UZUN PERIYOTLU BIR YAPIDA YAPISAL SAĞLIK İZLEMESI VE DEPREM PERFORMANSININ BELIRLENMESI

Bilge Doran[1], Bülent Akbaş[2], İrfan Sayım[3],Yasin Fahjan[2] ve Sema N. Alacalı[4]

[1]Doçent, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı
[2]Doçent, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı
[3]Yardımcı Doçent, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
[4]Yardımcı Doçent, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı
Email:doran@yildiz.edu.tr

ÖZET:

Mevcut betonarme yapıların performans değerlendirilmesinde doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak Artımsal Mod Birleştirme yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu hesap tekniğinde, her bir plastik kesitin oluşumunda tüm modların katkıları göz önüne alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, itme analizi dışında ek analizlere gerek kalmaksızın, doğrudan elde edilebilmektedir. Bu bağlamda, yapı için geliştirilen numerik modelin doğruluğunun kontrolü önemlidir. Uzun periyotlu yapılarda, yapısal izleme yardımıyla yer değiştirmelerin statik veya dinamik olarak ölçülmesi ile numerik modelin doğruluğu kontrol edilebilir. Bu çalışmada Maslak, İstanbul'da bulunan uzun periyotlu toplam 31 katlı bir yüksek binada gerçek zamanlı kinematik (RTK) diferansiyel GPS (DGPS) teknolojisi kullanılarak rüzgâr etkilerinden dolayı oluşan relatif yer değiştirme ve yapı peryotları izlenmiş, yapıya ait numerik model yardımıyla elde edilen sonuçlar, ölçülen değerlerle karşılaştırılarak numerik modelin doğruluğu sınanmıştır. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esasları doğrultusunda yapının performansı değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : DGPS, yapısal izleme, relatif yer değiştirme, yüksek binalar.

1. GİRİŞ

Doğal bir afet olan deprem, yer kabuğunun ani hareketiyle ortaya çıkar. Yapıyı tabanından etkileyen ve yapıda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olan deprem oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Birçok parametrenin etkin olduğu deprem hareketi nedeniyle yapılarda oluşacak hasar mekanizmasının, hasar oranları ve dağılımının belirlenmesi zordur. Bu nedenle, deprem kuşağı içerisinde yer alan ülkemizde yürürlükte olan, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar'da (TDY-2007)'nde birçok ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi binaların deprem etkisindeki davranışlarının belirlenmesi ve oluşması muhtemel hasarların tahmini ile yapı güvenliğinin irdelenmesinde şekil değiştirme esaslı yaklaşım (performans yaklaşımı) öngörülmektedir. Bu yaklaşımda, belirli düzeylerdeki yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar ve lokasyonları sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir (Celep, 2007). Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal-elastik olmayan deformasyonlara karşı geldiğinden performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve şekil değiştirme esaslı tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir (Aydınoğlu, 2007). TDY-2007'de genel anlamda binanın küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir. Mevcut betonarme

binalar için 50 yılda aşılma olasılığı %50, %10 ve %2 olan üç deprem altında Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olarak dört performans düzeyi belirlenmiştir. Öngörülen tasarım depreminden daha büyük bir deprem etkisinin meydana gelmesi düşük bir olasılık da olsa mümkündür. TDY-2007'de, tasarım aşamasında kapasite kavramı öne çıkarılarak taşıyıcı sistemin tasarım depremi ve daha büyük depremlerde sünek güç tükenmesinin oluşması hedeflenir. Mevcut yapıların değerlendirmesi aşamasında ise taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özelliklerinin belirlenerek deprem etkisinde zorlanması muhtemel eleman/kesit kapasitelerinin, deprem etkisinin ortaya çıkardığı kesit etkileri, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmelerle karşılaştırılarak ve beklenen hasar durumuna göre değerlendirmesi amaçlanır. Binaların deprem performanslarının değerlendirmesinde TDY-2007'de doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri önerilmektedir. Uzun periyotlu yapılarda doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılmamaktadır. Doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri içinse TDY- 2007'de üç farklı hesap yöntemi önerilmektedir; Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemidir. Yüksek modların etkin olduğu uzun periyotlu yapılarda artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi pek uygun sonuçlar vermemektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ise oldukça zaman alıcıdır. TDY 2007'de belirtilen Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi uzun periyotlu yapılarda yüksek modların katkısını dikkate aldığı için oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Yöntemin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeterli sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin uygulanmasıdır. Bu hesap tekniğinde, her bir plastik kesitin oluşumunda tüm modların katkıları göz önüne alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, itme analizi dışında ek analizlere gerek kalmaksızın, doğrudan elde edilebilmektedir. Performansa Dayalı (Şekil değiştirme esaslı) Tasarım yaklaşımının, geliştirilmesi ileilgili literatürde bir çok çalışma mevcuttur (Çelik, 2007; Akkan, 2006; Öztürk, 2006; Can, 2005; Kapusuz, 2004). Çelik (2007) tarafından, depreme maruz kalmış (Kocaeli-1999) ancak hasar görmemiş olan 6 katlı bir binanın mevcut haliyle "Can Güvenliği" performans seviyesi sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Binanın 3 boyutlu numerik modeli SAP 2000 yapısal analiz programı yardımıyla yapılmıştır. Akkan (2006) çalışmasında, Bayındırlık Bakanlığı'nın yaygın olarak kullandığı 1.deprem bölgesinde bulunan tip projeli bir ilköğretim okulunun, doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile performans değerlendirmesini yapmış ve uygulanan iki güçlendirme şeklinin yapı performansına etkisini incelemiştir. Statik analizler SAP 2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının yük-şekil değiştirme ilişkilerini tanımlamak üzere kirişler için moment-eğrilik diyagramları XTRACT-ver.3.05, kolon ve perdeler için ise akma yüzeyleri PCACOL programlarıyla elde edilmiştir. Öztürk (2006), telefon santral binası olarak kullanılan altı katlı betonarme bir yapının performans değerlendirmesini değişik yönetmeliklere göre, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı olarak yapmıştır. Can (2005) tarafından yapılan çalışmada mevcut yapı, 1975 Deprem Yönetmeliği şartları göz önüne alınarak incelenmiş ve modellemede EPARC ve SAP 2000 programları kullanmıştır. Yine bu çalışmada programlar arası veri akışına yer verilmiştir. Kapusuz (2004) tarafından yapılan çalışmada ise yapı sistemi SAP 2000 yapısal analiz programı yardımıyla iki ve üç boyutlu olarak modellenmiş ve performans değerlendirmesi ayrı ayrı yapılarak güçlendirme teknikleri üzerinde durulmuştur. Şekil değiştirme esaslı değerlendirmede, kapasite diyagramının elde edilmesinde kullanılacak olan çatı yer değiştirmelerinin hesabı ön plandadır. Anılan yer değiştirmelerin, çeşitli kabuller altında yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak oluşturulan numerik model yardımıyla doğru şekilde hesaplanması oldukça önemlidir. Bunu kontrol edebilmek için yapının rüzgâr ve deprem etkilerine karşı relatif yer değiştirmelerinin, yapısal izleme yoluyla belirlenmesi mümkündür. Bu bağlamda, uzun periyotlu yapıların deprem sonrasındaki hasar durumlarını kısa sürede belirleyebilmek için ise yapısal sağlık izlemesi yöntemleri kullanılabilir (Sayım ve diğ., 2010). Yapısal sağlık izlemesi, ivmeölçerler kullanılarak yapılabileceği gibi son 10 yılda giderek artan bir hızla kullanılan GPS teknolojisi kullanılarak da gerçekleştirilebilir. İvmeölçerlerle karşılaştırıldığında, GPS ile yapısal sağlık izlemesinin en büyük eksikliği mevcut teknolojinin sadece çatı rölatif yer değiştirmelerini ölçmeye imkan vermesidir. Bu çalışmada, uzun periyotlu 31 katlı betonarme bir yüksek binanın deprem performansı, yukarıda açıklanan Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca, bina üzerinde detaylı bir etütler

yapıldıktan sonra GPS alıcısı (hem baz hem de hareketli antenlerin multipath vb. olumsuzluklardan en az etkilenecek şekilde) yerleştirilmiş ve 3 adet gerçek zamanlı kinematik diferansiyel DGPS yöntemi kulanılarak bina frekansı (periyodu) gerekli arazi ölçümleri ile elde edilmiştir. Bölüm 2 ve 3'de detaylı anlatılacağı üzere oluşturulan numerik model sonuçları ile bu veriler karşılaştırılmıştır.

2. MEVCUT BİNA

Projenin gerçekleştirildiği bina özel bir şirkete ait Genel Müdürlük binası olarak hizmet vermekte olan, 1994 yılında projelendirilmiş, 7 bodrum kat + 1 zemin kat + 23 normal kat olmak üzere toplam 31 katlı betonarme bir yapıdır ve Maslak, İstanbul'da bulunmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. Yapısal İzleme Yapılan Bina

Binaya ait yapısal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Yapının taşıyıcı sistemi perde-çerçeve sistem, döşeme sistemi 1.bodrum katın bir bölümü kaset döşeme olup, diğer katlar plak döşeme ve temel sistemi kademeli radye temeldir.

Tablo 1 Yapısal özellikler

Yapı özellikleri	
Kullanım Amacı	İş Merkezi
Malzeme	C35/BÇI-III
Taşıyıcı Sistem	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem
Kat yükseklikleri (cm)	
1. Bodrum kat	600
Zemin kat	650
1.-12. kat	370
13. kat	430
14.-22. kat	370
Tesisat ve Asansör Mak.Dairesi	320-430
Dinamik ve Geoteknik parametreler	
Deprem Bölgesi	1.derece (Ao = 0.40)
Zemin sınıfı	Z2
Zemin Emniyet Gerilmesi	400 kN/m^2

2.1 Yapısal modelleme

Yapıya ait onaylı mimari ve statik-betonarme projeler kullanılarak CAD ortamında çizim dosyaları oluşturulmuştur (Ayzit, 2007). Bina modelinde kullanılan perde elemanlar, yapısal analiz programında iki

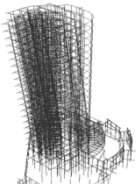
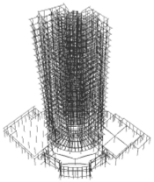
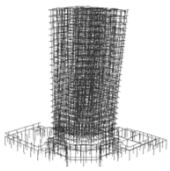
boyutlu shell elemanlar ile tanımlanmıştır. Bina ayrıca Probina-Orion (V.14) yapısal analiz programı kullanılarak modellenmiştir (Pürselim, 2009). Probina'da oluşturulan yapısal model Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Yapısal model

2.2 Modal analiz

Probina-Orion'da yapılan modal analiz sonucunda elde edilen binanın ilk 3 mod şekli ve periyotları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Modal Analiz Sonuçları

Mod	1	2	3
Periyot (saniye)	2.066	1.630	1.349
			

3. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE MODELLEME İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Doğrusal olmayan modellemede geometrik doğrusal olmama durumu ve malzemenin doğrusal olmaması durumları önemlidir. Geometrik doğrusal olmama durumunda ikinci mertebe etkisi adıyla da bilinen yatay yer değiştirmeler dolayısıyla yapıda oluşacak ek iç kuvvetler de dikkate alınır ve P-Delta analizi olarak adlandırılır. Geleneksel birinci mertebe teorisine göre yapılan hesaplarda denge denklemleri şekil değiştirmemiş sistemler üzerinde yazılmaktadır (küçük yer değiştirme kabulü). Buna karşılık P-Delta analizinde, ikinci mertebe etkilerini dikkate almak için denge denklemlerinin şekil değiştirmiş sistemler üzerinde yazılması gerekmektedir. Birinci mertebe teorisinde analizin başında oluşturulan rijitlik matrisi analiz boyunca sabit kalırken, P-Delta analizinde her bir analiz adımında geometrik rijitlik matrisi adi verilen bir matrisin de hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan bina modelinin çok büyük olması ve düzensiz birçok eleman içermesi analizlerde yakınsaklık ve zaman problemlerine yol açmaktadır. Bu bağlamda, numerik modelde kiriş, kolon ve perdeler için kullanılan sonlu eleman tiplerinin mümkün mertebe 1 boyutlu olarak seçilmesi (çubuk) ve özelikle 2 boyutlu perde elemanlar için çubuk eşdeğerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca eşdeğer çubuk modeli ile doğrusal olmayan malzeme davranışının çok daha kolay bir şekilde tanımlanabileceği aşikârdır. Bu nedenle çubuk eşdeğerlerin belirlenmesine yönelik hesaplamalarda perdenin kayma rijitliği, GA′=(1/3)Ebh

şeklinde, ayrıca fiktif çubukların rijitliği diğer elemanların rijitliklerinin, stabilite problemine yol açmayacak şekilde, 10~100 katı olarak alınması uygun olacaktır (Doran, 2003). Birçok tasarımcı tarafından çekirdek perdelerin ve/veya boşluklu perdelerin eşdeğer çubuk modellerinin belirlenmesinde, eşdeğer çerçeve, gergili çerçeve gibi birçok yöntem kullanılmıştır (Macleod, 1973-1977; Macleod and Hosny, 1977;Lew and Narov, 1983; Ghuneim, 1999; Doran, 2004; Doran, 2009). Bu çalışmada seçilen binanın deprem performansının belirlenmesinde, perde elamanlar için yukarıda tanımlanan eşdeğer çubuk yaklaşımı da göz önünde bulundurularak, Probina-Orion V.15 yardımıyla bir yapısal model oluşturulmuş (Şekil 2) ve gerekli analizler yapılmıştır. Aşağıdaki paragrafta, TDY-2007 esasları doğrultusunda gerçekleştirilmiş olan analiz adımları ile bazı kabuller verilmiştir.

4. BINANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDIRILMESI

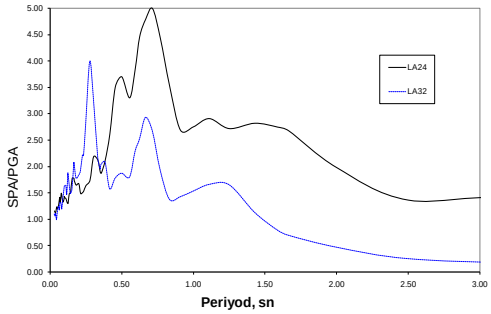
Projede kullanılan binanın deprem performansının değerlendirilmesinde "Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile değerlendirmede TDY-2007'ye göre uyulan genel ilkeler ve yapılan kabuller aşağıda sunulmuştur.

- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) = 1 alınmıştır
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı = 0.30 alınmıştır.
- Bina bilgi düzeyi "Orta" olarak seçilmiştir. Dolayısıyla bilgi düzeyi katsayısı "0.90" olarak atanmıştır.
- Bina Önem Katsayısı uygulanmamıştır (I =1,0).
- Probina-Orion ile modellemede **"Perde Modeli"** veri alanındaki **"Orta Kolon Modeli"** ve "**Sonlu Elemanlar Kabuk Modeli"** seçenekleriyle modelde mevcut olan perde elemanları eşdeğer çubuk ile temsil edilmişlerdir. **"Orta Kolon Modeli"nde** perde elemanı ortasında tek bir kolon ve uçlara uzanan rijit kirişler ile modellenmektedir. Bu sayede binanın mevcut değerlendirmesi sırasında perdelerde plastik mafsal girişi gerçekleştirilebilmekte, analiz sonuçları olabildiğince doğruya yakın sonuçlar elde edilebilmektedir.
- Hedef performans düzeyi 50 senede aşılması olasılığı %10 deprem için Can Güvenliği Performans Düzeyi olarak seçilmiştir. Kullanılan elastik ivme spektrumu Z2 türü zemin için Şekil 4,9'de verilmiştir.
- Hedef performans düzeyi 50 senede aşılması olasılığı %2 olan deprem için Göçme Öncesi Performans Düzeyi. Bu deprem etkisi için kullanılan elastik ivme spektrumu TDY-2007'ye 50 senede aşılması olasılığı %10 olan deprem için kullanılan elastik ivme spektrumu %50 arttırılarak elde edilmiştir.
- Binanın 50 senede aşılması olasılığı %2 olan deprem etkisi altındaki performansı aynı zamanda iki gerçek ivme kaydının (LA24 ve LA32) elastik ivme spektrumları kullanılarak da araştırılmıştır. Bu deprem kayıtları 50 senede aşılması olasılığı %2 olan depreme karşılık gelecek şekilde uygun biçimde ölçeklendirilmiştir. Bu kayıtlara ait karakteristik özellikler ve elastik ivme spektrumları Tablo 3 ve Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 50 Senede aşılması olasılıkları %2 olan yer hareketleri

SAC	Kayıt	Büyüklük	Mesafe	Ölçek Çarpanı	Nokta Sayısı	DT	Süre	PGA
LA24	1989 Loma Prieta	7.0	3.5	0.82	2500	0.01	24.99	463.96
LA32	Elysian Park (simulated)	7.1	17.5	1.43	3000	0.01	29.99	1163.50

- Binanın deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilmiştir. Hareketli düşey yükler, TDY-2007, Böl. 7.4.7'ye göre deprem hesabında göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanmıştır.
- Deprem kuvvetleri binaya her dört doğrultuda (0 derece, 90 derece, 180 derece ve 270 derece) ayrı ayrı etki ettirilmiştir.
- Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları TDY-2007, Böl.2.7.1.2'ye göre hesaplanmış ve kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. LA24 ve LA32 depremlerine ait normalleştirilmiş davranış spektrumları

- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiş, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınmıştır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanmıştır, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmamıştır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.
- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılmıştır.
- Kolonlarda minimum donatı oranı 0.008; perdelerde minimum donatı oranı 0.002; kirişlerde (üst) minimum donatı oranı 0.004; kirişlerde (alt) minimum donatı oranı 0.002 olarak alınmıştır.
- Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır.
- Göz önüne alınan bütün modlara ait modal kapasite diyagramları ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilmiş, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanmıştır.
- Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesinde plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı kabul edilerek, plastik mafsal kabulü kullanılmıştır.
- İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi göz önüne alınmamıştır.

5. SONUÇLAR

Binanın deprem performansı, 50 senede oluşması olasılığı %10 olan deprem etkisi altında Can Güvenliği Performans Düzeyi'ne göre belirlenmiştir. TDY-2007'ye göre aşağıdaki koşulları sağlaması şartı ile bina Can Güvenliği Performans Düzeyi'ni sağlamış kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki **(b)** paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri *Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum *Hasar Bölgesi* veya Belirgin *Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının

%30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

Buna göre binaya 3 yönde (0.0, 90.0, 270.0 derece) deprem hareketi etki ettirilmiştir. 0.0, 90.0 ve 270.0 derecelerde etki ettirilen deprem etkisi altında "608" düşey taşıyıcı elemanın tümündeki hasarlar güvenlik sınırının altında kalmıştır. Buna göre bina "Can Güvenliği Performans Seviyesi"ni sağlamaktadır. 50 senede aşılması olasılığı %2 olan LA24 ve LA32 depremleri 90.0 derecede yapıya etki ettirilmiştir ve bu deprem hareketleri altında da taşıyıcı elemanlardaki hasarlar göçme sınırının altında kalmıştır. Ayrıca TDY-2007'ye göre elastik ivme spektrumu %50 arttırılarak elde edilen 50 senede aşılması olasılığı %2 olan depreme ait elastik ivme spektrumu ile de artımsal mod birleştirme analizi yapılmış (90.0 derecede) ve taşıyıcı elemanlardaki hasarların göçme sınırının altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca, GPS ile elde edilen pozisyon verilerinden yapının periyot değişim özellikleri uzun dönem için belirlenmiş ve numerik modelden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapısal analizler sonucu elde edilen 1. Moda ait periyot değeri (2.066 sn) GPS ölçümleri ile elde edilen değerden bir miktar sapmıştır. Yaklaşık %16 mertebesinde bağıl hata söz konusudur. Bunun nedeni olarak; a) yapısal analizlerde kullanılan modelleme tekniği (2D olarak modellenmesi gereken perde elemanların hesap kolaylığı açısından 1D çubuk eşdeğeri ile tanımlanması); b) malzeme dayanımlarının projede belirtildiği gibi alınması, gerçek malzeme dayanımlarının bilinmemesi, c) yüklerin ve kütlelerin hesabında yapılan kabuller olarak açıklanabilir (Sayım ve diğ., 2010).

TEŞEKKÜR

Bu proje TUBİTAK Mühendislik gurubu tarafından desteklenmiştir. Proje No:106M032. Projenin uygulandığı Plaza Yönetimi'nden başta Sayın Şafak Türkmen ve Mustafa Akbayrak olmak üzere tüm Plaza Yönetimine, ayrıca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Zekeriya Polat ve Abdülkadir Coşkun Reyhan'a içten teşekkürü borç biliriz. Ayrıca, Probina-Orion yapısal analiz programını proje süresince bize sağlayan Sayın Joseph Kubin'e teşekkür ederiz. Proje süresi boyunca özveriyle çalışan yüksek lisansüstü öğrencileri İnşaat Mühendisleri Ömer Ayzit, Başar Eralp ve Mehmet Gökçe Pürselim'e ve proje çalışmaları sırasında kısa bir süre yardım eden Ali Nail Çetiner'e de teşekkür ederiz. Yayındaki bilgiler ve görüşler yazarlara ait olup başka kurum ve kişileri bağlamaz.

KAYNAKLAR

Akkan, F. (2006). Mevcut Bir Okul Yapısının Performans Yaklaşımı ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akkan, F. (2006). Mevcut Bir Okul Yapısının Performans Yaklaşımı ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydınoğlu, M. N. (2007). Deprem Katsayısından Performansa Göre Tasarıma: Bir Mühendisin Bakış Açısından Deprem Mühendisliğinin 40 Yılı. *İstanbul Bülten TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı* **97:2008,** 10-29.

Ayzit, Ö. (2007). Mevcut Bir Yüksek Yapıda Rüzgâr Yükü Nedeniyle Meydana Gelecek P-Delta Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Can, D.(2005). Statik İtme Yöntemiyle Mevcut Bir Yapının Güvenliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Celep, Z. (2007).Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım.

Çelik, U. (2007). Deprem Yönetmeliğine Göre Mevcut Bir Betonarme Yapının Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Doran, B., Alacalı, S., Polat, Z. (2003). A Statistical Analysis for the Equivalent Stiffness Ratio of the Tie elements of R/C Coupled Shear Walls. *Y.T.Ü. Dergisi* **2**, 60-68.

Doran, B. (2004). Elastic-Plastic Analysis Of R/C Coupled Shear Walls: The Equivalent Stiffness Ratio of The Tie Elements. *Indian Institute of Science*, **83**, 87-94.

Doran, B. (2009). A Magnified Beam Algorithm to Determine the Coupling Ratios of R/C Coupled Shear Wall. *Struct. Design Tall Spec. Build*., **18:8**, 921-929.

Ghuneim, N. (1999). Modeling of Tunnel Form Buildings by Equivalent Frame Method, M.S. Thesis, Middle East Technical University.

Kapusuz, T. (2004). Comparison of Simplified Non Lineer Analysis Methods for Performance Based Upgrade of Structures, Master of Science, BU Science and Engineering Department.

Lew, I. P. and Narov, F. (1983). Three-Dimensional Equivalent Frame Analysis of Shearwalls. *Concrete International*.

Macleod, I. A. (1973). Analysis of Shear Wall Buildings by the Frame Method. *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, **2:55**, 593-603.

Macleod, I. A. (1976). General Frame Element for Shear Wall Analysis. *Proc. Instn. Civ. Engrs.* **2:61**, 785-790.

Macleod, I. A.(1977). Structural Analysis of Wall Systems. *The Structural Engineer*, 487- 495.

Macleod, I. A. and Hosny, H. M.(1977). Frame Analysis of Shear Wall Cores. *Journal of Structural Division, ASCE* **103:10**.

Öztürk, İ. (2006). A Comparative Assessment Of An Existing Reinforced Concrete Building By Using Different Seismic Rehabilitation Codes And Procedures, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pürselim, M.G. (2009). Uzun Periyotlu Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Değerlendirilmesi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Probina-Orion, Statik ve Dinamik Sonlu Elemanlar Analizi, Dizaynı, Çizimi ve Metrajı, V.14.1 (2009).

Sayım, İ., Akbaş, B., Doran, B. (2010). Uzun Periyotlu bir Yapıda Rölatif Yer Değiştirmelerin GPS ile İzlenmesi. İMO Teknik Dergi (İncelemede).

TDY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik, (2007).