©2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)

BETONARME YÜKSEK YAPILARIN DEPREM PERFORMANSINA BETONARME PERDE ORANIN ETKİSİ

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

Özet

Ülkemiz topraklarının %92'sinin deprem bölgeleri içinde olduğu ve nüfusumuzun %95'inin bu bölgeler üzerinde yaşadığı bilinmektedir. Son yıllarda meydana gelen birçok şiddetli deprem ciddi şekilde can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu can ve mal kayıpları ülkemizdeki mevcut yapıların güvenilirliğini sorgulanır hale getirmiş ve bu yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğunun özellikleri dikkate alınarak betonarme perde oranı değişiminin betonarme yapıların deprem performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı betonarme perde oranlarına sahip 10 katlı yapı modelleri oluşturulmuş ve SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Her bir yapının sonuçları doğrultusunda elde edilen yer değiştirme değerleri, betonarme perde oranları göz önünde tutularak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme perde oranı, yer değiştirme, betonarme yüksek yapı, zaman tanım alanında hesap, doğrusal olmayan analiz, performans analizi

THE EFFECT OF SHEAR WALL RATIO ON THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE TALL STRUCTURES

Abstract

It is known that Turkey is located on the active fault regions. The structures of people living in Turkey have to be constructed on these active earthquakes regions. Many severe earthquakes in recent years have caused serious loss of life and property. This loss of life and property has questioned the reliability of existing structures in our country and accelerated the studies to determine earthquake performances of these structures. In this study, the effect of the reinforced concrete shear wall ratio on the earthquake performance of reinforced concrete structures is studied considering characteristics of the existing building in Turkey. For this purpose, ten stories structural models with different reinforced concrete shear wall ratios are designed and analyzed with nonlinear time history analysis using SAP2000 finite element program. The roof displacement values obtained from analysis results of each structures are compared in consideration of the reinforced concrete shear wall ratios.

Key words: Shear walls ratio-displacement, reinforced concrete tall building, time-history analysis, nonlinear performance analysis

1. Giriş

Aktif bir deprem kuşağında bulunan ülkemizde meydana gelen birçok şiddetli deprem ciddi şekilde can ve mal kaybına neden olmuştur [1]. Bu can ve mal kayıpları ülkemizdeki mevcut yapıların

*Corresponding author: Naci ÇAĞLAR: Address: İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187 Sakarya, TÜRKİYE, E-mail adresi: caglar@sakarya.edu.tr, Tel: +90 264 295 5729

güvenilirliğini sorgulanır hale getirmiş ve bu yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Deprem etkisi altındaki mevcut betonarme yapıların performanslarının belirlenmesine yönelik uygulanacak hesap adım ve kuralları ile esas alınacak temel ilkeler Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY2007)'de bulunmaktadır [2]. Betonarme yapılar şiddetli deprem etkileri altında lineer olarak hareket edemezler. Dolayısıyla bu yapıların davranışlarını gerçekçi bir şekilde elde edebilmek için doğrusal olmayan yaklaşımla analizlerinin yapılması gerekir. Doğrusal olmayan analizlerin sonucunda yer değiştirmeler, iç kuvvetler ve oluşan plastik mafsallar belirlenir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri de zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerdir. Bu analizlerde mevcut deprem kayıtları, düzenlenmiş mevcut deprem kayıtları veya üretilmiş yapay deprem kayıtları kullanılabilir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde en az 3 deprem kaydı kullanılması gerekmektedir. Analizler sonucunda kullanılan 3 deprem kaydı sonuçları karşılaştırılarak mutlak değerce en büyük olanı seçilir.

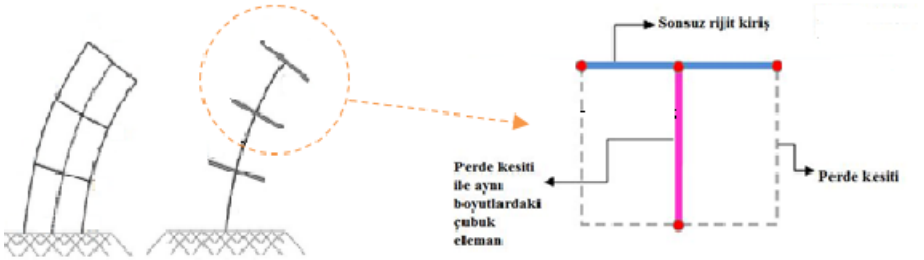
Betonarme perde duvarlar yapıya rijitlik ve dayanım özellikleri kazandırırlar. Betonarme perde duvarların temel görevi yatay yükleri taşımak ve yatay ötelenmeyi sınırlamaktır. Büyük şiddetteki deprem etkileri altında yapı ve taşıyıcı sistem hasar görebilir ancak can güvenliği için betonarme perde duvarların yapının gereksinim duyduğu rijitlik özelliğini sağlaması istenir. Yapılarda betonarme perde duvarın sağladığı büyük ötelenme rijitliği ile yapıda oluşan ötelenmeler küçültülmüş olur. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan mevcut yapı stoku özellikleri dikkate alınarak betonarme perde oranı değişiminin betonarme yapıların deprem performansına etkisi incelenmiştir. Betonarme perde oranı, betonarme perde duvar alanının zemin kat alanına oranı olarak tanımlanabilir. Bu amaçla farklı betonarme perde oranlarına sahip 10 katlı yapı modelleri oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Dinamik analizler 3 farklı deprem kaydı dikkate alınarak yapılmış olup bu deprem kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center veri tabanından alınmıştır[3].

2. Yapıların Deprem Performansı

Bir yapının depreme karşı güvenli tasarımı için, kullanım durumunda çatlama, kararlılık ve yer değiştirme gibi sınırlayıcı şartların sağlanması ve can güvenliği için güç tüketimi durumunda yeterli güvenliğin sağlanması gerekmektedir. Yapıda büyük hasarların ve göçmenin önlenmesi için betonarme perde duvarların yatay yük dayanımının elastik ötesi yer değiştirmelerle devam etmesiyle mümkündür [4]. Performans, deprem etkisi sonucunda oluşabilecek tüm hasar miktarını tespit eden yapı güvenliği durumudur. TDY 2007'de performans belirlenmesi için iki yöntem önerilmektedir. Birinci yöntem doğrusal elastik yöntem olup bu yöntemde kuvvetler dikkate alınırken, ikinci yöntem de doğrusal elastik olmayan yöntem olup burada şekil değiştirmeler ön plandadır [5].

Doğrusal olmayan yöntem, plastik mafsal hipotezi ile doğrusal hale getirilmiş ve hesaplanmıştır. Plastik mafsal hipotezinde elastik ötesi davranışın plastik mafsal (L_P) boyunca oluştuğu ve geriye kalan kesitlerin elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Plastik mafsal boyu (L_P) TDY 2007' ye göre kesit yüksekliğinin yarısı "0.5h" olarak tanımlanır [6].

Sonlu eleman (SE) analizinde plastik mafsallar kirişler için sadece eğilme momenti, betonarme perde ve kolonlar için ise eksenel yük ve eğilme momenti dikkate alınarak tanımlanır. SE analizlerinde betonarme perde duvarlar genellikle shell (kabuk) elemanlar kullanılarak modellenir. Fakat plastik mafsalların shell (kabuk) elemanlara tanımlanması mümkün değildir. Bu nedenle betonarme perde duvarlar "orta dikme çubuk eleman modeli" ile tanımlanırlar. Bu modelde betonarme perde rijitliğini tarif emek için bir orta-dikme çubuk elemanı ve betonarme perdeye bağlanan kirişlerle uygun bağlantılar oluşturmak için sonsuz rijit kirişler kullanılır (Şekil 1). Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar net açıklıklarının uçlarına yerleştirilirken, betonarme perdelerde her katta alt ucuna yerleştirilir [7].



Şekil 1: Betonarme perde Sonlu Eleman Modeli

Deprem etkisi altında plastik mafsalların oluştuğu kısımların çekme bölgelerinde çatlamalar oluşur ve eğilme rijitlikleri azalır[8]. Deprem yönetmeliğinde bu durum aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

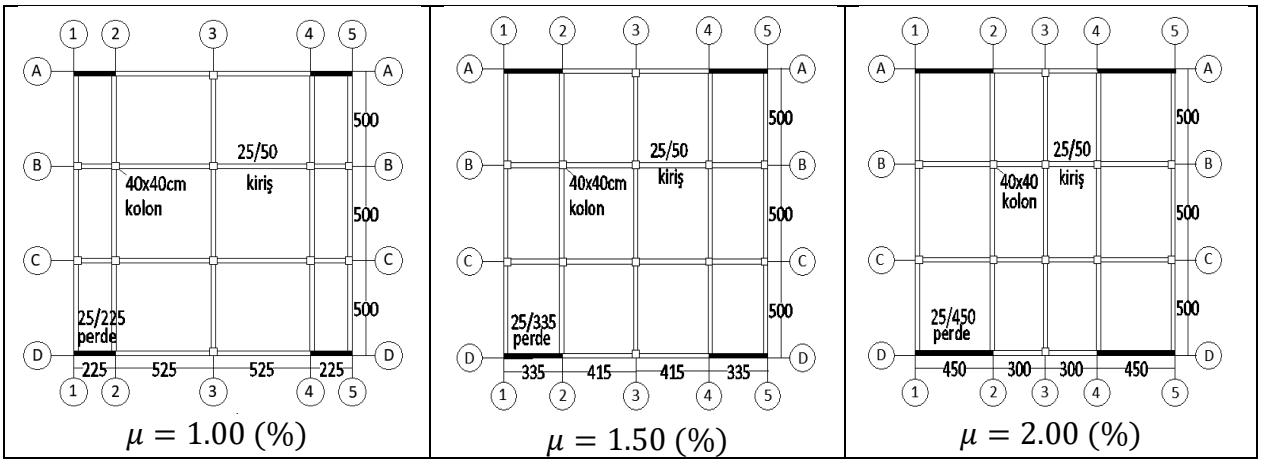
(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$

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

$(EI)_e = 0.80\ (EI)_o \longrightarrow N_D/(A_c\ f_{cm}) \geq 0.40$

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışma kapsamında, betonarme perde oranı değişiminin betonarme bina performansına etkisini incelemek amacıyla farklı betonarme perde oranlarına sahip 10 katlı yapı modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Herhangi bir kattaki perde alanın kat alanına oranı ($\mu = A_{perde}/A_{yapı}$) olarak tanımlanan betonarme perde oranı değiştirilerek 3 farklı yapı modeli (Şekil 3) oluşturulmuş, yapının diğer tüm özellikleri sabit tutulmuştur. Yapı modellerinin tamamında kat yüksekliği 3m, kolonlar 40x40cm ve kirişler 25x50cm olarak belirlenmiştir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoku özelliklerini yansıtması amacıyla beton basınç dayanımı 14MPa ve donatı akma dayanımı ise 220MPa olarak seçilmiştir. Şekil 3'den de görüldüğü gibi model binalara perdeler x-doğrultusunda yerleştirilmiş ve dinamik analizler sadece x-doğrultusu boyunca yapılmıştır.

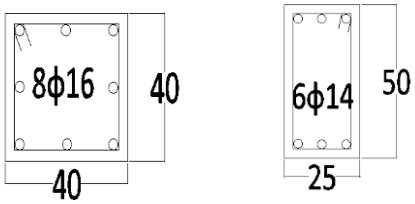


Şekil 2. Yapı Modelleri

Kiriş, kolon ve betonarme perde elemanların donatı oranları 0.01 olacak şekilde tasarlanmış ve perde duvarların özellikleri Tablo 1'de ve kolon ve kiriş kesitleri Şekil 4'de verilmiştir.

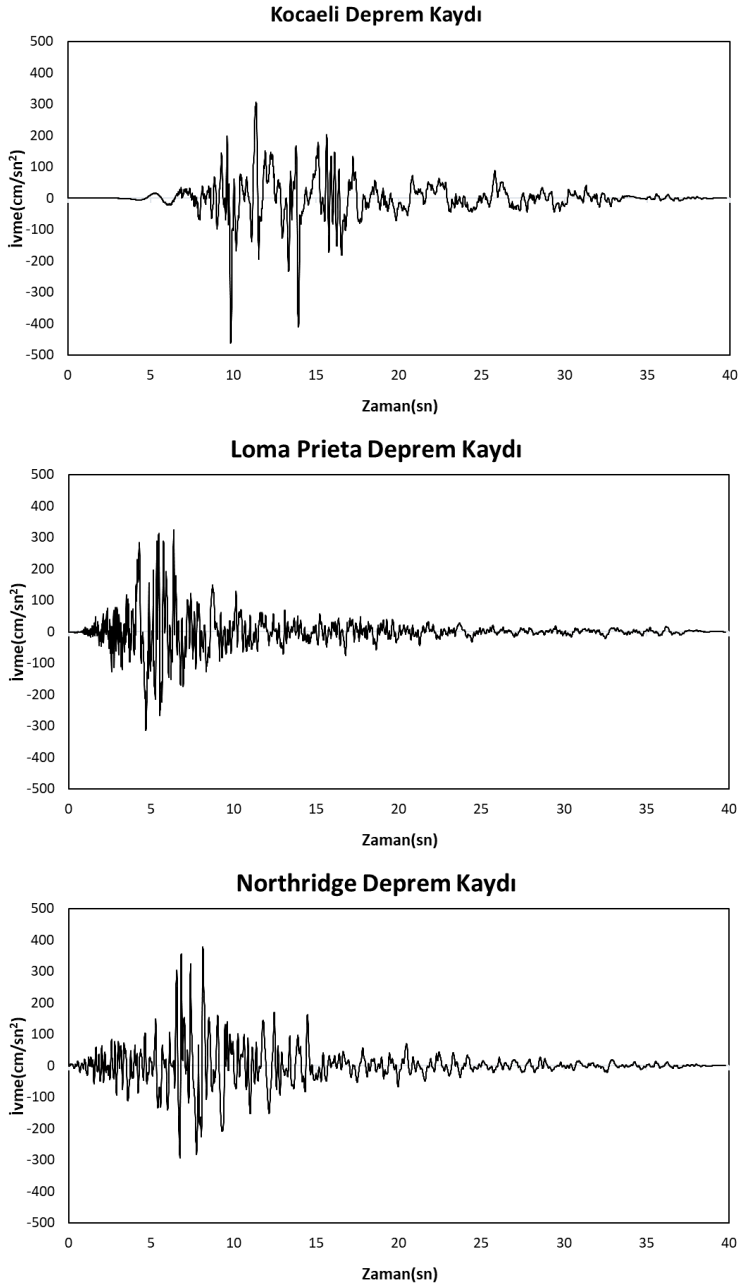
Tablo 1. Betonarme Perde Duvarların Özellikleri

μ (%)	Kesit (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum Donatı Oranı	Minimum Donatı Alanı (cm²)		Seçilen Donatı	
				Başlık	Gövde	Başlık	Gövde
1.00	25/225	25/50	0.01	12.50	31.25	$10\phi14$	$8\phi14/25$
1.50	25/335	25/75		18.75	46.25	$14\phi14$	$16\phi14/25$
2.00	25/450	25/100		25.00	62.50	$18\phi14$	$20\phi16/25$



Şekil 3. Kolon ve Kiriş Kesitlerinin Boyutları ve Donatı Miktarları

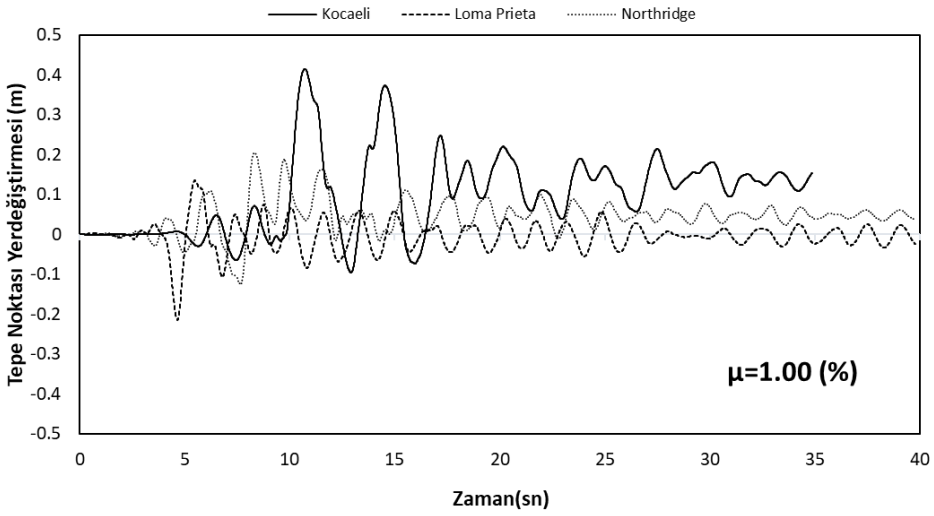
Bu modellerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programı [9] yardımıyla yapılmış ve 3 gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kaydı olarak Kocaeli, Loma Prieta ve Northridge deprem kayıtları TDY2007'de verilen şartlara uyum sağlayacak şekilde seçilmiştir (Şekil 4). SAP2000 sonlu elemanlar programında betonarme perde ve kolonlar için P-M2-M3 mafsalı, kirişler için ise M3 mafsalı tanımlanmıştır. Bu işlem yapılırken önceden tanımlanmış olan kolon, kiriş ve betonarme perdeler için idealize edilmiş plastikleşme momenti (M_p) değerleri uygulanarak mafsallar oluşturulmuştur. TDY2007 deprem yönetmeliğinde tanımlanan değerler dikkate alınarak deprem etkisi altında çatlamış kesitlerde oluşan eğilme rijitlik azalımları betonarme perde, kolon ve kirişlere her katta ayrı ayrı olacak şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 4. Hesaplamalarda Kullanılan Deprem Kayıtları

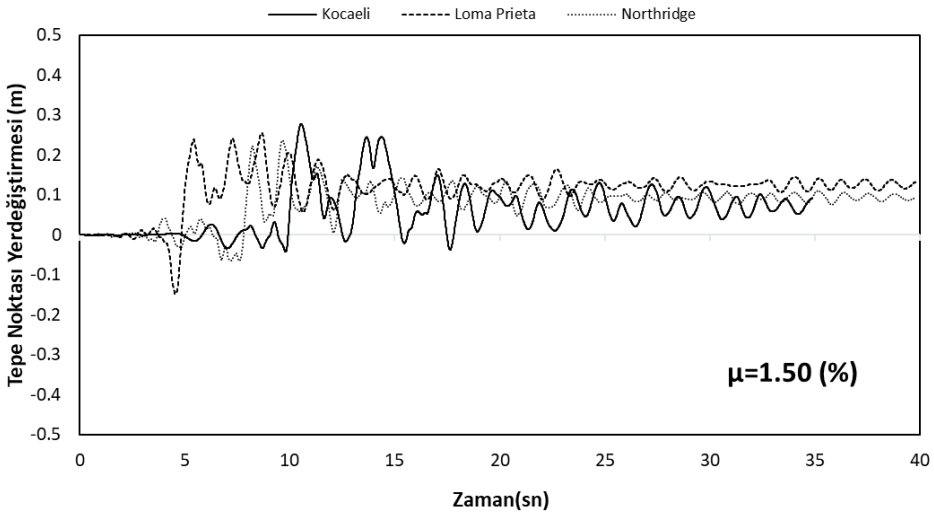
4. Sonuçlar

Farklı betonarme perde oranlarına sahip 3 farklı binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda 10 katlı ve 30m yüksekliğe sahip yapılarda oluşan deprem davranışı Şekil 5-7 ve plastik mafsal dağılımları A-A ve D-D aksları için Şekil 8'de, B-B ve C-C aksları için Şekil 9'de sunulmuştur.



Şekil 5. Yapının tepe noktası yer değiştirmesi (μ=1.00)

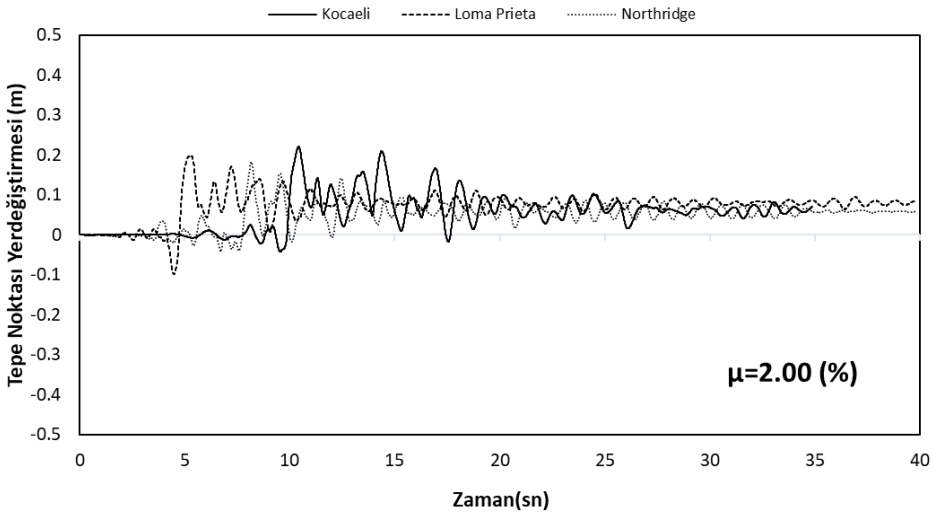
Betonarme perde oranı μ=1.00 (%) için model yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 5 de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi tepe noktasındaki yer değiştirmeler karşılaştırıldığında en büyük yer değiştirmeler Kocaeli depremi etkisi altında oluşmakta ve bu değer yaklaşık olarak 42cm civarındadır. İlk plastik mafsalın 17. saniye civarında oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6. Yapının tepe noktası yer değiştirmesi (μ=1.50)

Betonarme perde oranı μ=1.50 (%) için model yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 6'da sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi tepe noktasındaki yer değiştirmeler karşılaştırıldığında Kocaeli ve Loma Prieta depremlerinin etkisi sonucu yer değiştirmelerin birbirlerine yaklaştığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 28cm civarında olan yer değiştirme

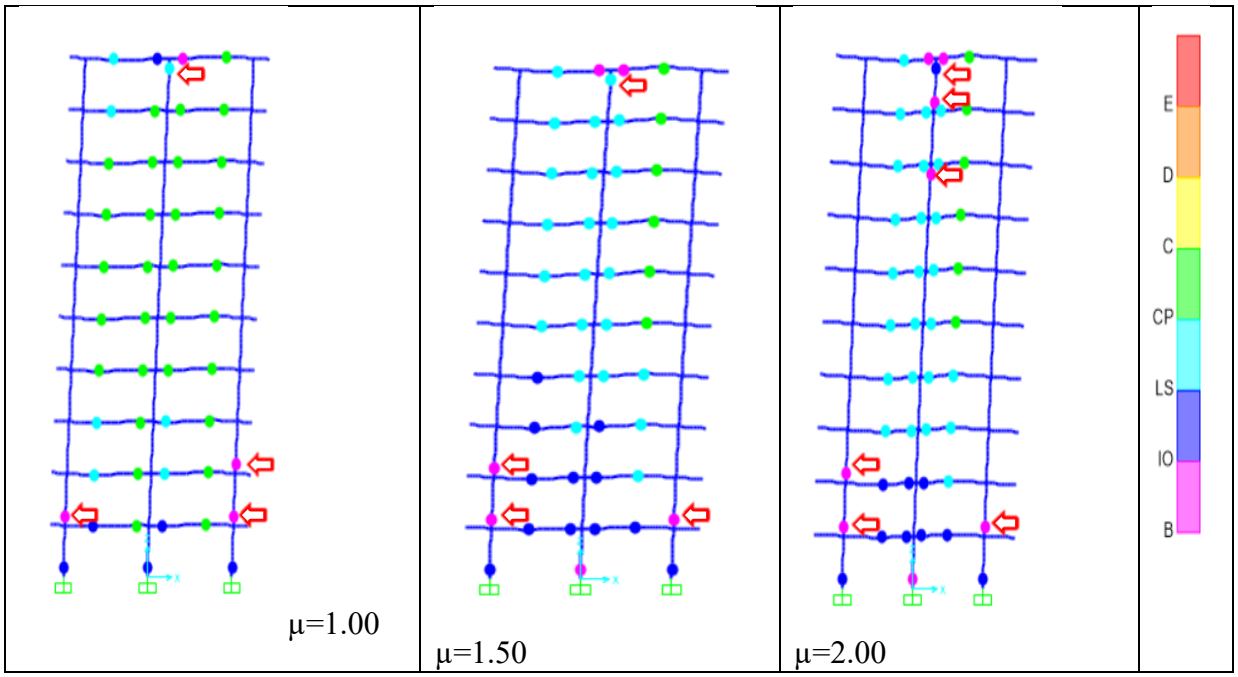
Kocaeli depremi etkisi altında oluşmaktadır. İlk plastik mafsalın 13. saniye civarında oluştuğu görülmektedir.



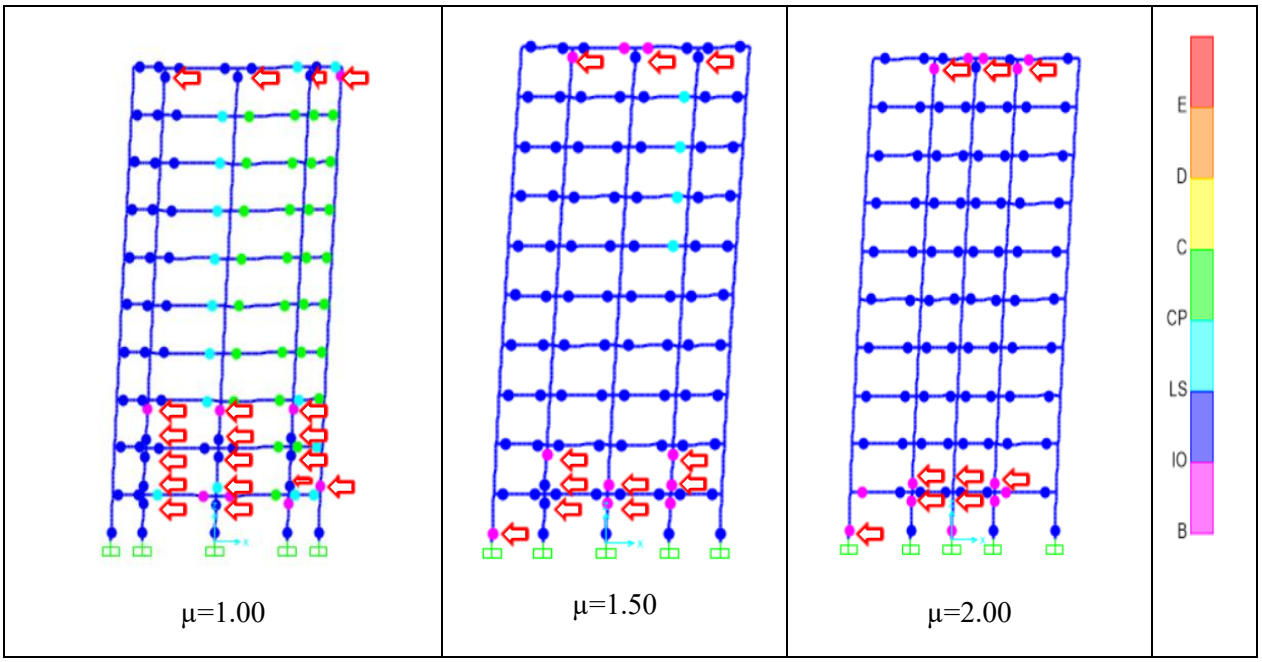
Şekil 7. Yapının tepe noktası yer değiştirmesi (μ=2.00)

Betonarme perde oranı μ=2.00 (%) için model yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 7'de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi bu yapı diğer yapılara göre daha rijit ve kararlı davranış göstermektedir. Yapının daha rijit bir davranış göstermesi sonucunda yer değiştirmeler önemli ölçüde azalmış ve yaklaşık 23cm civarına kadar düşmüştür. Diğer sistemlere göre yapıdaki plastik mafsalın oluşması ve yapının elastik ötesi davranışa geçmesi çok daha erken saniyelerde başlamıştır.

Kocaeli deprem etkisi altında Yapı modellerinin elemanlarında oluşan plastik mafsal dağılımları A-A ve D-D aksları için Şekil 8'de, B-B ve C-C aksları için Şekil 9'de gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi farklı perde oranlarına sahip yapıların kolonlarında farklı mafsallaşmalar gözlenmektedir. Burada IO: Immediate Occupancy(Hemen Kullanım), LS: Life Safety(Can Güvenliği), CP: Collapse Prevention(Göçme Önleme), C: Collapse(Göçme)' yi temsil etmektedir. μ=1.00 değeri için kolonlarda oluşan mafsallara bakıldığında bazı bölgelerde mafsalların göçme öncesi bölgeye girdiği görülmektedir. μ=1.50 ve μ=2.00 değerlerine bakıldığında ise hiç bir kolonda mafsalların can güvenlik seviyesini aşmadığı görülmüştür ve perde oranı arttıkça yapıda oluşan mafsalların güvenli bölgede kalma olasılığı da artmaktadır. Perde oranı arttıkça kolonlarda hasara sebep olan plastik dönme miktarının azaldığı ya da tamamen kaybolduğu görülmektedir. Aynı zamanda kolonlarda oluşan mafsal sayısının azaldığı tespit edilmiştir. Bu sayede perde oranın artması, yapıda hedeflenen performans düzeyinin sağlanmasında önemli bir rol oynadığı görülmüştür.



Şekil 5. A-A ve D-D Aksı Çerçeveleri



Şekil 6. B-B ve C-C Aksı Çerçeveleri

Kaynaklar

[1] Arslan, M.H. , What Is To Be Learned From Damage And Failure Of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes In Turkey?, 1-22, 2007.
[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] Z. Celep, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2015.
[5] Gökhan Barış Sakcalı. Betonarme binalardaki betonarme perde duvar miktarının bina performansına etkisi.S.A.Ü FBE Dergisi, 21(2), 2017, 157-168.
[6] Gökhan Dok. Betonarme Yüksek Yapılarda Doğrusal Elastik Olmayan Performans Değerlendirmesi. *ISITES2016* Alanya/Antalya – Turkey
[7] 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
[8] Zekai Celep, Betonarme Yapılarda Şekil Değiştirmeye Dayalı Tasarım ve Değerlendirme. Betonarme Yapılar Semineri, İ.T.Ü, İstanbul,2009.
[9] SAP2000, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, 2012, California, USA