.2mm)

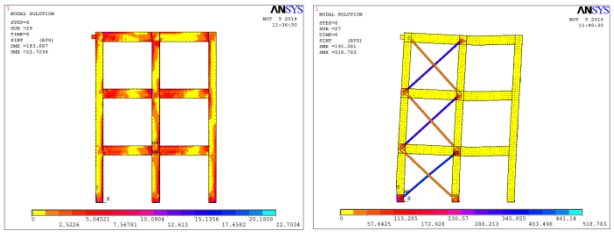


ı) Model 4a (u=25.7mm) j) Model 4b (u=30.8mm)

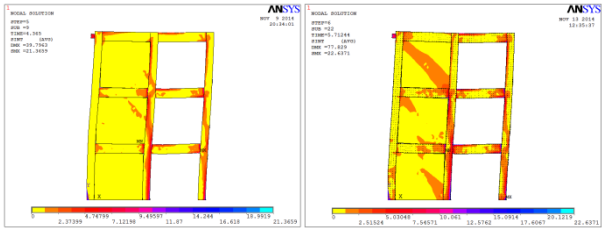


k) Model 4c (u=33.3mm)

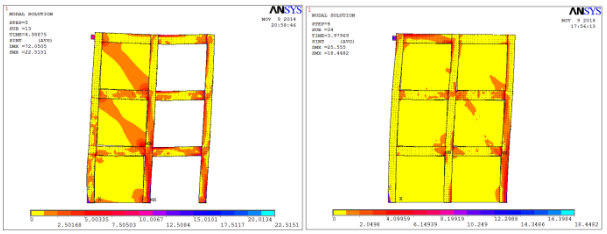
Şekil 4. Modellerin x yönü yer değiştirmeleri (u)



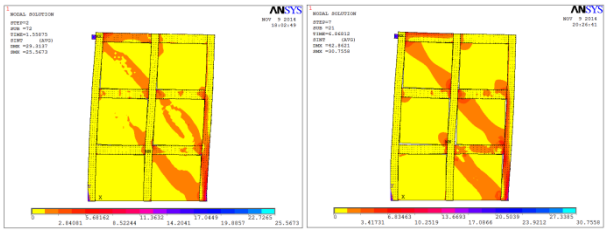
a) Model 1 (u=183.9mm) b) Model 5 (u=186.3mm)



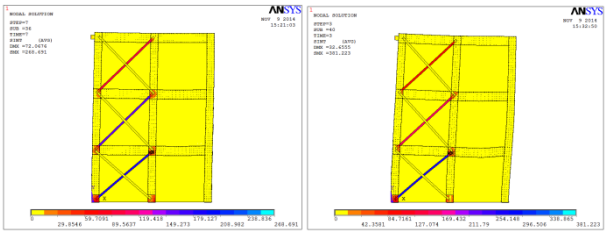
c) Model 2a (u=39.7mm) d) Model 2b (u=76.9mm)



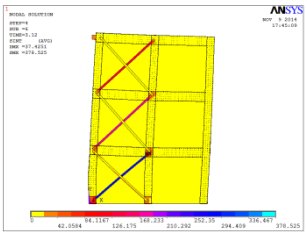
e) Model 2c (u=71.1mm) f) Model 3a (u=25.3mm)



g) Model 3b (u=28.3mm) h) Model 3c (u=40.2mm)



ı) Model 4a (u=25.7mm) j) Model 4b (u=30.8mm)



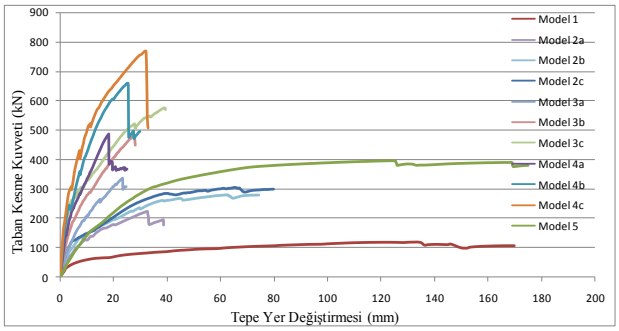
k) Model 4c (u=33.3mm)

Şekil 5. Modellerin asal gerilmeleri

Çalışmada kullanılan modellerin taşıma kapasiteleri Çizelge 4.' te verilmektedir.

Çizelge 4. Modellerin taşıma kapasiteleri

Yapı Türü	Maksimum Yük (kN)	Tepe Yer Değiş. (mm)	Taşıma Kapasitesindeki Artış (%)
Model 1	118,4	136,3	0,0
Model 2a	223,3	32,6	88,6
Model 2b	280,7	62,8	137,1
Model 2c	306,4	65,7	158,8
Model 3a	337	23,4	184,6
Model 3b	483,5	27,7	308,4
Model 3c	574,4	39,1	385,1
Model 4a	488,6	18,2	312,7
Model 4b	659,2	25,1	456,8
Model 4c	768,2	32,3	548,8
Model 5	396,4	124,3	234,8



Şekil 6. Tepe yer değiştirmesi-Taban kesme kuvveti grafiği

4. Sonuçlar

Çalışmada, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevenin sonlu eleman analizleri ANSYS programı ile farklı dolgu duvar dayanımları, farklı duvar yerleşimi ve çelik çaprazla güçlendirilmiş durumları için ayrı ayrı yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde dolgu duvarların betonarme çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini 5-6 kata kadar artırdığı görülmektedir. Yanal yüklemede daha gevrek olan dolgu duvarlar öncelikle ezilmekte ve göçmektedir. Dolgu duvar malzemesinin dayanımındaki artış ile doğru orantılı olarak taşıma kapasitesi de artmıştır (Model 2a-2b-2c, Model 3a-3b-3c). Betonarme çerçevenin çelik çaprazlarla güçlendirildiği durumda yapı sünekliğini korumuş ve yatay yük taşıma kapasitesi % 234 artmıştır.

5. Kaynaklar

Alam, M.S., Nehdi, M., Aamanat, K.M., 2009. Modelling and analysis of retrofitted and un-retrofitted masonry-infilled RC frames under in-plane lateral loading. Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 5, No. 2, 71 – 90.

Binici, B., Ozcebe, G, Ozcelik, R., 2007. Analysis And Design Of FRP Composites For Seismic Retrofit Of Infill Walls In Reinforced Concrete Frames. Composites, Part B, 38, 575–583.

Dede, F.T., Dere Y. 2006. Betonarme yapı elemanlarının ANSYS ile sonlu eleman modeli ve doğrusal olmayan analizi. Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi.

FEMA-273. 1997. NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings. Building Seismic Safety Council, FEMA, Washington, D.C.

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.

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.

Irtem E. , Turker K., Hasgul U., 2007. Causes of Collapse and Damage to Low-Rise RC Buildings in Recent Turkish Earthquakes. Journel of Performance of Constructed Facilities © Asce, 351-360.

Kazaz, İ. 2010. Dynamic Characteristics and Performance Assesment of Rainforced Conctrete Structurel Walls. PhD. Thesis, Orta Doğu Teknik Ünv., 379P, Ankara.

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.

Penelis, G.G., Kappos, A.J. 1997. Earthquake-Resistant Concrete Structure. & E FN Spon, An imprint of Chapman & Hall, London.

Saatcioglu, M., Ravzi, S.R. 1992. Strength and ductility of confined concrete. Journal of Structural Engineering. Vol. 118, No. 6, pp.1590–1607.

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.