

Betonarme Yapıların Davranışının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile Belirlenmesi

* Muharrem Aktaş, Naci Çağlar, Aydın Demir, Hakan Öztürk, Gökhan Dok
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet

Ülkemizdeki betonarme yapıların büyük depremler etkisindeki davranışlarının ve deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) çeşitli hesap yöntemleri sunulmaktadır. Bu yöntemler Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak TDY 2007'ye uygun olarak farklı zemin koşulları üzerine inşa edilmiş 8 katlı betonarme çerçeve modeli, doğrusal elastik zaman tanım alanında hesap yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirme, göreceli kat öteleme ve elemanlardaki içi kuvvet değişimi ile plastik mafsall oluşum mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Analizlerde kullanılan betonarme çerçeve modeli 3 açıklıklı, 8 katlı ve 25 m yüksekliğinde olup kolon boyutları 250x600 mm, kiriş boyutları 250x500 mm olarak seçilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda zeminin rijitliği azaldıkça yapıda oluşan deprem etkilerinin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, doğrusal elastik analiz, zaman tanım alanında hesap

1. Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, ülkemizin büyük bir kısmının aktif deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımı zorunlu bir hal almıştır. Son depremlerde oluşan büyük ekonomik kayıplar ve acı tecrübeler sebebiyle ülkemizdeki yapı stokunun önemli bir kısmı ve yeni yapılacak binalar da deprem riski ile karşı karşıya olduğu aşikardır. Deprem tehlikesi altındaki bu yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi önemli bir hal almıştır [1, 2, 3].

Betonarme yapıların büyük depremler altında davranışlarının ve deprem performanslarının belirlenmesi gayesiyle Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) birtakım hesap yöntemleri tanımlanmıştır. Bu yöntemler Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak sıralanabilir [4].

Türkiye'de hali hazırda bulunan yapıların performans değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki grupta toplanmıştır ve TDY 2007'de verilen hususlara göre değerlendirilmektedir. Değerlendirme yapılırken yapıların deprem anında oluşan süneklik ve yer değiştirme talebi çok daha büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, TDY2007'de

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: muharrema@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955727

önerilen doğrusal elastik yapısal analiz yöntemlerinden Zaman Tanım Alanında Analiz yöntemi, TDY 2007’de tanımlanan farklı zemin sınıfları için analiz edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak 3 açıklıklı, 8 katlı ve 25 m yüksekliğindeki betonarme yapı modeli için zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yöntemi farklı zemin sınıfları için uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır [5]. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, görel kat ötelemesi ve elemanlardaki içi kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır.

2. Yöntem

Zaman tanım alanında (ZTA) hesap yöntemi yapıların deprem etkileri altında davranışını inceleyen diğer yöntemlere göre sonuçları bakımında yorumlanması daha zor olan yöntemlerden biridir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapı davranışı göz önüne alınarak taşıyıcı sisteme etki eden bir ivme kaydının adım adım uygulanması şeklindedir. Bu uygulama süresince her bir zaman artımıyla birlikte taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklükleri meydana getiren deprem isteminin en büyük değerleri belirlenir. Bu hesap yönteminde kullanılan ivme kayıtları, yapay yollarla üretilmiş, daha önceden kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri şeklinde belirlenebilir [6].

Buna rağmen kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi zaman tanım alanında hesap yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli aşamadır. Bu hesap yönteminde kullanılacak ivme kaydı seçilirken depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe, yerel zemin koşulları, yırtılma yönü ve kaydın spektral içeriği gibi parametreler dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır [7].

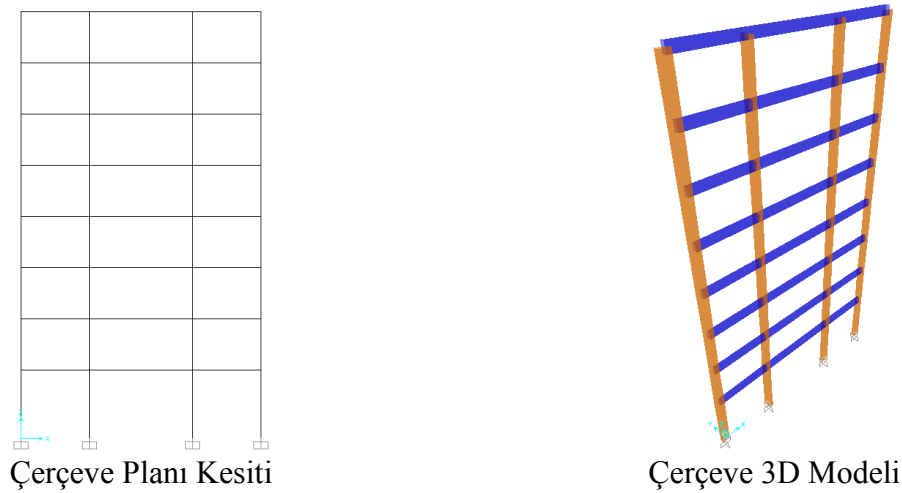
TDY2007’de, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmektedir. Deprem kayıtlarının aşağıda verilen özellikleri taşıması istenir:

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} ’den daha küçük olmayacaktır.
- Üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 ’e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90’ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal elastik olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması

durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır [4].

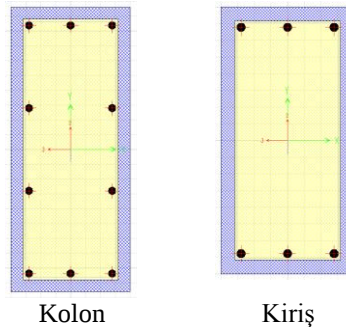
3. Sayısal Çalışma

Bu araştırmada, TDY 2007’de tanımlanan tasarım kuralları dikkate alınarak hazırlanmış 8 katlı betonarme taşıyıcı sistem modeli doğrusal elastik zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan malzeme dayanımları sırası ile beton basınç dayanımı 20 Mpa ve donatı çeliğinin akma dayanımı 420 Mpa olarak tespit edilmiştir. Yapı modeli yatay doğrultuda 3 açıklıklı ve 8 katlı olarak tasarlanmıştır. Açıklıklar sırasıyla 4, 6, 4 m olacak şekilde ve kat yüksekliği zemin kat için 4 m diğer katlar için 3 m olarak seçilmiştir (Şekil 2). Taşıyıcı sistem için bina önem katsayısı $I=1$ ve deprem bölgesi $A_0 = 0.4$ (1. derece deprem bölgesi) seçilerek TDY 2007’de tanımlanan farklı zemin koşulları dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Yapı Plan ve 3D Görünüşü

Yapıdaki kolonlar 250 x 600 mm, kirişler 250 x 500 mm olarak boyutlandırılmıştır [Şekil 3]. Bütün kolonlarda boyuna donatı oranı minimum 0.01 ve maksimum 0.04 olacak şekilde (10Ø16), kirişlerde ise (3Ø16) düz ve (3Ø12) montaj donatısı olarak seçilmiştir. Kolonlarda ve kirişlerde kullanılan etriyeler sırasıyla (Ø10/100) , (Ø8/100) şeklindedir.



Şekil 3. Taşıyıcı eleman kesitleri ve donatı özellikleri

Yapı boyutları belirlenirken TDY 2007 ile TS 498 ve TS 500 standartları da göz önünde bulundurularak tasarım yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda kolon kiriş geometrileri ile donatı düzenlerine ait bilgiler bulunmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Malzeme ve Kesit Özellikleri

Eleman	Malzeme	Beton Elastisite Modülü (Mpa)	Donatı Çeliği Elastisite Modülü (Mpa)	Donatı Çeliği Akma Dayanımı (Mpa)	Kesit Ölçüleri (mm)	Boyuna ve Enine Donatılar
Kolon	C25 – S420	30000	210000	420	600x250	10Φ16 – Φ10/10
Kolon	C25 – S420	30000	210000	420	250x600	10Φ20 – Φ10/10
Kolon	C25 – S420	30000	210000	420	600x250	10Φ20 – Φ10/10
Kiriş	C25 – S420	30000	210000	420	250x500	3Φ16 – Φ10/10
Kiriş	C25 – S420	30000	210000	420	250x500	3Φ20 – Φ10/10

Yapı modeli oluşturulurken, eleman boyutları, kesit özellikleri, donatı konfigürasyonları ile taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yük durumları dikkate alınmıştır. XTRACT programı kullanarak, sargılı ve sargısız Mander beton modeli durumlar için tüm kesitler dikkate alınarak moment eğrilik ilişkileri oluşturulmuştur. Kolonlar için moment eğrilik ilişkisi belirlenirken kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet dikkate alınmıştır. Beton ve donatı çeliği için literatürde TDY 2007’de tanımlanan gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri kullanılmıştır [8].

4. Sonuçlar

Yapı modeline ait analizler SAP2000 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Üç farklı deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz TDY 2007’de tanımlanan farklı zemin sınıflarına sahip taşıyıcı sistemlere uygulanmıştır. Hesaplarda kullanılan deprem ivme kayıtları Pasifik Deprem Araştırma Merkezi (PEER-Strong Ground Motion Database) verileri kullanılarak elde edilmiştir [9]. Doğrusal elastik analizler kullanılarak elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük yer değiştirme değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Doğrusal Elastik ZTA Hesap Yöntemi İçin Farklı Zemin Sınıflarına Göre Taban Kesme Kuvveti Ve Tepe Deplasmanı Değişimi

Analiz Adı	Z1			Z2			Z3			Z4		
	Eth1	Eth2	Eth3	Eth1	Eth2	Eth3	Eth1	Eth2	Eth3	Eth1	Eth2	Eth3
Maks. Taban Kesme (kN)	1852	1447	2341	2371	1950	2635	3389	2703	3372	4351	3613	3998
Maks. Yerdeğiştirme (m)	0.434	0.285	0.538	0.532	0.493	0.621	0.735	0.896	0.811	0.964	0.969	0.965

Yapılan analizler neticesinde deprem kayıtları incelendiğinde en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük tepe yer değiştirme değerlerinin Z1 ve Z2 zemin sınıfları için Eth3 (Loma Prieta) ivme

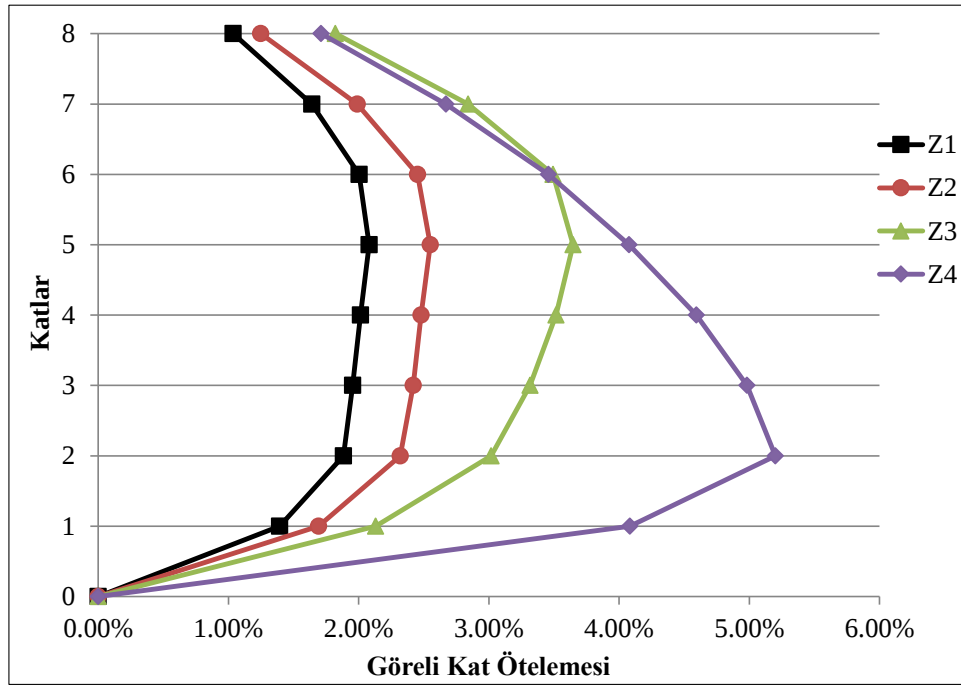
kaydı ile oluştuğu, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için Eth1 (Kocaeli) ile oluştuğu tespit edilmiştir. Bunlar sonuçlara göre yine en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük tepe yer değiştirme değerleri Z4 zemin sınıfına ait olduğu belirlenmiştir. Buradan Kocaeli deprem ivme kaydının kullanılan diğer deprem kayıtlarına göre daha büyük ivme değerleri oluşturduğu görülmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap yönteminde hesaplanan farklı zemin sınıflarına sahip taşıyıcı sistemlere ait maksimum taban kesme kuvveti, maksimum tepe yer değiştirme, taban kesme kuvvetinin ve tepe yer değiştirmesinin yüzde değişimleri Tablo 3’de verilmiştir.

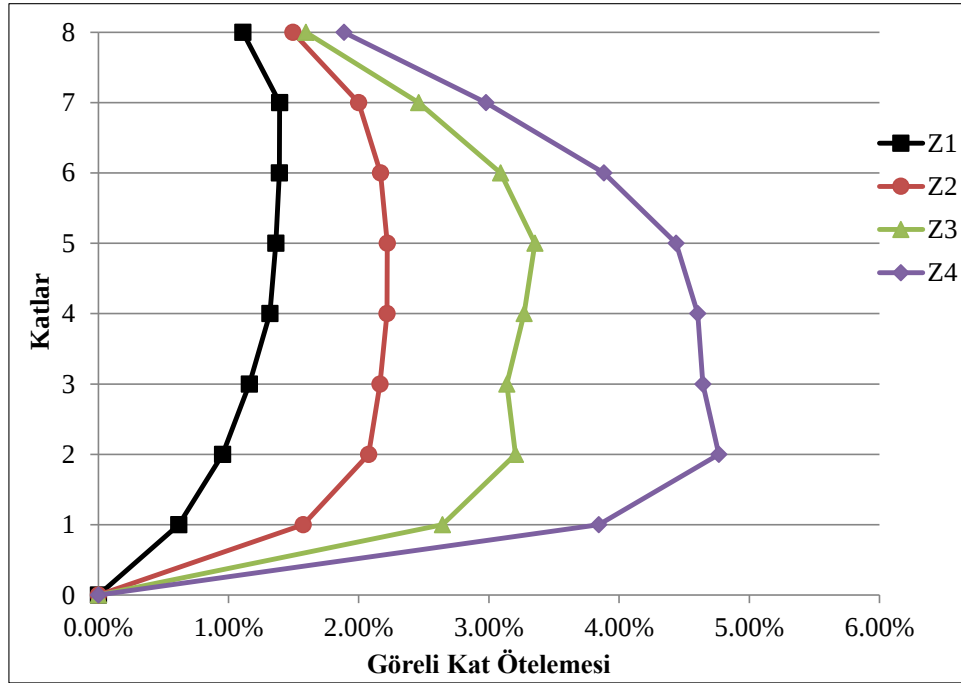
Tablo 3. ZTA Hesap Yönteminde Farklı Zemin Sınıflarına Göre Taban Kesme Kuvveti-Tepe Deplasman Değerleri ve Değişimleri

Eth1		Z1	Z2	Z3	Z4
	Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)	1852.00	2371.00	3389.00	4351.00
	Maks. Tepe Deplasman (m)	0.43	0.53	0.74	0.98
	Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%)	0.00	28.02	82.99	134.94
	Tepe Deplasmanının Değişimi (%)	0.00	22.58	69.35	122.12
Eth2		Z1	Z2	Z3	Z4
	Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)	1447.00	1950.00	2703.00	3613.00
	Maks. Tepe Deplasman (m)	0.29	0.49	0.90	0.97
	Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%)	0.00	5.29	45.95	95.09
	Tepe Deplasmanının Değişimi (%)	0.00	13.59	106.45	123.27
Eth3		Z1	Z2	Z3	Z4
	Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)	2341.00	2635.00	3372.00	3998.00
	Maks. Tepe Deplasman (m)	0.54	0.62	0.81	0.97
	Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%)	0.00	42.28	82.07	115.87
	Tepe Deplasmanının Değişimi (%)	0.00	43.09	86.87	122.35

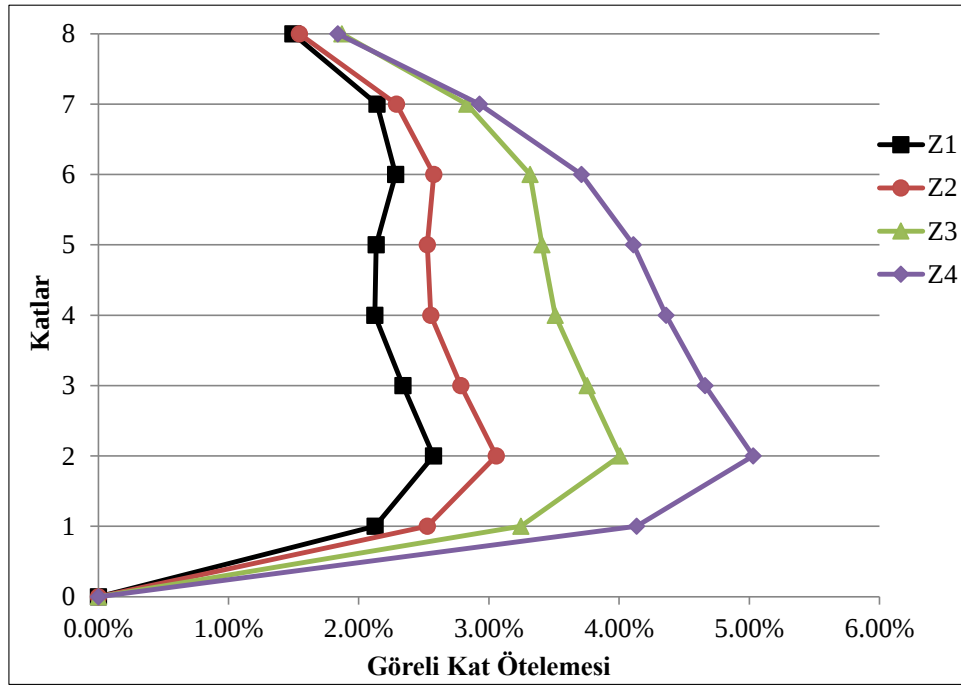
Zaman tanım alanında hesap yöntemine ait görel kat ötelemesi ilişkisi Şekil 3-4-5’de gösterilmiştir. Şekil 3-4 ve 5’de sırasıyla Eth1 (Kocaeli), Eth2 (Northridge) ve Eth3 (Loma Prieta) farklı zemin sınıflarına ait görel kat ötelemesi ilişkileri temsil etmektedir. Bu deprem kayıtları karşılaştırıldığında en büyük görel kat ötelemesi değerlerinin bütün zemin sınıfları için Eth1 (Kocaeli) ivme kaydı ile oluştuğu görülmüştür. Her üç ivme kaydı için de zemin rijitliği azaldıkça yani zemin yumuşadıkça görel kat ötelemesi değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu artış zemin kötüleştikçe daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 3-4-5’de görüldüğü gibi örnek yapı modelimizde, Eth1 ivme kaydı için maksimum görel kat ötelemesi %2 - %2.7, Eth2 ivme kaydı için maksimum görel kat ötelemesi %1 - %2.3, Eth3 ivme kaydı için maksimum görel kat ötelemesi %1.2 - %2.5 değerleri arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 3. Eth1'e (Kocaeli) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri



Şekil 4. Eth2'ye (Northridge) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri



Şekil 5. Eth3'e (Loma Prieta) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri

5. Değerlendirme

Yapılan doğrusal elastik zaman tanım alanında analizler karşılaştırıldığında ve elde edilen veriler sonucunda;

1. En elverişsiz taban kesme kuvveti, yer değiştirme, görelî kat ötelemesi ve iç kuvvet değerlerinin, kullanılan deprem ivme kayıtları arasında Eth1 (Kocaeli) analizinde ortaya çıktığı tespit edilmiştir.
2. Yapı modelinin bulunduğu zemin sınıfının rijitlik değerlerinin azalmasıyla, taşıyıcı sistemin maruz kaldığı deprem yüklerinin arttığı ve bununla birlikte kolon ve kirişlerdeki iç kuvvet ve şekil değiştirme değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum yapının hedeflenen performans düzeyine olumsuz bir şekilde etki etmektedir.
3. Taban kesme kuvveti, yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, kolon ve kirişlerdeki iç kuvvet değerleri ve dağılımları için en büyük değerlere Z4 zemin sınıfı için yapılan analizlerde ulaşmıştır. Böylece zeminin rijitliği azaldıkça elde edilen analiz sonuçlarının daha büyük değerlere ulaştığı söylenebilir.

Kaynakça

- [1] G. Ozcebe , J. Ramirez , T. Wasti ve A. Yakut, «1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report,» 2004.
- [2] H. Sezen , A. Whittaker, K. Elwood ve K. Mosalam, «Performance of Reinforced Concrete Building During the August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and construction Practise in Turkey,» *Engineering Structures*, cilt 25, pp. 103-114, 2003.
- [3] H. Sucuoğlu, «The 1999 Kocaeli and Düzce-Turkey Earthquakes,» 2000.
www.metu.edu.tr/home/wwwweerc/guncel/koca-dzc.pdf.
- [4] TDY, *TDY*, Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [5] SAP2000, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*, Computers and Structures, Inc., California, 2012.
- [6] H. Krawinkler ve G. Seneviratna, «Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation,» *Engineering Structures*, pp. 452-464, 1998.
- [7] Y. Fahjan, «Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi,» *İMO Teknik Dergi*, pp. 4423-4444, 2008.
- [8] Xtract, *Cross-sectional X structural analysis of components*, Imbsen Software Systems, Sacramento, 2013.
- [9] PEER, «PEER Strong Ground Motion Database,» Pacific Earthquake Research Center , 2006.
<http://peer.berkeley.edu/smcat/>