Farklı Zemin Koşullarındaki Betonarme Yapıların Davranışının Statik İtme Analizi ile İncelenmesi: 8 Katlı Çerçeve Örneği

*Gökhan Dok, Hakan Öztürk, 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 Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü 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, artımsal tek modlu itme analizi uygulanarak incelenmiştir. Analizler sonucunda taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, göreli kat ötelemesi ve elemanlardaki içi kuvvet değişimi ile plastik mafsal oluşum mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Analizlerde kullanılan betonarme çerçeve modeli 3 açıklıklı, 8 katlı ve 25 m yüksekliğinde olup kolon boyutları 250x600 mm, kiriş boyutları mm olarak seçilmiştir. Elde edilen veriler ışığında zeminin rijitliği azaldıkça yapıda oluşan deprem etkilerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, doğrusal elastik olmayan analiz, statik itme analizi

ABSTRACT

In this study, effect of soil class in nonlinear pushover analysis is researched by using nonlinear incremental single mode pushover analysis. Nonlinear incremental single mode pushover analysis is used for the purpose of modeling eight stories and three bay Reinforced Concrete RC frames with commercial finite element software package, SAP2000. In structural model, dimensions of beams and columns are chosen according to minimum design conditions of Turkish Earthquake Code 2007. All beams 250x500 mm and columns 250x600 are selected. According to analysis results, base shear force, top displacement and story drifts are compared. As the soil rigidity softens the displacement demand and the plastic hinge rotations increase. In other words, an elastic deformation in the structure can change into a plastic deformation when impedance functions are employed in the analysis.

Key Words: RC frame, nonlinear analysis, pushover analysis

1. Giriş

Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda ülkemizdeki yerleşim alanlarının büyük bir kısmı aktif deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımı çok daha önemli bir hal almıştır. Geçmiş depremlerde yaşanan acı tecrübeler ve büyük ekonomik kayıplar göstermiştir ki ülkemizdeki yapı stokunun büyük bir kısmı ve bununla birlikte yine bu

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: gdok@sakarya.edu.tr, Phone: +902642957415

bölgelerde yapılacak olan yeni yapılar da deprem riski ile karşı karşıyadır. Bu yapıların deprem davranışlarının tespit edilmesi ve deprem için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir [1, 2, 3].

Betonarme yapıların büyük depremler etkisindeki davranışlarının ve deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) çeşitli hesap yöntemleri sunulmaktadır. Bu yöntemler Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak sıralanabilir [4].

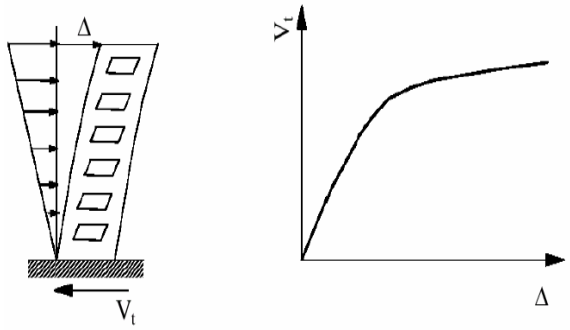
Türkiye'de mevcut binaların performans değerlendirilmesinde, yaygın olarak kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler, TDY 2007'de verilen hususlara göre kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda yapıların doğrusal elastik olmayan davranış gösterdiği ve yer değiştirmeye göre yapılan 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 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Statik İtme Analizi), TDY 2007'de tanımlanan farklı zemin sınıfları için analiz edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak 8 katlı ve 25 m. Yüksekliğe sahip 3 açıklıklı betonarme bir çerçeve yapı modeli için artımsal tek modlu itme analizi yöntemi farklı zemin sınıfları için uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır [6]. Analiz sonucunda taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, göreli kat ötelemesi ve elemanlardaki içi kuvvet değerleri yorumlanmıştır.

2. Yöntem

Statik itme analizi, yapıların deprem etkisi altında performanslarının ve deprem taleplerinin belirlenmesinde kullanılan doğrusal elastik olmayan yöntemlerden biridir. Statik itme analizi, teorik alt yapısı bilimsel olarak kabul edilmiş, kullanılabilir ve pratik bir analiz yöntemidir [7]. Bu analiz yöntemiyle taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar ve sonrasında yapı içindeki kuvvet dağılımı, yapını davranışının nasıl değiştiği gibi birçok veri elde edilebilmektedir [8].

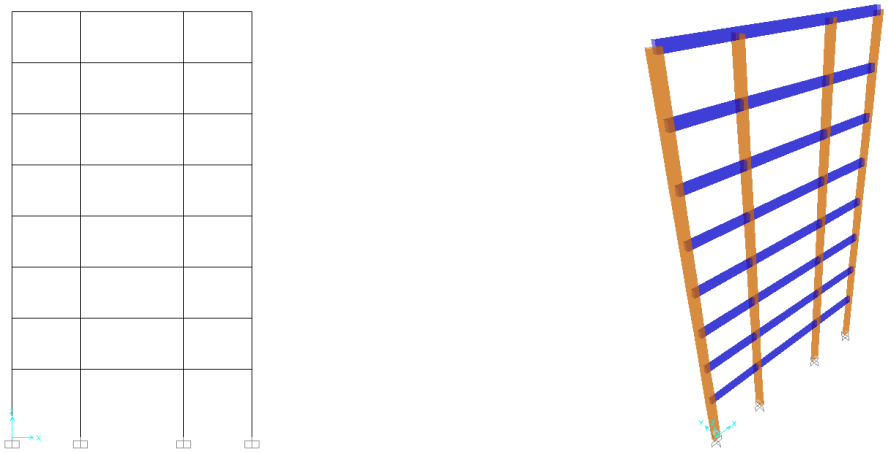
Artımsal tek modlu itme (pushover) analizi, daha önceden belirlenmiş bir dağılım göz önüne alınarak hesaplanmış yatay yükler sisteme etki ettirilir. Yapı, etki ettirilen bu yükler ile belirli bir limit değerine kadar adım adım arttırılarak taşıyıcı sistem elemanları kapasiteye ulaştırılır. Bu limit değer, iki şekilde ortaya çıkabilir. Taşıyıcı sistemin yanal stabilitenin bozulması veya yapıyı mekanizma durumuna getiren yatay yer değiştirme değerine ulaşılmasıyla oluşur. Artımsal tek modlu itme analizinde her bir adımında, taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik deformasyonlar hesaplanır. Buna bağlı olarak yapının taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı ilişkisini veren eğri yani kapasite eğrisi (pushover curve) belirlenir [Şekil 1]. Kapasite eğrisi, bu ilişkinin doğrusal ötesi değişimini göstermekte ve doğrusal elastik olmayan davranışı temsil etmektedir [7, 9].



Şekil 1: İtme şekli ve kapasite eğrisi [10]

3. Sayısal Çalışma

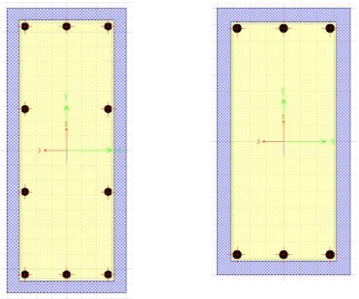
Bu çalışmada, TDY 2007'de öngörülen tasarım kuralları göz önüne alınarak hazırlanmış 8 katlı betonarme bir çerçeve sistemi statik tek modlu itme analizi, yöntemiyle incelenmiştir. Taşıyıcı sitemde kullanılan betonun basınç dayanımı 20 Mpa ve çelik akma dayanımı 420 Mpa olarak seçilmiştir. Sistem X yönünde 3 açıklıklı ve 8 katlı olarak oluşturulmuştur. X yönündeki açıklıklar sırasıyla 4, 6, 4 m olacak şekilde, kat yüksekliği zemin kat için 4 m diğer katlar için 3 m olarak alınmıştır. (Şekil 2). Taşıyıcı sistem bina önem katsayısı I=1 ve yapının bulunduğu deprem bölgesi $A_0 = 0.4$ (1. derece deprem bölgesi) seçilerek TDY 2007'de tanımlanan 4 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak analizler yapılmıştır.



Çerçeve Planı Kesiti Çerçeve 3D Modeli

Şekil 2. Yapı Plan ve 3D Görünüşü

Taşıyıcı sistem kolon boyutları 250 x 600 mm, kiriş boyutları 250 x 500 mm olarak seçilmiştir [Şekil 3]. Kolonların tamamında boyuna donatı oranı minimum 0.01 ve maksimum 0.04 olacak şekilde (10Ø16), kirişlerde ise (3Ø16) düz ve (3Ø12) montaj donatısı seçilmiştir. Kolonlarda kullanılan etriye (Ø10/100) ve kirişlerde kullanılan etriye (Ø8/100) şeklindedir.



Şekil 3. Taşıyıcı eleman kesitleri ve donatı özellikleri

Çerçeve sistem oluşturulurken TDY 2007 ile birlikte TS 498 ve TS 500 şartnameleri de göz önünde bulundurularak tasarım yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda kolon kiriş boyutları ve donatı düzenlerine ait bilgiler yer almaktadır (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

Çerçeve modeli oluşturulurken, yapısal eleman boyutları, kesit özellikleri, donatı durum ve düzenleri ile taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yük durumları dikkate alınmıştır [11]. Taşıyıcı sistem üzerinde plastik mafsal oluşması muhtemel bölgelerin özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesit özellikleri beton ve donatı sınıfı, boyuna ve enine donatı düzeni dikkate alınarak belirlenmiştir. XTRACT paket programı kullanılarak Mander beton modeli için sargılı ve sargısız durumlar her bir farklı kesit için dikkate alınarak moment eğrilik ilişkileri oluşturulmuş, buna bağlı olarak her bir kesitin plastik mafsal özelliği tanımlanmıştır. Kolonlarda moment eğrilik ilişkisi tanımlanırken kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet göz önünde bulundurulmuştur. Oluşturulan bu plastik mafsallar, taşıyıcı sistem üzerinde ilgili kesitlere atanmıştır [10]. Beton ve donatı çeliği için literatürde TDY 2007'de verilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır.

4. Sonuçlar

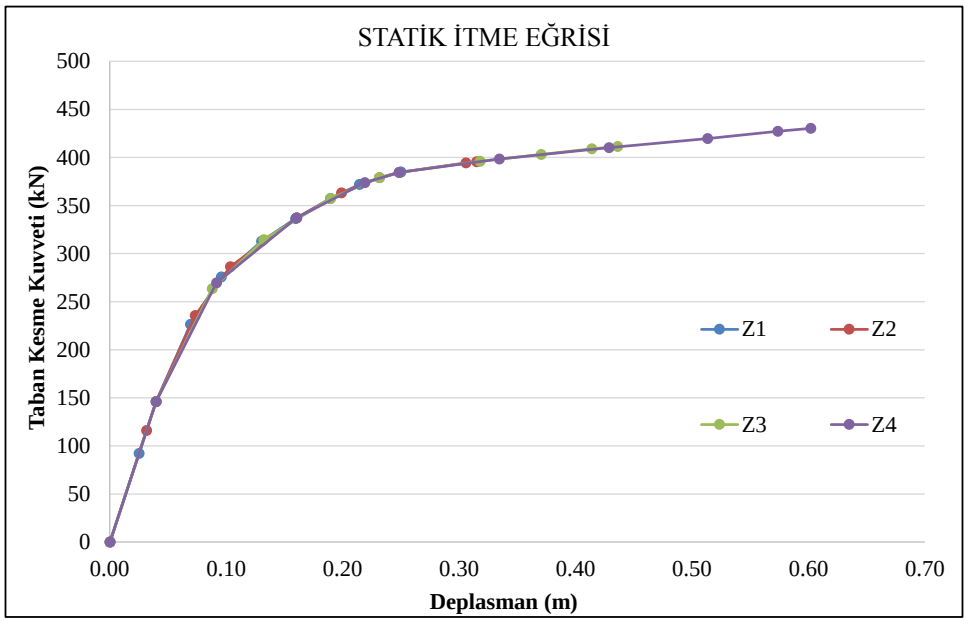
Betonarme çerçeveye ait modal parametreler SAP2000 paket programından faydalanılarak elde edilmiştir. Her bir mod için period, kütle katılım oranı, modal katılım çarpanı ve modal rijitlik değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesap yapılan deprem doğrultusunda kütle katılım oranlarının

toplamı en az %90 olacak sayıda mod hesaba katılmıştır. Yapı modeline ait modal parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Modal Parametreler

Modlar	Period (s)	Kütle Katılım Oranı UX	Toplam UX	Modal Katılım Çarpanı UX (kN-s²)	Modal Rijitlik (kN/m)
1	1.813	0.848	0.848	19.855	12.010
2	0.581	0.098	0.946	6.748	116.844
3	0.323	0.031	0.977	3.786	378.241

Analizde taban kesme kuvveti-tepe noktası deplasmanı ilişkisini veren eğri statik itme eğrisidir. Statik itme eğrisi, yapının birinci serbest titreşim modu ile uyumlu yük dağılımı yapıya yatay olarak uygulanmış, sistem mekanizma durumuna ulaşıncaya kadar adım adım artırılarak yapının tabanında oluşan taban kesme kuvveti ve tepe noktasında oluşan yer değiştirmeler belirlenerek çizilmiştir. Bu eğri sistemin doğrusal ötesi değişimini göstermekte ve doğrusal elastik olmayan davranışı temsil etmektedir. Yapılan tek modlu statik itme analizi sonucunda elde edilen statik itme eğrileri farklı zemin sınıflarına bağlı olarak Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Yapı modeline ait statik itme eğrisi

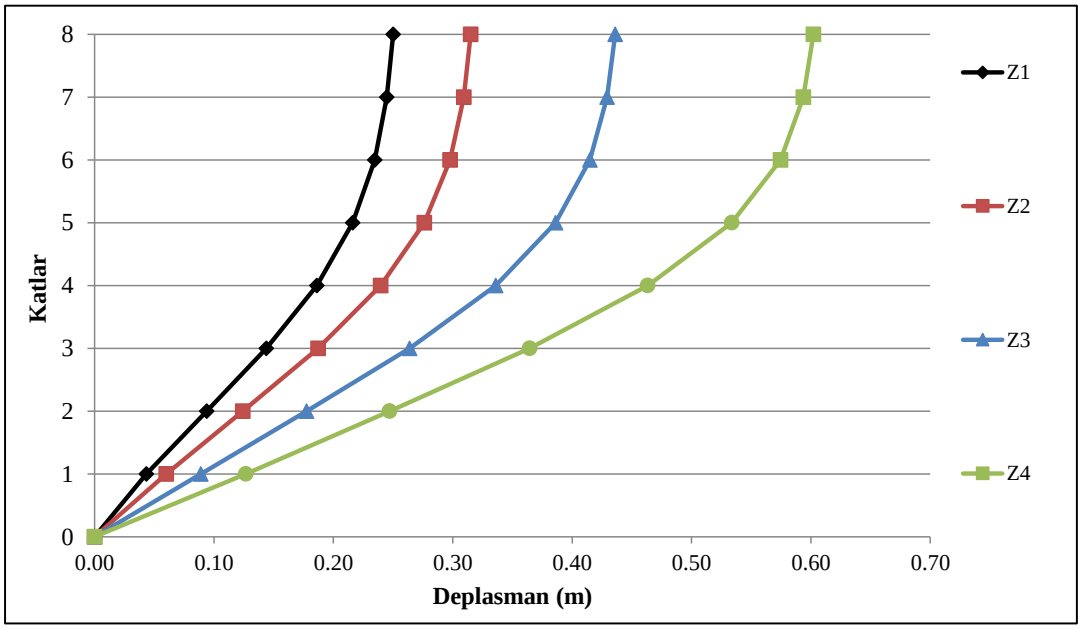
Elde edilen veriler ışığında zemin sınıfına bağlı olarak yapıda oluşan kuvvet talebi değişim göstermektedir. Taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanındaki değişimler ve değişimlerin yüzdeleri Tablo 3'te açıklanmıştır.

Tablo 3. Modal Parametreler

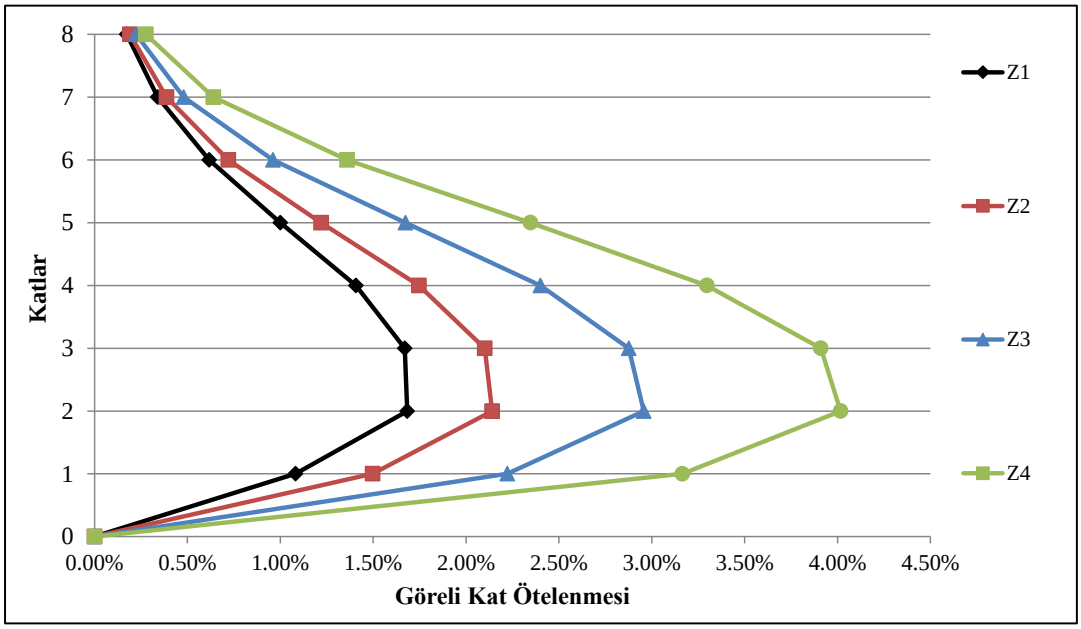
	Z1	Z2	Z3	Z4
Maks Taban Kesme Kuvveti (kN)	384.966	395.637	411.484	430.372
Maks. Tepe Deplasman (m)	0.250	0.315	0.436	0.602
Taban Kesme Kuvvetinin Değişimi (%)	0	2.77	6.89	11.79
Tepe Deplasmanının Değişimi (%)	0	25.99	74.37	140.74

Yapılan analizler sonucunda her bir farklı zemin sınıfı için yerdeğiştirme değerlerinin farklı oluştuğu görülmüştür. Zemin sınıfı değiştikçe yapıdaki deplasman talebinin değiştiği tespit edilmiştir. Zemin yumuşadıkça ve zeminin rijitliği azaldıkça yapıda meydana gelebilecek yerdeğiştirme değerleri büyümektedir. Bu duruma ait analiz verileri Şekil 5'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirme değerlerine bağlı olarak katların birbirleri arasında oluşan göreli kat ötelemeleri zemin durumlarına göre farklılıklar göstermiştir. Zemin yumuşadıkça göreli kat ötelemelerine ait sonuçlar daha büyük değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Zemin sınıflarına ve katlara bağlı olarak göreli kat ötelemelerinin değerleri Şekil 6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 5. Katlara göre deplasman değerleri



Şekil 6. Katlara göre göreli kat ötelemesi değerler

5. Değerlendirme

Yapılan tek modlu statik itme analizleri sonucunda;

1. Yapının bulunduğu zemin sınıfının rijitlik değerlerinin azalması durumunda sisteme etki eden yatay kuvvetlerin arttığı ve bununla birlikte taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvet ve şekil değiştirme değerlerinin büyüdüğü belirlenmiştir. Bu durum yapının taşıyıcı sistemi için öngörülen performans düzeyine olumsuz etki etmektedir.

2. Analizlerde incelenen taban kesme kuvveti, yer değiştirme ve göreli kat ötelemesi verileri Z4 zemin sınıfı için en olumsuz değerlere ulaşmıştır. Buna bağlı olarak zemin yumuşadıkça yani zeminin rijitliği azaldıkça yapıda oluşan kuvvet ve deplasman taleplerinin arttığı söylenebilir.

3. Yapıda oluşan deplasman talebine bağlı olarak katlar arası göreli kat ötelemelerinin arttığı ve bu değerlerinin TDY 2007'de performans düzeyleri için tanımlanan sınır değerleri aştığı görülmüştür. Bu nedenle doğrusal elastik olmayan analizlerde zeminin önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

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/wwweerc/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 push-over analysis - why, when and how?,» *Proceedings of. 5th US Conference on Earthquake Engineering,* Chicago, 1994.

[8] O. Güngör, *Mevcut bir karayolu köprüsnün doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile performans değerndirmesi,* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.

[9] H. Krawinkler ve G. Seneviratna, «Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation",» *Engineering Structures,* pp. 452-464, 1998.

[10] İ. Koçak, «Seçilen bir kamu binasının doğrusal ötesi davranışında beton dayanımı ve etriye aralığının etkisi. Yüksek Lisans Tezi. ,,» Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2007.

[11] Xtract, *Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems,* Sacramento, 2013.