

## Yer Değiştirme Esaslı Yöntemlerin Elastik ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Armağan KORKMAZ<sup>1</sup>, Ali Haydar KAYHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli

Alınış: 13 Ağustos 2007

Kabul Ediliş: 29 Aralık 2007

**Özet:** Yer değiştirme esaslı yöntemler, yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan analizlere dayanan yapısal performans değerlendirme yöntemleridir. Bu yöntemler, son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremlerle birlikte yaygın hale gelmiş, ön değerlendirme niteliğindeki birçok kaynakta "Kapasite Spektrumu" ve "Yer Değiştirme Katsayısı" yöntemleri başlığı altında açıklanmıştır. Ülkemizde de Deprem Yönetmeliği 2007'de doğrusal elastik ve doğrusal olmayan yapısal performans değerlendirme yöntemleri sunulmuştur. Bu çalışmada, en büyük bina yer değiştirmesi açısından, kapasite spektrumu yöntemi, yer değiştirme katsayısı yöntemi, deprem yönetmeliği 2007'de öngörülen elastik yöntem ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ele alınarak örnek betonarme bir yapı üzerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapasite Spektrumu Yöntemi, Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi, Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi, Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemi

### Comparison of Displacement Based Methods with Elastic and Time History Analyses

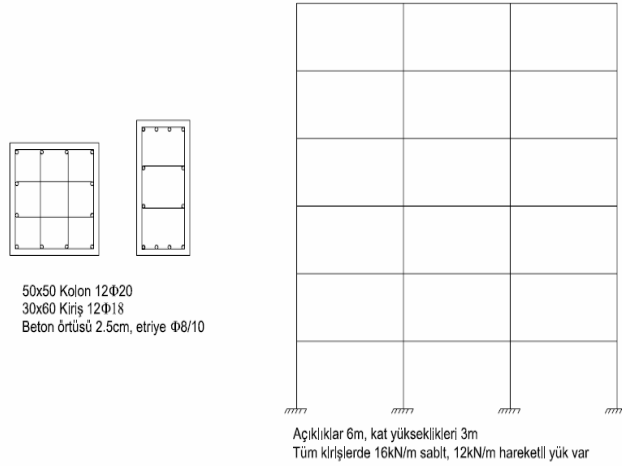
**Abstract:** Displacement based methods are structural performance evaluation methods, used to determine the structural behavior of existing structures under earthquake effect using nonlinear analyses. After recent earthquakes, the performance evaluation methods become common for earthquake assessment of the existing structures. In pre-standard sources, performance evaluation methods are defined as "Capacity Spectrum" and "Displacement Coefficient" Methods. In Turkey, with new version of Turkish Design Code published in 2007, linear and nonlinear performance evaluation methods are given. In this study, Capacity Spectrum, Displacement Coefficient methods, elastic method given in Turkish Design Code'07 and time history analyses are investigated and compared for a sample R/C building.

**Keywords:** Capacity Spectrum Method, Displacement Coefficient Method, Linear Elastic Method, Time History Analysis Method

### Giriş

Ülkemiz önemli bir deprem riski altında bulunmaktadır. Yaşanan depremler göstermiştir ki, ülkemizde yoğunluklu olarak görülen 3 ile 8 kat arası yükseklikte olan mevcut yapı stoku oldukça zayıf performansa sahip olup kötü malzeme ve işçilikle inşa edilmiştir. Yaşanan depremlerde gözlenen hasarlar, ilk kat yüksekliğinin fazla olması, zemin kattaki dolgu duvar miktarının az olması veya olmaması nedeniyle oluşan yumuşak kat etkisi, zayıf kolon-kuvvetli giriş, ağır kapalı çıkmalar ve enine donatı aralığının öngörülenden çok fazla olması gibi nedenlerle ilişkilendirilebilir (Ascheim ve Gülkan, 2000). Günümüzde yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde yapısal performans değerlendirme yöntemleri yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Bu yöntemlerde yapının deprem davranışı, yapının performans kriterleri ile belirlenmektedir. Performans değerlendirme yöntemleri FEMA273-274-356 ve 440 ve ATC40 kaynaklarında kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı yöntemi olarak verilmektedir (ATC 40, FEMA 273-274-356 ve 440). Ülkemizde de Deprem Yönetmeliği ABYYHY-2007'de doğrusal elastik ve elastik ötesi performans değerlendirme yöntemleri sunulmuştur (ABYYHY, 2007).

Bu çalışmada performans değerlendirme yöntemleri ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi, ele alınan 6 katlı betonarme bir çerçeve yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen örnek betonarme çerçeve yapı Deprem Yönetmeliği ve TS500'e göre SAP2000 programı ile boyutlandırılmıştır (ABYYHY, 2007; TS500, 2000; Habibullah, 2000). Şekil 1'de analizlerde kullanılan örnek betonarme çerçeve yapının şematik gösterimi verilmiştir. Yapı 3 açıklıklı olup, her açıklık 6m'dir. Yapının periyodu 0.72s, kat yüksekliği 3m'dir. Kolonlar 50cmX50cm, kirişler 30cmX60cm'dir. Kolon donatısı 12Ø20, kiriş donatısı 12Ø18'dir. Betonun basınç dayanımı ( $f_c$ ) 20 MPa, çeliğin akma dayanımı ( $f_y$ ) 420 MPa'dır.



Şekil 1. 6 Katlı Örnek Yapı ve Kiriş ve Kolon Şematik Gösterimi

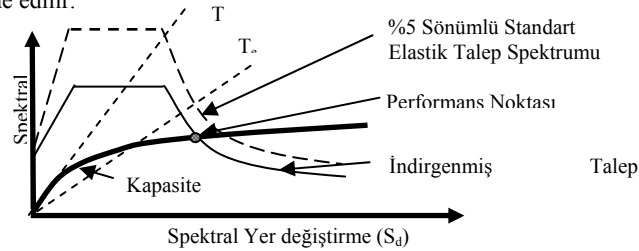
### Mevcut Yapıların Performanslarının Değerlendirmesi

#### Doğrusal Olmayan Davranış ve Artımsal İtme Analizi

Daha gerçekçi ve ekonomik bir yapısal tasarım, doğrusal olmayan malzeme taşıma kapasitesini göz önüne alarak, büyük yer değiştirmelerin geometrik uygunluk koşullarına etkisini hesaba katarak sağlanabilmektedir. Bu amaçlarla kullanılan yöntemler, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapının doğrusal olmayan davranışı gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri oldukça karmaşık olması nedeniyle pratikliğini kaybetmektedir. Böylece doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri daha çok kullanılabilir hale gelmektedir.

#### Kapasite Spektrumu Yöntemi

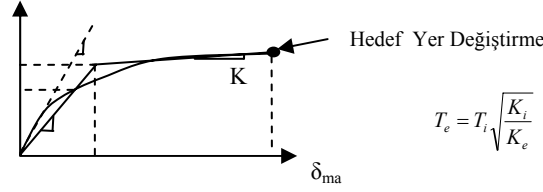
Applied Technology Council tarafından yayınlanan ATC 40'da, Kapasite Spektrumu yöntemi verilmiş ve bu yöntemle yapıların deprem etkisindeki yatay yer değiştirme talepleriyle yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirlerine bağımlı olduğu ifade edilmiştir. Bu yöntem, 2005 yılında yayınlanan FEMA 440'da güncellenmiştir. Kapasite spektrumu yönteminde, şekil değiştirmelere bağlı olarak elastik talep spektrumları indirgenip, performans noktasının belirlenmesi amaçlanmaktadır (FEMA 440, 2006). Öncelikle kapasite eğrileri elde edilir ve ardından, itme eğrileri, spektral formata dönüştürülerek indirgenmiş talep spektrumu ile kesiştirilerek Şekil 2'deki gibi performans noktası elde edilir.



Şekil 2. Kapasite Spektrumu Yöntemiyle Performans Noktasının Belirlenmesi.

#### Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi

Bu yöntem, belirli bir yer hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebiyle yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır (FEMA 356, 2000). Yer değiştirme talebi grafiksel olarak değil doğrudan sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Yapı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu, çevrimsel davranışını, ve ikinci mertebe etkilerini temsil eden katsayılar kullanılarak yer değiştirme talebi hesaplanmaktadır. Kolay ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle avantajlıdır. Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra elde edilen eğri, elastik rijitliği ifade eden ( $K_e$ ) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden ( $K_s$ ) doğru parçalarıyla Şekil 3'de gösterildiği gibi idealleştirilmektedir. Bir  $K_e$  doğrusu seçilerek  $V_y$  değeri belirlenir.  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilir. Eğer, bu değer  $0.60V_y$ 'ye eşit değilse  $K_e$  için yeni bir değer seçilerek işlem tekrarlanır. Bu şartı sağlayan idealleştirme yapıldıktan sonra etkin periyot ( $T_e$ ) hesaplanmaktadır.  $T_1$ : birinci doğal titreşim periyodudur.



Şekil 3. Kapasite eğrisinin iki doğru parçasıyla idealleştirilmesi

Yapının performans kontrolünün yapılacağı talep yer değiştirmesi ( $\delta$ ) şu şekildedir:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

Burada,  $S_a$ : Spektral ivme,  $g$ : yer çekimi ivmesi,  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  katsayıları yapının tepe yer değiştirmesinin spektral yer değiştirmeye ilişkilendiren katsayılarıdır ve FEMA'da tanımlandığı gibi alınır (FEMA 440, 2006).

#### Doğrusal Elastik Yöntem

ABYYHY 2007'de tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu yönetmelikte tanımlanan spektral ivmelerinin yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise 1.5 katı olarak alınacaktır. Yapıların deprem güvenliği, deprem etkisi altında beklenen hasarların durumları ile ilişkilidir ve farklı hasar durumları için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş yapıların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir (ABYYHY, 2007). Her deprem doğrultusu için, bir kattaki görelî kat ötelemesi:

$$\frac{\delta_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (2)$$

Bu denklemde  $\delta_{\max}$  ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesini,  $h_i$  ise kat yüksekliğini göstermektedir.

Çalışmada örnek yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla doğrusal elastik hesap yöntemlerinden "Eşdeğer Deprem Yüğü" yöntemi kullanılmıştır. Yapılara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükleri, ele alınan her bir yapı için hesaplanmıştır.

Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında kullanılan denklem ise;

$$V_i = \frac{WA(T_i)}{R_a(T_i)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (3)$$

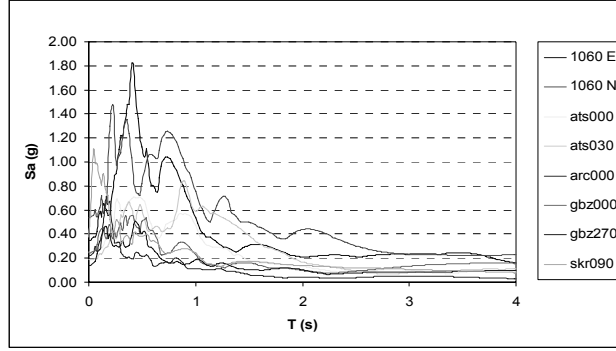
Burada, toplam eşdeğer deprem yükünün ( $V_i$ ) belirlenmesinde deprem yükü azaltma katsayısı ( $R_a(T)$ )=1 alınmıştır.  $W$ : Bina toplam ağırlığı,  $A(T)$ : spektral ivme katsayısı,  $A_0$ : etkin yer ivmesi katsayısı,  $I$ : bina önem katsayısıdır. Buna göre belirlenen deprem kuvvetleri her iki doğrultuda ve her iki yönde yapılara etkilmiş ve incelenen yapıların kiriş ve kolon elemanlarının kritik kesitlerine ait etki/kapasite oranları ( $r$ ) belirlenmiştir. Kiriş ve kolon kesitlerinin etki/kapasite oranları deprem yönetmeliğinde verilen sınır değerlerine göre verilmiştir (ABYYHY, 2007).

#### Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleri, deprem yüklerinin binaya doğrudan etkililerek analizlerin gerçekleştirilmesi nedeniyle, yapı davranışının en doğru şekilde elde edildiği analizler olarak tanımlanmaktadır (Li, 1996). Çalışmada performans değerlendirme yöntemleri doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılar, seçilen 8 deprem verisi ile analiz edilmiştir. Bu deprem verileri Kocaeli ve Düzce depremleridir. Gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizler, doğrudan yer değiştirme talebini vermektedir. Tablo 1'de seçilen Türkiye'de meydana gelmiş sekiz deprem verisi sunulmuştur (PEER, internet sayfası). Şekil 4'de bu deprem verilerinin spektrumları çizdirilmiştir.

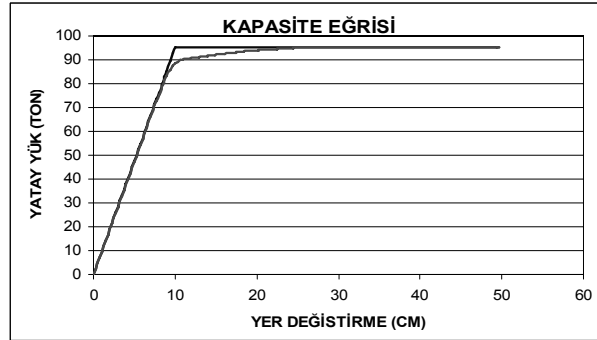
**Tablo 1.** Analizlerde Kullanılan Deprem Verileri

Deprem	Tarih	Moment Büyüklüğü ( $M_w$ )	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer İvmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)
<u>Düzce</u>	12/11/1999	7.1	1060 E	5.3	0.053	30.2
<u>Düzce</u>	12/11/1999	7.1	1060 N	11	0.028	30.2
<u>Düzce</u>	12/11/1999	6.7	ATS030	7.4	0.038	193.3
<u>Kocaeli</u>	17/08/1999	7.4	ARC000	17.7	0.2188	17
<u>Kocaeli</u>	17/08/1999	7.4	GBZ000	50.3	0.244	17
<u>Kocaeli</u>	17/08/1999	7.4	GBZ270	30	0.137	17
<u>Kocaeli</u>	17/08/1999	7.4	SKR090	79.5	0.376	3.1
<u>Kocaeli</u>	17/8/1999	7.4	ATS000	40	0.249	78.9

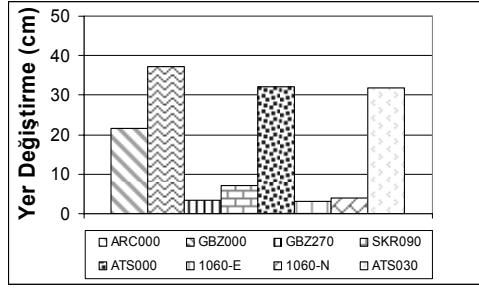
**Şekil 4.** Analizlerde Kullanılan Deprem Verileri Spektrumları.

#### Seçilen Örnek Yapılar Üzerinde Uygulanan Analizler

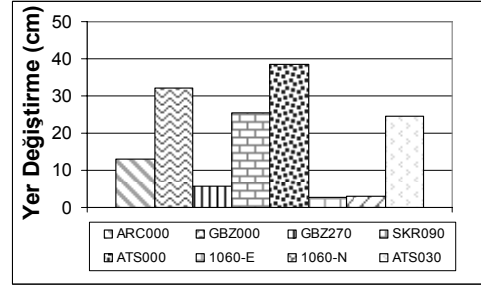
Çalışma kapsamında Şekil 1'de verilen örnek 6 katlı betonarme çerçeve yapı için analizler gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirme yöntemlerinde kullanılan artımsal itme eğrisi SAP2000 analiz programıyla elde edilmiştir (Habibullah, 2000). 2 boyutlu tasarlanan çerçeve yapı doğrultusunda elde edilen artımsal itme eğrisi Şekil 5'de verilmiştir. Elde edilen artımsal itme eğrisi kullanılarak kapasite spektrumu yöntemi ve yer değiştirme katsayısı yöntemi uygulanmıştır. Ardından elastik yöntemle yapının yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Yapının her deprem verisi için elde edilen yer değiştirme değeri zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen yer değiştirme değerleri ile karşılaştırılmıştır.

**Şekil 5.** Örnek Çerçeve Yapının Elde Edilen Artımsal İtme Eğrisi

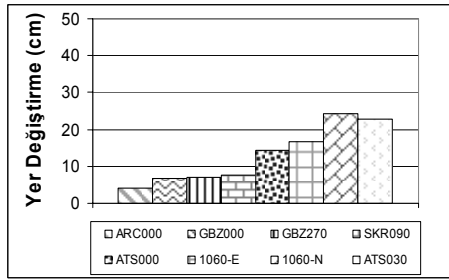
Yapılan analizler sonucunda, Şekil 6'da kapasite spektrumu yöntemi sonuçları, yer değiştirme katsayısı yöntemi sonuçları, doğrusal elastik yöntem sonuçları ve zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafiklerde her bir deprem verisi için elde edilen yer değiştirme değerleri sunulmuştur.



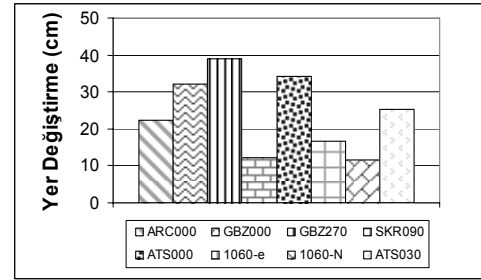
a. Kapasite Spektrumu Analizi Sonuçları



b. Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi Sonuçları



c. Doğrusal Elastik Yöntem Sonuçları



d. Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçları

Şekil 6. Tüm Yöntemlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması

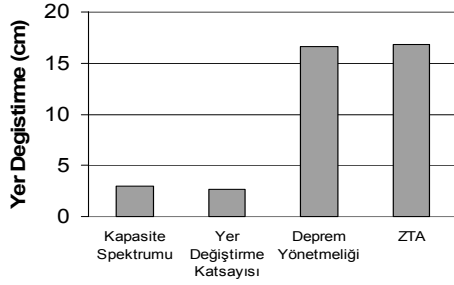
### Sonuçlar

Çalışma kapsamında, yer değiştirme esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Yer değiştirme esaslı yöntemler, günümüzde mevcut yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle yöntemlerin gerçekçi sonuçlar vermesi önemlidir. Yer değiştirme yöntemlerinin belirli bir deprem verisi altında binanın yer değiştirme değerini hesaplamakta kullanılması FEMA ve ATC tarafından önerilmektedir. Zaman tanım alanında dinamik analizlerin zaman alıcılığı ve karmaşıklığı nedeniyle bu yöntemler ön plana çıkmaktadır. Yer değiştirme esaslı analizlerin kullanılması değerlendirme açısından büyük kolaylık sağlamaktadır ancak yöntemlerin zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla uyumsuzluk göstermesi söz konusu olabilmektedir.

Elde edilen analiz sonuçlarının verildiği grafikler incelendiğinde kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı yöntemi sonuçlarının, zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarına göre daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Bu yöntemler, belirli bir yer hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebiyle yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu da yöntemlerin gerçekçi sonuçlar vermemesindeki önemli etkenlerdendir. Kat yüksekliklerine karşı yer değiştirme grafiklerinde çoğunlukla, zaman tanım alanında analiz sonuçlarından farklı çıkmaktadır. Bu yöntemleri karşılaştıracak olursak, kapasite spektrumu yöntemi ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçların, yer değiştirme katsayısı yöntemi sonuçlarına göre daha yakın değerlerde olduğu grafiklerden görülmektedir. Seçilen deprem kayıtları altında örnek betonarme çerçeve için yer değiştirme esaslı performans analizi sonuçları zaman tanım alanında dinamik analizi sonuçlarına yakın sonuçlar vermemektedir. Tablo 2'de ve şekil 7'de analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında dinamik analizi sonucunda en büyük yer değiştirme değeri, 38.88cm ile Kocaeli GBZ270 deprem verisi için elde edilmiştir. En düşük yer değiştirme değeri ise Düzce 1060N verisi ile 11.47cm olarak elde edilmiştir. Performans analizi yöntemleriyle elde edilen yer değiştirme değerleri bu deprem verisi için farklı sonuçlar vermiştir. İleriki çalışmalarda farklı özelliklerde çok sayıda örnek yapı seçilerek fazla sayıda deprem kaydıyla yöntemlerin karşılaştırılması, kesin yargılara varmak açısından gereklidir.

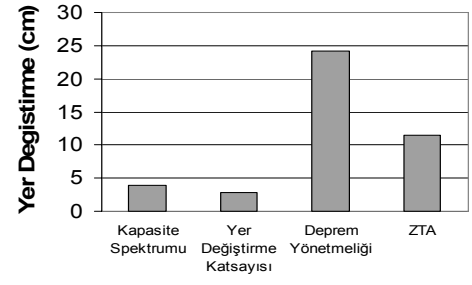
Tablo 2. Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması

Depremler	Sonuç Yer Değiştirme Değerleri (cm)			
	Kapasite Spektrumu	Yer Değiştirme Katsayısı	Deprem Yönetmeliği	ZTA Dinamik
1060E	3.00	2.65	16.64	16.79
1060N	3.89	2.89	24.24	11.47
ATS030	27.00	24.53	22.87	25.32
ARC000	21.5	13.17	4.00	22.2
GBZ000	37.2	32.01	6.71	32.23
GBZ270	3.4	5.74	6.89	38.88
SKR090	7.00	25.38	7.69	12.3
ATS000	29.8	38.51	14.42	34.17



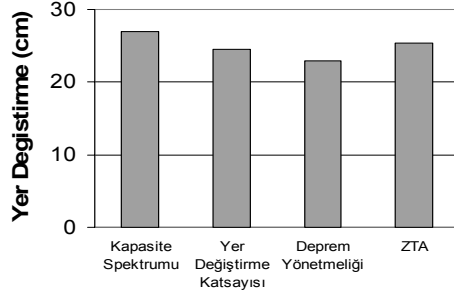
Yöntemler

a. 1060-E Depremi İçin



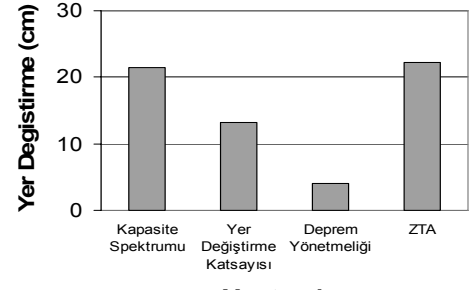
Yöntemler

b. 1060-N Depremi İçin



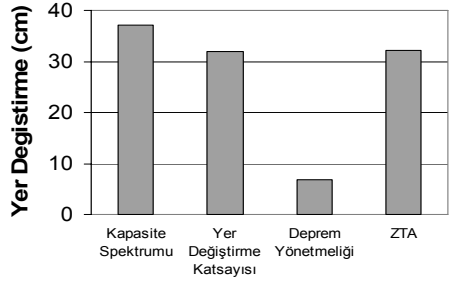
Yöntemler

c. ATS030 Depremi İçin



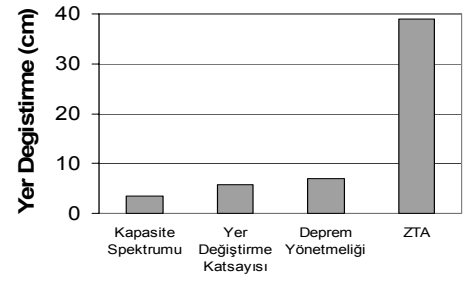
Yöntemler

d. ARC000 Depremi İçin



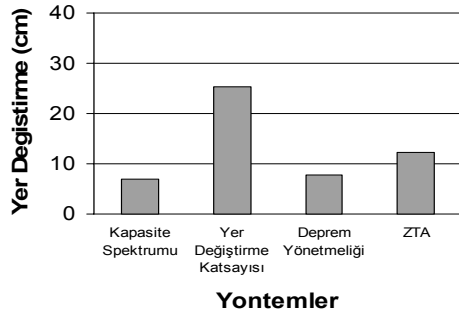
Yöntemler

e. GBZ000 Depremi İçin

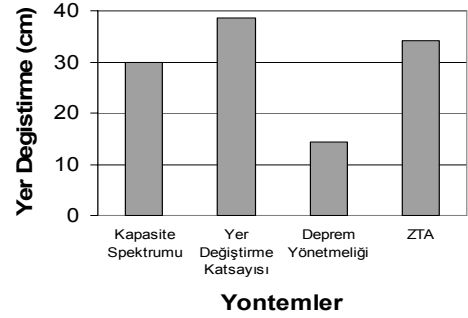


Yöntemler

f. GBZ270 Depremi İçin



g. SKR090 Depremi İçin



h. ATS000 Depremi İçin

Şekil 7. Performans Değerlendirme Yöntemleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

### Kaynaklar

- Aschheim M. and Gulkan, P. 2000. "Performance of buildings, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report", supplement to vol. 16 Earthquake Spectra.
- ATC-40, "Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Vol.1, Applied Technology Council, Redwood City, CA, 1996.
- ABYYHY-2007 "Afet Bolgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Ankara
- Habibullah A., Wilson E., Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Berkeley, ABD
- FEMA, "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures," FEMA-273-274, Washington, 1997.
- FEMA, "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures," FEMA-356, Washington, 2000.
- FEMA, "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures," FEMA-440, Washington, 2005.
- Li, Y.R., Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation, Doktora Tezi, Texas Üniversitesi, Austin, TX, ABD, 1996
- Pacific Earthquake Engineering Research Center internet veri sayfası <http://peer.berkeley.edu>
- TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. Kurumu, 2000