

## TDY2007'ye Göre Tasarlanmış Betonarme Bir Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi

Naci ÇAĞLAR<sup>1\*</sup>, Hakan ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Aydın DEMİR<sup>1</sup> ve Abdulhalim AKKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

### Özet:

Özellikle Marmara bölgesi başta olmak üzere ülkemiz oldukça aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu bölgelerde bulunan ve yapılacak olan yapıların yüksek deprem riski altında olması kaçınılmazdır. Bu nedenle yapıların deprem etkisi davranışlarının incelenmesi gerekmektedir. Deprem etkisi altında güvenli ve ekonomik tasarım doğrusal olmayan davranışların incelenmesi ile elde edilebilir. Teknolojinin ilerlemesi ile doğrusal olmayan analiz yöntemleri deprem yükleri etkisi altındaki yapıların sismik davranışının belirlenmesinde ve tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY2007) uygun olarak tasarlanmış 3 katlı betonarme bir yapının artımsal statik itme analizi (pushover) ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizi yapılmıştır. Yapıların analizlerinde SAP2000 paket programı yardımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde dünyada meydana gelmiş olan 3 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, taban kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapı, Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri, Artımsal itme analizi, Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz.

### Abstract:

Turkey is under very important earthquake hazard risk since being on active faults. Therefore earthquake behavior of the structures being constructed on that places should be evaluated carefully. Safe and economic buildings can be designed reliably by investigating nonlinear behavior of them. Because of advances in technology nonlinear analysis methods can be conveniently used for the seismic design of the structures. In this study, pushover and time history analyses of a 3-story building designed according to Turkish Earthquake Code 2007 (TEC2007) are performed by using SAP2000 program. 3 real earthquake records are taken into account for the time history analyses. By using analyses results, base shears, interstory drifts, and story drift ratios of the structure are compared.

**Key words:** Reinforced concrete structures, Nonlinear analysis, Pushover analysis, Time history analysis

## 1. Giriş

Ülkemiz oldukça aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu bölgelerdeki mevcut yapılar ve yeni inşa edilecek olan yapılar da deprem riski altında bulunmaktadır. Bu nedenle yapıların depreme karşı dayanıklı ve yeterli güvenliğe sahip olup olmadığının önemi ortaya çıkmaktadır. Yaşanılan depremler göstermektedir ki; mevcut yapıların ve yeni yapılacak yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesi gerekmektedir.

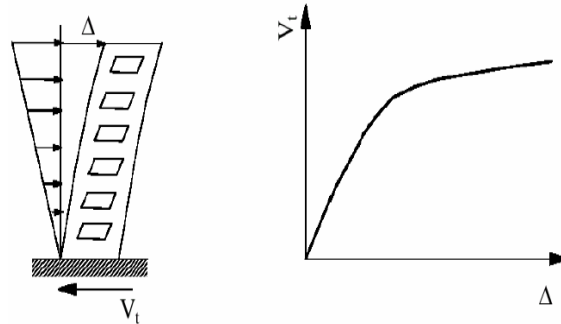
Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri olarak iki grupta verilmektedir. Birinci grupta Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi, ikinci grupta ise Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi yer almaktadır [1].

Bu çalışmada, TDY2007'de yer alan doğrusal elastik olmayan yöntemler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla TDY2007'ye uygun olarak tasarlanmış 3 katlı betonarme bir yapı incelenmiştir. Yapıda meydana gelen kat kesme kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır.

### 1.1. Statik İtme (Pushover) Analizi

Statik itme analizi, yapıları deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan ve doğrusal olmayan statik analiz prosedürüdür. Statik itme analizi, bilimsel altyapısı oturmuş ve kullanılabilir derecede pratik bir metottür [2]. Bu metot ile yapı elemanlarının hasarları sonrası yapı içindeki kuvvet dağılımı ve yapının davranışının nasıl değiştiği gibi birçok bilgi elde edilebilmektedir [3].

Artımsal statik itme (pushover) analizi, önceden belirlenmiş bir dağılıma göre yatay yüklerin sisteme etki ettirilmesi ve bu yüklerin belirli bir eşik değerine kadar adım adım artırılması prensibine dayanmaktadır. Bu eşik değeri, ya yapısal stabilitenin bozulması veya önceden belirlenmiş olan bir yatay yer değiştirme limitidir. Artımsal statik itme analizinin her adımında, iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanır ve yapının global itme eğrisi yani kapasite eğrisi (pushover curve) belirlenir (Şekil 1). Kapasite eğrisi, statik itme analizinin her adımında belirlenen taban kesme kuvveti ile tepe noktası yatay yer değiştirmesinin doğrusal ötesi değişimini göstermektedir [4].



Şekil 1: İtme şekli ve kapasite eğrisi [4]

Yapının yatay olarak itilmesi için değişik yük desenleri kullanılabilir. Yöntemin tanımlandığı ATC-40'da, Statik İtme Analizinde kullanılmak üzere, yapı davranışına bağlı olarak önerilen itme şekilleri tanımlanmıştır [5]. Yapıya etkiyen yatay yükün tamamının en üst kat seviyesinden etki ettirilmesi de bu itme şekillerinden biridir. Bir başka itme şeklinde ise çatıya ilave yük koyulmadan, her kat seviyesine eşdeğer deprem yükü yönteminden hesaplanan deprem yükleri etki ettirilir. Ayrıca, birinci modun baskın olduğu binalarda, hâkim mod şekli ile kat kütlelerinin çarpımının oranları olan yatay yüklerin kat seviyelerine etki ettirilmesi diğer bir itme şeklidir [4].

### **1.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Analiz**

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yönteminin amacı taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri belirlenir. Bina ve bina türü yapılarda zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz için, yapay yollarla üretilen, daha önceden kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir [6].

Zaman tanım alanında doğrusal elastik ve elastik olmayan hesap yöntemi yapıların deprem yüklerine karşı davranışını inceleyen ve en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yapılar deprem yükleri altında lineer davranmadıkları için bu yöntemin kullanılması daha uygundur [7]. Ancak zaman tanım alanında doğrusal elastik ve elastik olmayan hesap yöntemlerinde en önemli nokta uygun deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesidir. Bir deprem kaydının seçilebilmesi için depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe, yerel zemin koşulları, yırtılma yönü ve kaydın spektral içeriği göz önüne alınmalıdır [8].

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yapılmadan önce düşey yüklerin dikkate alındığı doğrusal elastik olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Doğrusal elastik olmayan statik itme analizinin sonuçları, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yönteminin başlangıç koşulu olarak verilmiştir. Başlangıç koşulu olarak verilen statik itme analizi hesabında düşey yükler ölü yüklerin tamamı ile azaltılmış hareketli yükler şeklinde ( $G + n * Q$ ) göz önüne alınmıştır. Analizlerde 3 adet gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Seçilen ivme kayıtları tek serbestlik dereceli %5 sönüme sahip doğrusal bir sistemin spektrumu olacak şekilde belirlenmektedir [7].

TDY2007'de, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal 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:

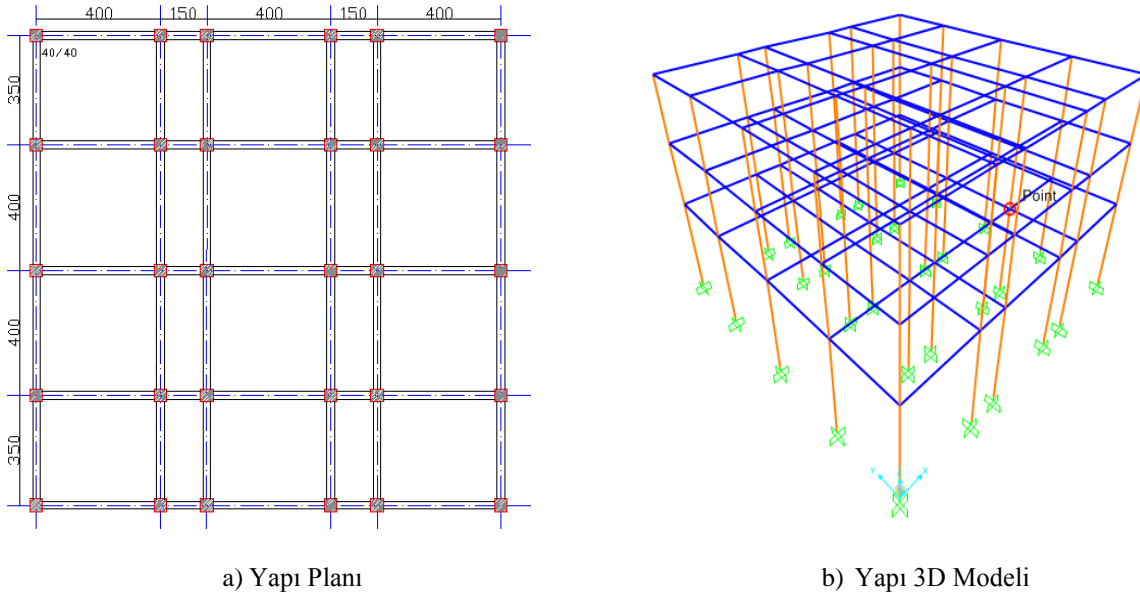
- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması

Aog'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  $T1$ 'e göre  $0.2T1$  ile  $2T1$  arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır [1].

## 2. Sayısal Çalışma

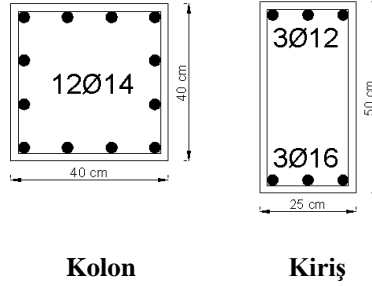
Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY2007) verilen tasarım ilkeleri dikkate alınarak hazırlanmış 3 katlı betonarme bir yapının artımsal statik itme analizi (pushover) ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizi yapılmıştır. Yapıda kullanılan betonun basınç dayanımı 20 Mpa ve çelik akma dayanımı ise 420 Mpa olarak alınmıştır. Betonarme yapı modeli X yönünde 5, Y yönünde 4 açıklığa sahiptir. Model 15x15m boyutlarında olup toplam yapı alanı 225 m<sup>2</sup>'dir (Şekil 2). Kullanılan model için bina önem katsayısı  $I = 1$ , deprem bölgesi  $A_0 = 0.4$  (1. derece deprem bölgesi) ve zemin sınıfı Z3 olarak alınmıştır.



Şekil 2. Yapı Plan ve 3D Görünüşü

Yapı modelleri oluşturulurken TS 498 ve TS 500 şartnameleri göz önünde bulundurulmuştur [9,10]. Yapı modeli 3 katlı olup, zemin kat yüksekliği 4,50m ve diğer katların yüksekliği 3,00m, kolon boyutları 40cmx40cm, kiriş boyutları 25cmx50cm, döşeme kalınlığı 12cm olarak seçilmiştir (Şekil 3). Kolonların tamamında boyuna donatı oranı minimum 0.01 ve maksimum 0.04 olacak şekilde (12Ø14), kirişlerde ise (3Ø16) düz ve (3Ø12) montaj donatısı seçilmiştir.

Kolonlarda kullanılan etriye ( $\text{Ø}10/100$ ) ve kirişlerde kullanılan etriye ( $\text{Ø}8/100$ ) şeklindedir.



Şekil 3. Taşıyıcı eleman kesitleri ve donatı özellikleri

Yapı modelleri oluşturulurken kat planları, taşıyıcı sistem eleman boyutları, kesit özellikleri, donatı durum ve düzenleri ile taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yük durumları dikkate alınmıştır [11]. Taşıyıcı sistem üzerinde plastik mafsall oluşması beklenen özellikle kolon-kiriş birleşim bölgeleri için kesit özellikleri (beton ve donatı sınıfı, donatı dizaynı) dikkate alınmıştır. XTRACT programı yardımı ile kolon kabuk betonu için Mander sargısız beton modeli, etriyelerle çevrili çekirdek betonunda ise Mander sargılı beton modeli dikkate alınarak aksel kuvvet moment etkileşim diyagramları elde edilmiş ve bu diyagramlar SAP2000 programına girilerek ilgili kesitlerin plastik mafsalları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu plastik mafsallar, taşıyıcı sistem üzerinde ilgili kesitlere atanmıştır [12]. Donatı çeliği için literatürde genel kabul görmüş deney sonuçlarından elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır.

### 3. Yöntem

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak 3 katlı betonarme bir yapı modeli için artımsal statik itme (pushover) analizi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yapılmıştır.

Statik artımsal itme analizi (pushover) bina taşıyıcı sistemine birinci mod şekli dikkate alınarak etki ettirilmiştir [13,14]. Öncelikle taşıyıcı sistem düşey yük etkisi altında analiz edilerek kiriş ve kolonlara ait çatlamış kesit eğilme rijitlikleri ve plastik mafsallar ilgili elemanlara atanarak artımsal olarak yükleme yapılmıştır. Artımsal yükleme etkisi altında analiz edilen 3 katlı betonarme yapıya ait statik itme eğrisi çizilmiştir. Elde edilen itme eğrisinden kapasite diyagramı çizilmiştir. Tasarım depreminden ivme spektrumuna geçilerek, modal yer değiştirme talebi belirlenmiş ve taşıyıcı sistem belirlenen bu talebe kadar yeniden itme analizi yapılmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz (Time History), yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde en etkin yöntemlerden biridir. Bu yöntemde deprem yükleri yapıya doğrudan uygulanmaktadır. Uygulanacak deprem kaydının belirlenmesinde, yönetmelikte [TDY2007] verilen yerel zemin koşullarına bağlı spektrum eğrisine uygun ve yeterli sayıda (en az 3 adet deprem kaydı) farklı kayıt kullanılarak çözüm yapılması gerekmektedir. [8]. Gerçek deprem kayıtlarının kullanılması aşamasında daha önce Fahjan (2008) tarafından yapılan çalışmada belirtilen ölçekleme katsayıları kullanılmıştır [8]. Çalışmada, Kocaeli (DZC180),

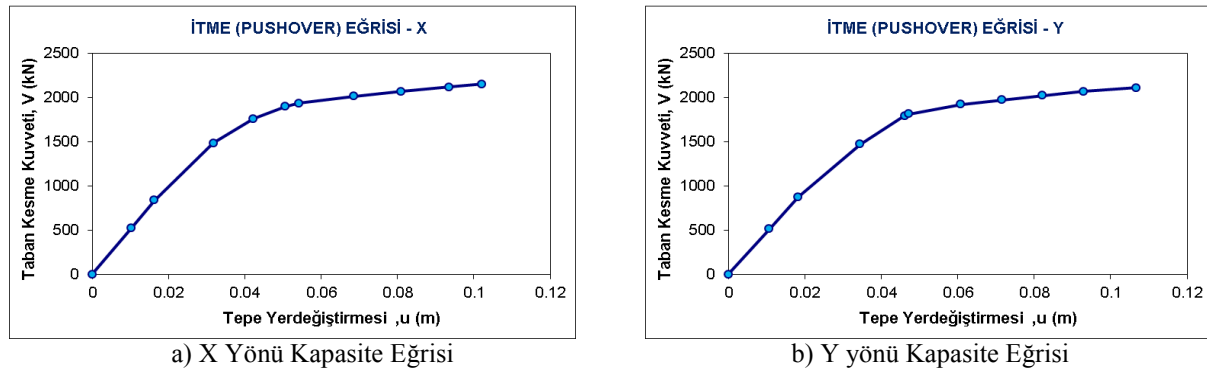
Northridge (NEE090) ve Landers (HOS180) deprem kayıtları kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezindeki (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center) kuvvetli yer hareketi veri bankasından alınmıştır [15]. Bu deprem kayıtlarına ait maksimum yer ivme değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Deprem Kayıtlarına ait Maksimum Yer İvme Değerleri

Yer	Deprem Kaydı	Maksimum Yer İvmesi (g)
Kocaeli	TH_DZC180	0.3116
Northridge	TH_NEE090	0.0558
Landers	TH_HOS180	0.0857

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan analizler sonucunda taşıyıcı sisteme ait X ve Y yönü için itme eğrisi (Şekil 1) verilmiştir. Yapının planda simetriğe yakın olması nedeniyle her iki doğrultuda yapılan artımsal itme analizi sonucunda taban kesme kuvvetleri ve buna karşılık gelen tepe yer değiştirme değerleri birbirine yakın çıkmıştır.



**Şekil 1.** Kapasite Eğrileri

Yapılan analizler sonucunda bu deprem kayıtlarına ait taban kesme kuvvetlerinin en büyük ve en küçük değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak her iki doğrultuda yapılan analizler sonucunda en büyük taban kesme kuvveti değerleri maksimum yer ivmesi değerleri daha büyük olduğu için Kocaeli deprem kaydından elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Deprem Kayıtlarına Ait Taban Kesme Kuvveti Sonuçları

kN_m_ C	Taban Kesme Kuvveti Sonuçları					
	TH_DZC180_ X	TH_DZC180_ Y	TH_NEE090_ X	TH_NEE090_ Y	TH_HOS180_ X	TH_HOS180_ Y
<b>Min</b>	-2221	-2179	-2148	-2104	-2116	-1984
<b>Max</b>	1850	1823	2006	1969	2045	1991

Kullanılan deprem kayıtları ve itme analizine ait maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve bu kuvvetlere karşılık gelen yapı tepe yer değiştirme değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Burada her iki yönde yapılan artımsal itme analizinde tepe yer değiştirmeleri diğer analizlere kıyasla en büyük değerleri almıştır. Üç farklı deprem kaydı ile yapılan analizler karşılaştırıldığında ise en büyük tepe yer değiştirme değerleri maksimum yer ivmesi değerleri daha büyük olduğu için Kocaeli deprem kaydından alınmıştır. Zaman tanım alanında hesap yönteminde tepe yer değiştirme değeri artımsal itme analizinden elde edilen tepe yer değiştirme değerinden daha küçük çıkmasının nedeni tekrarlı yükleme etkisi olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 3.** Deprem Kayıtlarına Ait Taban Kesme Kuvveti – Tepe Deplasman Değerleri

<b>Taban Kesme Kuvvetleri - Tepe Deplasmanları</b>		
<b>Deprem Kaydı</b>	<b>V-Taban Kesme (kN)</b>	<b>D-Tepe Deplasman (m)</b>
<b>Push_X</b>	2151	0.1022
<b>TH_DZC180_X</b>	-2221	0.0832
<b>TH_NEE090_X</b>	-2148	0.0742
<b>TH_HOS180_X</b>	-2116	0.0742
<b>Push_Y</b>	2108	0.1067
<b>TH_DZC180_Y</b>	-2179	0.0914
<b>TH_NEE090_Y</b>	-2104	0.077
<b>TH_HOS180_Y</b>	1991	0.0725

X ve Y yönlerine ait maksimum plastik dönme değerleri kullanılan deprem kayıtları ve itme analizleri sonucunda belirlenmiş ve Tablo 4 ve 5’de verilmiştir. Zemin katta göz önüne alınan 3 farklı kolona ait plastik dönme değerleri karşılaştırılmıştır. X yönüne ait analizlerde C1 ve C3 kolonları için elde edilen en büyük dönme değerleri Landers deprem kaydı ile elde edilirken C2 kolonu için en büyük dönme değeri Düzce deprem kaydı ile elde edilmiştir.

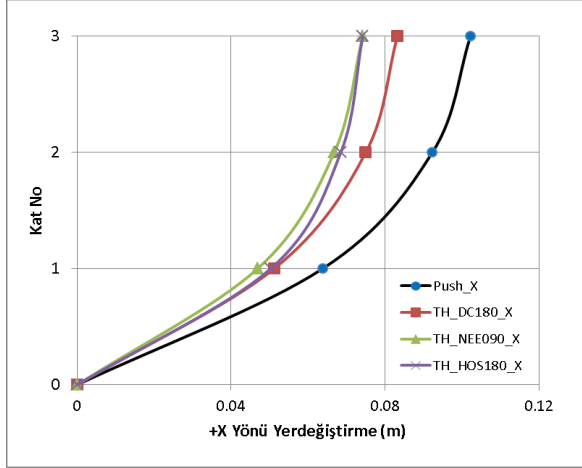
**Tablo 4.** Deprem Kayıtlarına Ait X-Yönü Plastik Dönmeler

<b>X - Yönü Maksimum Plastik Dönmeler ( Rad x 10<sup>-5</sup>)</b>				
<b>Kolon</b>	<b>Pushover</b>	<b>TH_DZC180</b>	<b>TH_NEE090</b>	<b>TH_HOS180</b>
<b>C1</b>	782	1840	422	3640
<b>C2</b>	783	6500	422	5550
<b>C3</b>	742	7710	385	18700

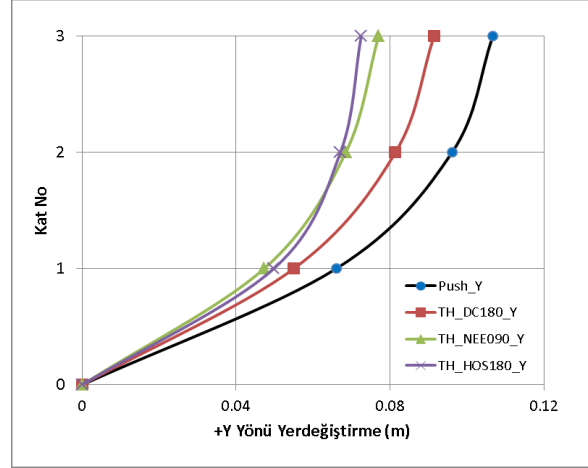
**Tablo 5.** Deprem Kayıtlarına Ait Y-Yönü Plastik Dönmeler

<b>Y - Yönü Maksimum Plastik Dönmeler ( Rad x 10<sup>-5</sup>)</b>				
<b>Kolon</b>	<b>Pushover</b>	<b>TH_DZC180</b>	<b>TH_NEE090</b>	<b>TH_HOS180</b>
<b>C1</b>	0	8	6	1010
<b>C2</b>	27	143	6	1670
<b>C3</b>	4	6840	11	1270

Kullanılan deprem kayıtları ve itme analizinden elde edilen yer değiştirme değerleri ve görelî kat öteleme oranları her bir kat için ve her iki doğrultuda sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. TDY2007'de belirtilen 3 deprem kaydı kullanılması durumunda sonuçların maksimum değerlerini veren yükleme durumunun göz önüne alınması nedeniyle her iki doğrultuda da maksimum yer değiştirme değerleri ve görelî kat öteleme oranları için Düzce deprem kaydının dikkate alınması gerekmektedir.

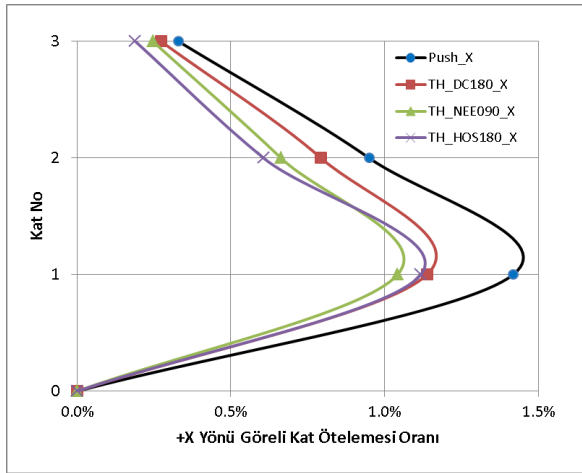


a) X-Yönü Yer Değiştirme

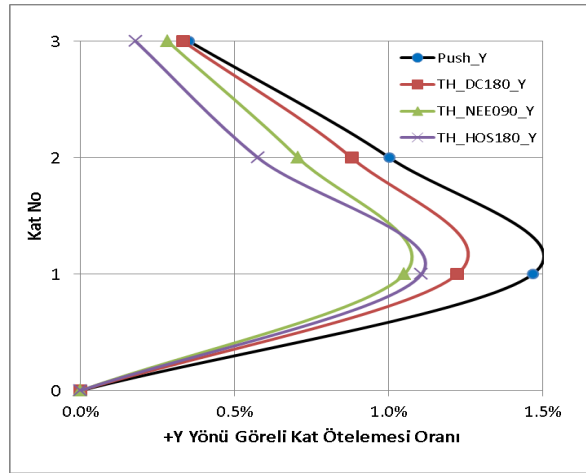


b) Y-Yönü Yer Değiştirme

Şekil 2. Deprem Kayıtlarına Ait X ve Y Yönü Yer Değiştirme Değerleri



a) X-Yönü Grel Kat telemesi



b) Y-Yönü Grel Kat telemesi

Şekil 3. Deprem Kayıtlarına Ait X ve Y Yönü Grel Kat telemesi Değerleri

## Kaynaklar

[1] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı, Ankara, 2007.

[2] Lawson RS, Vance V, Krawinkler H (1994) "Nonlinear static push-over analysis - why, when



and how?", Proceedings of. 5th US Conference on Earthquake Engineering, Vol. 1, Chicago, IL, pp 283-292.

[3] Krawinkler H, Seneviratna GDPK (1998) "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation" , Engineering Structures, 20, 4-6: 452-464.

[4] Koçak İ. (2007) Seçilen bir kamu binasının doğrusal ötesi davranışında beton dayanımı ve etriye aralığının etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi,

[5] ATC-40, 1996. Applied Technology Council, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Vol 1. Washington, DC. USA.

[6] Güngör O. (2010) Mevcut bir karayolu köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile Performans değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul teknik Üniversitesi.

[7] Aydınoglu, M. N. (2003). "An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation", to be published in Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 1, No.1.

[8] Fahjan, Y.M., Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi, 4423-4444, 2008.

[9] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.

[10] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

[11] CSI, SAP2000 V-15, 2012. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA

[12] Xtract v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827

[13] Chopra, AK, Goel RK (2001) A modal pushover analysis procedure to estimating seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation. PERR Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

[14] Priestley, MJN, Kowalsky, MJ (2000) Direct displacement-based seismic design of concrete buildings. Bulletin, NZ National Society for Earthquake Engineering, New Zealand.

[15] Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, 2006.