

BETONARME PERDELERİN BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINA ETKİLERİ

Alptuğ ÖZTÜRK, *Naci ÇAĞLAR, Gökhan DOK ve Muharrem YÜKSEL
İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187 Sakarya, TÜRKİYE

Özet

Dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan ülkemizde ve dünyada özellikle son yıllarda yüksek katlı bina sayısında önemli oranda artış olmuştur. Deprem etkisi altında olan bu yüksek katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinin seçimi, yapının deprem davranışı açısından oldukça önem arz etmektedir. Taşıyıcı sistem seçiminde perde duvarlar binanın deprem dayanımını ve deprem performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, yüksek katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 30 katlı betonarme yüksek bir bina için, perdeli-çerçevesel ve çerçevesel olarak iki farklı model oluşturulmuş ve SAP2000 sonlu elemanlar programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. İki farklı model için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve çerçevesel-perdeli model ile çerçevesel modelde oluşan yerdeğiştirmeler ve plastik mafsallaşmalar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yüksek bina, zaman tanım alanında hesap, doğrusal olmayan analiz, performans analizi, perdeli-çerçevesel yapı, çerçevesel yapı

THE EFFECTS OF SHEAR WALL ON THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE TALL STRUCTURES

Abstract

There is a great increase on number of multistory buildings around the world and in our country which covers a lot of active seismic-belts in recent years. It is very important to select the type of load-bearing system of the concrete structures in terms of their structural behavior under seismic effect. Reinforced concrete shear walls which provide a great durability and resistance to the concrete structures against earthquake are very effective components for the concrete buildings when deciding (designing) the load-bearing system of a structure. Therefore, how shear walls affect the structural behavior of the multistory buildings under seismic effects is researched in this study. For this purpose, two different 30 story buildings are modelled in SAP2000. One is composed of just frame systems, the other one is composed of both frame systems and shear-walls as well. Then, these models are tested by nonlinear dynamic analyzes through time history method. Finally, analyze results of two models are examined separately, and existing displacements and plastic hinge formations on models are both checked and compared to each other.

Key words: Reinforced concrete tall building, time-history analysis, nonlinear analysis, performance analysis, shear wall-frame structure, frame structure

1. Giriş

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde yüksek katlı bina sayısında önemli oranda artış olmuştur. Deprem etkisi altında olan bu yüksek katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinin seçimi, yapının deprem davranışı açısından oldukça önem arz etmektedir. Taşıyıcı sistem seçiminde perde duvarlar binanın deprem dayanımını ve deprem performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Büyük ötelenme rijitliğine sahip perde duvar elemanları deprem etkisi altında yanal ötelenmeleri de azaltmaktadır.

Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ve betonarme elemanların davranışlarının daha iyi tanınması, özellikle taşıyıcı sistemin doğrusal ötesi davranışının daha kolay ve daha gerçekçi biçimde incelenmesini mümkün kılarken, bu suretle oluşan kapasite artışının göz önüne alınmasını sağlar. Özellikle doğrusal olmayan davranışın göz önüne alındığı deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin tasarımı bu duruma iyi bir örnek oluşturur. Türkiye Deprem yönetmeliği (TDY2007)'de mevcut binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan kurallarda, yeni tasarımı yapılacak binalara ait kurallara göre, daha belirgin biçimde doğrusal elastik olmayan davranışın esas alındığı görülmektedir [1].

Deprem performansının belirlenmesinde uygulanan yöntemlerden en gerçekçi yöntem, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak kabul edilmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi analizinde, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır [2]. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde genel olarak en az 3 deprem kaydı kullanılması gerekmektedir. Bu analizlerde kullanılması gereken deprem kayıtları; mevcut deprem kayıtları, düzenlenmiş mevcut deprem kayıtları veya üretilmiş yapay deprem kayıtları seçilebilir. Analizler sonucunda kullanılan 3 deprem kaydı sonuçları karşılaştırılarak mutlak değerce en büyük olanı seçilir.

Bu çalışma kapsamında, yüksek katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 30 katlı betonarme yüksek bir bina için, perdeli-çerçeve ve çerçeve olarak 2 farklı model oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan 3 farklı deprem kaydı Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center veri tabanından alınmıştır [3].

2. Yapıların Deprem Performansı

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılmaktadır [2].

Yer değiştirme ve şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin göz önüne alındığı doğrusal olmayan yöntemde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [4].

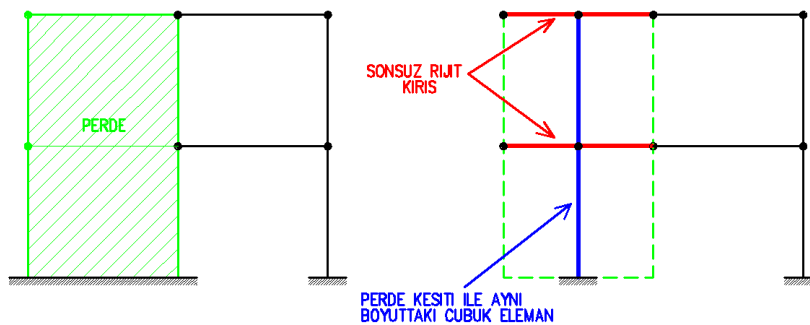
Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezi 'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h$) [2].

Betonarme perde duvarların Shell (kabuk) olarak modellenmesi durumunda plastik mafsal tanımlaması yapılamadığından, en yaygın modelleme tekniği perde rijitliğini tarif etmek için bir orta-dikme çubuk elemanı kullanımı ve kesilen kirişler ile döşeme bileşenlerinin uygun bağlantılarına izin vermek için yatay çubuk elemanları (rijit kiriş) kullanmaktır (şekil-1). Orta dikme çubuğunun doğrusal olmayan modeli genellikle plastik mafsal kavramına ve çift eğilme moment-dönme ilişkisine dayanır. Plastik mafsalların (P-M-M etkileşimi), yapısal eleman uçlarındaki plastik bölgede olduğu veya hesap açıklığı boyunca dağıtıldığı varsayılabilir. Mafsalsın plastik davranışını tarif etmek için fiber model kullanmak daha kapsamlı bir model olarak kabul edilebilir [5].

Eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde başlangıçtaki eğilme rijitliği en büyük değerde olup, momentin artması ile, kesitteki çekme bölgesindeki çatlama sonucu sürekli olarak azalır. Deprem yönetmeliğinde eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait Etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ için aşağıdaki basitleştirmenin kullanılması öngörülmüştür [6];

(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

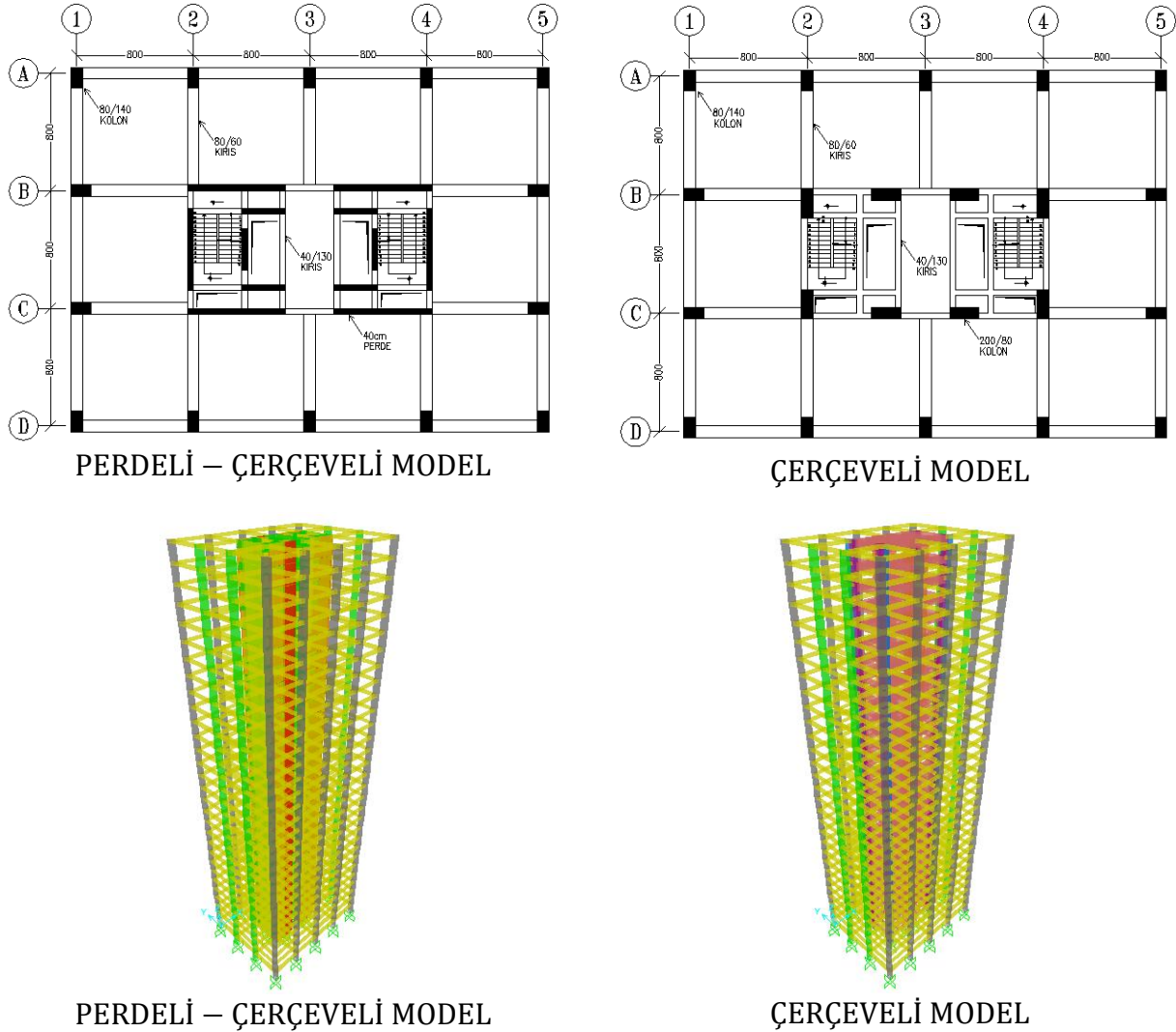
(b) Kolon ve betonarme perdelerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$ $\Rightarrow N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$
 $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$ $\Rightarrow N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$



şekil 1: Betonarme perde orta-dikme çubuk modeli

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışma kapsamında, deprem etkisi altındaki betonarme yüksek binaların deprem performansına betonarme perde duvarların etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 30 katlı çerçevesel ve perdeli-çerçevesel iki farklı yapı modeli oluşturulmuş (Şekil 2) ve bu yapı modellerinin SAP2000 sonlu elemanlar programı [8] ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.



Şekil 2. Yapı Modelleri

Taşıyıcı sistemi sadece çerçevesel ve perdeli-çerçevesel olmak üzere iki farklı yapı modeli oluşturulmuş ve bu modellerde perde duvarların dışında kalan tüm özellikler sabit tutulmuştur. Her iki yapı modeli de simetrik olarak tasarlanmış ve burulma etkilerinin oluşmaması sağlanmıştır. Yapı modellerinin tamamında kat yükseklikleri 350cm, aks açıklıkları 800cm, beton basınç dayanımı 35MPa ve donatı akma dayanımı 420MPa olarak seçilmiştir. Taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan modelde perde kalınlıkları 40cm, bağ kirişleri ise 40x130cm olarak belirlenmiştir.

Çekirdek kısmı çevresinde 80x140cm kolonlar ve bu kolonları yapının çekirdeğine bağlayan 80x60cm kirişler bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan modelde ise çekirdek kısmındaki perdeler kaldırılmış ve 80x200cm kolonlar ve bu kolonları birbirine bağlayan 40x130cm kirişler olarak modelleme yapılmıştır. Yapı modellerinde kullanılan kolon, kiriş ve perde elemanlara ait kesitler ve donatı detayları Şekil-3'te verilmiştir.

Taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan yapı modeli için, kolon kiriş ve perde elemanlarının minimum donatı oranları ve seçilen donatı oranları Tablo 1'de verilmiştir.

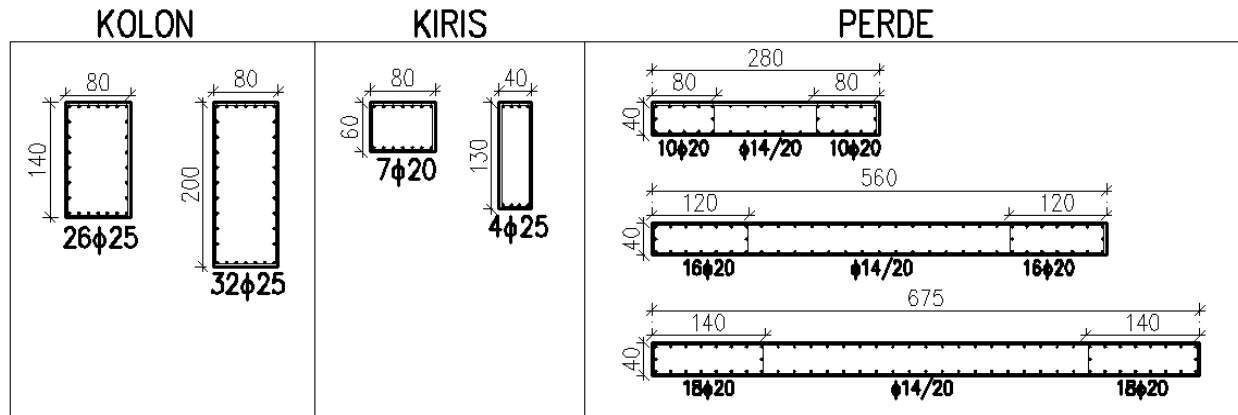
Tablo 1. Perdeli model kesit boyutları-donatı alanları-seçilen donatılar

KESİT (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum donatı oranı	Minimum başlık donatı alanı (cm ²)	Minimum donatı oranı	Gövde donatısı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı	
PERDE	675x40	140x40	0,01	56,00	0,0025	39,50	18φ20	38φ14/20
	560x40	120x40	0,01	48,00	0,0025	32,00	16φ20	30φ14/20
	280x40	80x40	0,01	32,00	0,0025	16,00	10φ20	10φ14/20
KOLON	140x80	-	0,01	112,00	-	-	26φ25	-
KIRIŞ	80x60	-	0,003	14,40	-	-	7φ20	-
	40x130	-	0,003	15,60	-	-	4φ25	-

Taşıyıcı sistemi çerçevesel olan yapı modeli için, kolon ve kiriş elemanlarının minimum donatı oranları ve seçilen donatı oranları Tablo 2'de verilmiştir.

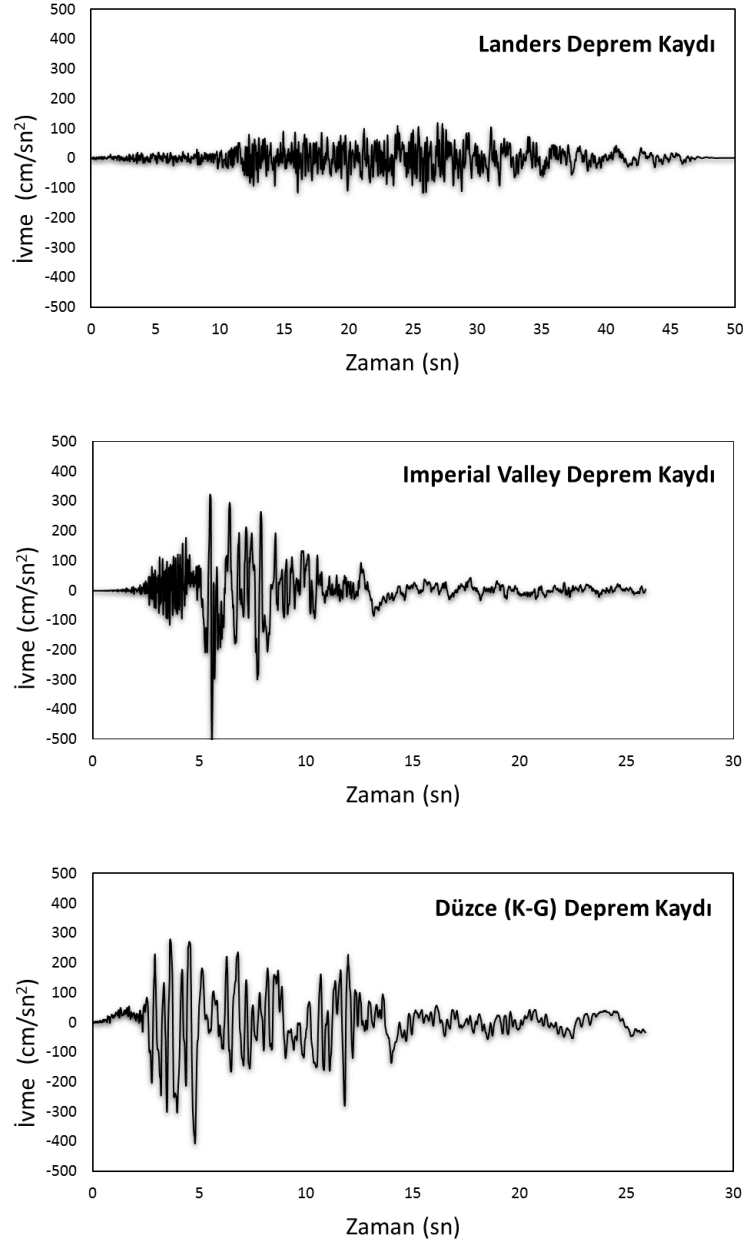
Tablo 2. Perdesiz Model kesit boyutları-donatı alanları-seçilen donatılar

KESİT (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum donatı oranı	Minimum başlık donatı alanı (cm ²)	Minimum donatı oranı	Gövde donatısı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı	
KOLON	200x80	-	0,01	160,00	-	-	32φ25	-
	140x80	-	0,01	112,00	-	-	26φ25	-
KIRIŞ	80x60	-	0,003	14,40	-	-	7φ20	-
	40x130	-	0,003	15,60	-	-	4φ25	-



Şekil 3. Kolon, Kiriş ve Perde Kesitlerinde Seçilen Donatılar

Bu çalışmada Landers, Imperial Valley ve Düzce olmak üzere 3 adet gerçek deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen kayıtlar TDY2007’de verilen şartları sağlamaktadır. Deprem kayıtları yapıya hem x-doğrultusu hem de y-doğrultusu boyunca etki ettirilmiş ve bu deprem kayıtların yapılara aynı anda etki etmeleri durumunda yapmış davranışları incelenmiştir.



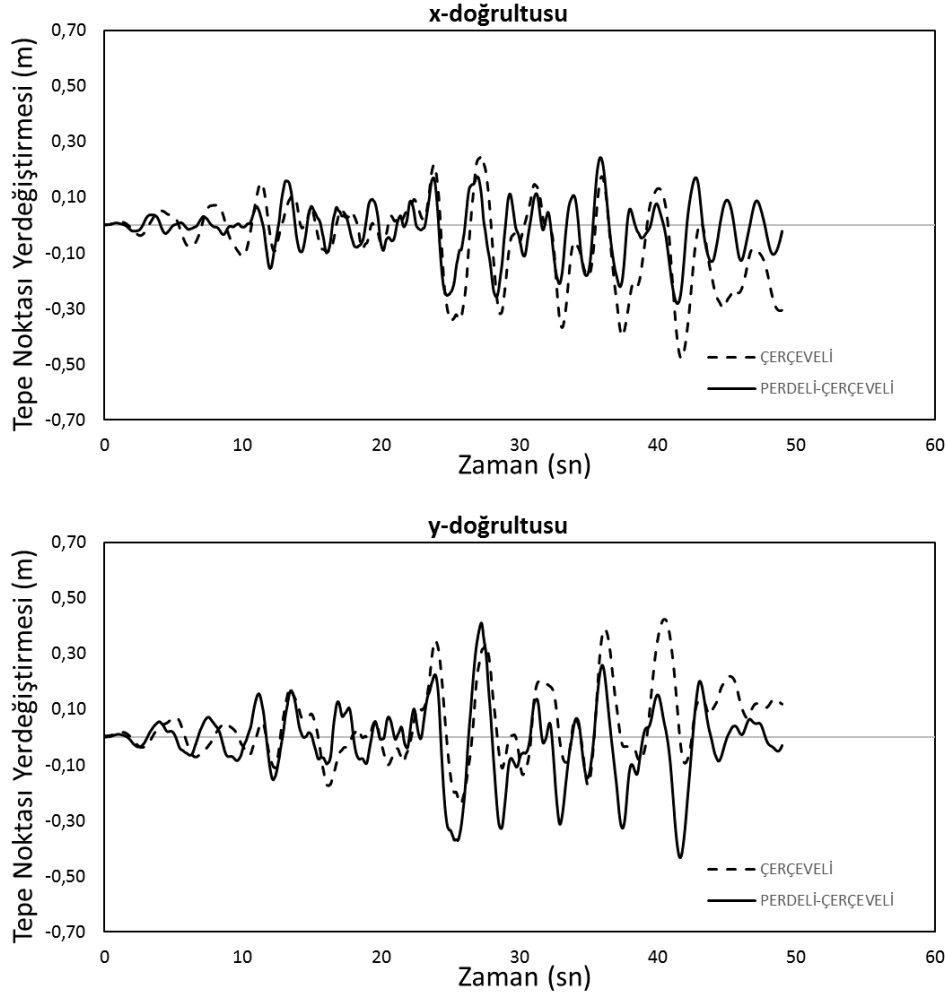
Şekil 4. Kullanılan Deprem Kayıtlarının İvme-Zaman Grafikleri

Döşemeler sistemdeki serbestlik derecesini artırmasından dolayı, döşemeler sistemden kaldırılmış ve yüklemeler kirişlere yayılı yük olarak aktarılmıştır. 30 kat boyunca tüm katlara ayrı ayrı rijit diyafram ataması yapılmıştır. Kolon ve perde elemanlar için P-M2-M3 mafsalı tanımlanmış olup, kolon ve perdelerine ait aksenal kuvvet değerleri her katta farklı olacağından veri girişini

kolaylaştırmak için her 5 katta bir ortalama aksel kuvvet tanımlamak kaydı ile bu veri girişi yapılmıştır. Dolayısıyla her bir farklı kolon veya perde kesiti için 6 farklı aksel kuvvet değişimi tanımlanmıştır [7]. Eğilme etkisindeki kolon ve perde elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri veri girişini kolaylaştırmak için her 5 katta bir tanımlanmıştır. Kirişler için M3 mafsallı tanımlanmış olup, etkin eğilme rijitliği TDY2007'ye $((EI)_e=0.40(EI)_o)$ uygun olarak tanımlanmıştır. Kolon, kiriş ve perde elemanları mafsalları oluşturulurken idealize edilmiş plastikleşme momentleri uygulanmıştır.

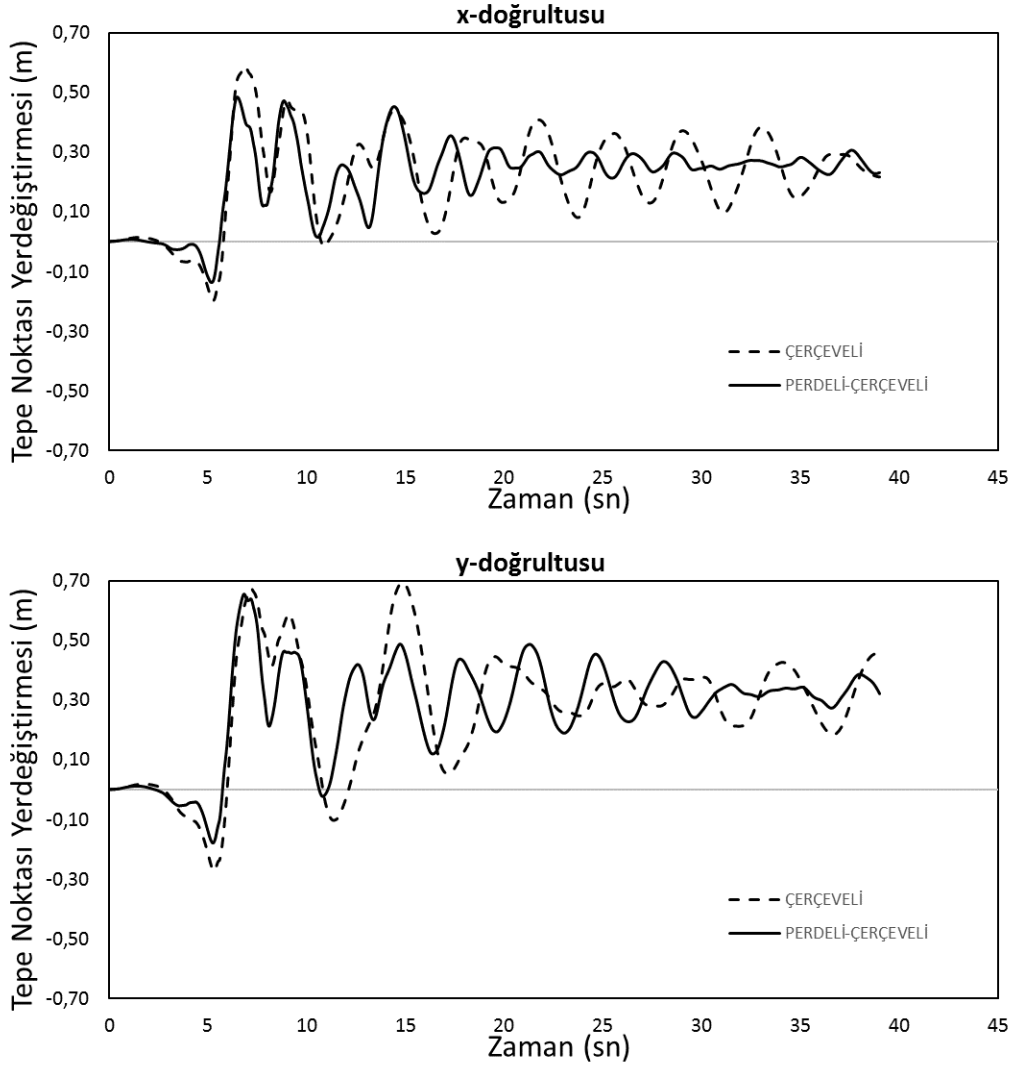
4. Sonuçlar

Deprem etkisi altında 30 katlı 105m yüksekliğinde betonarme yüksek bir binanın 2 farklı betonarme taşıyıcı sistem ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde farklı deprem etkileri altında taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan yapı ile taşıyıcı sistemi çerçevesel olan iki yapının deprem davranışları Şekil 5-7'de hem x-doğrultusu hem de y-doğrultusu için ayrı ayrı sunulmuştur.



Şekil 5. Landers Deprem Kaydı Etkisi Altında Yerdeğiştirme-Zaman Grafikleri

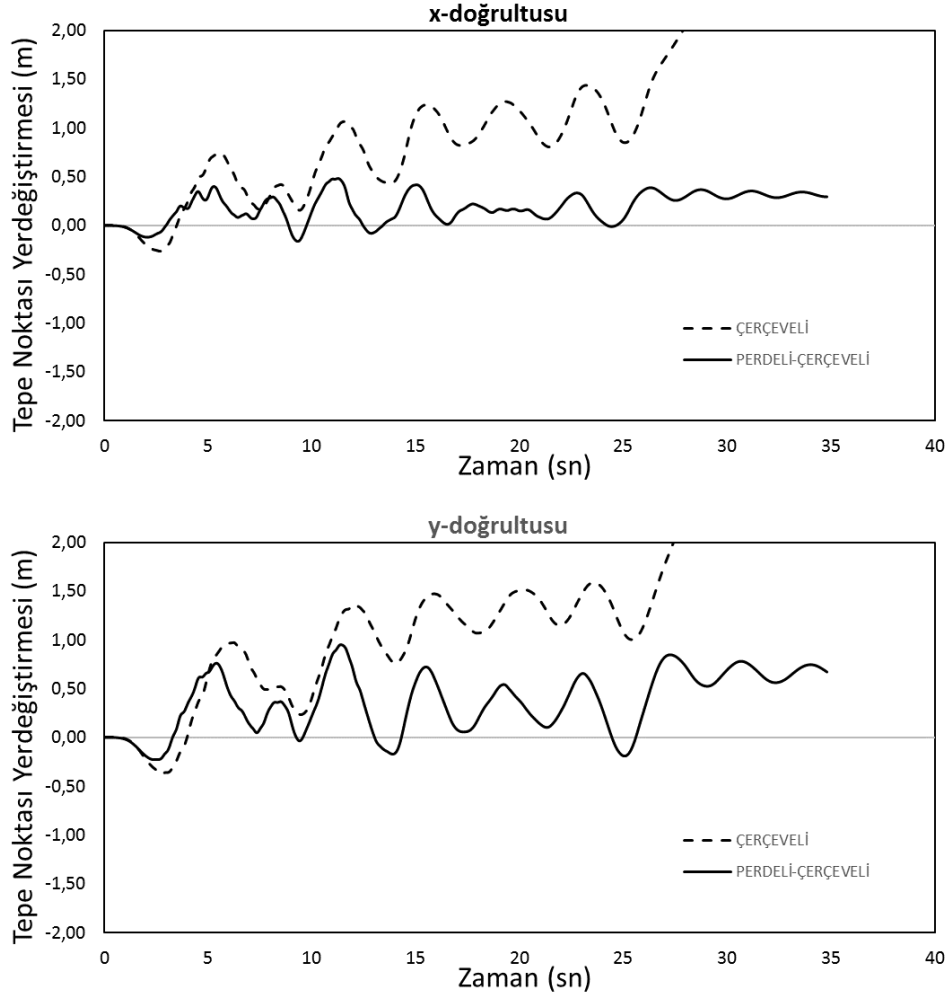
Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan model ve çerçevesel olan model için Landers deprem etkisi altında tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 5'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçevesel modelin en büyük yerdeğiştirmesi x-doğrultusu boyunca 28cm ve y-doğrultusu boyunca 43cm civarındadır. Çerçevesel modelde ise en büyük yerdeğiştirme x-doğrultusu boyunca 48cm ve y-doğrultusu boyunca 43cm civarındadır. Plastik mafsalların oluşumu yaklaşık olarak perdeli-çerçevesel modelde 2. saniyede ve çerçevesel modelde ise 8. Saniyede olmakla birlikte kalıcı yerdeğiştirmeler 25. Saniyeden sonra belirginleşmektedir.



Şekil 6. Imperial Deprem Kaydı Etkisi Altında Yerdeğiştirme-Zaman Grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan model ve çerçevesel olan model için Imperial deprem etkisi altında tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 6'da sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçevesel modelin en büyük yerdeğiştirmesi x-doğrultusu boyunca 48cm ve y-doğrultusu boyunca 65cm civarındadır. Çerçevesel modelde ise en büyük yerdeğiştirme x-doğrultusu boyunca 58cm ve y-doğrultusu boyunca 69cm civarındadır. Plastik

mafsalların oluşumu yaklaşık olarak perdeli-çerçevesel modelde 3. saniyede ve çerçevesel modelde ise 4. saniyede olmakla birlikte kalıcı yerdeğiştirmeler 6. saniyeden sonra belirginleşmektedir.



Şekil 7. Düzce Deprem Kaydı Etkisi Altında Yerdeğiştirme-Zaman Grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesel olan model ve çerçevesel olan model için Imperial deprem etkisi altında tepesi noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 6'da sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçevesel modelin en büyük yerdeğiştirmesi x-doğrultusu boyunca 30cm ve y-doğrultusu boyunca 95cm civarındadır. Çerçevesel modelde ise en büyük yer değiştirme hem x-doğrultusu hem de y-doğrultusu boyunca 27. saniye civarında 200cm i aşarak yapının güç tükenmesine eriştiği ve yapının göçme durumuna doğru ilerlediği görülmektedir. Hem perdeli-çerçevesel hem de sadece çerçevesel yapı modelinde ilk saniyelerden itibaren plastik mafsalların oluşumu meydana gelmekte ve yapılarıdaki kalıcı yerdeğiştirmeler 3. saniyeden sonra belirginleşmektedir.

Şekil 5-7 den de görüldüğü gibi 3 farklı deprem kaydı için yapılan analizler sonucunda en büyük yerdeğiştirmelerin Düzce deprem kaydı etkisi altında olduğu, çerçevesel modelin güç tükenmesine eriştiği ve göçme durumuna geldiği gözlenmiştir. 3 farklı deprem kaydı için, ilk plastik mafsalları oluşumları perdeli-çerçevesel sistemde daha erken saniyelerde başladığı, perdeli-çerçevesel sistemin deprem etkisi altında elastik ötesi davranışa daha önce geçtiği görülmektedir.

Yapıdaki perde duvarların yerleşimi dikkate alındığında x-doğrultusu boyunca yerleştirilen perde duvarlar y-doğrultusu boyunca yerleştirilen duvarlara göre daha yüksek rijitliğe sahiptir. Dolayısıyla yapıların davranışında da beklenildiği gibi x-doğrultusu boyunca daha düşük yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. Ayrıca çerçevesel modele göre perdeli-çerçevesel modelde meydana gelen yerdeğiştirmeler de beklenildiği gibi daha düşük seviyelerdedir.

Kaynaklar

- [1] Z. Celep, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2015.
- [2] TDY (2007) Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007
- [3] PEER, Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion, 2011 <http://peer.berkeley.edu/smcat/>
- [4] G. Uygun, Z. Celep (2007): “Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007’deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi” Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, sf. 269-279.
- [5] Fahjan, Y. M., Başak, K., Kubin, J., Tan, M. T. Perdeli Betonarme Yapılar için Doğrusal Olmayan Analiz Metotları, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, İstanbul
- [6] Z. Celep, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2015.
- [7] Dok G. (2011). 32 Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi Uygulanarak Belirlenmesi
- [8] SAP2000, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, 2012, California, USA