

Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki Performans Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kaan TÜRKER^{1*}, Altuğ YAVAŞ¹

¹Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir.

Özet

Çalışmada, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi (EDYY), Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi (AEDYY) ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (ZTAHY) karşılaştırılmış ve yöntemler arasındaki uyum incelenmiştir. Karşılaştırmalar altı katlı betonarme bir bina çerçevesi üzerinde eleman hasar düzeyleri, görelî kat ötelemeleri ve çerçeve performans düzeylerine göre yapılmıştır. Ayrıca, eleman uçlarındaki sargılama durumunun yöntemler arasındaki uyuma etkisi de incelenmiştir. Eleman hasar düzeyleri bakımından en büyük uyum oranı AEDYY ile ZTAHY arasında, en düşük uyum oranı ise EDYY ile ZTAHY arasında elde edilmiştir. Sargının uyum oranları üzerinde (özellikle EDYY için) çok etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Deprem performansı, betonarme bina, doğrusal statik yöntem, doğrusal olmayan statik yöntem, doğrusal olmayan dinamik yöntem.

Comparison of Performance Evaluation Methods in Turkish Earthquake Code

Abstract

In the study, seismic performance evaluation methods (Equivalent Seismic Load Method (ESLM), Incremental Equivalent Seismic Load Method (IESLM) and Nonlinear Time History Method (NTHM), which are given for assessment of existing RC buildings in Turkish Seismic Rehabilitation Code 2007, are compared and consistency of the methods is investigated. The comparisons were performed on a six story RC building frame in terms of member damage levels, story drifts and frame global performance levels. In addition, the effect of confinement on members was investigated. The results show that according to member damage levels, the consistency between ESLM and

* Kaan TÜRKER, kturker@balikesir.edu.tr.

NTHM is more less than that of IESLM and NTHM. It is seen that the confinement on members is very effective on consistency of methods (especially for ESLM).

Keywords: *Seismic performance, RC building, linear static method, non-linear static method, non-linear dynamic method.*

1. Giriş

ABD’de yaşanan depremler sonucu, yaklaşık onbeş yıl önce ortaya çıkan performansa dayalı tasarım/değerlendirme yaklaşımı bugün oldukça yaygınlaşmış ve çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlamıştır. Dünyadaki bu gelişmeye paralel olarak, 2007 yılında Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY) de betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan, statik ve dinamik esaslı hesap yöntemlerine yer verilmiştir [1]. TDY’nde binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen yöntemler, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Doğrusal elastik yöntemler grubunda *Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* (EDYY) ve *Mod Birleştirme Yöntemi* (MBY) adı altında iki yöntem bulunmaktadır. Doğrusal elastik olmayan yöntemler grubunda ise *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* (AEDYY) *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* (AMBY) ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* (ZTAHY) adı altında üç yöntem yer almaktadır. EDYY ve AEDYY statik esaslı yöntemler olup yönetmeliğe göre sadece yapı davranışında birinci (temel) modun hakim olduğu binalarda kullanılabilir. Diğer yöntemler ise dinamik/yarı dinamik esaslı olmaları nedeniyle yüksek modların etkin olduğu binalarda da kullanılabilir [1].

TDY’nde yer alan doğrusal elastik yöntemler (EDYY ve MBY), doğrusal elastik teoriye dayanan kuvvet esaslı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, doğrusal elastik davranan yapıya etkileyecek deprem yükleri altında, kritik kesitlerde oluşacak kesit tesirleri ve kesit kapasitelerinden yararlanarak kesitlerdeki süneklik taleplerinin yaklaşık olarak elde edilmesi ve bunların kesit şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak hasar düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Esasen yapı kapasitesine bağımlı olan deprem yükleri yerine elastik deprem yüklerinin kullanılması, bu yüklerin tamamının aynı anda taşıyıcı sisteme etkilerek kesitler/elemanlar arasındaki yeniden dağılım etkisinin ihmal edilmesi ve kesitlerdeki süneklik taleplerinin kuvvet esaslı bir yaklaşımla temsil ediliyor olması bu yöntemlerin temel eksiklikleri arasında bulunmaktadır. Bu eksiklikleri nedeniyle doğrusal elastik yöntemlerde gerçek davranıştan belirli ölçüde uzaklaşıldığı bilinmektedir. TDY’nde yer alan doğrusal elastik olmayan yöntemlerde (AEDYY, AMBY ve ZTAHY), kullanılan deprem yüklerinin/etkilerinin sistemin kapasitesi ile uyumlu olması, elemanların doğrusal olmayan davranışının hesaba katılarak yeniden dağılım etkisinin göz önüne alınması ve eleman hasar kontrollerinin direkt olarak şekil değiştirme talepleri (plastik dönme, birim şekil değiştirme vb.) ile yapılması deprem etkisi altındaki davranışın daha gerçekçi olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle doğrusal olmayan ZTAHY’nde deprem karakteristikleri, yüksek mod etkileri yapıdaki sönüm etkileri, histeretik etkiler vb. etkiler de göz önüne alınarak gerçeğe oldukça yakın davranışlar elde edilebilmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, statik esaslı doğrusal elastik olmayan yöntemlerin de planda ve düşeyde önemli yapısal düzensizliği bulunmayan az

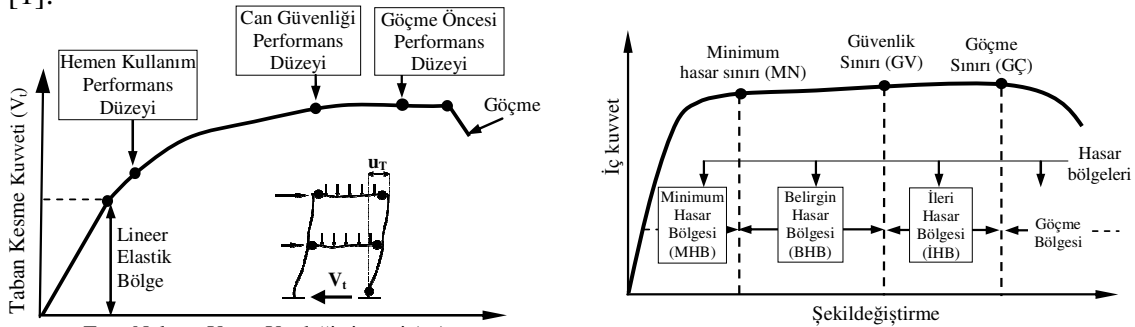
ve orta katlı yapılarda deprem davranışının belirlenmesinde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir [2-4].

Performans esaslı benzer yöntemlerin yer aldığı ASCE/SEI 41-06 [5] ve EUROCODE 8 [6] gibi standartlarda doğrusal elastik teoriye dayanan basitleştirilmiş yöntemlerin kullanımının çeşitli parametrelere (bazı yapısal düzensizlik durumlarının bulunması, hasar düzeyini ifade eden talep/kapasite değerleri) göre sınırlandırıldığı görülmektedir. TDY’nde ise doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin kullanımı ile ilgili herhangi bir ön koşul bulunmamaktadır. Bu nedenle, TDY’de verilen yöntemlerden çeşitli özelliklerdeki yapı sistemleri için elde edilen sonuçların birbiriyle uyumu performans değerlendirmelerinin sağlıklı yapılabilmesi bakımından büyük önem arz etmektedir. Statik esaslı olan EDYY ve AEDYY bazı çalışmalarda karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve genel olarak doğrusal elastik EDYY’nin doğrusal elastik olmayan AEDYY’ne göre daha elverişsiz hasar durumları verdiği belirlenmiştir [7-10].

Bu çalışmada, TDY’de yer alan EDYY, AEDYY ve ZTAHY karşılaştırılarak doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin uyumu incelenmiştir. Bu amaçla altı katlı bir betonarme bina çerçevesi üzerinde, üç yöntemden elde edilen eleman hasar bölgeleri, görece kat ötelemeleri ve performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, eleman uçlarındaki sargılama durumunun hasar düzeylerine ve yöntemler arasındaki uyuma etkisi de incelenmiştir.

2. TDY’ne Göre Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina deprem performansı, belirli bir deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasarların türlerine, düzeylerine ve binadaki dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bir bina güvenliğini ifade etmektedir. Binalar için standart bir güvenlik tanımı yapabilmek amacıyla, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY), binalara gelebilecek deprem etkileri, elemanlarda oluşabilecek hasar türleri, düzeyleri ve bu hasarların dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bina performans düzeyleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır [1]. TDY’de yer alan bina performans düzeyleri, Şekil 1a’da şematik bina kapasite eğrisi üzerinde gösterilmiştir. TDY’ne göre deprem etkisi altında, kesme kırılması oluşmayan elemanların belirli bir eğilme şekil değiştirmesi kapasitesine sahip oldukları kabul edilmekte ve bu elemanlar *sünek* olarak nitelendirilmektedir. Deprem etkisi altında kesme kapasitesi yetersiz olduğu için kesme kırılması oluşan elemanlar *gevrek* olarak nitelendirilmektedir. Sünek elemanlar için yönetmelikte verilen hasar sınırları ve hasar bölgeleri şematik iç kuvvet şekil değiştirme bağıntısı üzerinde (Şekil 1b) gösterilmiştir [1].



(a) Bina Performans Düzeyleri

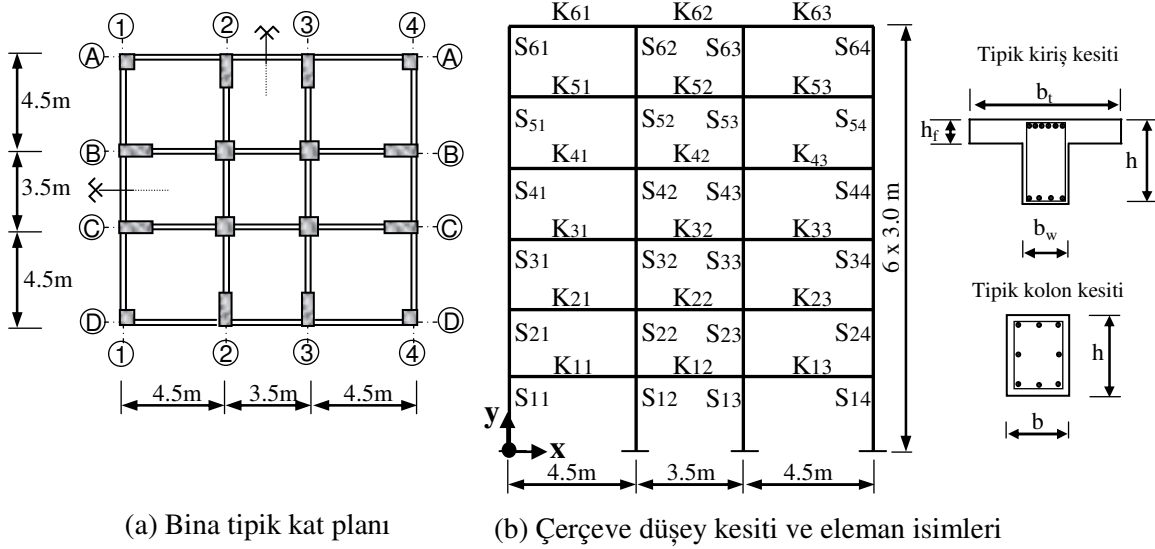
(b) Kesit hasar düzeyleri/bölgeleri

Şekil 1. Bina Performans Düzeyleri ve Kesit hasar sınırları/bölgeleri

3. Sayısal İncelemeler

3.1 İncelenen Taşıyıcı Sistemin Özellikleri

EDYY, AEDDY ve ZTAAAY'nin karşılaştırılması altı katlı, düzenli ve her iki doğrultuda simetrik betonarme bir binanın bir orta aks çerçevesi üzerinde yapılmıştır. Binanın tipik kat planı, incelenen tipik iç aks çerçevesinin geometrik özellikleri ve eleman isimleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Bina tipik kat planı ve incelenen orta aks çerçevesinin özellikleri

Kirişlerde sabit ($G=4.5\text{kN/m}^2$) ve hareketli ($Q=2.0\text{kN/m}^2$) döşeme yüklerinden aktarılan yükler ile duvar yükleri (2.75kN/m) bulunmaktadır. Ayrıca kolon-kiriş birleşim noktalarında, çerçeveye dik doğrultudaki kiriş yükleri temsil eden tekil yükler bulunmaktadır. Bina tasarımında 1975 deprem yönetmeliği (ABYBHY, 1975) esas alınmış ve beton sınıfı C16, beton çeliği sınıfı S220 olarak seçilmiştir. Tasarımda *deprem bölge katsayısı* $C_0=0.1$, *yapı önem katsayısı* $I=1.0$, *yapı tipi katsayısı* $K=1.0$, *zemin cinsi* II-a olarak alınmıştır [11]. Eleman enkesit özellikleri Tablo 1,2 de verilmiştir.

Çalışmada, sargılama durumunun yöntemler arasındaki farklara etkisini incelemek amacıyla tüm değerlendirmeler, TDY'ndeki sargı şartlarını sağlayan ve sağlamayan iki farklı durum için yapılmıştır. Yetersiz sargı durumu için kiriş ve kolonlarda $\phi 8/20$ çift kollu etriye bulunduğu, uygun sargı durumu için ise kirişlerde $\phi 8/10$ çift kollu etriye, kolonlarda $\phi 10/6$ çift kollu etriye ve iki doğrultuda birer $\phi 10$ çiroz bulunduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1. Kiriş özellikleri

Kat	Kiriş adı	Kesit	Boyuna Donatı		Boyutlar (cm)	
			üst	alt	b	h
1	K11	Sol uç	6φ20	4φ20	30	60
		Sağ uç	5φ20	3φ20		
	K12	Sol uç	5φ20	3φ20		
2	K21	Sol uç	6φ20	4φ20	30	60
		Sağ uç	5φ20	4φ20		
	K22	Sol uç	5φ20	4φ20		
3	K31	Sol uç	6φ20	4φ20	30	60
		Sağ uç	4φ20	3φ20		
	K32	Sol uç	4φ20	3φ20		
4	K41	Sol uç	5φ20	3φ20	30	50
		Sağ uç	4φ20	2φ20		
	K42	Sol uç	4φ20	2φ20		
5	K51	Sol uç	6φ16	3φ16	30	0
		Sağ uç	5φ16	3φ16		
	K52	Sol uç	5φ16	3φ16		
6	K61	Sol uç	4φ16	3φ16	30	50
		Sağ uç	4φ16	3φ16		
	K62	Sol uç	4φ16	3φ16		

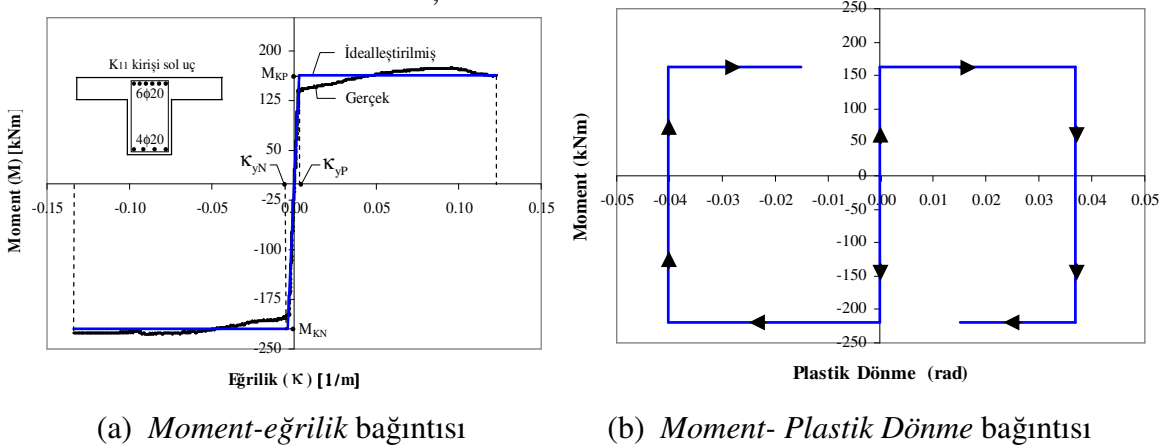
$h_t=12\text{cm}$ $b_t=102\text{cm}$ (kenar aç.) $b_o=72\text{cm}$ (orta aç.)

Tablo 2. Kolon özellikleri

Kat	Kolon adı	Boyutlar (cm)		Boyuna Donatı
		b	h	
1	S11, S14	70	30	8φ20
	S12, S13	50	50	8φ20
2	S21, S24	70	30	8φ20
	S22, S23	50	50	8φ20
3	S31, S34	70	30	8φ20
	S32, S33	50	50	8φ20
4	S41, S44	60	30	8φ18
	S42, S43	40	40	8φ20
5	S51, S54	60	30	8φ18
	S52, S53	40	40	8φ20
6	S61, S64	60	30	8φ18
	S62, S63	40	40	8φ20

3.2 Analiz Özellikleri ve Gözönüne Alınan Deprem Özellikleri

Tüm analizlerde TDY’de önerilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılmış ve II. Mertebe (P-Δ) etkileri göz önüne alınmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde, yığılı plastik davranış (plastik mafsall/kesit) modeli esas alınmış ve plastik mafsallardaki Moment-Eğrilik (M-κ) bağıntısının belirlenmesinde TDY’nde önerilen beton ve çelik gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları esas alınmıştır. (M-κ) bağıntıları, idealleştirme ve gerçek bağıntı altında kalan alanların eşitliği sağlanacak şekilde ve *ideal-elasto-plastik* olarak idealleştirilmiştir (Şekil 3). Çerçevenin ZTAHY ile analizinde sönümün rijitlik ve kütle ile orantılı olduğu (Rayleigh sönümü) kabul edilmiş ve %5’lik modal sönüm oranı (ξ) esas alınmıştır. *Moment-Plastik Dönme* bağıntılarına ait histeresis model olarak, statik analizlerdeki kabuller ile uyumlu olacak şekilde *ideal-rijit-plastik* davranış kullanılmıştır (Şekil 3). Tekrarlı yükler altında oluşabilecek rijitlik azalması, dayanım azalması vb. etkiler ihmal edilmiştir.



Şekil 3. Moment-eğrilik bağıntısı idealleştirmesi ve ZTAHY’inde kullanılan Moment-Plastik Dönme bağıntısı (K11 kirişi, sol uç)

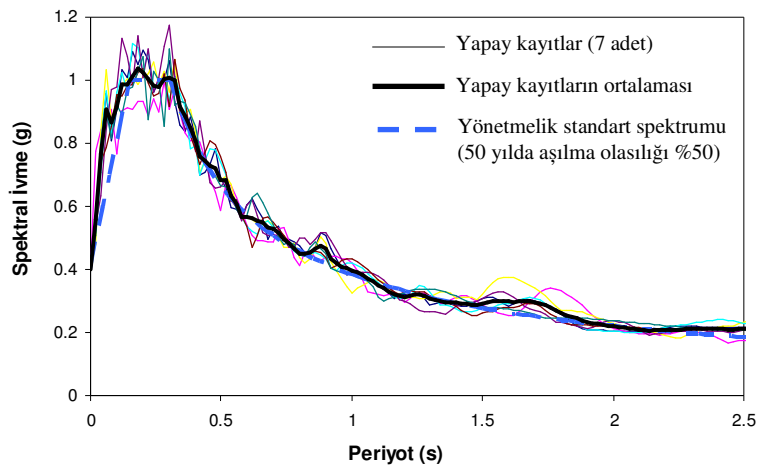
Kolonlarda taşıma kapasiteleri için moment (M) ve normal kuvvet (N) karşılıklı etki diyagramları esas alınmış ve birim şekildeğiştirme taleplerinin belirlenmesinde, ilgili normal kuvvet talebi için elde edilen (M- κ) bağıntıları göz önüne alınmıştır. Çerçevenin doğrusal analizlerinde SAP2000 Yapı Analiz programından [12], doğrusal olmayan analizlerinde CSI-Perform-3D [13] programından, kesit analizlerinde ise XTRACT kesit analiz programından [14] yararlanılmıştır. Çalışmada, binanın 2007 Deprem Yönetmeliğine göre birinci derece deprem bölgesinde bulunduğu ve yerel zemin sınıfının Z2 olduğu kabul edilerek, TDY’nde tanımlanan, 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan deprem düzeyi için performans karşılaştırmaları yapılmıştır (Şekil 4).

Tüm analizlerde düşey yük olarak (1.0G+0.3Q) yüklemesi esas alınmıştır. AEDYY için yapılan *doğrusal olmayan statik analizlerde* deprem yüklerini temsilen birinci (temel) mod ile uyumlu yatay yük dağılımı kullanılmıştır. Çerçevenin birinci moduna ait özellikler Tablo 3’de verilmiştir. AEDYY’nde çerçevenin maksimum tepe yerdeğiştirmesi talebi yönetmelikte öngörülen *eşit yerdeğiştirme kuralı* ile belirlenmiştir [1].

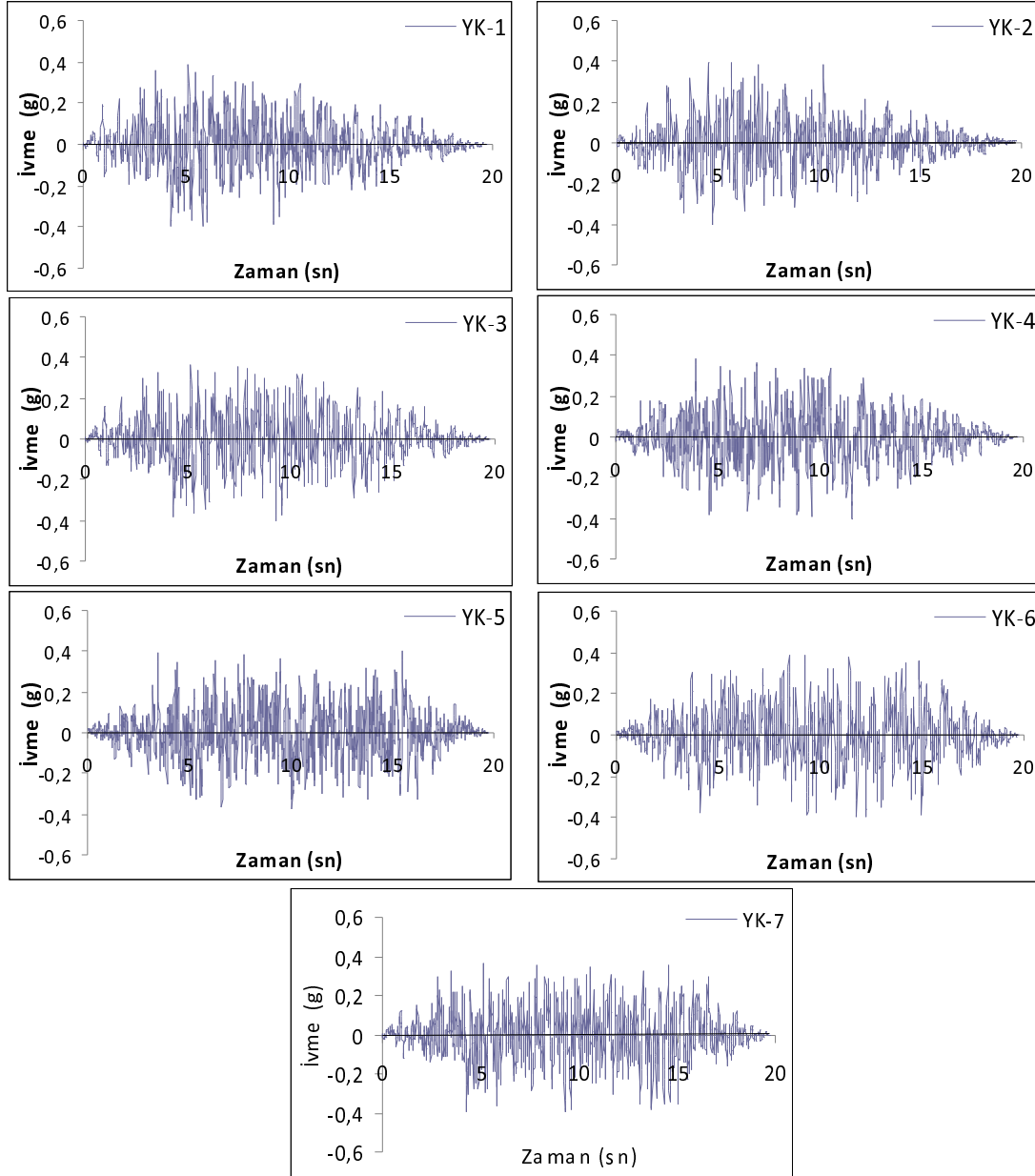
Tablo 3. Çerçevenin birinci titreşim moduna ait özellikleri

Çerçeve periyodu (T_1) (s)	Tepe genliği ($\Phi_{1,tepe}$)	Modal katkı çarpanı (Γ_1)	Etkin modal kütle (M_{x1}) (kNs ² /m)	Modal kütle katılım oranı
1.03	0.026	52.29	309	0.761

ZTAHY ile analiz için, AEDYY’nde göz önüne alınan, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan depreme ait standart ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde yedi adet yapay deprem kaydı oluşturulmuştur (Şekil 5) [1]. Kayıtların üretilmesinde SIMQUE programı kullanılmıştır [15]. Bu yapay kayıtlara ait karakteristik değerler Tablo 4’de, ivme kayıtları Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Yapay kayıtlara ait ivme spektrumları ve Yönetmelik standart ivme spektrumu



Şekil 5. ZTAHY’nde kullanılan yapay deprem ivme kayıtları

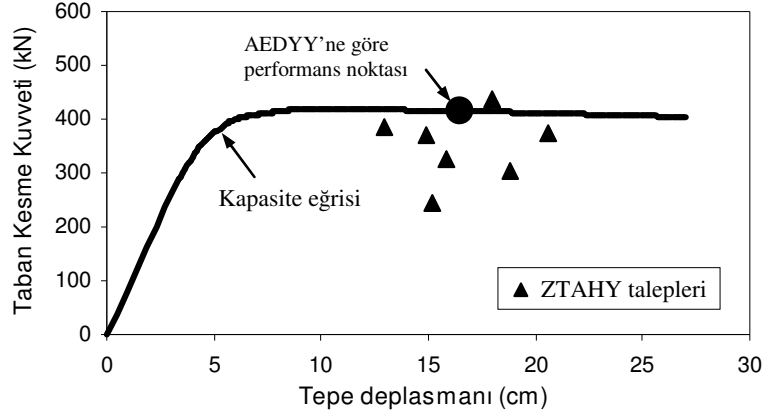
Tablo 4. ZTAHY’nde kullanılan yapay deprem kayıtlarının özellikleri

Kayıt Adı	YK-1	YK-2	YK-3	YK-4	YK-5	YK-6	YK-7
Maks. Yer ivmesi (g)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Maks.Yer Hızı (cm/s)	60.34	43.14	53.31	64.93	67.50	67.13	51.50
Maks. Yer Yerdeğiştirmesi (cm)	102.06	84.41	63.18	73.30	85.05	51.05	55.86

4. Analiz Sonuçları ve Karşılaştırılması

EDYY’nde *etki/kapasite* (r) değerleri, AEDYY ve ZTAHY’nde beton ve çelik birim şekildeğiştirme değerleri esas alınarak kesit hasar düzeyleri ve eleman hasar düzeyleri belirlenmiştir. ZTAHY’nde yedi adet kayıt için, sistemdeki tüm kritik kesitlerde oluşan plastik dönme değerlerinin ortalaması belirlenmiş ve bunlara göre elde edilen birim

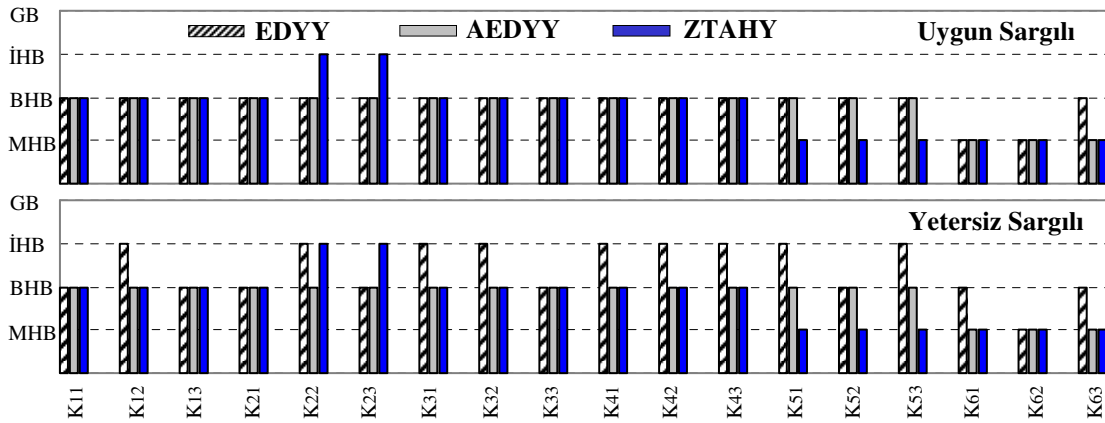
şekildeğiştirme değerleri hasar tayininde kullanılmıştır. Tüm elemanlarda ve birleşimlerde yönetmeliğe göre kesme kırılması kontrolleri yapılmış ve gevrek olarak hasar gören birleşim bulunmadığı belirlenmiştir. AEDYY ve ZTAHY'nden elde edilen tepe yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti talepleri Şekil 6'da verilmiştir. AEDYY ile elde edilen tepe deplasmanı talebi, yedi adet yapay kayıt için ZTAHY'nden elde edilen değerlerin ortalaması ile oldukça uyumlu edilmiştir. Taban kesme kuvveti talebi ise ZTAHY'nden elde edilen ortalamanın üzerinde elde edilmiştir.



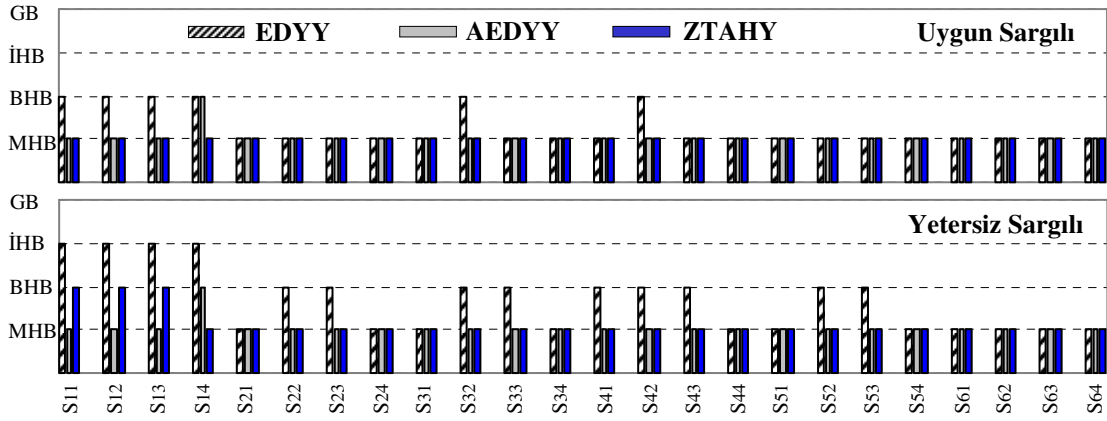
Şekil 6. Çereçve sistemin kapasite eğrisi, AEDYY ve ZTAHY'nden elde edilen Taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirme talepleri

4.1 Eleman Hasar Düzeylerinin Karşılaştırılması

Üç yöntemden elde edilen kiriş ve kolon eleman hasar düzeyleri, uygun sargılı ve yetersiz sargılı durumlar için Şekil 7,8'de grafik olarak karşılaştırılmıştır. Genel olarak EDYY ve AEDYY'nin ZTAHY'ne göre daha fazla (elverişsiz) hasar durumu ortaya koyduğu, sadece iki adet kirişte ZTAHY'nin diğer yöntemlere göre bir hasar bölgesi kadar fazla hasar gösterdiği görülmektedir (Şekil 7,8).



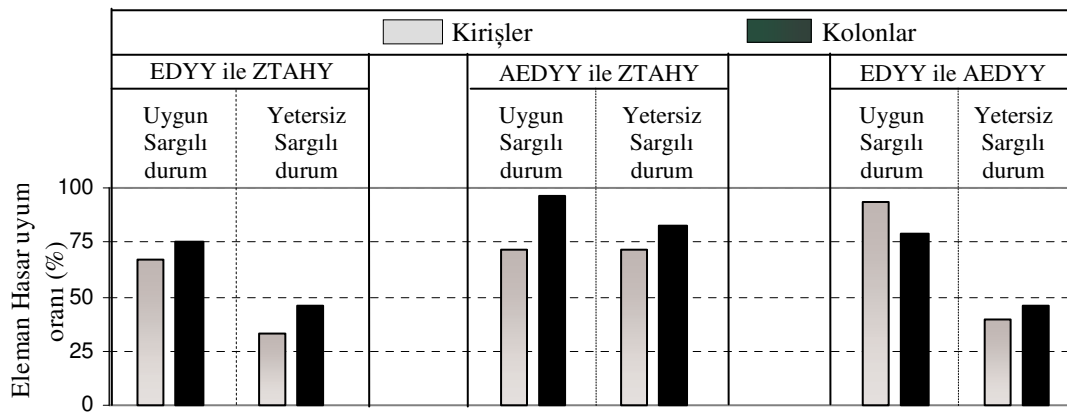
Şekil 7. Uygun ve yetersiz sargılı duruma ait kiriş hasar bölgelerinin karşılaştırılması



Şekil 8. Uygun ve yetersiz sargılı duruma ait kolon hasar bölgelerinin karşılaştırılması

AEDYY ile ZTAHY arasındaki fark kirişlerde ve kolonlarda genellikle en fazla bir hasar bölgesi kadar olmaktadır. EDYY ile ZTAHY arasındaki fark kirişlerde en fazla bir hasar bölgesi kadar iken, kolonlarda yetersiz sargılı durumda iki hasar bölgesi kadar olmaktadır (Şekil 7,8).

Üç yöntemden elde edilen sonuçlar arasındaki farkları ve uyumu değerlendirmek amacıyla, kiriş ve kolon elemanlarındaki hasar düzeyleri için, $(\text{Aynı hasarlı eleman sayısı} \times 100 / \text{Toplam eleman sayısı})$ ile ifade edilen eleman hasar uyum oranları hesaplanmıştır (Şekil 13). Hasar uyum oranları, üç yöntem kendi içinde ikişer ikişer karşılaştırılarak (EDYY ile ZTAHY, AEDYY ile ZTAHY ve EDYY ile AEDYY) belirlenmiştir (Şekil 9).



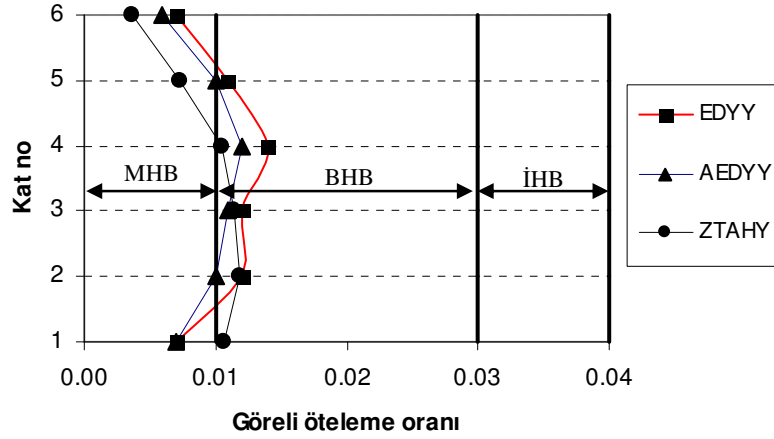
Şekil 9. Kiriş ve kolon elemanlarındaki hasar uyum oranlarının karşılaştırılması

EDYY ile ZTAHY arasındaki uyumun uygun sargılı durumda yaklaşık % 75 olduğu, sargısız durumda ise uyum oranının % 50'lerin altına düştüğü görülmektedir. Bu iki yöntemde kirişler arasındaki uyum oranları kolonlara göre daha düşük elde edilmiştir (Şekil 9). AEDYY ile ZTAHY arasındaki uyumun kirişlerde yaklaşık % 75'lerde olduğu, kolonlarda ise %75'leri geçtiği, özellikle uygun sargılı durumda % 100'e yaklaştığı görülmektedir (Şekil 9). EDYY ile AEDYY arasındaki uyumun uygun sargılı durumda % 75'leri geçtiği, yetersiz sargılı durumda ise % 50'lerin altına düştüğü görülmektedir (Şekil 9).

4.2 Görelî Kat Ötelemesi Oranlarının Karşılaştırılması

EDYY'ne göre, kolonlarda etki/kapasite (r) oranlarının yanı sıra maksimum görelî kat ötelemesi oranlarına göre de eleman hasarlarının belirlenmesi ve en elverişsiz olanlarının göz önüne alınması gerekmektedir. Çalışmada, EDYY'nden elde edilen görelî öteleme oranları kolon hasar düzeylerinin belirlenmesinde göz önüne alınmış, ayrıca doğrusal olmayan AEDYY ve ZTAHY'nden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 10). ZTAHY'nde yedi adet deprem kaydı için elde edilen görelî öteleme oranlarının ortalaması esas alınmıştır.

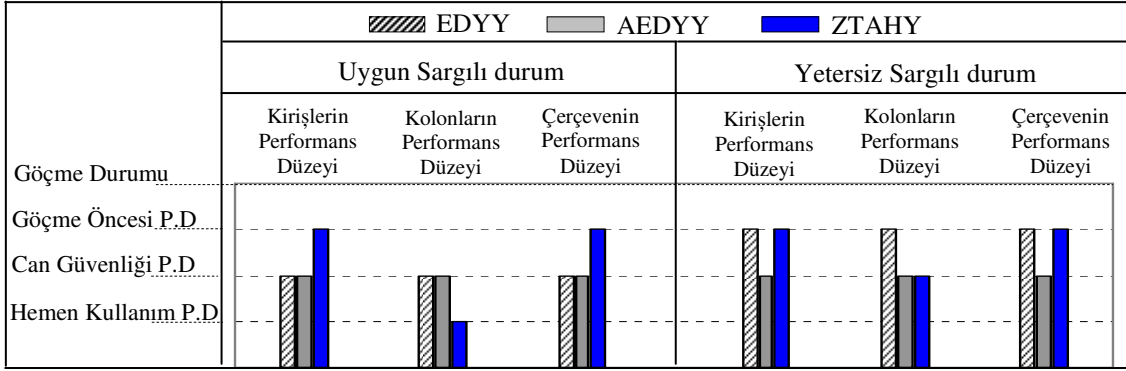
EDYY'nde, uygun sargılı durumda, görelî öteleme değerlerinden elde edilen hasarların, etki/kapasite oranlarından elde edilen hasarlardan daha fazla olduğu ve bu nedenle kolon hasar düzeyini belirleyici olduğu görülmüştür (Şekil 8,10). Yetersiz sargılı durumda ise en alt katta etki/kapasite oranları daha büyük hasar vermiş, diğer katlarda ise her iki parametre uyumlu sonuçlar vermiştir (Şekil 8,10). EDYY en alt kat dışında genel olarak daha elverişsiz öteleme oranları vermiştir. ZTAHY'nden elde edilen öteleme oranları üst katlarda diğer yöntemlere göre daha düşük, en katta ise daha büyük elde edilmiştir (Şekil 10). EDYY'nde görelî kat öteleme oranlarının işaret ettiği hasar düzeylerinin diğer iki yöntemin sonuçlarıyla daha uyumlu görülmektedir (Şekil 8,10).



Şekil 10. Görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması

4.3 Performans Düzeylerinin Karşılaştırılması

Üç yöntemden elde edilen eleman hasar bölgeleri yönetmelikte öngörüldüğü gibi kat bazında kirişler ve kolonlar için ayrı ayrı değerlendirilerek çerçevenin genel performans düzeyleri elde edilmiştir. Çerçeve performans düzeyinin belirlenmesinde etkili olan eleman türünü (kiriş, kolon) gözlemek amacıyla, performans düzeyleri kirişler, kolonlar ve çerçeve için ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 11). EDYY ile AEDYY uygun sargılı durumda aynı performans düzeyini vermiş, yetersiz sargılı durumda ise eleman hasar uyum oranlarındaki büyük azalmaya paralel olarak, EDYY bir düzey daha elverişsiz performans düzeyi vermiştir (Şekil 9,11). ZTAHY'nde ise diğer iki yöntemle göre genel olarak daha düşük eleman hasar düzeyleri elde edilmesine karşılık, sadece iki kiriş elemanında oluşan büyük hasar düzeyi, çerçeve performans düzeyinin uygun ve yetersiz sargılı durumlarda çok elverişsiz elde edilmesine neden olmuştur. Bu lokal durum nedeniyle elemanlardaki hasar düzeyleri bakımından tüm sistem bazında en büyük uyumsuzluğun bulunduğu EDYY ve ZTAHY'yi aynı performans düzeyini vermiştir (Şekil 9,11).



Şekil 11. Kirişlerin, kolonların ve çerçeve performans düzeylerinin karşılaştırılması

EDYY ve AEDYY’nde kirişler ve kolonlar birlikte çerçeve performans düzeyini belirleyici olurken, ZTAHY’nde sadece kirişler belirleyici olmuştur (Şekil 11).

5. Sonuçlar

Çalışmada, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) ile doğrusal elastik olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (AEDYY) ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (ZTAHY) karşılaştırılarak yöntemlerin sonuçları arasındaki uyumlar incelenmiştir. Sayısal incelemeler altı katlı bir betonarme çerçeve üzerinde, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi için yapılmıştır. İncelenen çerçeve kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Eleman hasar düzeyleri bakımından en büyük uyum oranı AEDYY ile ZTAHY arasında, en düşük uyum oranı EDYY ile ZTAHY arasında elde edilmiştir. Elemanlardaki sargı durumu, özellikle EDYY sonuçlarını önemli ölçüde değiştirdiği için bu yöntem ile diğer yöntemler arasındaki uyum oranlarında çok etkili olmuştur.
- Eleman hasar düzeyleri bakımından yöntemler arasındaki fark genel olarak uygun sargılı durumlarda en fazla bir hasar bölgesi kadar olmuş, yetersiz sargılı durumlarda ise bu fark bazı elemanlarda iki hasar bölgesine kadar çıkmıştır. En elverişsiz (büyük) hasar durumu EDYY’nden elde edilmiştir.
- Eleman uçlarındaki sargılama durumunun uygun olması kesit hasar bölgelerine ait sınırları genişlettiği için yöntemler arasındaki farkları azaltıcı yönde etki göstermiştir.
- Sargı durumu, EDYY ve ZTAHY’nde çerçeve (global) performansını bir düzey değiştirmiş, AEDYY’nde ise etkilememiştir.
- EDYY’nde kolon hasarlarını belirlemede kullanılan görelî öteleme oranı kriterinin, etki/kapasite oranı kriterine göre daha düşük hasar düzeyleri verdiği, bu hasar düzeylerinin de AEDYY ve ZTAHY sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.
- Dinamik etkilerin ihmal edildiği AEDYY’nden elde edilen global taleplerin (Tepe deplasmanı ve taban kesme kuvveti) ZTAHY ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Eleman hasar düzeyleri bakımından da ZTAHY ile oldukça uyumlu olduğu, ancak bazı kesitlerdeki hasar düzeylerini bir düzey kadar düşük verebildiği görülmüştür.
- EDYY’nin bazı eksikliklerine rağmen performans değerlendirmelerinde emniyetsiz bir durum ortaya koymadığı, ancak genel olarak diğer iki yöntemle göre daha elverişsiz (büyük) hasar durumları vermesi nedeniyle, bu yöntemle yapılacak

performans değerlendirmelerinin ve güçlendirme işlemlerinin ekonomik olmayacağı söylenebilmektedir.

Kaynaklar

- [1]. DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (2007).
- [2]. Mwafy A.M. and Elnashai A.S., Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings, **Engineering Structures**, 23, p.407, (2001).
- [3]. Krawinkler H. and Seneviratna G.D.P.K., Pross and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation, **Engineering Structures**, p.452, (1998).
- [4]. Lawson R.S., Vance, V. and Krawinkler H., Nonlinear static push-over analysis – why, when, and how?, **Proceedings of Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering**, 1, p.283, (1994).
- [5]. ASCE/SEI 41-06, **Seismic Rehabilitation of Existing Buildings**, American Society of Civil Engineers, Reston, (2007).
- [6]. CEN Eurocode 8: **Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings**, Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, (2005).
- [7]. Kaya M.P., Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [8]. Uygun G., Celep Z., Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi, **Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, 269-279, (2007).
- [9]. Sucuoğlu H., Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 445: 24-36, (2007).
- [10]. Şengöz A., ve Sucuoğlu H., Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi” Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri, **İMO Teknik Dergi**, 20(1):4609-4633, (2009).
- [11]. ABYYHY, **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (1975).
- [12]. CSI-SAP2000, Structural Analysis Program”, Computers and Structures, Berkeley, California, (2005).
- [13]. CSI-Perform-3D, User guide and element descriptions of Perform-3D, (2011).
- [14]. ISS, XTRACT, Cross Section Analysis Program, (2001).
- [15]. Gasparini, D.A. and Vanmarcke, E.H., SIMQUE: A Program for Artificial Motion Generation. Department of Civil Engineering, MIT, USA, (1976).