PERDE DUVARLI MODEL BİR BİNANIN DİNAMİK DAVRANIŞINA YÖNELİK PARAMETRİK ÇALIŞMA

Vesile Hatun Akansel[1], Ahmet Yakut[2], İlker Kazaz [3] ve Polat Gülkan[4]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Muğla Üniv. nden izinli), Ankara*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[3] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum*
[4] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Çankaya Üniversitesi, Ankara*

Email: akansel@metu.edu.tr

ÖZET:

Burulma davranışına sahip perde duvarlı model bir binanın davranışını irdelemek amacıyla parametrik bir çalışma yapılmıştır. Yapısal davranışını doğru bir şekilde modelleyebilmek için yapının davranışını etkileyen parametrelerin etki oranlarının doğru tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Fransa – Saclay'de bulunan Atom Enerji Düzenleme Kurumunun (CEA) yürüttüğü proje kapsamında sarsma tablası deneyleri yapılan (AZALEE ¼ ölçekli SMART-2008 perde duvarlı binası incelenmiştir. Binanın davranışını etkileyen parametreler beyaz gürültüden oluşturulmuş iki takım sentetik yatay yer hareketleri altında gerçekleştirilmiştir. Bunlardan biri 0.2 g mertebesinde tasarım seviyesinde , diğeri ise 0.6 g seviyesindedir. Her bir yer hareketi için 12 takım hesap yapılmıştır. Bu 12 takım analiz içinde 5 takım için değişken: E (Betonun Elastisite Modülü), 3 takım için değişken: çeliğin akma seviyesi Fy, 2 takım için değişken: sönüm katsayısı ve 2 takım için de ek yüklerdir.

Hesap sonuçları kapsamında kat seviyelerinde belirlenmiş bazı noktalar üzerinde katlar arası ötelenme, katlar arası ötelenme oranları, maksimum deplasman ve maksimum taban kesme kuvvetleri incelenmiştir.

Binanın deprem kuvvetleri altındaki üç boyutlu davranışı, betonun elastik sınır ötesi davranışı ve performansa yönelik parametrelerin ışığı altında incelenmiştir. Model sürekli katı mekaniği prensipleri dikkate alınarak sonlu elemanlar metodu yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Zaman tanım alanında hesap için betonun ve çeliğin lineer ötesi davranışını hesaba katan mikro modelleme tercih edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Parametrik Çalışma, 3-Boyutlu analiz, AZALEE Sarsma Tablası, SMART-2008, ANSYS, elastik ve elastik sınır ötesi davranış.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojik imkanlar çerçevesinde ülkemizde dahil olmak üzere birçok ülkede betonarme yapılar inşaa edilen yapıların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu yapıların çoğunda yapının depreme karşı göstereceği direnci arttırmak için perde duvarlar kullanılmaktadır. Perde duvarlar performans açısından binanın depreme karşı gösterdiği davranışı olumlu yönde etkilemektedir. Fakat hesaplamalarda eksikler bulunmaktadır. Perde duvarların davranışını tanımlamak için geliştirilmiş çeşitli modeller mevcuttur. Ancak perde duvarların davranışını tam anlamıyla yakalayan bir model bulunmamaktadır. Bu çalışmada SMART 2008 binası farklı değişkenler altında iki seviyede beyaz gürültüden (white noise) türetilmiş deprem hareketlerine maruz bırakılmıştır. Bu değişkenlerin zaman alanında tanımlı dinamik analiz sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR

Perde duvarlı binaların basit yaklaşımla ilk statik ve dinamik hesaplamaları 1960'lı yılllara dayanmaktadır. Yaklaşık analitik yöntemler ilk olarak bilgisayar kullanımının hem ulaşılabilirlik hem de kapasite açısından zor olduğu bu yıllarda gerçekleştirilmiştir.

Gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde, perde duvarların tasarımı doğruya daha yakın bir şekilde yapılabilmektedir. Günümüzde kullanılan en yaygın metodlardan birisi sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman teknolojisine bağlı olarak, mikro ve makro olmak üzere iki farklı grup ortaya çıkmaktadır. Mikro modelleme katı mekaniği esaslarına dayanır ve sürekli ortamın 2 veya 3 boyutlu katı veya kabuk sonlu elemanlarla modellenmesini içerir. Bu modelleme türünde beton ve çeliğin lineer olmayan davranışları hesaba katılabilmekte ve deneysel sonuçlar ile büyük tutarlılık göstermektedir (Kazaz v.d. 2006, Ile v.d. 2008). Mikro modelleme sayesinde yapının lokal davranışı daha iyi gözlemlenebilmektedir.

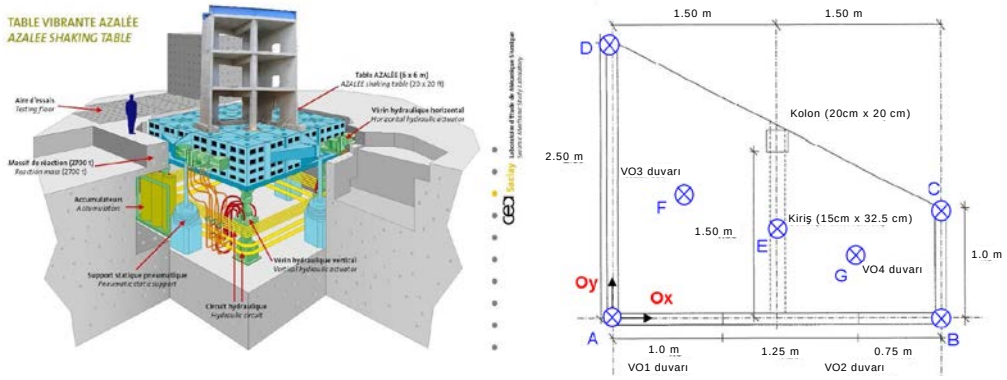
ANSYS (ANSYS v R12) gibi sonlu elemanlar programları mikro modellemeye imkan sağlayan geniş eleman ve malzeme modellerine sahiptirler. Mikro modelleme deneysel çalışmaların doğrulanmasında birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Vallenas ve Bertero, 1979; Lefas vd., 1990; Kwak ve Kim, 2004; Palermo ve Vecchio, 2007). Bütün bu olumlu yanlarına rağmen, mikro modelleme yapısal alt grupların davranışının hesaplanmasında bile zaman ve hesap sonucu üretilen dosyalar açısından oldukça yüksek maliyetler çıkarırken yapının tamamının modellenmesini ve zaman tanım alanında lineer olmayan hesabı pratik olmayan kullanışsız bir duruma sokmaktadır. Öte yandan katı sürekli ortam modelleme tekniğini kullanan mikro-modellerin problemin tüm yönleriyle gerçekçi olarak modellenmesi ile iyi sonuçlar verdiği görülmüştür(Kazaz v.d. 2006). Bu nedenle modelleme ANSYS (ANSYS R v.12) programı yardımı ile sonlu elemanlar metodu temel alınarak yapılmıştır.

2. MODEL BİNANIN ÖZELLİKLERİ VE NÜMERİK MODELLEMESİ

2.1. Binanın Özellikleri

Model binamız, Fransa Atom ve Enerji Kurumu'nun (CEA) yürüttüğü proje kapsamında, Saclay bölgesinde bulunan AZALEE sarsma tablasında dinamik deneyleri gerçekleştirilmiş olan SMART 2008 binasıdır. Bu yapı nükleer enerji binasının bir kısmının ¼ ölçekli halidir ve 0.2 g'lik maksimum yer ivmesine sahip bir tepki spektrumu altında tasarlanmıştır. Yapı 3 katlı olup, perde duvarlardan oluşmaktadır. Perde duvarların ikisinde boşluklar bulunmaktadır. Şekil 1' de model binanın sarsma tablası üstünde ve planına ait detaylar bulunmaktadır. Yapının kat yükseklikleri sırasıyla, 1.25 m, 1.20 m, 1.20 m'dir.

SMART 2008 Projesi 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım deneysel sonuçların nümerik hesaplarla karşılaştırılmasından oluşmaktadır. İkinci kısım ise parametrik çalışma ve kırılganlık eğrilerinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Bu bildiride sadece parametrik çalışmaya değinilecektir.



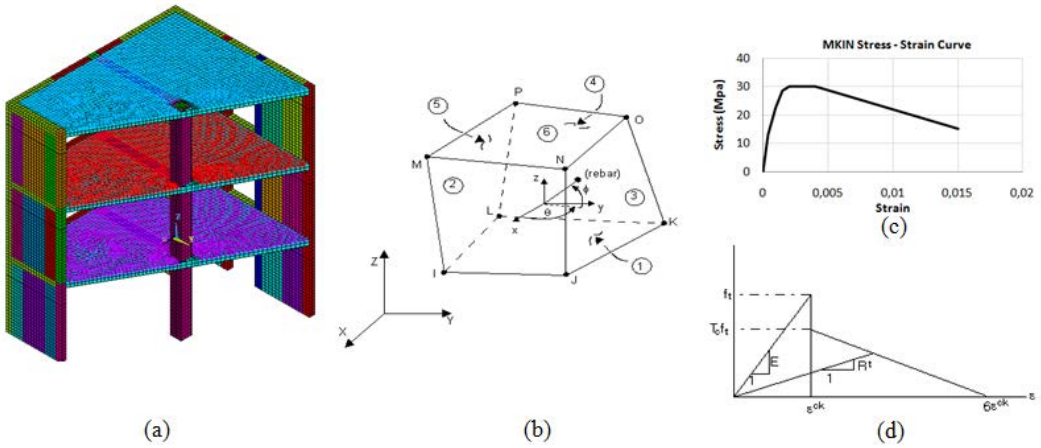
(a) (b)

Şekil 1. AZALEE sarsma tablası ve model bina (a) ve model binanın kat planı (b)

2.1. Binanın Nümerik Modellemesi

SMART 2008 yapısı ANSYS (ANSYS R v.12.0) sonlu elemanlar programı kullanılarak 3 – boyutlu nümerik modeli oluşturulmuştur (Şekil 2-(a)). Model oluşturulurken beton ve çeliğin malzeme özelliklerini tanımlayabileceğimiz SOLID-65 eleman tipi seçilmiştir. Böylece donatı çeliği SOLID-65 elemanı içinde hacimsel oran bazında tanımlanabilmiştir (Şekil 2-(b)). Şekil 2-a'da farklı renklerle gösterilen bölgeler, farklı donatı oranlarına sahiptirler. Model yapı üzerindeki ek yükler MASS21 elemanı ile döşemeler üzerinde yayılı yük olarak tanımlanmıştır.

Yapının toplam kütlesi 42.87 t , kendi kütlesi 9.02 t, ek kütleler ise birinci, ikinci ve üçüncü katlar için sırasıyla; 11.60 t, 12.00 t ve 10.25 t olarak hesaplara dahil edilmiştir. Betonun basınç dayanımı f_{ck}=30 MPa, υ=0.2 ve f_{ct}=2.4 MPa'dır. Betonun basınç ve çekme altındaki davranışları için tanımlanan malzeme modelleri Şekil 2-c ve Şekil 2-d'de gösterilmiştir.

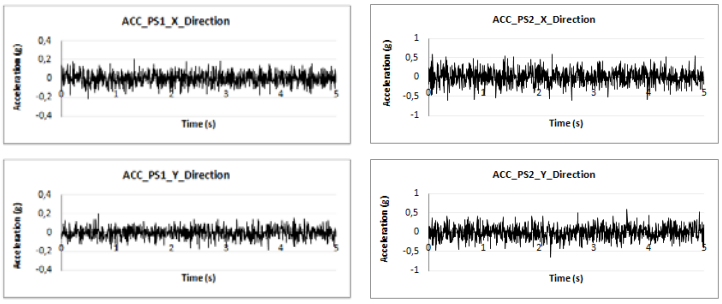


Şekil 2. SMART 2008 için hazırlanan ANSYS modeli (a) ve SOLID-65 elemanı (b), Beton gerilme-birim uzama ilişkisi: Basınç (c), Çekme (d)

3. PARAMETRİK ÇALIŞMA

Bu çalışmada SMART 2008 projesi kapsamında farklı değişkenler altında yapının dinamik davranışlara olan etkisi araştırılmıştır. Tablo 1'de parametrik çalışma durumları ve Şekil 3'te de Tablo 1'deki durumlar için beyaz gürültüden türetilmiş 0.2 g ve 0.6 g seviyesinde iki takım sismik yer hareketi bulunmaktadır. 0.6g seviyesindeki

sismik yer hareketi 0.2 g'lik sismik yer hareketinin 3 ile çarpılmış halidir. Tablo 1'de ilk 5 durum için değişken betonun elastisite modülü, 6-8 arasındaki durumlar için değişken donatı çeliğinin akma dayanımı, 9-10 için değişken sönümlenme katsayısı ve son iki durum içinde değişkenimiz ek yüktür.



(a) (b)

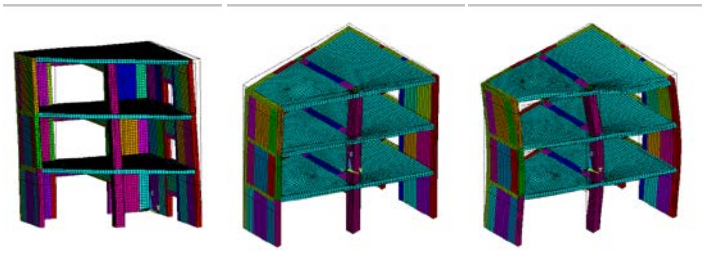
Şekil 3. Parametrik çalışmada kullanılan sismik yer hareketleri: 0.2 g (a), 0.6 g (b)

Tablo 1. Parametrik çalışma durumları

Durum	E_c (MPa)	F_y (MPa)	Sönümlenme Katsayısı (%)	Ek Yük (T)
1-Reference	**32000**	**500**	**2**	**33.85**
2	25600	500	2	33.85
3	28800	500	2	33.85
4	35200	500	2	33.85
5	38400	500	2	33.85
6	32000	425	2	33.85
7	32000	575	2	33.85
8	32000	650	2	33.85
9	32000	500	0.5	33.85
10	32000	500	5	33.85
11	32000	500	2	30.46
12	32000	500	2	37.23

4. SONUÇLAR

Dinamik analize başlamadan önce modal analiz yapılmıştır. Şekil 4'te ilk 3 modun şekil değiştirmeleri görülmektedir. Tablo 2'de ise Tablo 1'deki her durum için hesaplanan modal analiz sonuçları frekans cinsinden bulunmaktadır. En yüksek frekans değeri beton elastisite modülünün 38400 olduğu Durum 5'te ve en düşük frekans değeri ise elastisite modülünün en düşük olduğu Durum 2'de görülmektedir. E_c doğrudan yapının dayanırlılığı ile ilgili olduğu için modal analiz sonuçlarından da en çok etkilenen durumlar değişken parametrenin betonun elastisite modülü olduğu durumlardır. Yapının üstündeki sabit ek yüklerdeki değişimde en az dayanırlılık kadar yapının modal analiz sonuçlarını etkilemektedir.

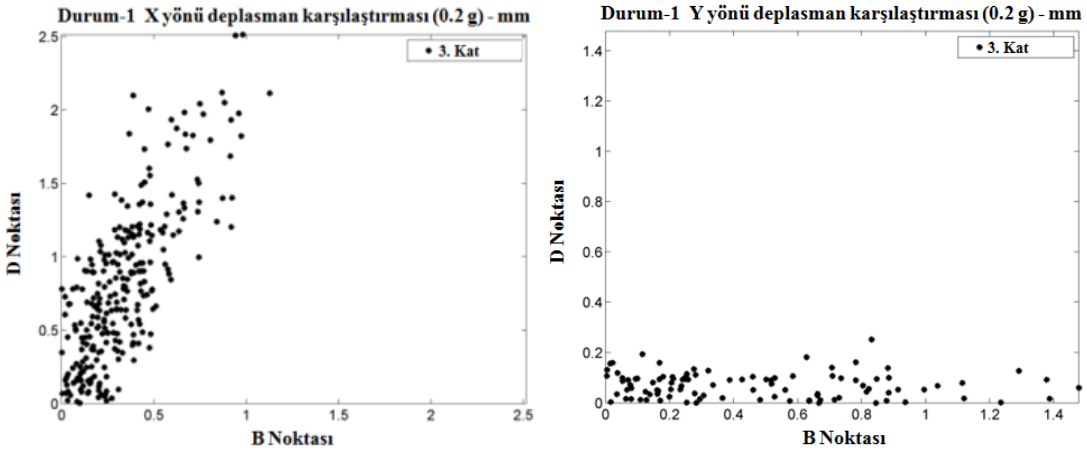


Şekil 4. İlk üç mod için yapının yaptığı şekil değişikliği

Tablo 2. Modal analiz sonuçları

Parametrik Çalışma Durumları için Modal Analiz sonuçları												
Mod (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9.23	8.26	8.76	9.68	10.11	9.23	9.23	9.23	9.23	9.23	9.64	8.87
2	15.93	14.25	15.11	16.70	17.44	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	16.62	15.31
3	32.76	29.31	31.08	34.35	35.87	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	34.20	31.48
4	34.58	30.94	32.81	36.26	37.87	34.58	34.58	34.58	34.58	34.58	36.22	33.14
5	35.94	32.16	34.10	37.69	39.36	35.94	35.94	35.94	35.94	35.94	37.43	34.61
6	37.24	33.32	35.33	39.06	40.79	37.24	37.24	37.24	37.24	37.24	39.01	35.70
7	40.46	36.19	38.38	42.43	44.31	40.46	40.46	40.46	40.46	40.46	42.42	38.74
8	41.46	37.10	39.34	43.48	45.41	41.46	41.46	41.46	41.46	41.46	43.45	39.72

Binamızda planda düzensizlik olduğundan dolayı burulma davranışı gözlenmektedir. Yapının burulma davranışını çapraz iki noktadaki, B ve D gibi (Şekil 1-b), deplasman değerlerini karşılaştırarak da gözlemleyebiliriz (Şekil 5).

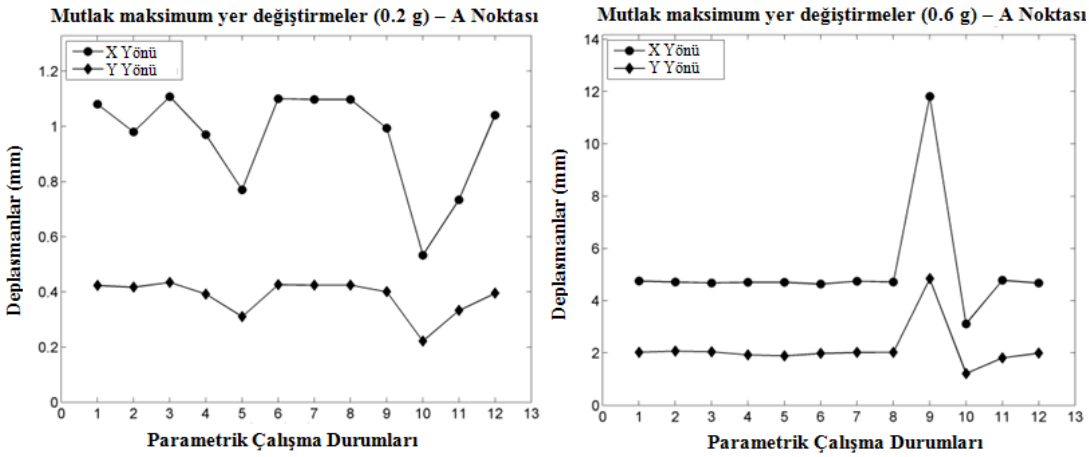


Şekil 5. 0.2 g'lik sismik yer hareketi altında yapının farklı noktalarındaki deplasmanların karşılaştırılması

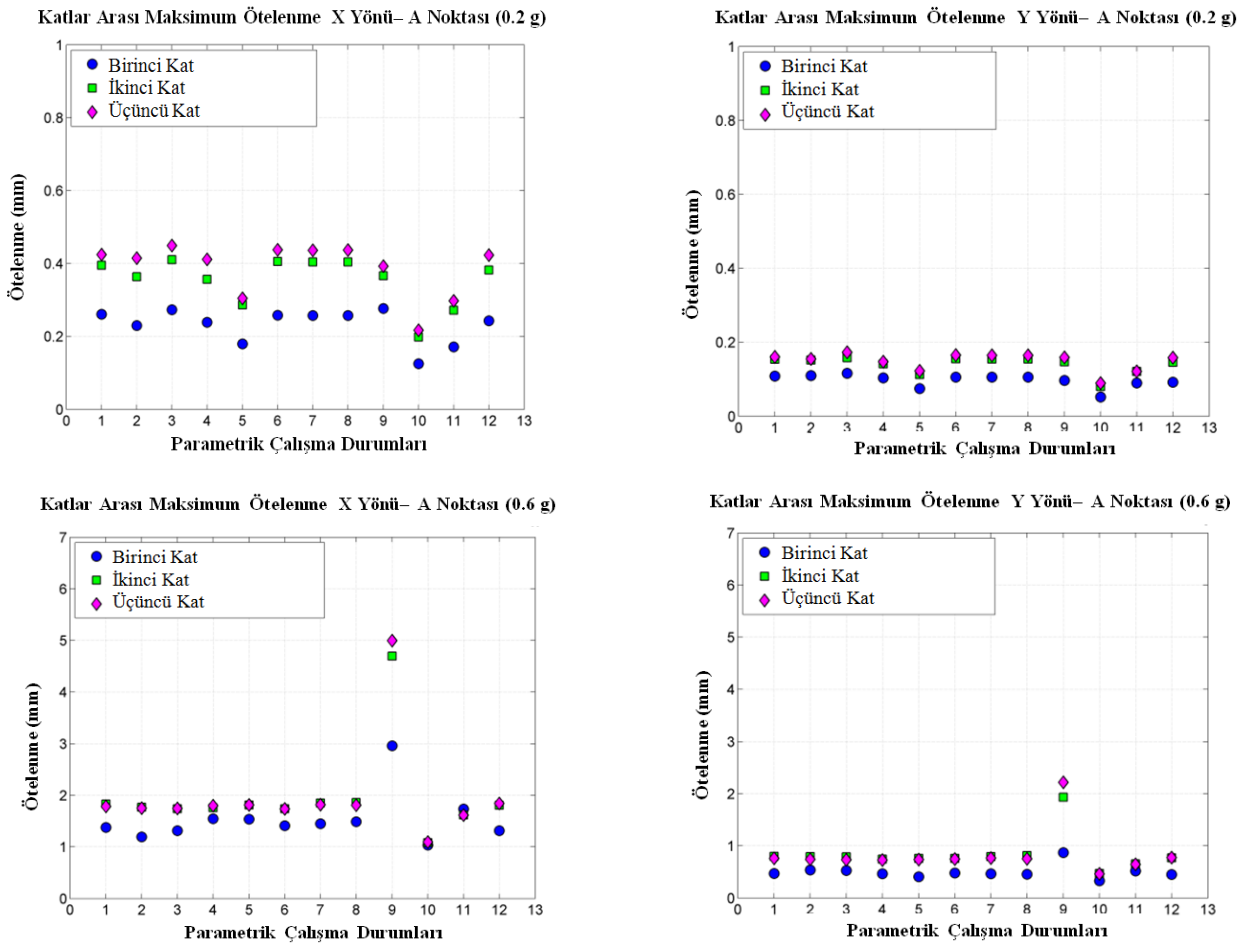
Şekil 6'da yapının 0.2 g ve 0.6 g altındaki beyaz gürültüden türetilmiş sismik yer hareketi altında Tablo 1'deki durumlar için hesaplanmış maksimum deplasman değerleri bulunmaktadır. 0.2 g seviyesinde Durum 5 ve Durum 10 deplasman değerleri açısından diğerlerinden farklılık göstermektedir. Durum 5'te elastisite modülü, Durum 10'da ise sönümlenme katsayısı en yüksek değerlerdedir.

0.6 g seviyessinde ise sadece sönümlenme katsayısının değiştiği durumlarda sonuçlarda belirgin bir fark görülmektedir. Özellikle sönümlenme katsayısının % 0.5 olduğu Durum 9 için bu fark en yüksek seviyededir.

Katlar arası ötelenmeler Şekil 7'de gösterilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü katlar için katlar arası ötelenme değerleri A noktası için incelenmiştir. 0.2 g seviyesinde, yapı oldukça rijit olup, hesaplanan katlar arası ötelenme değerleri küçüktür. 0.2 g seviyesinde parametrelerdeki değişimler X yönünde daha belirgin olup, en büyük değişimler sönümlenme katsayısıın % 5, ek yüklerin toplamının 30.46 olduğu Durum 10 ve Durum 11 ile elastisite modülünün yüksek olduğu Durum 5'te görülmektedir. 0.6 g seviyesinde ise belirgin fark sadece sönümlenme oranının % 0.5 olduğu Durum 9' da gözlenmektedir. Donatı çeliğinin değiştiği durumların katlar arası ötelenme değerleri üzerinde bir etkisi görülmemektedir.

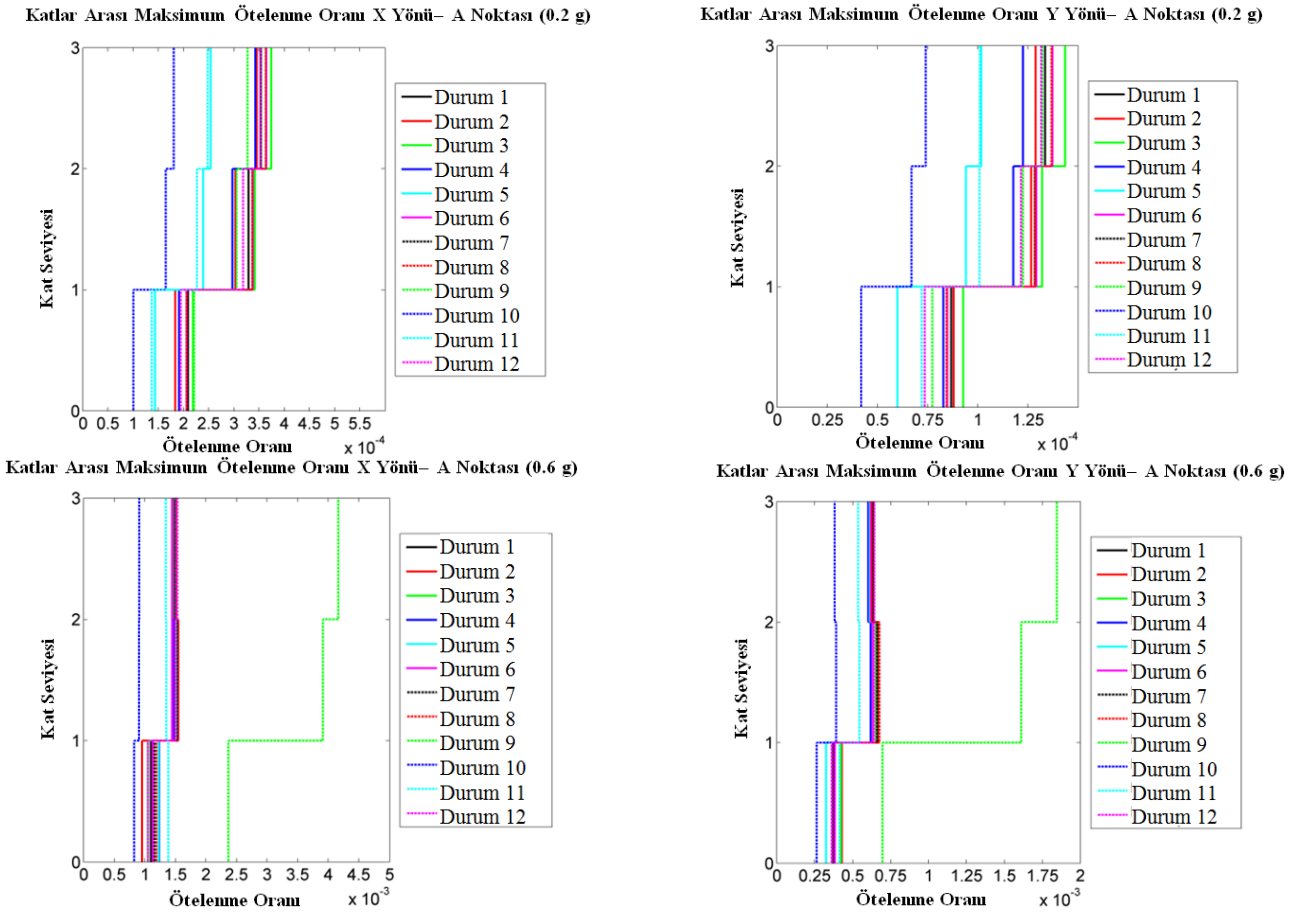


Şekil 6. Parametrik çalışma durumları için yapının maksimum yerdeğiştirme değerleri



Şekil 7. 0.2 g ve 0.6 g sismik yer hareketleri altında katlar arası maksimum ötelenmeler

Katlar arası ötelenme oranları da yapısal davranış açısından incelenen bir diğer parametredir. Şekil 8'de 0.2 g ve 0.6 g sismik yer hareketleri altındaki hesaplanan tepkiler verilmiştir. Şekil 8'den de anlaşılacağı gibi yapı oldukça rijittir. 0.2 g seviyesinde Durum 5, 10 ve 11, çok büyük bir fark olmamakla birlikte, diğerlerinden ayrılmaktadır. 0.6 g seviyesinde ki sismik yer hareketi altında değişkenlerin etkisi Durum 9 ve Durum 10 dışında oldukça azdır. En büyük fark sönümlenme katsayısının % 0.5 olduğu Durum 9 için gözlemlenmektedir. Donatı çeliğindeki değişimlerin etkisi neredeyse yoktur.



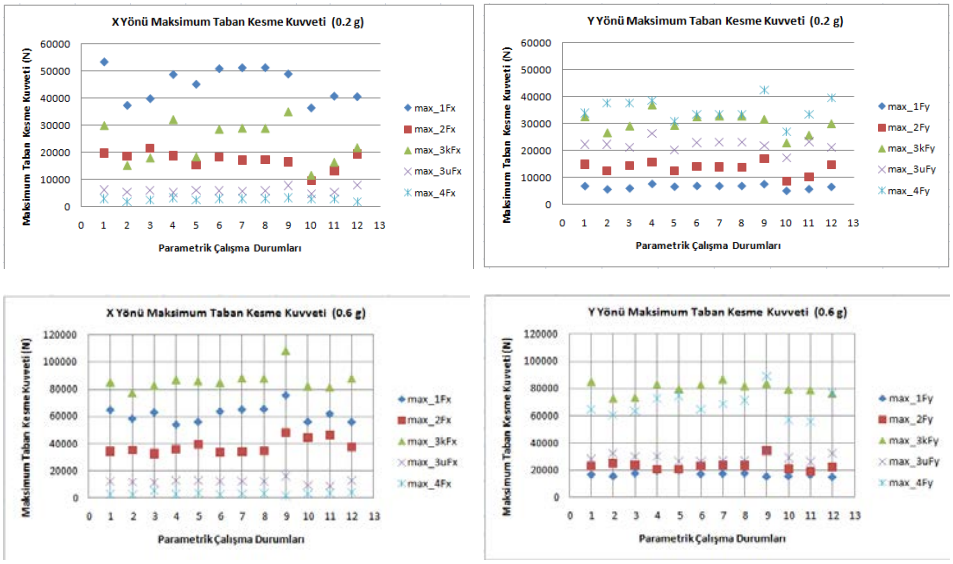
Şekil 8. 0.2 g ve 0.6 g sismik yer hareketleri altında katlar arası maksimum ötelenme oranları

Yapısal davranışın incelenmesi açısından önemli olan bir diğer parametre ise taban kesme kuvvetidir. Özellikle yapıların depreme karşı daha dayanıklı olabilmesi için taban kesme kuvvetlerinin doğru hesaplanması şarttır. Şekil 9'da 0.2 g ve 0.6 g'lik sismik yer hareketleri altında hesaplanan maksimum taban kesme kuvvetleri bulunmaktadır.

0.2 g seviyesinde maksimum taban kesme kuvveti X yönünde Durum 1'de ve V01 duvarında (Şekil 1-b) 53.4 kN olarak hesaplanmıştır. Y yönünde ise maksimum taban kesme kuvveti V04 duvarında Durum 9'da ve 48.6 kN olarak hesaplanmıştır.

0.6 g seviyesinde ise maksimum taban kesme kuvveti sırasıyla X ve Y yönleri için; V03k'da (V03'te açıklık bulunmaktadır. Bu nedenle 2 ayrı duvar olarak taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. V03k, V01 ile birleşen kısım V03u ise uç kısımdır. (bkz. Şekil 1-b)) ve Durum 9'da 108.4 kN olarak; V04 için Durum 9'da 89 kN

olarak hesaplanmıştır. Duvarlarda hesaplanan kesme kuvvetleri için, parametrelerdeki değişmelerin sonuçları etkilediği gözlemlenmiştir. En az değişim donatı çeliği akma daynımına ait olan durumlardadır. Sonuç olarak; sönümlenme katsayısının, betonun elastisite modülünün ve eksenel yük değişiminin sonuçları etkilediği görülmüştür.



Şekil 9. 0.2 g ve 0.6 g sismik yer hareketi altında hesaplanan maksimum taban kesme kuvvetleri

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 109M707 nolu proje kapsamında yapılmıştır.

5. REFERANSLAR

ANSYS® Akademik versiyon, v.12

Ile, N. Xuan-Huy Nguyen; P. Kotronis; J. Mazars; J. M. Reynouard (2008). Shaking Table Tests of Lightly RC Walls: Numerical Simulations. *Journal of Earthquake Engineering* **12**:849–878.

Kazaz, I., Yakut, A., Gülkan, P. (2006). Numerical simulation of dynamic shear wall tests: A benchmark study. *Computers and Structures* **84(8-9)**, 549–562.

Kim, T.W. (2004). Performance assessment of reinforced concrete structural walls for seismic loads. Doktora Tezi. Illinois Üniversitesi, Urbana Champaign, Urbana, Illinois.

Kwak, H.-G., Kim, D.-Y. (2004). FE analysis of RC shear walls subject to monotonic loading. *Magazine of Concrete Research* **56(7)**, 387-403.

Lefas, I.D., Kotsovas, M.D., Ambraseys, N.N., (1990). Behavior of reinforced concrete structural walls: strength, deformation characteristics, and failure mechanism. *ACI Structural Journal* **87(1)**, 23-31

Palermo, D., Vecchio, F.J. (2007). Simulation of cyclically loaded concrete structures based on the finite-element method. *Journal of Structural Engineering* **133(5)**, 728-738.

Vallenas, J.M., Bertero, V.V., Popov, E.P. (1979). Hysteretic behavior of reinforced concrete structural walls. Report No. UCB/EERC-79/20, Berkeley, University of California.