

Betonarme Binalarda Kat Yüksekliğinin Yapı Performansına Etkisi

The Effect of Storey Height on the Earthquake Performance of RC Buildings

Ercan Işık^{1*}, Gökhan Öztürk²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, Türkiye

Öz

Bu çalışma, son yıllarda geliştirilen ve deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlayan yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ile ilgili yöntemlerin, kat yüksekliği farklı betonarme binalara uygulanmasını konu edinmiştir. Farklı kat yükseklikleri ve farklı kat adetlerine sahip beşer tip örnek betonarme yapı modellenmiştir. Kat yüksekliği olarak 2.5 m, 2.75 m, 3.0 m, 3.25 m ve 3.50 m seçilmiştir. Her bir kat yüksekliğine göre seçilen yapının 5 veya 7 katlı olması durumunda analizler yapılmıştır. Kat yüksekliği arttıkça yapı taban kesme kuvveti azalmış, tepe yer değiştirme değeri ise artmıştır. Ayrıca kat yüksekliği arttıkça yapının periyot değeri de artmıştır. Çalışma ile ideal kat yüksekliğinin ne olması gerektiği ile ilgili bilgiler verilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Kat yüksekliği, Statik itme

Abstract

This study is about those methods for determining of earthquake performances of constructions, which have recently been developed and take gradually part in the earthquake regulations, are practiced on reinforced-concrete constructions with different storey height. In this study five type sample reinforced-concrete constructions with different storey height and number were patterned. The storey height was chosen as 2,5 m, 2,75 m, 3.0 m, 3,25 m, 3,50 m. The analyses were performed in the case of being 5 or 7 storey of chosen construction according to each storey height. As long as the storey height increases, the construction base shear force decreases and top displacement value increases. Besides, according to the increase of storey height, the construction's period value increases. With this study the information was given about the ideal storey height. The obtained results were compared and suggestions were offered.

Keywords: Pushover, Storey height, RC

1. Giriş

Doğal afetlerin (deprem, sel, heyelan vb.) oluşturacağı hasar miktarı, yapıların savunmasızlığı arttıkça bu miktar da artacaktır. Doğal afetlerin büyüklüğü ve yapıların yeterli düzeyde güvenliğinin sağlanmamış ve yönetmeliklerde belirtilen şartlara uygun yapılmamış olması yani olumsuz yapı özellikleri de oluşabilecek zararı doğrudan etkileyecektir (Işık 2013). Yapıların savunma mekanizmasının güçlü olması yapıların yük altındaki davranışlarını olumlu bir şekilde etkileyecek ve oluşabilecek hasar miktarının minimuma indirgeyecektir.

Risk azaltma çalışmalarının diğer ayağını ise yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre inşa

edilmesi oluşturmaktadır. Afet öncesi gerekli tedbirlerin alınması zarar miktarını azaltma yönünde ciddi bir yaklaşımdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının işlevinin devam etmesinin sağlanması, hasar durumlarının sınıflandırılması ve yapı içerisindeki hayatta kalmasını sağlamak şeklinde olmak üzere değişik seviyelerde korunma ilkeleri söz konusudur (Ağcakoca 2006).

Yapı hasarları yapıların özelliklerine göre değişmektedir ancak bu özelliklerin ortaya konması yapıların sınıflandırılması sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesine bağlıdır. Yapıların bir takım özellikleri meydana gelen hasarı yakından etkilemektedir (Şengezer 1999).

Yapı sistemlerinin tasarımında yük, malzeme ve boyut koşulları olmak üzere üç ana unsur bulunmaktadır. Bu unsurların yanı sıra yapının statik sistemi de önemli bir yer tutmaktadır (Işık 2015). Yapıların statik olarak analizde yapı ve yapı elemanlarının boyutları dikkate alınmaktadır.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: eisik@beu.edu.tr

Yapıların yüksekliği, yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken parametrelerden biridir. Yapı yüksekliği yapıyı meydana getiren katların toplam yüksekliğidir. Bu çalışmada kat yüksekliği değişken olarak seçilmiştir. Kat yüksekliğinin seçiminin önemi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Daha önce yapılmış gözlem ve çalışmalarda betonarme (BA) binalarda kat adedi ile yapı hasarı arasında neredeyse doğrusal bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılarda kat adedinin artması ile kütlenin ve kütle etki kolunun artması sonucu deprem kuvvetleri artacaktır. Eğer bu artış dikkate alınmadan yapıda yeterli miktarda bir dayanım sağlanmamış ise yapı doğal olarak bir deprem anında hasar görecektir. Ülkemizde yapılmış yapıların birçoğu deprem tasarımına uygun olmadığından kat adedi arttıkça hasar oranı da artmıştır (Sucuoğlu 2007, Işık 2010).

Bu çalışma kapsamında, betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güvenilirliği etkileyen parametrelerin değerlendirilmesi amacıyla farklı kat yükseklikleri ve farklı kat adetlerine sahip beşer tip örnek yapı modellenmiştir. Seçilen her betonarme yapının kat planı aynı seçilmiştir. Bu yapılarda kat yüksekliğinin 2.5m, 2.75m, 3.0m, 3.25m ve 3.50m olması durumunda 5 ve 7 katlı çerçevesiz binalar tasarlanarak karşılaştırılmalar yapılmıştır. Farklı kat yüksekliklerinin yapı davranışını ve performans düzeyini ne derecede etkilediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate alınan deprem performansı hesaplama yöntemleri tanımlanmış ve bu yöntemlerin nasıl uygulanacağı hakkında bilgi verilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Kuvvetli yer hareketlerinin oluşabileceği bölgelerdeki yapıların deprem etkisi altında davranışlarını olumsuz etkileyecek özelliklerin bilinmesi deprem sonucunda oluşabilecek hasar risk seviyelerini azaltma yönünde daha ciddi yaklaşımların ortaya konulmasını sağlayacaktır (Işık 2010). Olası bir depremde performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamak Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği'nin amacıdır.

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, Aydınoglu (2007), Chopra ve Goel (2002), Jianmeng (2008) ve Freeman (2005) 'nın çalışmalarında olduğu gibi, deprem isteminin de hesaplanması, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın belirlenmesi gerekmektedir.

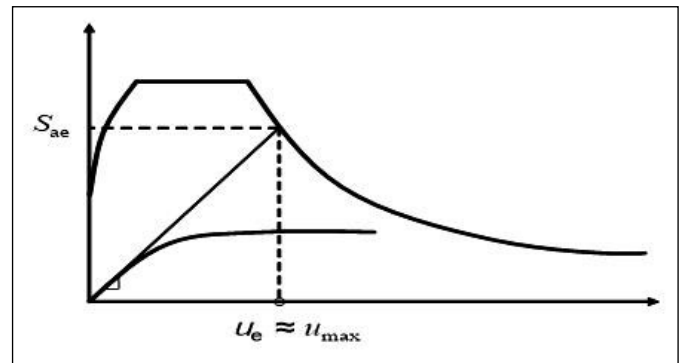
Talep spektrumları bir yapının performansının belirlenmesinde kullanılırlar. Bu eğriler yapının, deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir (İlki ve Celep 2011). Deprem istemi ve kapasitesi Performansa dayalı tasarımın iki temel parametresini oluşturmaktadır (Özer 2007, Fajfar 1999).

Performansa (şekil değiştirme, deplasman veya yer değiştirme) göre tasarımda, kuvvete dayalı tasarımdakinin aksine dayanım, doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılan hesaplarla bilinmekte, buna karşı gelen süneklik istemi ise bulunmaya çalışılmaktadır. Dayanım kapasitesi, malzemelelerin "gerilme-birim şekil değiştirme" ve kesitlerin "moment-eğrilik" ilişkilerinden yararlanarak belirlenebilmektedir. Söz konusu tasarım yönteminde, depremin yapıdan yer değiştirme istemi "eşit yer değiştirme kuralı"na bağlı olarak hesaplanmaktadır (İnel 2008). Eşit Yer değiştirme Kuralı'na göre, yapı yeterince esnekse, örneğin, doğal titreşim periyodu, ivme spektrumu köşe periyodundan büyükse, yapıda meydana gelecek elastik ötesi deplasmanlar, yapının tamamen elastik olması durumunda oluşacak deplasmana eşit olur (Şekil 1).

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yönteminde, tasarım yer hareketi altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar seviyelerinin sayısal olarak belirlenmesi mümkündür. Bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır (Aydınoglu 2007, Kutanis 2014, Doran 2011).

3. Bulgular

Bu çalışmada 5 ve 7 katlı olmak üzere iki farklı kat adedi dikkate alınmıştır. Bu amaçla toplam 5m*5m boyutlarında toplam 25 m² taban alanı olan betonarme bir yapı seçilmiştir.



Şekil 1. Eşit yer değiştirme kuralı (Kutanis 2007).

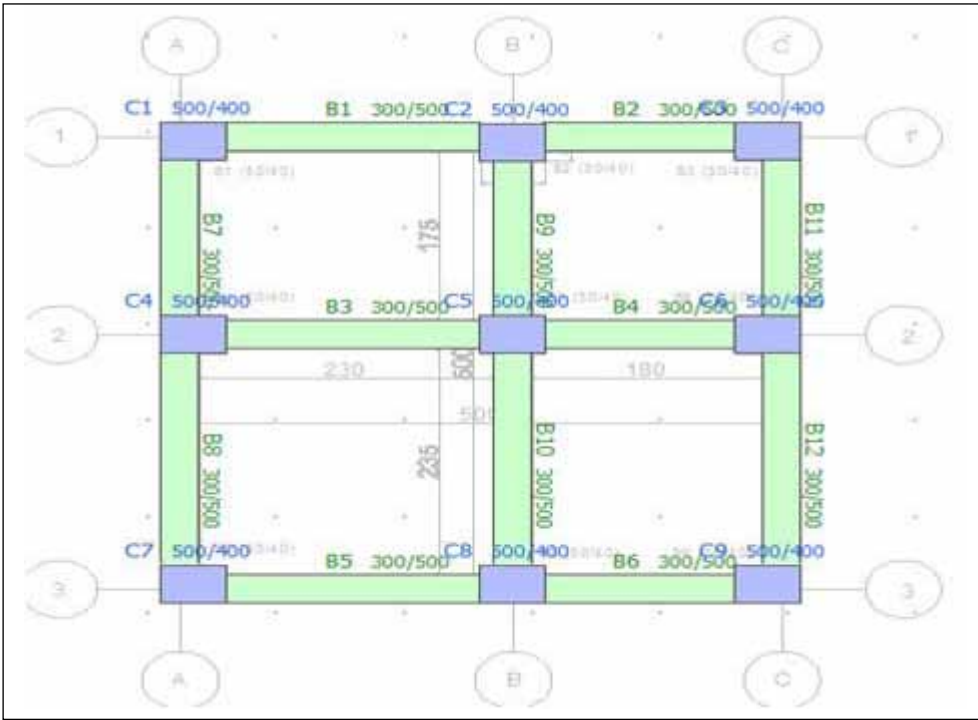
Her iki doğrultuda yapıda ikişer açıklık bulunmaktadır. Yapıda bulunan katların tamamı eşit yüksekliktedir. Kat yüksekliklerinin 2.5m, 2.75m, 3.00m, 3.25m, 3.50m olması durumunda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Seçilen binada kullanılan malzeme C30-S420'dir. Yapıya ait kalıp planı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Betonarme çerçeveyi oluşturan kolonlar 40cm*50cm, kirişler ise 30cm*50cm olarak seçilmiştir. Her iki yapı elemanında enine donatı olarak $\Phi 10/10$ seçilmiştir. Yapıda kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri Şekil 3'te verilmiştir.

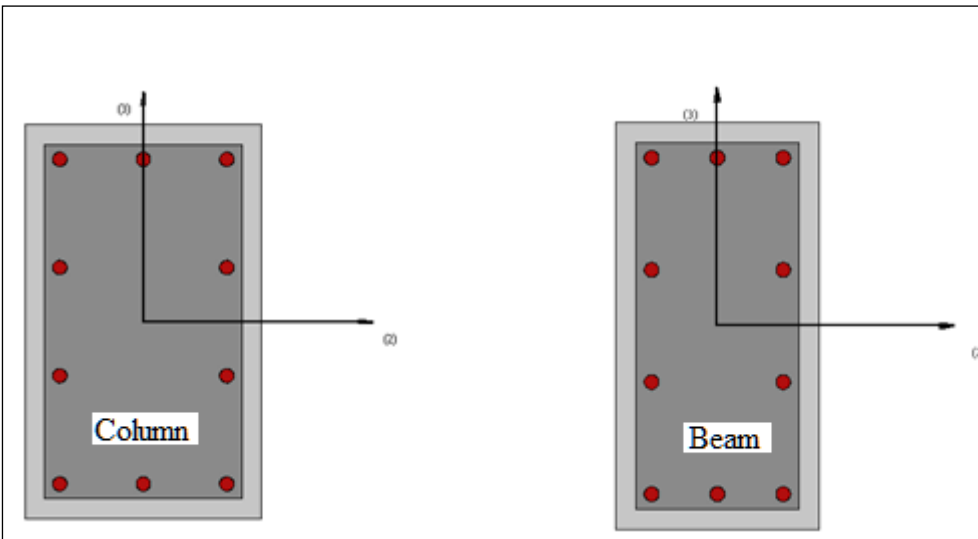
İncelenecek yapının yazılım programından elde edilen üç boyutlu modelleri Şekil 4'te yer almaktadır.

Hesaplamalar yapılırken Seismostruct yazılım programı kullanılmıştır. 5 ve 7 katlı betonarme yapılarda, kat yüksekliğinin 2.5m olması durumunda elde edilen statik itme eğrileri Şekil 5'te gösterilmiştir.

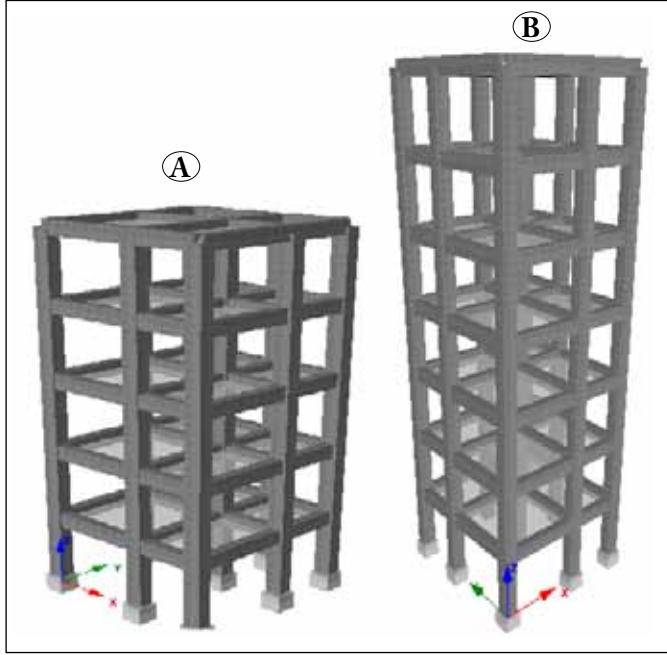
Seçilen BA binada kat adedinin 5 olması durumunda değişik kat yükseklikleri için elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 2. Seçilen örnek yapı için kat kalıp planı.



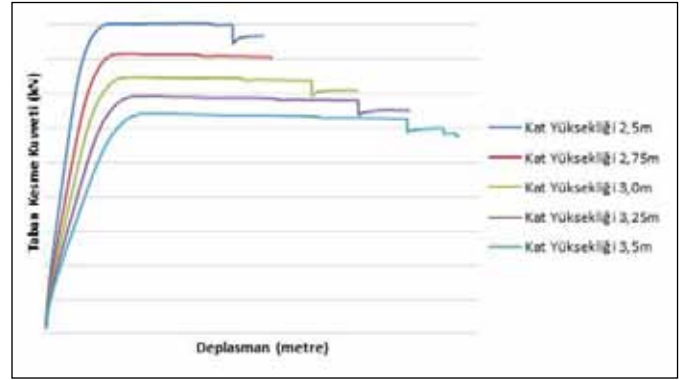
Şekil 3. Kolon ve kiriş en kesitleri.



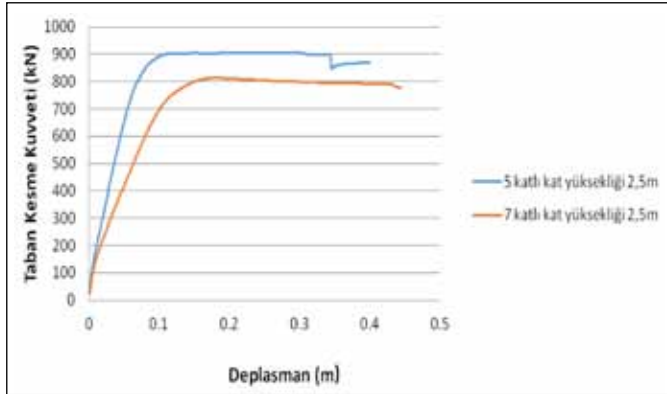
Şekil 4. İncelenen yapının 3 boyutlu modeli, (A) 5 katlı; (B) 7 katlı.

Seçilen BA binada kat adedinin 7 olması durumunda değişik kat yükseklikleri için elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 7'de gösterilmiştir.

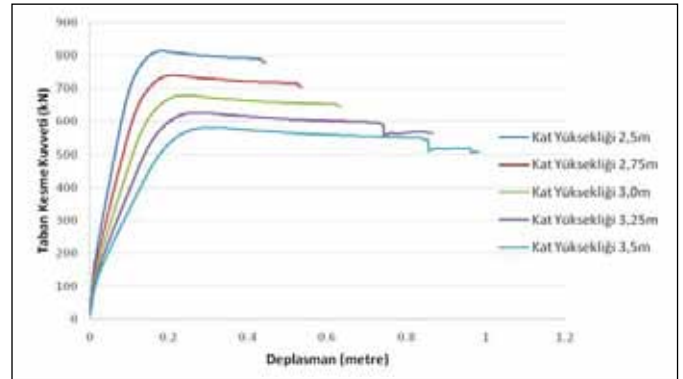
Kat adedinin 5 olması durumunda farklı kat yükseklikleri için elde edilen deformasyon durumları ve hesaplanan tepe yer değiştirme değerleri Şekil 8'de verilmiştir.



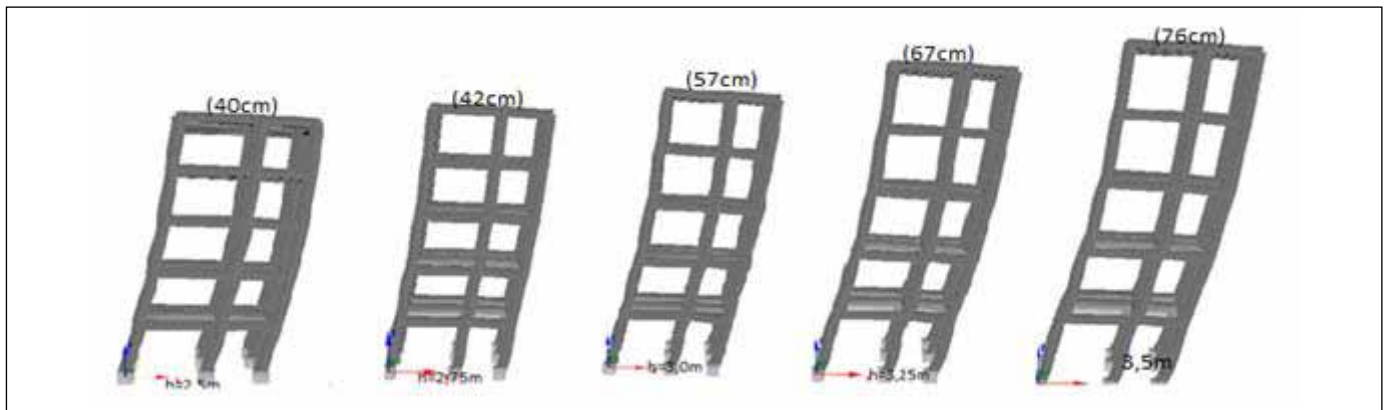
Şekil 6. 5 katlı kat yükseklikleri farklı yapıların statik itme eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 5. Seçilen BA yapıda kat yüksekliğinin 2,5m olması durumunda elde edilen statik itme eğrileri.



Şekil 7. 7 katlı kat yükseklikleri farklı yapıların statik itme eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 8. 5 katlı yapının farklı kat yükseklikleri için yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılması.

Kat adedinin 7 olması durumunda farklı kat yükseklikleri için elde edilen deformasyon durumları ve hesaplanan teper yer değiştirme değerleri Şekil 9'da verilmiştir.

Çalışmada ayrıca her kat yüksekliği için hasar durumları belirlenmiştir. Bu değerler belirlenirken öncelikle yapıda bulunan toplam kolon ve kiriş sayısı belirlenmiştir. Yazılım programından elde edilen hasarlı kolon ve kiriş eleman sayısı belirlendikten sonra hasar yüzdeleri hesaplanmıştır. Kat adedi ve kat yüksekliğinin değişiminden dolayı elde edilen hasar durumları Çizelge 1'de verilmiştir.

Analizi yapılan betonarme bina için elde edilen periyot değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

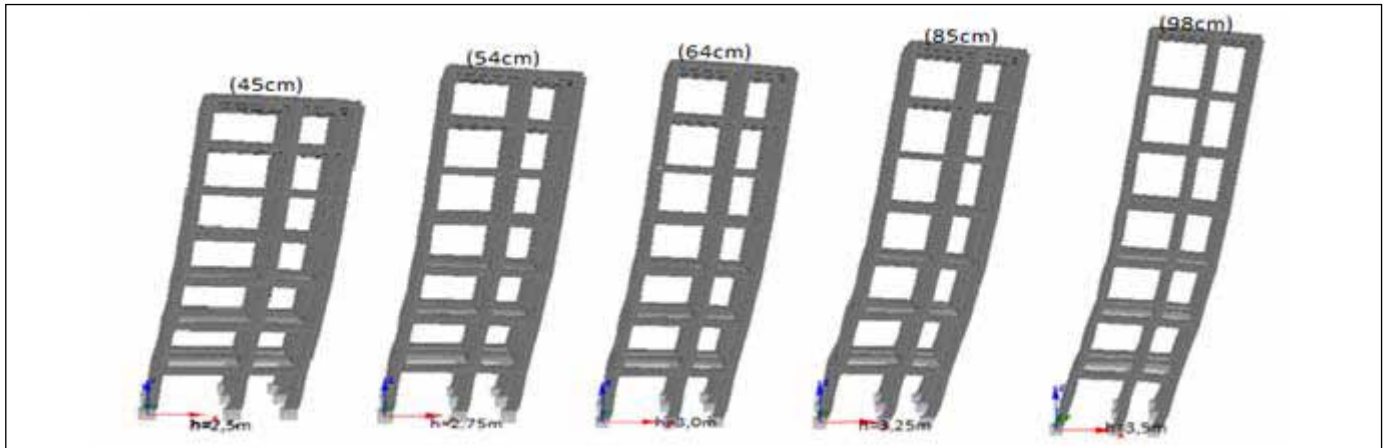
Yapı tasarım amaçlarından biri de yapıya etkiyecek olan yükler altında yeterli rijitliği sağlamaktır. Rijitlik yapı periyodu ile doğrudan ilgilidir. 5 ve 7 katlı betonarme yapıların tamamında kat yüksekliği arttıkça periyot artmıştır. Yapı periyodunun artması yapı rijitliğinin azalması anlamı taşımaktadır. Dolayısıyla kat yüksekliği arttıkça rijitlik azalmaktadır. Taşıyıcı sistemde değişiklikler yapılarak yapı rijitliği değiştirilebilir. Dolayısıyla yapı taşıyıcı sistem değişikliği ile yapı periyodu da değiştirilebilir. Periyodun değişmesi ile yapıya etkiyecek olan deprem yükleri de değiştirilebilir. Periyot değişimi grafiksel olarak Şekil 10'da verilmiştir.

Çizelge 1. Kat yüksekliği ve kat adedi değişiminden dolayı oluşan hasar miktarları.

Kat Yüksekliği (m)	5 Kat				7 Kat			
	Toplam Eleman Sayısı (Kolon+Kiriş)	Hasar Yüzdesi (%)	Yapıdaki Hasarlı Eleman Sayısı	İleri Hasar ve Göçme Bölgesi Yüzdesi	Toplam Eleman Sayısı (Kolon+Kiriş)	Hasar Yüzdesi (%)	Yapıdaki Hasarlı Eleman Sayısı	İleri Hasar ve Göçme Bölgesi Yüzdesi
2.50	105	8.60	9	-	147	6.10	9	-
2.75	105	22.90	24	12.5	147	14.30	21	-
3.00	105	8.60	9	33.30	147	6.10	9	-
3.25	105	8.60	9	33.30	147	8.20	12	25
3.50	105	10.40	11	27.30	147	8.20	12	25

Çizelge 2. Analizi yapılan yapıların maksimum periyotları.

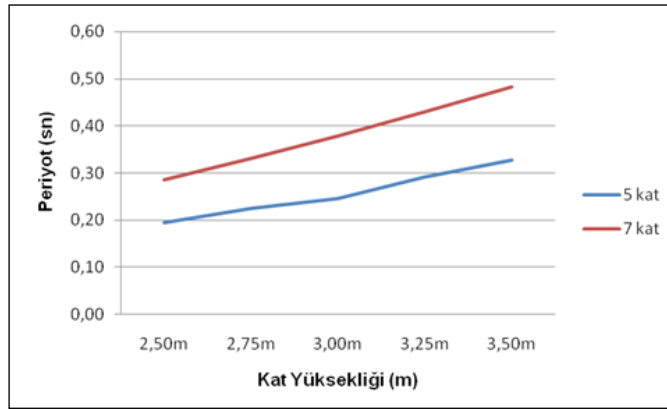
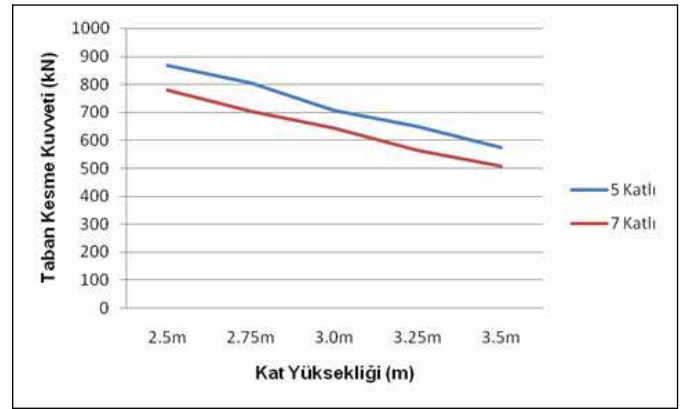
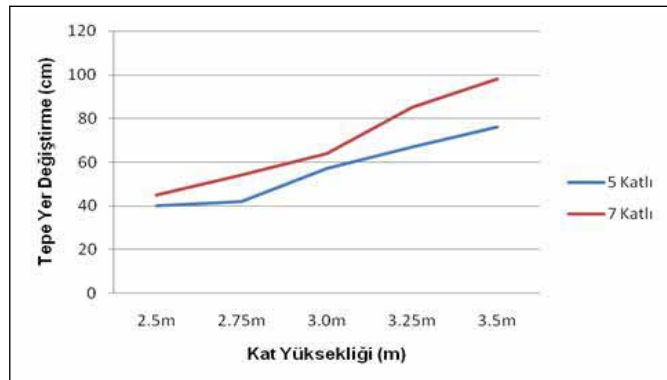
Kat Yüksekliği	2.50m	2.75m	3.00m	3.25m	3.50m
5 Katlı	0.19441476	0.22488293	0.24590348	0.29163943	0.32792168
7 Katlı	0.28498997	0.32990122	0.37771696	0.42843093	0.48203773



Şekil 9. 7 katlı yapının farklı kat yükseklikleri için yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 3. Maksimum yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri.

Kat Yüksekliği	Taban Kesme Kuvveti (kN)		Yer Değiştirme Miktarı (cm)	
	5 Katlı	7 Katlı	5 Katlı	7 Katlı
2.5m	868,1	779,3	40	45
2.75m	805,7	703,3	42	54
3.0m	708,6	643,1	57	64
3.25m	650,4	565,6	67	85
3.5m	574,4	507,5	76	98

**Şekil 10.** Elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması.**Şekil 11.** Taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.**Şekil 12.** Elde edilen tepe yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.

5 ve 7 katlı betonarme yapı için elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir.

Yapı kat adedi ve kat yüksekliği arttıkça yapıdaki taban kesme kuvveti azalmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir.

Kat yüksekliği azaldıkça taban kesme kuvveti ortalama %10 oranında artmıştır. Buradan hareketle kat yüksekliğinin artması durumlarında yapının rijitliğini artıracak önlemler

alınması gerekmektedir. Rijitliğin artması ile yapı periyodu aşağı seviyelere çekilmiş olacaktır. Bunun sonucu olarak yapılardan beklenen yeterli rijitlik sağlanmış olacaktır.

Yapı kat adedi ve kat yüksekliği arttıkça tepe yer değiştirme istem talebi de artmıştır. Bu durum Şekil 12'de gösterilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapıların yüksekliği, yapıların depreme karşı dayanıklılıklarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken unsurlardan biridir. Yapı yüksekliği yapıyı meydana getiren katların toplam yüksekliğidir. Bu çalışmada kat yüksekliği ve kat adedi değişken olarak seçilmiştir.

Deprem etkisine maruz kalabilecek yapıların yapısal özellikleri olası bir deprem sonucunda cam ne mal kaybıyla doğru orantılı olacaktır. Bu çalışma aynı kat kalıp planına sahip 5 ve 7 katlı iki farklı betonarme bir yapı seçilmiş ve yazılım programında modellenmiştir. Her iki yapı içinde, kat yüksekliği değerleri 2.5m, 2.75m, 3.0m, 3.25m ve 3.50m olarak seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu yapı için taban kesme kuvveti, tepe yer değiştirme, hasar yüzdeleri ve periyot değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapı kütlesi sabit tutularak, rijitlik arttıkça periyot azalmaktadır. Tasarımı yapılan yapının zemin hakim periyodunu dikkate alarak, yapı rezonansa getirecek periyot oluşturacak rijitlik değerinden kaçınmak gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin rijitliğine bağlı olarak, yapı periyodu azaltılabilir ve ya artırılabilir. Bu durum göz önüne alındığında periyodu büyük olan zeminler üzerinde rijit yapıların, küçük olan zeminler üzerinde ise esnek yapıların inşa edilmesi rezonans oluşmaması açısından uygun olacaktır.

Kat sayısının artması durumlarında yapının rijitliğini artıracak önlemler alınması gerekmektedir. Rijitliğin artması ile yapı periyodu aşağı seviyelere çekilmiş olacaktır. Bunun sonucu olarak yapılardan beklenen yeterli rijitlik sağlanmış olacaktır. Bunu sağlamanın yollarından biri betonarme perde duvarların her iki doğrultuda yeterli seviyede kullanılması ile gerçekleşir. Ancak gereğinden fazla perde kullanımının burulma düzensizliği oluşturacağı unutulmamalıdır.

Yapı kat adedi ve kat yüksekliği deprem performansı açısından önemli ve bilinen parametrelerdir. Ancak günümüze kadar bu parametrelerin yapı performansına etkisi yeterli düzeyde incelenmemiştir. Bu çalışma ile her iki parametre değişiminin yapı deprem performansına etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Gökhan Öztürk'ün aynı adla yürütülen yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

6. Kaynaklar

- Ağcakoca, M. 2006.** Burulma modu etkin olan yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, *Lisans Üstü Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- Aydınoglu, MN. 2007.** A response spectrum-based nonlinear assessment tool for practice: incremental response spectrum analysis (IRSA), *ISET Journal of Earthquake Technol.*, 44(1): 169-192.
- Chopra, AK., Goel, RK. 2002.** A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Eng. Str. Dyn.*, 31(3): 561-582.
- Doğangün, A. 2013.** Betonarme yapıların hesap ve tasarımı: DBYBHY-2007 TS500-2000 ve Deprem yönetmeliği-2007'ye uygun. Birsen yayınevi.

- Doran, B., Akbaş, B., Sayım, İ., Fahjan, Y., Alacalı, SN. 2011.** Uzun periyotlu bir yapıda yapısal sağlık izlemesi ve deprem performansının belirlenmesi. 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. 11-14 Ekim.ODTÜ. Ankara 2011.
- Fajfar, P. 1999.** Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. *Earthquake Eng. Struc. Dyn.* 28(9): 979-993.
- Freeman, SA. 1998.** The capacity spectrum method as a tool for seismic design. *In Proceedings Of The 11th European Conference On Earthquake Engineering* (pp. 6-11).
- Işık, E. 2013.** Bitlis ili yapı stoğunun birinci kademe (sokak tarama yöntemi ile) değerlendirilmesi. *SDÜ, Fen Bil. Enst. Derg.*, 17(1):173-178.
- Işık, E. 2015.** Size effects of columns on buckling. *5th International Science Technology and Engineering Conference (ISTE-C 2015)*, September 2015, St. Petersburg, Russia.
- Işık, E. 2010.** Bitlis Şehri deprem performans analizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*.
- İlki, A., Celep, Z. 2011.** Betonarme yapıların deprem güvenliği. 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Ankara. Turkey. October
- İnel, M. 2008.** 2007 Deprem yönetmeliğinde mevcut binaların performanslarının değerlendirilmesi, İmo Denizli Şubesi, *Kurs Notları*.
- Jianmeng, M., Changhai, Z., Lili, X. 2008.** An improved modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands of structures. *Earthquake Eng. Vib.*, 7(1): 25-31.
- Kutanis, M. 2007.** Yapı ve deprem mühendisliğinde performans yaklaşımı-1. *İMO, Sakarya Bülten*.
- Kutanis, M., Boru, OE. 2014.** The need for upgrading the seismic performance objectives. *Earthquakes Struct.*. 7(4): 401-414.
- Özer, E. 2007.** Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme. ITU. Lectures Notes
- SeismoStruct v6.5. 2016.** A Computer Program For Static And Dynamic Nonlinear Analysis Of Framed Structures. Seismosoft,
- Sucuoğlu, H. 2007.** Kentsel yapı stoklarında deprem risklerinin sokaktan tarama yöntemi ile belirlenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 267-284.
- Şengezer, B. 1999.** 13 Mart 1992 Erzincan depremi hasar analizi ve Türkiye'de deprem sorunu. YT Ü. Basın Yayın Merkezi.