

# Farklı Zemin Koşullarındaki Betonarme Yapıların Davranışının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile İncelenmesi: 8 Katlı Çerçeve Örneği

\* Hakan Öztürk, Gökhan Dok, Aydın Demir  
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi, Türkiye

## Özet

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 farklı zemin koşullarında 8 katlı betonarme bir çerçeve modeli, doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Analizle sonucunda taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, görel kat ötelemesi 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 ışığında zeminin rijitliği azaldıkça yapıda oluşan deprem etkilerinin arttığı gözlemlenmiştir.

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

## 1. Giriş

Yapılan güncel çalışmalar sonucunda ülkemizin büyük bir kısmının aktif deprem kuşağı üzerinde bilinmektedir. Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesel bir hal almıştır. Yaşanılan son depremlerde büyük ekonomik kayıplar ve acı tecrübeler göstermiştir ki ülkemizdeki yapı stokunun önemli bir kısmı ve yeni yapılacak binalar da deprem riski ile karşı karşıyadır. Deprem riski altındaki bu yapıların davranışlarının tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması önemli bir hal almıştır [1, 2, 3].

Betonarme yapıların şiddetli depremler etkisindeki davranışlarının ve deprem performanslarının belirlenmesi maksadıyla Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) birtakım hesap yöntemleri belirlenmiştir. 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 söylenebilir [4].

Ülkemizdeki mevcut yapıların performans değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler doğrusal ve

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: hakanozturk@sakarya.edu.tr, Phone: +902642957037

doğrusal olmayan olmak üzere iki gruba ayrılmıştır ve TDY 2007’de verilen hususlara göre uygulanmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda yapıların doğrusal elastik olmayan davranış gösterdiği ve yer değiştirmeye göre yapılan tasarımın çok daha önemli olduğu vurgulanmıştır [5]. Bu bağlamda yapılar deprem anında oluşan süneklik ve yer değiştirme talebi çok daha büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, TDY2007’de önerilen doğrusal elastik olmayan 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 bir çerçeve modeli için zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi farklı zemin sınıfları için uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır [6]. Analiz sonucunda taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, görelî kat ötelemesi ve elemanlardaki içî kuvvet değerleri kıyaslanmıştır.

## 2. Yöntem

Zaman tanım alanında (ZTA) hesap yöntemi yapıların deprem etkileri altında davranışını irdeleyen diğer yöntemlere göre sonuçları bakımında değerlendirilmesi daha zor olan ve en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yapılar deprem kuvvetleri etkisi altında doğrusal ötesi davranış gösterdikleri için bu yöntemin kullanılması daha uygundur [7].

Zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapı davranışı göz önüne alınarak taşıyıcı sisteme etki eden bir yer hareketinin adım adım entegre edilmesidir. Bu analiz süresince her bir zaman artımıyla birlikte yapısal sistemde meydana gelen yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklükleri meydana getiren deprem talebinin maksimum değerleri hesaplanır. Bu analiz yönteminde kullanılan deprem kayıtları, yapay yollarla üretilmiş, daha önceden kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri şeklinde olabilir [8].

Ancak kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi zaman tanım alanında hesap yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biridir. Bu analizde uygulanacak uygun deprem kaydının seçilirken depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe, yerel zemin koşulları, yırtılma yönü ve kaydın spektral içeriği gibi parametreler dikkatli bir şekilde incelenmelidir [7].

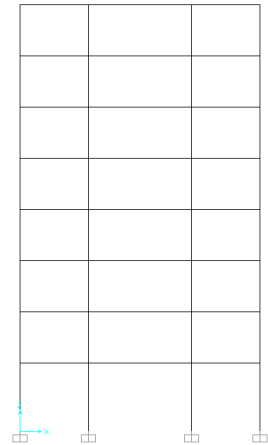
TDY2007’de, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmektedir. Deprem kayıtlarının aşağıda verilen özellikleri taşıması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

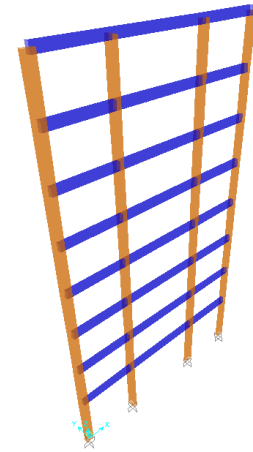
- Üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %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 çalışma kapsamında, TDY 2007'de belirtilen tasarım kuralları dikkate alınarak hazırlanmış 8 katlı betonarme bir çerçeve doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Taşıyıcı sistemde elemanlarında kullanılan beton basınç dayanımı 20 Mpa ve donatı çeliğinin akma dayanımı 420 Mpa olarak belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem yatay doğrultuda 3 açıklıklı ve 8 katlı olarak oluşturulmuştur. Bu yöndeki açıklıklar sırasıyla 4, 6, 4 m olacak şekilde ve kat yüksekliği zemin kat için 4 m diğer katlar için 3 m olarak tespit edilmiştir. (Şekil 2). Yapı modeli için bina önem katsayısı  $I=1$  ve deprem bölgesi  $A_0 = 0.4$  (1. derece deprem bölgesi) seçilerek farklı zemin koşulları dikkate alınarak analizler yapılmıştır.



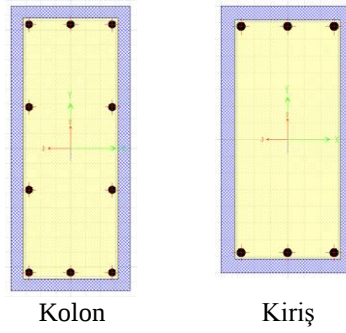
Çerçeve Planı Kesiti



Çerçeve 3D Modeli

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

Taşıyıcı sistem boyutlandırılırken TDY 2007 ile TS 498 ve TS 500 standartları de 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             |

Taşıyıcı sistem oluşturulurken, eleman boyutları, kesit özellikleri, donatı konfigürasyonları ile taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yük durumları göz önünden bulundurulmuştur [9]. Yapı modeli üzerinde plastik mafsall oluşması muhtemel bölgelerin özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesit özellikleri beton ve donatı sınıfı, boyuna ve enine donatı düzeni dikkate alınarak belirlenmiştir. XTRACT programı kullanılarak, sargılı ve sargısız Mander beton modeli durumlar için tüm kesitler dikkate alınarak moment eğrilik ilişkileri oluşturulmuştur. Bununla birlikte her bir kesite plastik mafsall özelliği tanımlanmıştır. Kolonlar için moment eğrilik ilişkisi belirlenirken kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet dikkate alınmıştır. plastik mafsallar, taşıyıcı sistem elemanlarında ilgili kesitlere atanmıştır [10]. Beton ve donatı çeliği için literatürde TDY 2007’de tanımlanan gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri kullanılmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Betonarme taşıyıcı sisteme ait analizler SAP2000 paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Üç farklı deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz farklı zemin sınıflarına sahip taşıyıcı sistemlere uygulanmıştır. Doğrusal elastik olmayan analizler uygulanarak elde maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum yer değiştirme değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

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

| Analiz Adı              | Z1    |       |       | Z2    |       |       | Z3    |       |       | Z4    |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | Nth1  | Nth2  | Nth3  | Nth1  | Nth2  | Nth3  | Nth1  | Nth2  | Nth3  | Nth1  | Nth2  | Nth3  |
| Maks. Taban Kesme (kN)  | 409   | 379.3 | 388.2 | 416.1 | 379.9 | 400.8 | 444.4 | 385.6 | 411.2 | 477.3 | 422   | 421.4 |
| Maks. Yerdeğiştirme (m) | 0.286 | 0.165 | 0.189 | 0.346 | 0.196 | 0.191 | 0.368 | 0.233 | 0.233 | 0.394 | 0.280 | 0.336 |

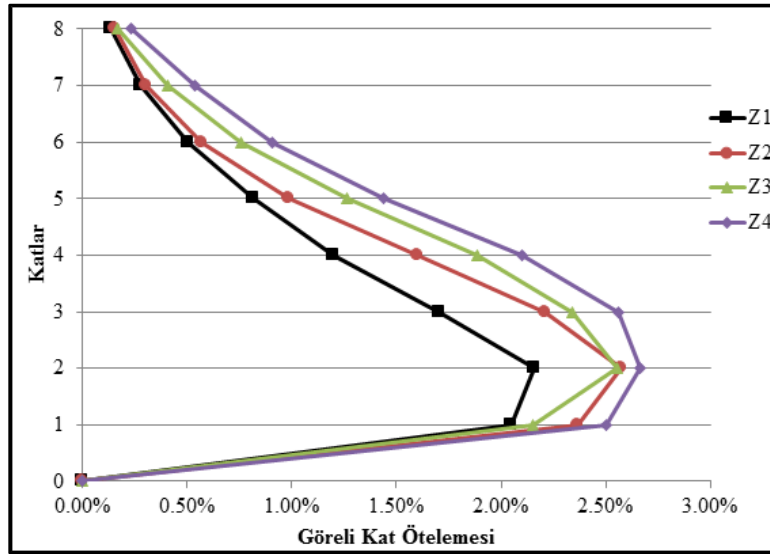
Yapılan analizler sonucunda ivme kayıtları incelendiğinde en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük tepe yer değiştirme değerlerinin bütün zemin sınıfları için Nth1 (Kocaeli) ivme kaydı ile olduğu görülmüştür. Bunlar içerisinde yine en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük tepe yer değiştirme değerleri 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 olmayan analiz yöntemi uygulanan 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.

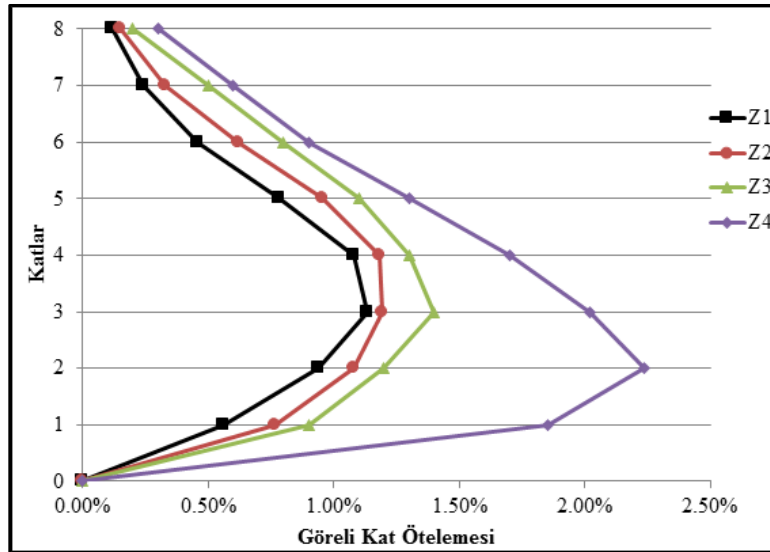
**Tablo 3.** ZTA Hesap Yönteminde Farklı Zemin Sınıflarına Göre Taban Kesme Kuvveti-Tepe Deplasman Değerleri ve Değişimleri

|             |                                     | Z1     | Z2     | Z3     | Z4     |
|-------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             |                                     |        |        |        |        |
| <b>Nth1</b> | Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)       | 409.00 | 416.10 | 444.40 | 477.30 |
|             | Maks. Tepe Deplasman (m)            | 0.29   | 0.35   | 0.37   | 0.39   |
|             | Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%) | 0.00   | 1.74   | 8.66   | 16.70  |
|             | Tepe Deplasmanının Değişimi (%)     | 0.00   | 21.33  | 28.72  | 38.00  |
|             |                                     |        |        |        |        |
| <b>Nth2</b> |                                     | Z1     | Z2     | Z3     | Z4     |
|             | Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)       | 379.30 | 379.90 | 385.60 | 422.00 |
|             | Maks. Tepe Deplasman (m)            | 0.16   | 0.20   | 0.23   | 0.28   |
|             | Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%) | 0.00   | 0.16   | 1.66   | 11.26  |
|             | Tepe Deplasmanının Değişimi (%)     | 0.00   | 18.81  | 41.57  | 70.08  |
| <b>Nth3</b> |                                     | Z1     | Z2     | Z3     | Z4     |
|             | Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)       | 388.20 | 400.80 | 411.20 | 421.40 |
|             | Maks. Tepe Deplasman (m)            | 0.19   | 0.19   | 0.23   | 0.34   |
|             | Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%) | 0.00   | 3.25   | 5.92   | 8.55   |
|             | Tepe Deplasmanının Değişimi (%)     | 0.00   | 1.16   | 22.89  | 77.59  |

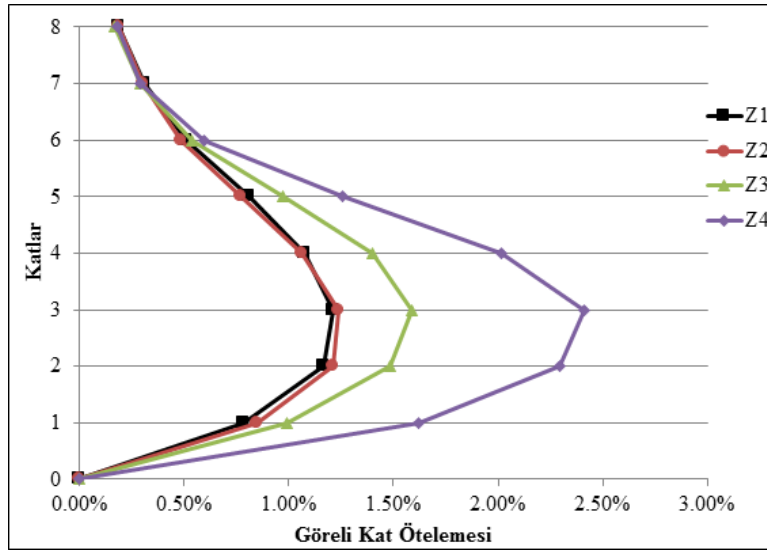
Zaman tanım alanında hesap yöntemine ait görelî kat ötelemesi ilişkisi Şekil 3-4-5’de gösterilmiştir. Şekil 3-4 ve 5’de sırasıyla Nth1 (Kocaeli), Nth2 (Northridge) ve Nth3 (Loma Prieta) farklı zemin sınıflarına ait görelî kat ötelemesi ilişkileri görülmektedir. Bu ivme kayıtları incelendiğinde en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin bütün zemin sınıfları için Nth1 (Kocaeli) ivme kaydı ile oluştuğu görülmüştür. Her üç ivme kaydı için de zemin rijitliği azaldıkça yani zemin yumuşadıkça görelî kat ötelemesi değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu artış zemin kötüleştikçe daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 3-4-5’de görüldüğü gibi örnek yapı modelimizde, Nth1 ivme kaydı için maksimum görelî kat ötelemesi %2 - %2.7, Nth2 ivme kaydı için maksimum görelî kat ötelemesi %1 - %2.3, Nth3 ivme kaydı için maksimum görelî kat ötelemesi %1.2 - %2.5 değerleri arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 3. Nth1’e (Kocaeli) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri



Şekil 4. Nth2'ye (Northridge) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri



Şekil 5. Nth3'e (Loma Prieta) Ait Farklı Zemin Sınıfları İçin Görelî Kat Öteleme değerleri

## 5. Değerlendirme

Yapılan doğrusal elastik olmayan analizler karşılaştırıldığında ve elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

1. Göz önüne alınan doğrusal elastik olmayan analizler incelendiğinde en elverişsiz taban kesme kuvveti, yer değiştirme, görelî kat ötelemesi ve iç kuvvet değerlerinin, kullanılan deprem ivme kayıtları arasında Nth1 (Kocaeli) analizinde ortaya çıktığı belirlenmiştir.
2. Taşıyıcı sistemin bulunduğu zemin sınıfının rijitlik değerlerinin azalması durumunda sisteme etki eden deprem yüklerinin arttığı ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvet ve şekil değiştirme değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum yapının hedeflenen performans düzeyine doğrudan olumsuz etki etmektedir.
3. Taban kesme kuvveti, yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvet değerlerinin ve dağılımları Z4 zemin sınıfı için en olumsuz değerler elde edilmiştir. Buradan zemin yumuşadıkça yani zeminin rijitliği azaldıkça elde edilen verilerin 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](http://www.metu.edu.tr/home/wwwweerc/guncel/koca-dzc.pdf).
- [4] TDY, *TDY*, Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [5] M. Aydınoğlu, «An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation,» *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, cilt 1, no. 1, 2003.
- [6] SAP2000, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*, Computers and Structures, Inc., California, 2012.
- [7] R. Lawson, V. Vance ve H. Krawinkler, «Nonlinear Static Pushover Analysis-why, when and how?,» *5 th US Conference on Earthquake Engineering*, Chicago, 1994.
- [8] H. Krawinkler ve G. Seneviratna, «Pros and cons of a pushover anaylsis of sismic performance evaluation,» *Engineering Structures*, pp. 452-464, 1998.
- [9] Xtract, *Cross-sectional X structural analysis of components*, Imbsen Software Systems, Sacramento, 2013.
- [10] PEER, «PEER Strong Ground Motion Database,» Pasific Earthquake Research Center , 2006. [Çevrimiçi]. Available: <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.. [Erişildi: 12 01 2014].
- [11] O. Güngör, *Mevcut bir karayolu köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile Performans değerlendirmesi*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [12] Y. Fahjan, «Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi,» *İMO Teknik Dergi*, pp. 4423-4444, 2008.