KONUT TİPİ ÇOK KATLI BETONARME YAPILARIN HASAR GÖREBİLİRLİĞİNİN ALETSEL VE SAYISAL DATALARIN BİRLEŞTİRİLMESİNE ve STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE BELİRLENMESİ

M.C. Genes[1], M. Bikçe[2], S. Kaçın[3], E. Doğanay[4], K. Teköz[5], L. Abrahamczyk[6]
[1,2,3] *Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, İskenderun/Hatay, Turkiye*
[4,5] *Yüksek Lisans Öğrencisi, Mustafa Kemal Üniversitesi, İskenderun/Hatay, Turkiye*
[6] *Doktora Öğrencisi, Bauhaus Üniversitat, Earthquake Damages Analysis Center, Weimar, Germany*
Email: mcgenes@gmail.com

ÖZET:

Bu çalışmada, Antakya bölgesindeki genel betonarme yapı stokunu temsil edebilecek şekilde seçilen yeterli sayıda betonarme konut tipindeki yapının aletsel veriler ile elde edilen dinamik davranış parametrelerine bağlı olarak model düzeltmeleri yapıldıktan sonra sismik performanslarının statik itme analizi (pushover analizi) ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Binaların gerçek dinamik davranış parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla, binalara zorlanmış titreşim deneyleri uygulanmıştır. Yapılar zorlanmış titreşim deney sonuçları dikkate alınarak model kalibrasyonu yapılmış ve doğrusal olmayan statik hesaplamalara olanak veren ETABS analiz programı ile analizleri yapılmıştır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar ışığında, yapıların deprem etkisi altındaki davranışları daha gerçekçi bir şekilde belirlenmiş ve Antakya genelindeki konut tipi betonarme yapıların olası bir senaryo depremde nasıl bir hasar dağılımı ortaya çıkaracağına ilişkin yapılcak olan çalışmaya veri hazırlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Pushover Analizi, Kapasite Spektrumu Yöntemi, Performansa Dayalı Tasarım

1.GİRİŞ

Deprem etkilerinin önemli olduğu bölgelerdeki yapıların dinamik davranışlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir (Lus ve Longman 1999, Schwarz ve ark. 2007). Bundan dolayı bir çok ülkede önemli binalar sürekli bina izleme sistemleri ile donatılarak olası bir depremdeki tepkileri ve davranışlarındaki değişimler belirlenmeye çalışılmaktadır (Trifunac ve Todorovska 2001, Abrahamczyk ve ark. 2008). Bir deprem meydana gelmeden önce, binaların doğal titreşim frekanslarının ve mod şekillerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu parametreler matematiksel modeller yardımıyla dinamik analiz sonucu belirlenebilmektedir. Gerçek yapıların farklı dinamik etkiler (kuvvetli deprem, kuvvetli rüzgar, zorlanmış titreşim, patlama, vb.) altındaki tepkilerini belirleyebilmek için bu modellere idealleştirmeler gerekmektedir. Laboratuarlarda belli ölçeklere göre oluşturulan modeller ile gerçekleştirilen deneylerde, üç boyutlu yapılar için yapısal ve yapısal olmayan elemanlar arasındaki etkileşim ve inşa kalitesinin diğer dinamik parametrelere olan etkisinin belirlenmesi tam olarak doğru bir sonuç ortaya koymamaktadır. Mevcut yapıların tam ölçekli dinamik testleri daha uygun sonuçlar vermektedir. Analitik modellerin doğrulanması için gerekli dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesi genellikle zorlanmış titreşim veya serbest titreşim deneyleri ile belirlenmektedir. (Safak ve Celebi 1991; Trifunac ve Todorovska 1999; Genes ve ark. 2008; Gentile ve Saisi 2007; Gentile ve Gallino 2008; Magalhaes ve ark. 2010; Genes ve ark. 2011).
Bu çalışmada, Antakya genelindeki konut tipi betonarme yapıların olası bir depremde oluşacak tahmini hasar dağılımının elde edilmesi amacıyla, hasargörebilirlilik ve yapı sınıflandırması çalışmaları için bir çok bina yapay titreşimlere maruz bırakılarak detaylı incelenmesi yapılmıştır. **Se**ismic **R**isk **A**ssessment and **M**itigation in The **A**ntakya-Maraş **R**egion on the Basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies (SERAMAR) adlı proje, TUBİTAK destekli 106M420 ve 107M445 nolu proje çalışmaları ile binaların kuvvetli yer hareketi ve yapay titreşimler etkisi altındaki gerçek davranışları yani doğal frekansları, mod şekilleri, sönüm kapasiteleri ve yapı-zemin etkileşimlerinin olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, yapıların paket programlarıyla yapılan çözümlerinden elde edilen analitik sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilmiş olan bina dinamik davranış parametreleri ile bilgisayar modellemesi ile elde

edilen parametrelerin uyumlu olabilmesi için kalibrasyonlar yapılarak gerçekçi modeller tasarlanmaya çalışılmıştır. Kalibrasyonlarla elde edilen daha gerçekçi analitik modellere uygulanan statik itme analizleri ile bina performans değerleri bulunmuştur. Elde edilen performans değerlerine bağlı olarak farklı sınıflarda değerlendirilen betonarme tipleri için hasargörebilirlik eğrileri üretilmesi için ve üretilecek oaln bu eğriler dikkate alınarak senaryo depremleri altında şehirdeki hasar dağılım haritaları oluşturulmasına yönelik alt yapı oluşturulmuştur.

2. BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN STATİK İTME ANALİZİ VE KAPASİTE EĞRİLERİ

Statik itme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Statik itme analizinde elde edilen yatay kuvvet-yer değiştirme eğrisiyle, yapının zayıf elemanları ve yerleri, olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizması durumları, tüm yapının ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Betonarme çerçeve sistemlerin boyutlandırılması tamamlandıktan sonra, doğrusal olmayan davranış için kabul edilen yük değerleri altında doğrusal olmayan statik itme analizine başlanmaktadır. Statik itme analizi için, deprem boyunca sismik talep eğrisinin geçtiği maksimum değerin amaçlanan yer değiştirme değerine ulaşıldığı anda olacağı kabul edilmektedir. Statik itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir. Kapasite Spektrumu Yöntemi yer değiştirmeye dayalı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan kapasite spektrumu yöntemi, genel olarak statik itme analizi sonucunda bulunan kapasite eğrisi ile deprem etkisini temsil eden standart talep eğrisi arasında ilişki kurularak yapının performans noktasının bulunmasına dayanmaktadır (Teköz 2009).
Bu çalışmada, statik itme analizi için ETABS programı kullanılmıştır (Habibullah 1986). Kat sayıları 2 ile 10 arasında değişen betonarme çerçeveler için üçgen yükleme dağılımları FEMA (Federal Emergency Management Agency)'da belirtildiği şekliyle kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3. BİNA PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mart 2007'de yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğine göre yapı performans tanımlamaları olarak Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi ve Göçme Durumu performans seviyeleri verilmiştir. Bu kavramlar deprem etkisine maruz kalmış bir kesitte görülecek olan hasar seviyelerine dayanılarak türetilmiştir. Artımsal itme analizi sonuçları ile 2007 Deprem Yönetmeliği'nde verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için tanımları yapılan performans seviyelerine karşılık gelen deplasman kapasiteleri elde edilmiştir.

4. TEST EDİLECEK BİNALARIN BELİRLENMESİ

Tablo 1. Modellenen binaların yapısal özellikleri

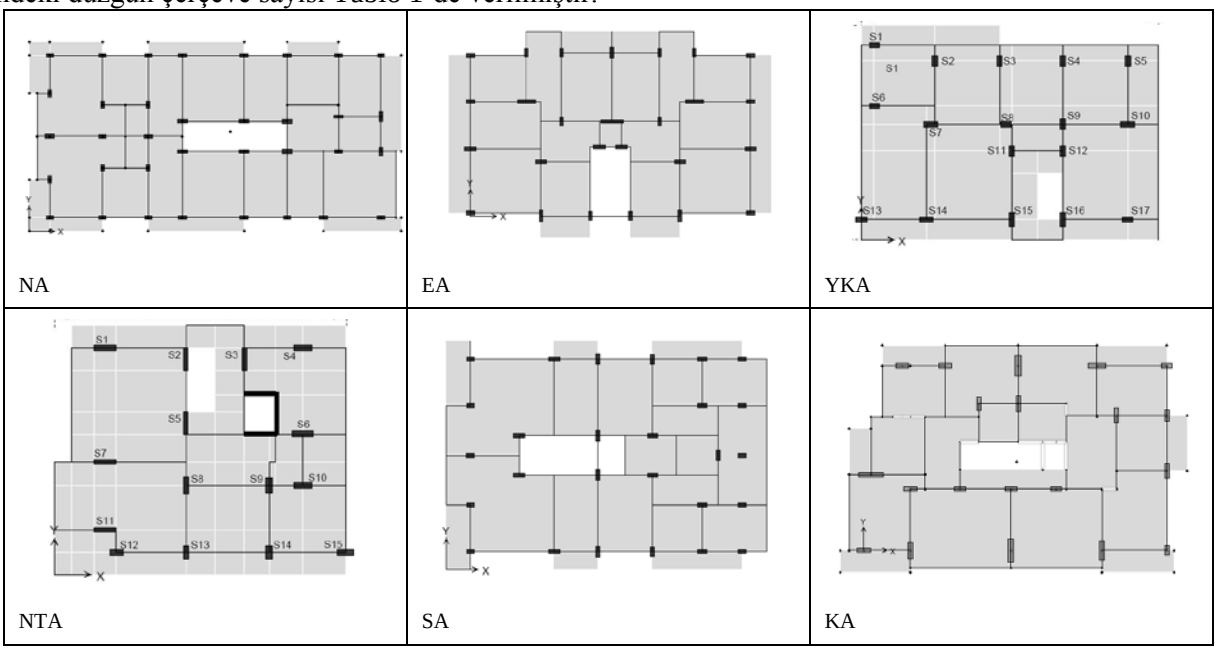
	NA	EA	YKA	NTA	SA	KA	DA	VYL	ÖA	SLA	ÇA	YB
Yapım tarihi	1970	1988	1987	1992	1971	1987	1973	1970	1974	1990	1972	1974
Beton cinsi	C16	C14	C16	C16	C16	C16	C16	C16	C16	C16	C16	C14
Donatı cinsi	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220
Bina yüksekliği (m)	12.0	15.00	17.40	18.40	22.0	20.5	21.9	14.9	26.72	6.0	24.0	29.40
Kat sayısı	Z+3	Z+4	Z+4	Z+5	Z+5	B+Z+6	Z+6	B+Z+3	2B+Z+5	Z+1	B+Z+5	B+Z+8
Kısa doğrultu uzunluğu (m)	11.80	11.4	9.00	9.15	12.0	12.65	16.50	10.50	13.25	11.7	13.5	22.08
Uzun doğrultu uzunluğu (m)	24.2	20.00	13.60	11.20	16.70	20.80	17.00	23.00	17.00	12.0	17.00	26.57
Kat alanı (m^2)	285.6	228.0	122.4	102.5	200.4	263.1	280.5	241.5	225.2	140.4	229.5	408.2
Kat ağırlığı (ton)	125.78	87.25	89.79	95.65	61.2	80.16	70.2	164.56	157.65	105.2	145.5	389.37
Kat Alanı/K&P Alanı [1)]	1.83	2.13	1.89	3.75	2.55	3.34	2.2	1.77	3.16	1.71	2.52	12.1
Düzgün çerçeve sayısı	X:2 Y:3	X:1 Y:2	X:0 Y:3	X:1 Y:1	X:2 Y:1	X:0 Y:1	X:1 Y:4	X:3 Y:2	X:1 Y:4	X:4 Y:4	X:1 Y:2	X:0 Y:0
Simetriklik	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Yok

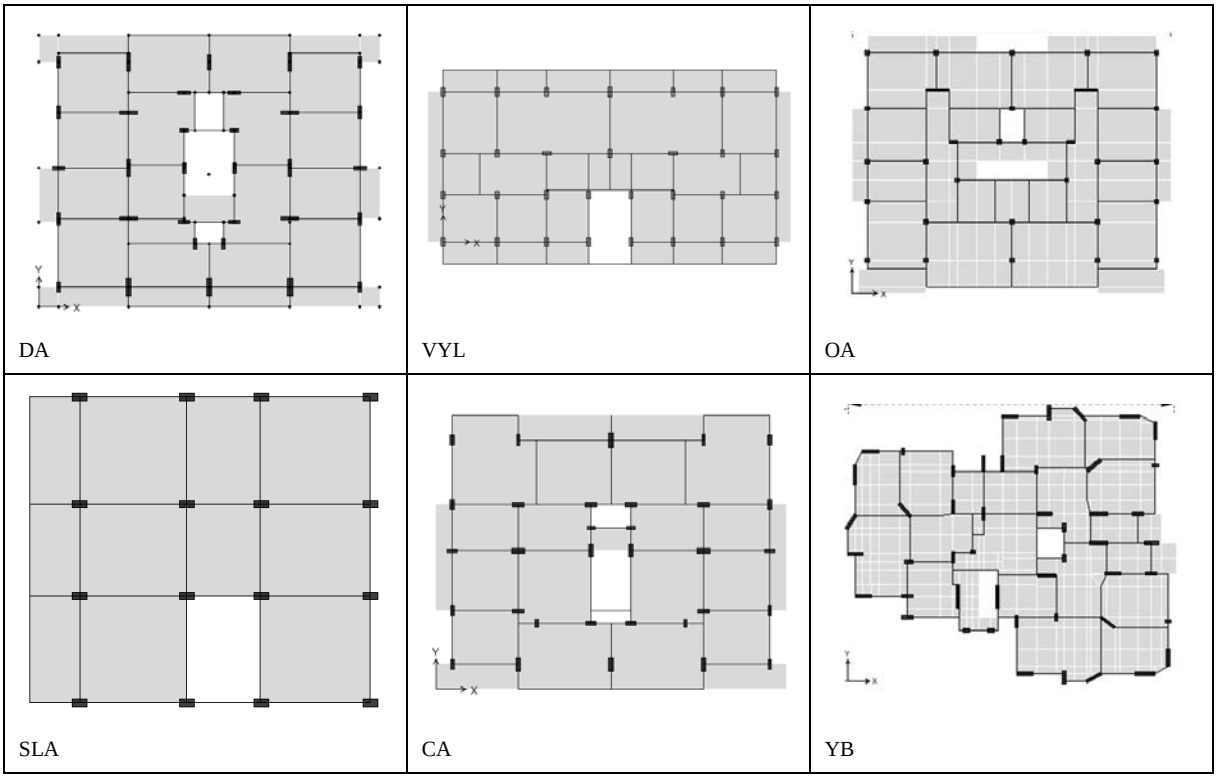
[1)] Düşey taşıyıcı elemanların kesit alanı (Kolon ve Perde)

Bu çalışmada, Antakya kent merkezinde SERAMAR projesi kapsamında sokak taraması çalışmaları ile elde edilen verilere göre toplamda 32000 adet bina olduğu (Kaçın ve ark. 2009) ve bu binalar değerlendirildiğinde bu çalışma kapsamına giren yaklaşık olarak 12000 adet betonarme binanın olduğu tespit edilmiştir. Test edilecek olan betonarme binaların belirlenmesi çalışmaları, envanter çalışmalarından olan kat sayılarına göre sınıflandırmadan yapılmıştır. Yapılan ayrıntılı sınıflandırma sonucu şehirde 53 farklı tipte bina olduğuna karar verilmiştir. Test sayılarına ve bina sınıflarına göre 107M445 nolu proje kapsamında yaklaşık olarak 40 adet binanın test edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Ancak mevcut bütçe ve özellikle izin alınması noktasındaki zorluklar nedeni ile ancak 17 bina test edilebilmiştir. Test edilen bu binaların 12 tanesi için elde edilmiş olan sonuçlar kısmi olarak bu makalede sunulmuştur. Test edilen binalar Antakya merkezdeki farklı bina tiplerini temsil etmektedir. Seçilen binalar, kat sayısı 2 ile 10, ruhsat tarihi 1970-1992 yılları arasında değişen betonarme çerçeveli yapı sistemlerine sahip binalardır. Seçilen 12 binanın yapısal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloda ayrıca düşey taşıyıcı eleman-kat alanı oranları da verilmiştir. Bilindiği üzere, düzgün çerçeve sistemine sahip olmayan, simetrik olmayan ve sünek davranış göstermesi için etriye sıkılaştırması olmayan yapılarda, düşey eleman (kolon ve perde) kesiti, bina alanına oranı %5'ten az olan yapılarda deprem esnasında iyi bir performans beklenmesi pek mümkün olmamaktadır. Yapı stoklarını iyi ifade eden seçilmiş bu binaların sismik davranışlarını ölçmek amacıyla hızölçer cihazları yerleştirilmiş ve özel titreşim testlerine (zorlanmış veya ambient titreşim) tabi tutularak binaların gerçek davranışları araştırılmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar ile modeller kalibre edilerek nonlineer analiz yapan ETABS programıyla performans seviyeleri belirlenmiştir.

4.1. Test Edilen Binaların Analitik Modellerinin Oluşturulması

Bu çalışmanın amaçlarından biri olan testi yapılan binaların analitik modelleri oluşturularak, modeller üzerinde statik itme analizi ile hasarın nasıl gelişeceğini ve yapıların performanslarını belirlemektir. Bina modelleri genellikle Antakya Belediyesi, İmar İşleri Müdürlüğünün arşivinden temin edilmiş olan projeler esas alınarak üç boyutlu olarak, kolon, perde, kiriş elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur (Genes ve ark. 2011). Sisteme etkiyen yüklerin tanımlanmasında TS 498 (1987) yük yönetmeliği kullanılmıştır. Kolon–kiriş birleşimleri rijit olarak modellenmiş ve üç boyutlu modelde döşeme eleman kullanılmıştır. Zemin kat kolonları, temele bağlandığı düğümlerde sonsuz rijit temel kabulüyle ankastre kabul edilmiştir. Deneysel olarak elde edilmiş olan bina dinamik davranış parametreleri ile analitik modellerden elde edilen parametrelerin uyumlu olabilmesi için malzeme, yapısal olmayan elemanların dikkate alınması, duvar etkisi ve çatlamış kesit gibi parametreler dikkate alınarak gerçekçi modeller tasarlanmaya çalışılmıştır. Şekil 1'de modellenen binaların planları verilmiştir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere binaların önemli bir kısmında plan düzensizlikleri görülmektedir. Bunun yanında deprem esnasında deprem yüklerini karşılayacak olan her iki yönünde düzgün çerçeve sistemlerinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Herbir yapının her iki yöndeki düzgün çerçeve sayısı Tablo 1'de verilmiştir.





Şekil 1. Test edilen binaların planları

Tablo 2'de yapısal modellerin oluşturulmasında ana kabuller özetlenmiştir. Bu modellerin oluşturulmasında duvarların Eşdeğer Sanal Basınç Çubukları Yöntemi ile diagonal çubuklar şeklinde modellenmesi gerçekleştirilmiştir (Mainstone 1971).

Tablo 2. Yapısal elemanların modellenmesinde kabuller

Eleman	**Açıklama**
Kiriş	Çoğu durumda kiriş-kolon bağlantıları simetrik değildir. Bu durum farklı şekillerde ele alınabilir. 1. Duvar elemanı kullanılabilir, ancak bu elemanlar hasar gelişimi ile çelişki yaratmaktadır. Ancak, bu elemanlar sadece yapılan modelin dinamik davranışı ile titreşim deneyi ile elde edilen dinamik davranış parametrelerinin karşılaştırılmasında kullanılabilir. 2. Kolon merkezinin kiriş ile bağlandığı noktaya kaydırılması, fakat bu işlem her durumda mümkün olmamaktadır. 3. Kolon ile kiriş birleşim yerinde daha başka kiriş elemanları modellenebilir. Bu kiriş elemanlarının kesit özellikleri gerçek elemanla aynı olmalı.(yüksek rijitliği olan elastic eleman olmamalı). Kiriş elemanlarının tanımlanması kolon eleman gibi olmalı. Çünkü ancak böyle bir tanımlama ile projede verilen kesit donatı miktarı bu kiriş elemanlara tanımlanabilmektedir. Pas payları: Boyuna donatı yarı çapı+etriye çapı+5 mm
Kolon	Beton yüzeyi ile boyuna donatı merkezi arasındaki mesafe Boyuna donatı yarı çapı+etriye çapı+5 mm
Perde Duvarlar	Doğrusal olmayan statik pushover analizi için perde elemanları kolon gibi tasarlanmıştır. Bir çok durum için bu şu anlama gelmektedir, kiriş boyu bir miktar uzatacak ve kütle iki kat olarak dikkate alıncaktır. Fakat bu kütlenin arttırılmasının önemli bir katkısı olmadığı görüldüğünden ihmal edilebilmektedir. Model kalibrasyonu amacıyla perde duvarlar, shell eleman olarak modellenebilmekte, ancak doğrusal olmayan analize geçildiğinde yukarıda bahsedildiği gibi kolon elemanlarla değiştirilmelidir.
Döşemeler	Döşemeler, shell elemanı olarak modellenmiştir. Döşemeler ayrıca sonlu eleman ağlarına bölünerek gerçek davranışı ifade etmesi (yük aktarımının döşeme -> kiriş -> kolon şeklinde olması) sağlanmıştır. Genellikle döşemelerde eleman boyutları 30/30 cm olarak alınmıştır.
Dolgu Duvarlar	Dolgu duvarlar diyagonal basınç çubukları şeklinde modellenmiştir. *FEMA 306*'da verilen formüller kullanılmıştır.

Bütün yapısal elemanların uçlarına doğrusal olmayan mafsal eleman tanımlaması yapılmıştır. Tablo 3'te her bir yapısal elemanın doğrusal olmayan mafsal tanımlamasının nasıl yapıldığı verilmektedir. Herbir plastik mafsalın etkileri ve kullanılabileceği yapı elemanı daha detaylı bir şekilde Tablo 3'te verilmektedir.

Kalibrasyonlarla elde edilen daha gerçekçi analitik modellere uygulanan statik itme analizleri ile bina performans değerleri bulunmuştur.

Tablo 3. Farklı yapısal elemanların doğrusal olmayan mafsal tanımlaması

Eleman	Model I	Model II
Kiriş	M2 – varsayılan M3 – varsayılan *1)	M2 – varsayılan M3 – varsayılan *1)
Kolon	PMM - varsayılan	M2 & M3 – kendi hesaplamalarımıza göre *2)
Çarpraz	P – *Fajfar ve ark. (2001)*'ına göre	P – *Fajfar ve ark. (2001)*'ına göre

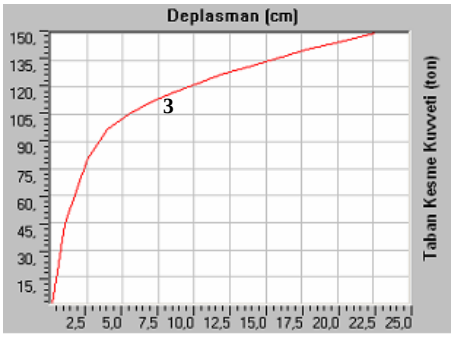
*1) Dönme akmasının belirlenmesine dikkat edilmelidir.
*2) PMM varsayılan ayarları eksenel kuvvetin dönme/eğrilik üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Bundan dolayı sabit eksenel yük ve bütün kolonlar için moment-eğrilik ilişkisinin hesabı gerekmektedir. Pushover analizi esnasında eksenel kuvvetlerdeki değişimin ihmal edilmesi gerekmektedir.

5. BİNA PERFORMANS SONUÇLARI

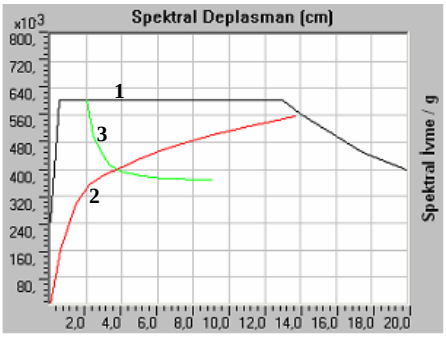
Çalışmada ele alınan Antakya bölgesi yapı stoğunu temsil edecek şekilde seçilen 12 bina modellenerek statik itme analizine tabi tutulmuş, kapasite eğrileri elde edilmiş ve performans seviyeleri belirlenmiştir. Ancak burada örnek olarak 1985'te inşa edilmiş her iki yönde de simetrik olmayan zemin+5 katlı NTA binasına ait kapasite eğrileri ve kapasite ve talep spektrumu eğrileri Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Şekil 2'de yapının en fazla 149.2 ton taban kesme kuvvetine ve 22.68 cm çatı yer değiştirmesine dayanabildiği, bu noktadan sonra göçmeye uğradığı 3 numaralı eğride görülmektedir. Performans noktasının da bu değerlerin altında olacağı açıktır. Şekil 3'te 1 ile gösterilen eğri ile ifade edilen tasarım depremi, yönetmelikte verilen talep spektrumu olarak alınırken, maksimum olası depremde tasarım depreminin %50 fazlası olarak alınmıştır. Bu grafikte talep eğrisinden başlayan ve kapasite spektrum eğrisini kesen ve 2 ile gösterilen bir eğri ile temsil edilmiştir. Bu eğrinin kapasite spektrumu eğrisini kestiği nokta yapının performans noktasını vermektedir.

Binada oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4'te model üstünde, Şekil 5'te ise kesit görünüşü olarak verilmiştir. Şekil altındaki renk çubuğu ile plastik mafsalların hasar seviyeleri temsil edildikleri renge karşılık gelen hasar aralığı ile gösterilmiştir. Bu aralıklar, A-B: Doğrusal elastik davranış bölgesi (gösterilmez), B-IO: Elastik ötesi-hemen kullanım seviyesi aralığı (minimum hasar, pembe), IO-LS: Hemen kullanım-can güvenliği seviyesi aralığı (belirgin hasar, mavi), LS-CP: Can güvenliği-göçmenin önlenmesi seviyesi aralığı (ileri hasar, turkuaz), CP-C: Göçmenin önlenmesi-göçme sınırı aralığı (göçme öncesi hasar, yeşil), C-D: Gerilmenin boşalıp kırılmaların başladığı aralık (sarı), D-E: Göçme bölgesi (turuncu), E: Tamamen göçme noktası (kırmızı) şeklinde ifade edilmektedir. Bu hasar aralıklarının FEMA-356 yönetmeliği ile uyumlu olduğu görülmektedir. Performans noktasının bulunduğu noktada 109.78 ton taban kesme kuvvetine karşı - 6.49 cm çatı yer değiştirme gerçekleştirdiği anda yapı genelinde 125 adet B-IO (minimum hasar) ve 39 adet IO-LS (belirgin hasar) özelliği gösteren plastik mafsal oluşmaktadır. Mafsal hasar seviyelerine bakıldığında kirişler, kolonlara oranla daha çok zarar görmüşlerdir.

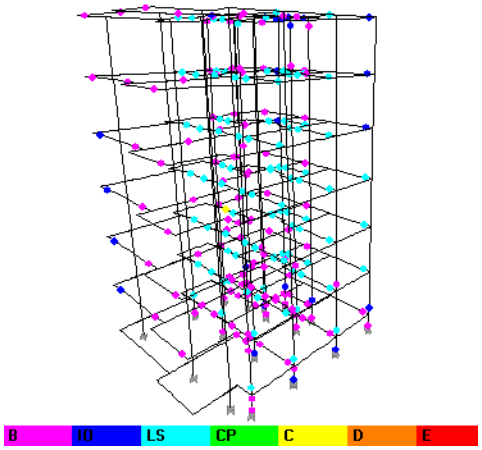
NTA binasında en kritik plastik mafsalların 1. kattaki kiriş ve kolon uçlarında oluştuğu görülmektedir (Şekil 5). Yapının hasar görebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 36 adet kiriş ve 18 adet kolon bulunmaktadır. NTA binası performans noktası için 1. katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsal değerleri Tablo 4'te, kesme kuvvetleri ile ilgili değerleri Tablo 5'te verildiği gibidir.



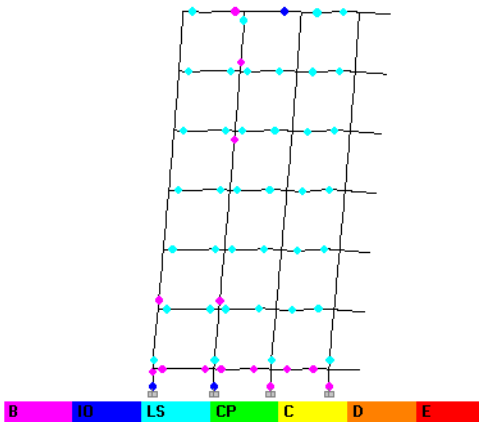
Şekil 2. NTA binası için kapasite eğrisi



Şekil 3. NTA binası için kapasite ve talep spektrumu eğrileri



Şekil 4. NTA binası 09EYPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş)



Şekil 5. NTA binası 09EYPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (kesit görünüşü)

Tablo 4 ve Tablo 5'teki değerlerin Mart 2007'de yürürlüğe giren deprem yönetmeliğine göre yapı performans tanımlamalarına göre NTA binasının ***can güvenliği*** performans seviyesine sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 1'de verilen plana ve Tablo 1'de verilen bilgiler ile bina performans seviyesi arasında bir değerlendirme yapıldığında, bina simetrik olmamasına ve her iki yönde sadece birer adet düzgün çerçeve olmasına rağmen, düşey yöndeki taşıyıcı elemanların kesit alanlarının bina alanına oranı % 3.75 mertebesinde olması ve ayrıca binada yatay yükleri büyük oranda alan U şeklindeki betonarme çekirdeğin bulunması, binanın performans seviyesinin can güvenliğinde çıkmasına neden olmuştur.

Tablo 4. NTA binası 1. kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	19	12	5 (%13.8)	0 (%0.0)	36
Kolon	13	5	0	0	18

Tablo 5. NTA binası 1. kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton): A	108.51
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): B	0.0
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): C	0.0
% B / A (< %20 olmalı)	% 0.0
% C / A (< %30 olmalı)	% 0.0

6. BİNA PERFORMANS SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 6. Binaların Performans Seviyeleri

Bina İsimleri	A*	B*	C*	B/A (%)*	C/A (%)*	Performans Seviyesi
NA	167.35	0	68.64	% 0.0	41.02	göçme durumu
EA	375.5	319.5	131.36	85	35	göçme durumu
YKA	715.19	715.19	715.19	100.0	100.0	göçme durumu
NTA	108.51	0.0	0.0	0.0	0.0	can güvenliği
SA	133.73	0	26.74	20.01	0.0	göçme öncesi
KA	333.06	0.0	195.78	0.0	58.78	göçme durumu
DA	170.69	170.69	170.69	100	100	göçme durumu
VYL	395.33	235.82	158.14	59.65	40.0	göçme durumu
ÖA	498.74	180.406	388.77	36.2	77.9	göçme durumu
SLA	151.265	26.89	34.79	17.77	22.99	can güvenliği
YB	777.08	334.8	0.0	43.4	0.0	göçme durumu

A* : Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton)
B* : İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton)
C* : İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti
B/A (%)* : < %20 olmalı
C/A (%)* : < %30 olmalı

Statik itme analizi sonuçları ile 2007 Deprem Yönetmeliği'nde verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için performans seviyeleri tanımlanmıştır (Tablo 6). Tabloda ayrıca performans noktasında binanın kritik katına gelen kesme kuvveti, bu kattaki kolonların hasar durumlarına göre kesme kuvvetinin ne kadarını karşıladıkları ve yüzde oranları verilmiştir.

Tablo 6, Tablo 1 ve Şekil 1'de verilen bilgiler ışığında incelendiğinde, test edilerek analizleri yapılan binaların performans seviyelerinin göçme durumu şeklinde olması, genel olarak binalarda düzgün çerçeve sisteminin olmamasına, saplama kirişlerin çok sayıda olmasına, yatay yükleri karşılayacak olan deprem perdesi veya betonarme çekirdek olmamasına ve malzeme kalitesine bağlı olduğu söylenebilmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile Antakya kent merkezinin deprem açısından detaylı olarak incelenmesi amacıyla, aletsel ve sayısal dataların birleştirilmesi karma yaklaşımına dayanan betonarme çerçeveli yapıların hasar ve sismik karakteristiklerinin incelenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiş, bina performans seviyeleri belirlenerek hasar eğrileri oluşturulmuş ve senaryo depremlerine göre hasar dağılım haritalarının hazırlanması için veri tabanı oluşturulmuştur. Bu bağlamda, betonarme binaların detaylı sınıflandırması yapılmış ve bu sınıflandırmaya göre her sınıfı temsil edebilecek en az bir binada zorlanmış titreşim deneyleri yapılmıştır. Titreşim deneyleri 12 binada gerçekleştirilebilmiş ve bu binaların dinamik davranış parametreleri tespit edilerek, analitik modellerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Genellikle deneysel hakim titreşim periyotları, projeye göre hazırlanmış olan modellere ait periyotlardan küçük çıkmıştır. Model düzeltmeleri için, kiriş-geniş kolon bağlantılarının modellenmesi, dolu duvarların çarpraz basınç çubuğu şeklinde modellenmesi, malzeme özelliklerinin değiştirilmesi şeklinde uygulamalar ile hakim titreşim periyotları birbirine yakınlaştırılmaya çalışılmıştır.
Bu proje çalışmasında test edilen binaların hemen hemen tamamı 1997 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş yapılar olarak seçilmiştir. Bu yapıların genel karakteristiği olarak, deprem perdesi özelliği taşıyan düşey taşıyıcı elemanlarının hiç olmaması veya bazılarında sınırlı sayıda olmasıdır. Ayrıca, binalarda düzgün çerçeve davranışı gösterecek çerçeve sistemlerinin yeterli olmaması ve taşıyıcı düşey elemanların kesit alanlarının bina oturum alanına oranının oldukça düşük olması nedeniyle test edilen binaların çoğunda performans seviyeleri **göçme durumunda** bir kaç binada **can güvenliği** veya **göçme öncesi** çıkmıştır. Bu şekilde elde edilen performans seviyeleri dikkate alınarak hasar eğrileri oluşturulan yapı stoğuna, senaryo depremi uygulanması durumda ciddi mal ve can kayıplarının olacağı açıktır. Senaryo depremi çalışmaları tamamlandığında hasar dağılımlarına bağlı olarak Deprem Master Planı çalışmaları yapılması Antakya kenti için kaçınılmaz bir çalışma olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapıldığı 107M445 nolu Tubitak-BMBF ortaklığı IntenC projesi kapsamında verilmiş olan destekten dolayı TÜBİTAK ve BMBF'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Abrahamczyk, L., Schwarz, J., Lang, D.H., Leipold, M., Golbs, Ch., Genes, M.C., Bikçe, M., Kaçın, S., and Gülkan, P., (2008). Building monitoring for seismic risk assessment (I): Instrumentation of RC frame structures as a part of the SERAMAR project. *14th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE),* Beijing, China.

Fajfar, P., Dolsek, M., Zarnic, R. and Gostic, S., (2001). *Development of Numerical Methodologies for Infilled Frames.*, Towards European Integration in Seismic Design Upgrading of Building Structures, Euroquake-project, Final Report.

Federal Emergency Management Agency FEMA 306, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry wall Buildings, *Basic Procedures Manual*, Washington -D.C-USA, (1998).

Federal Emergency Management Agency FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Washington D.C- USA, (2005).

Genes, M.C., Bikçe, M., Kaçin, S., Akyuz, U., Gülkan, P., Abrahamczyk, L., and Schwarz, J., (2008). Building monitoring for seismic risk assessment (II): Instrumental testing of RC frame structures and analytical reinterpretation of response characteristics. *14th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)*, Beijing, China.

Genes, M.C., Gülkan, P., Bikçe, M., Kaçin, S., (2011). *Damage and seismic response prognosis for RC frame structures on the basis of hybrid approach combining instrumental and numerical data.* Tubitak-IntenC Project Final Report, Project No: 107M445. Hayat/Turkey.

Gentile, C. and Saisi, A. (2007). Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment. *Construction and Building Materials*, **21**: 1311–1321.

Gentile, C. and Gallino, N. (2008). Ambient vibration testing and structural evaluation of an historic suspension footbridge, *Advances in Engineering Software*, **39**: 356-366.

Habibullah, A. (1986). ETABS-Extended three dimensional analysis of building systems. *Computers and Structures Inc.* Berkeley, CA.

Kaçın, S., Gülkan P., Yerli H.R., Genes M.C., Bikçe, M. (2009). *Antakya'nın Deprem Risk Değerlendirmesi ve Depreme Hazırlık için Mikro Bölgelendirme, Hasar Görebilirlik ve Deprem Senaryosu Çalışmaları*, Tubitak Proje Sonuç Raporu, Proje No:106M420. Hatay/Tükiye.

Lus, H., Betti, R. and Longman, R.W. (1999). Identification of linear structural systems using earthquake-induced vibration data. *Earthquake Eng.Struct. Dyn.* **28**: 1449–1467.

Magalhaes, F., Cunha, A., Caetano, E. and Brincker, R. (2010). Damping estimation using free decays and ambient vibration tests. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **24**:1274–1290.

Mainstone, R.J. (1971). On the stiffness and strength of infilled frames. *Proceedings of The Institute of Civil Engineers*, **4**: 57–90, London, England.

Schwarz, J., Abrahamczyk, L., Langhammer, T. (2009). *Interpretation of Seismic Response Characteristic of RC Frame Structures on the Basis of Instrumental Data.*, Internal Report. Bauhaus-Universitat Weimar, EDAC, Weimar-Germany.

Safak, E. and Celebi, M. (1991). Analyses of recorded responses of two high-rise buildings during the Loma Prieta earthquake of October 17, 1989, *Bulletin of Seismological Society of America*, Special Issue on the 1989 Loma Prieta, California, earthquake and its effects, October 1991, pp.2087-2110.

Schwarz, J., Lang, D.H., Abrahamczyk, L., Bikce, M., Genes, M.C. and Kaçın, S. (2007). Seismische Instrumentierung mehrgeschossiger Stahlbetonbauwerke - ein Beitrag zum SERAMAR projekt. *D-A-CH Tagung 27-28 September*, Wien, Austria.

Teköz, K. (2009). Konut Tipi Çok Katlı Betonarme Yapıların Hasar Görebilirliğinin Pushover Analizine Göre Belirlenmesi.*Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Müh. Bölümü, Mustafa Kemal Ünivesitesi, Hatay.

Trifunac, M.D. and Todorovska, M.I. (2001). Apparent periods of building. I: Fourier *Analysis. J. Struct. Eng. ASCE*, **127:5**, 517-526.

Trifunac, M.D. and Todorovska, M.I., (1999). Recording and interpreting earthquake response of full-scale structures. Proc. *NATO Workshop on Strong Motion Instrumentation for Civil Engineering Structures*, 2-5 June, Istanbul, Turkey. Kluwer.

TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. Kurumu