

## BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN OLASILIKLI SİSMİK ANALİZİ

**Armağan KORKMAZ ve Engin AKTAŞ\***

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Kaynaklar, İzmir, [armagan.korkmaz@deu.edu.tr](mailto:armagan.korkmaz@deu.edu.tr)

\* İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir, [enginaktas@iyte.edu.tr](mailto:enginaktas@iyte.edu.tr)

(Geliş/Received: 26.12.2004; Kabul/Accepted: 18.08.2005)

### ÖZET

Betonarme çerçeve yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde, analizlere olasılıklı ifadelerin dahil edilmesi, sismik davranışın daha gerçekçi tanımlanmasına yardımcı olacaktır. Çalışmada betonarme çerçeve yapıların olasılıklı sismik analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmış, bu amaçla örnek betonarme çerçeve yapılar ele alınmıştır. Bu betonarme çerçeve yapılar için öteleme analizleri DRAIN 2D programı ile yapılmıştır. Öteleme analizlerinin ardından zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Öteleme analizleri, zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın ardından kırılma analizleri yapılmıştır. Betonarme çerçeve yapıların olasılıklı sismik davranışını ortaya koymak amacı ile kırılma analizleri ile kırılma eğrileri elde edilmiştir. Çalışmanın ana amacı, öteleme analizleri ile zaman tanım alanında dinamik analizlerin karşılaştırılması sonucu, daha gerçekçi bir sismik davranış tanımlama ihtiyacının olduğunu göstermek ve kırılma analizleri ile, sismik davranışın olasılıklı olarak daha gerçekçi bir şekilde ifadesini sağlayabilmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kırılma analizleri, sismik analiz, betonarme çerçeve yapılar.

## PROBABILITY BASED SEISMIC ANALYSIS FOR R/C FRAME STRUCTURES

### ABSTRACT

Including the probabilistic assesment into analyses for determination of seismic behavior of R/C frame structures will help to estimate the seismic behavior better. In the present study, it is aimed to realize the reliability based seismic analyses of reinforced concrete frame structures. For this aim, push over analyses are done by using DRAIN 2D, and after that, time history analyses are performed with ten earthquake data. The results of two analyses are compared to each other. Also, for the same reinforced concrete frame structures, fragility analyses and evaluation of seismic fragility curves are realized. The fragility analyses are performed to establish the probabilistic characterization of the demands of the R/C frame structures. Fragility analysis is a system reliability analysis with correlated demands and capacity. The main goal of this study is to emphasize that a rational seismic behavior definition is necessary, which is presented as the result of comparison of time-history analysis and push over analysis. Fragility curves can be used to obtain more accurate estimation of seismic behavior of structures.

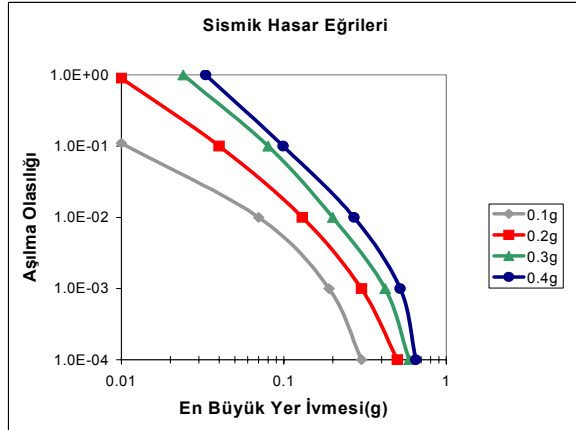
**Keywords:** Fragility analysis, seismic analysis, R/C frame structures.

### 1. GİRİŞ

Yapılar kullanım süreleri boyunca farklı yük etkilerinde kalırlar. Bu yüklerden, deprem yükleri analizi en karmaşık olan yükleme çeşididir. Hem depremlerin oluşması, hem de depremlerin yapıda meydana getirdiği tepkilerin rastsal özellikler içermesi sebebi ile, yapısal davranışın, deterministik bir yaklaşım yerine olasılıklı bir yaklaşımla ifade

edilmesi daha gerçekçi sonuçlar verebilir. Bu sebeple sismik etkiler altında olası hasarların belirlenebilmesi için ilk adım olarak, depremlerin oluşma sıklıkları gözönüne alınarak yıllık limit durum aşılabilme ihtimaline karşı en büyük yer ivmesi değeri (PGA) ile gösterilen sismik hasar eğrileri oluşturulmaktadır. Sismik hasar eğrileri jeolojik yapı, sismisite, yayılım azalması (attenuation), bölgesel özellikler ve yerel yerleşim şartları esas alınarak elde edilir [1,2].

Şekil 1’de, 0.1 g’den 0.4 g’ye değişen çeşitli seviyelerdeki tasarım depremlerine ( $E_D$ ), bağlı olarak sismik risk eğrileri verilmektedir [2].



Şekil 1. Sismik hasar eğrileri (NEHRP standardındaki değerleri ile çizilmiştir) [2]

Günümüz yapı şartnameleri, olasılıklı yaklaşımlara yatkın ancak, deterministik bir formatta tasarımcıya sunulmaktadır, bu sebeple, genellikle kabul edilebilir risk seviyelerinden bahsetmemektedir. Genel olarak risk, yıllık limit durum aşılma olasılığı veya olası hasar maliyeti cinsinden tanımlanabilir. En yaygın kullanım şekli, risk seviyesinin, yapının ekonomik ömrü için limit durum aşılma olasılığına karşı gelen  $\beta$ , güvenilirlik indeksi ile ifadesidir. Yapı şartnamelerinde yer alan dayanım limit durumu aşımına karşılık gelen  $\beta$  değeri (50 yıllık tasarım için) yapı kapasitesinin ve tepkisinin normal dağılım gösterdiği varsayılarak 3.0 olarak belirlenmiştir, bu da 50 yıl boyunca bir eleman için aşılma ihtimalinin  $1.35 \times 10^{-3}$  olduğu anlamına gelmektedir. Yükler ve yük etkileri rastgele değişkenler olduğundan, belirsizlik oranı arttıkça  $\beta$  değeri azalmaktadır; sabit ve hareketli yüke ilave olarak sismik yükün de dikkate alınması hedef güvenilirlik seviyesinin 1.75 seviyesine kadar inmesine sebep olmaktadır. Bu güvenilirlik ve ekonomi arasındaki ödünleşimin bir sonucudur [1].

## 2. OLASILIKLI SİSMİK ANALİZ

### 2.1. Sismik Analiz

Sismik analizde tasarım yükleri, nominal dayanım, dayanım katsayıları, yük katsayıları ile tasarım kriterlerine göre elde edilir. Afet Yönetmeliği 1998’e [3] göre Toplam Taban Kesme Kuvveti  $V_t$ :

$$V_t = WA(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 IW \quad (1)$$

A(T): Spektral İvme Katsayısı, R: Azaltma katsayısı; W: Bina Toplam Ağırlığı,  $T_1$ : Binanın Birinci Titreşim Periyodu,  $A_0$ : Etkin Yer İvmesi Katsayısı I: Bina önem Katsayısıdır. Toplam eşdeğer deprem yükü,  $\Delta F_n$  dışında bina katlarına şu şekilde dağıtılacaktır:

$$F_i = (V_t - \Delta F_n) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (2)$$

$H_i$ : Kat Yüksekliği,  $H_N < 25$  m için  $\Delta F_n = 0$   $H_N > 25$  m için  $\Delta F_n = 0.07 T_1 V_t$  [3].

#### 2.1.1. Doğrusal olmayan öteleme analizi

Öteleme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını ifade eden yatay kuvvet-deplasman ilişkisinin, adım adım artırılan yatay kuvvetlerin etkisindeki elemanların inelastik davranışlarının gözönünde bulundurulmuş elde edilmesine dayanmaktadır. Öteleme Analizinde elde edilen yatay kuvvet-deplasman eğrisiyle yapının zayıf elemanları, olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizması durumları, tüm yapının ve elemanlarının deformasyon talepleri belirlenebilmektedir [4-9].

#### 2.1.2. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz

Sismik taleplerin tahmin edilmesinde gerçeğe en yakın sonuçlar, deprem etkisinin yapıya doğrudan uygulanmasıyla elde edilebilir ki doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizinde de izlenen yöntem budur, ancak bu yöntem pratik olmadığı için genellikle tercih edilmemektedir. FEMA 273, 274, 356 ve 440 gibi kaynaklarda, pratik uygulamalarda tercih edilen doğrusal olmayan statik analiz metodları her ne kadar çok büyük gelişim gösterse de sonuçta doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizleri ile karşılaştırılarak değerlendirme yapılmaktadır [4-9].

### 2.2. Kırılabilirlik Analizleri

Bir yapının şiddetli bir depreme maruz kalması ekonomik ömrü içinde bir olasılıktır, yani risk mutlak değildir; bu süreç içinde şiddetli bir deprem oluşmama ihtimali de mevcuttur. Yapılar, sismik açıdan değerlendirilirken olasılık model ile gerçek davranışlarının farklılıkları da dikkate alınarak incelenmelidir. Kırılabilirlik analizleri, hasar olasılıklarını ve yapıların tepkilerini belirlemede bir araç olarak kullanılmaktadır. Hwang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda kırılabilirlik eğrileri detaylı olarak verilmiştir [10,11].

Petrovski ve Nocevski, çalışmalarında ele aldıkları yapıların kırılabilirlik eğrilerini elde etmişlerdir [12]. Singhal ve Kiremidjan hasar olasılık matrisini geliştirmişler ve kırılabilirlik analizlerini hasar ile ilişkilendirmişlerdir [13]. Tüm bu çalışmalar kırılabilirlik analizlerinin olasılıklı yapı davranışının belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Malzeme çeşitliliği, yapısal geometri önemli faktörlerdendir ve rasgele değişken olmalarından ötürü göçme olasılığı sıfırdan büyüktür.

Bu sebeple, yapısal güvenilirlik, olasılıklı model kullanılarak göçme olasılığının hesaplanması ile ifade edilebilir. Genellikle olasılıklı yapı kapasitesinin ve tepkisinin log-normal dağılım gösterdiği kabul edilmektedir [13]. Olasılıklı modele göre yapı kapasitesi, iki ana parametreye bağlıdır Bunlar, yapı kapasitesinin medyan değeri  $\bar{S}_{AC}$  ve logaritmik standard sapma  $\beta_C$ 'dir.

$$SA_C = \text{Ln} (\bar{S}_{AC} ; \beta_C) \quad (3)$$

Bina kapasitesinin medyan değeri ( $\bar{S}_{AC}$ ) binaya etkiyen deprem yükünün 1. moda karşı gelen spektral ivmesi cinsinden öteleme eğrisinden elde edilir. Bir elemanın gerçek kapasitesini belirlemek için, nominal dayanımlarını kullanmak yerine malzeme dayanımlarının ortalama değerlerini kullanmak daha doğru bir yaklaşımdır [14]. İyi tasarlanmış yapılar için kesme kapasitesi, eğilme kapasitesinden daha büyüktür ve yapının eğilme göçmesine uğraması beklenir. Bu sebeple kirişlerin ve kolonların eğilme kapasiteleri yapısal elemanların gerçek kapasitelerini belirlemede kullanılır. Sismik yapı tepkisi, sönüm ve yapısal periyod gibi parametrelerden etkilenir. Olasılıklı yapı tepkisi  $SA_R$  şu şekilde ifade edilebilir:

$$SA_R = \text{Ln} (\bar{S}_{AR} ; \beta_R) \quad (4)$$

$\bar{S}_{AR}$  : Medyan spektral tepki;  $\beta_R$  :Yapı tepkisinin logaritmik standart sapmasıdır. Tepki Spektrumu, PGA ile normalize edilmiş tepki spektrumunun çarpımıdır:

$\bar{S}_{AR}$  : Medyan Spektral Tepki Sepktrumu ise,

$$\bar{S}_{AR} = A_p \bar{S}_{An} \quad (5)$$

$A_p$ : PGA, Kırılgnlık analizinde parametre olarak kullanılır,  $\bar{S}_{An}$  : Normalize edilmiş spektral ivmenin medyan değeridir.

Yapıların kırılgnlık analizleri, PGA değerleri ve limit durumları için  $SA_R$  (Yapısal Tepki) ve  $SA_C$  (Yapısal Kapasite)'yi geçme ihtimali üzerine kurulmuştur. Şekil 4'de bu kırılgnlık eğrileri gösterilmiştir. Şartlı Limit durumu aşma olasılığı  $P_f = P_r(SA_C / SA_R \leq 1)$  dir. Yani binanın kapasite spektral ivme değerinin tepki spektral ivme değerine oranının 1'den küçük olma olasılığı şartlı limit durum aşılma olasılığı olarak ifadelendirilmiştir [14].  $SA_R$  (Yapısal Tepki) ve  $SA_C$  (Yapısal Kapasite) log normal dağılım gösterdiği için,

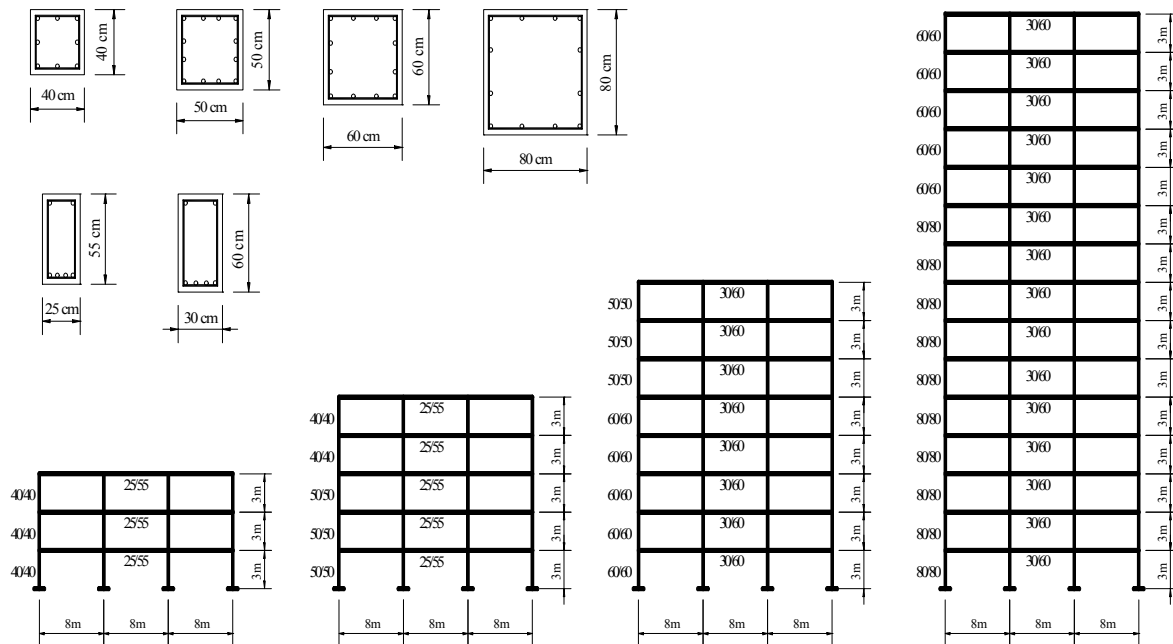
$$P_f = \phi \left[ \frac{-\ln \left( \frac{\bar{S}_{AC}}{\bar{S}_{AR}} \right)}{(\beta_C^2 + \beta_R^2)^{1/2}} \right] \quad (6)$$

6 nolu denklem kullanılarak şartlı limit durumu aşma olasılıkları hem ilk akma hem de göçme limit durumlarına göre çeşitli PGA değerleri altında hesaplanır ve kırılgnlık eğrileri elde edilir. Limit durumu aşma olasılığı, PGA değerleri arttıkça artım gösterir; deprem etkisi arttıkça binanın limit durumu aşma olasılığı artacaktır [10-12].

### 3. BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN OLASILIKLI SİSMİK ANALİZİ

#### 3.1. Betonarme Çerçeve Sistemlerinin Belirlenmesi

Çalışmada Şekil 2'de şematik gösterimi yapılmış olan 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme yapı çerçeveleri seçilmiştir, bu yapı sistemleri betonarme sıradan çerçeve yapı katagorisine girmektedir. Seçilen betonarme çerçeve yapılar, Afet Bölgelerinde



Şekil 2. 3-5-8-15 katlı betonarme çerçeve yapıların ve kesit alanlarının şematik gösterimi

Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 [3] ve TS 500 [15] esaslarına göre boyutlandırılmıştır. Tüm betonarme çerçeve yapılar üç açıklıklıdır. Her açıklık 800 cm, kat yüksekliği ise 300 cm'dir. 3 katlı çerçeve yapının birinci periyodu 0.54 sn, tüm kirişlerin kesitleri dikdörtgen ve 25cm/55cm ve  $A_s = 13.26 \text{ cm}^2$ 'dir. Tüm kolon boyutları ise kare ve 40cm/40cm ve donatı alanı  $A_s = 30.40 \text{ cm}^2$ 'dir. 5 katlı çerçeve yapının birinci periyodu 0.72 sn'dir. 5 katlı yapının tüm kirişlerinin kesitleri dikdörtgen ve 25cm/55cm ve  $A_s = 13.26 \text{ cm}^2$ 'dir. Kolon boyutları ilk üç kat için 50cm/50cm,  $A_s = 45.20 \text{ cm}^2$ 'dir. Son iki kat için ise 40cm/40cm ve  $A_s = 30.40 \text{ cm}^2$ 'dir. 8 katlı yapının birinci periyodu 0.90 sn, kiriş boyutları 30cm/60cm ve  $A_s = 45.00 \text{ cm}^2$ 'dir. Kolon boyutları ilk beş kat için 60cm/60cm ve  $A_s = 75.00 \text{ cm}^2$ 'dir. Son üç kat için 50cm/50cm ve  $A_s = 45.20 \text{ cm}^2$ 'dir. 15 katlı yapı için ilk 10 katta 80cm/80cm ve  $A_s = 145.00 \text{ cm}^2$ 'dir. Son 5 katta 60cm/60cm,  $A_s = 75.00 \text{ cm}^2$ 'dir. Kiriş boyutları 30cm/60cm ve  $A_s = 45.00 \text{ cm}^2$ 'dir. Bu yapının birinci periyodu 1.60 sn'dir. Şekil 2'de yapıların şematik gösterimi yapılmış, kolon ve kiriş kesitleri verilmiştir.

### 3.2. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Öteleme Analizi

Analizlerde binaların, sabit, hareketli ve yanal yükler

etkisi altında olduğu düşünülmüştür. Öteleme analizinde P- $\Delta$  etkisi de dikkate alınarak, yanal yüklemeler yapılmıştır. Elastik ötesi davranış için ideal elasto-plastik model benimsenmiş olup pekleşme tüm elemanlar için ihmal edilmiştir. Analizler Drain 2D ile gerçekleştirilmiştir [16]. Bu analizler ile yapıların elastik ötesi statik öteleme analizleri gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu analizler zaman tanım alanında dinamik analizlerle karşılaştırılmıştır.

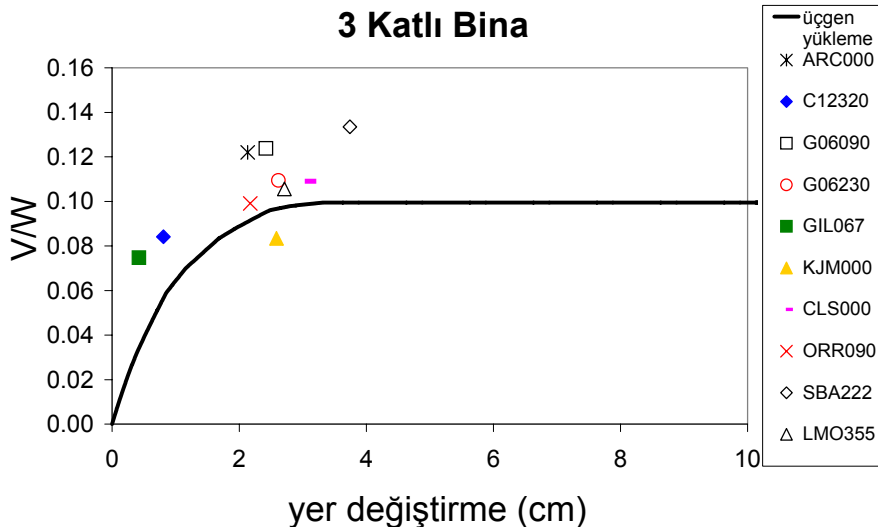
### 3.3. Betonarme Çerçevelerin Zaman Tanım Alanında Dinamik Analizi

Bu çalışma için doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Seçilen dört bina için sabit ve hareketli yükler altında, DRAIN 2D programıyla zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır [16]. Analizlerde on deprem verisi kullanılmıştır (Tablo 1). Tüm veriler için USGS zemin sınıflandırmasına göre zemin sınıfı B olarak alınmıştır. USGS zemin sınıflandırmasına göre B zemin sınıfı için kayma dalgası hızı,  $V_s$  : 360 m/s ile 750 m/s arasındadır [17].

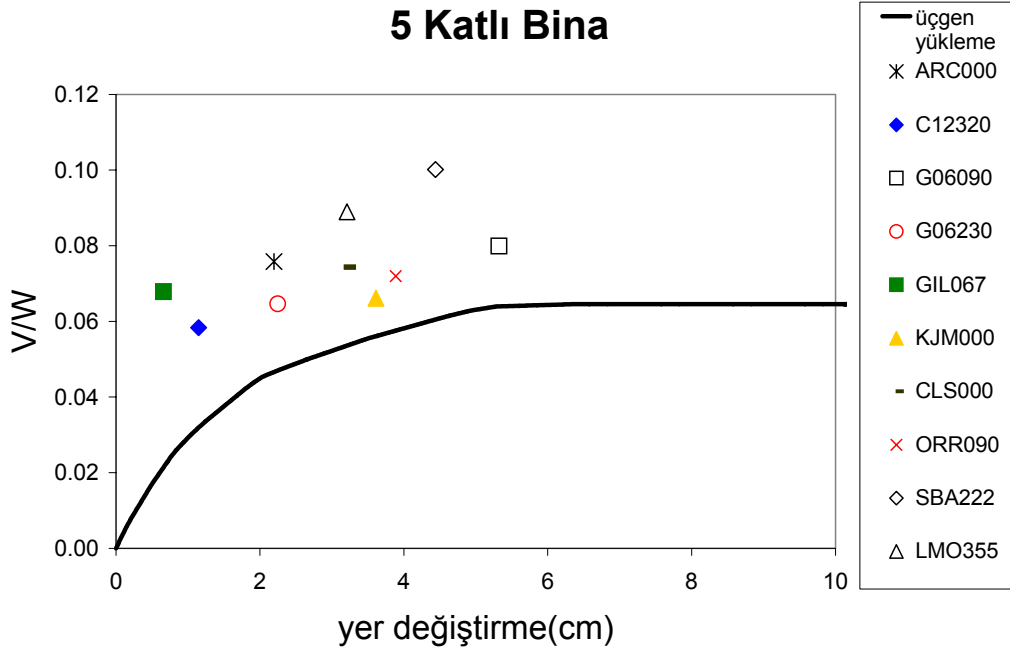
Şekil 3 ve 4'de sırasıyla 3 ve 5 katlı yapıların öteleme eğrileri verilmiştir. Aynı şekillerde bu yapılar için seçilen on deprem verisi ile elde edilen zaman

Tablo 1. Zaman artımı analizinde kullanılan deprem verileri

| Deprem        | Tarih      | İsim     | Pga (g) | Zemin Sınıfı | Fay Tipi          |
|---------------|------------|----------|---------|--------------|-------------------|
| Parkfield     | 28/06/1966 | C12320   | 0.0633  | B            | Yanal Atımlı      |
| Morgan Hill   | 24/04/1984 | GIL067   | 0.1144  | B            | Yanal Atımlı      |
| Kocaeli       | 17/08/1999 | ARC000   | 0.2188  | B            | Yanal Atımlı      |
| Morgan Hill   | 24/04/1984 | G06090   | 0.2920  | B            | Yanal Atımlı      |
| Coyota Lake   | 06/08/1979 | G06230   | 0.4339  | B            | Yanal Atımlı      |
| Northridge    | 17/01/1994 | ORR090   | 0.5683  | B            | Ters Eğik Atımlı  |
| Loma Prieta   | 18/10/1989 | CLS000   | 0.6437  | B            | Ters Oblik Atımlı |
| Kobe          | 16/01/1995 | KJM000   | 0.8213  | B            | Yanal Atımlı      |
| Santa Barbara | 13/08/1978 | SBA222   | 0.203   | B            | Ters Oblik Atımlı |
| Livermore     | 27/01/1980 | B-LMO355 | 0.252   | B            | Yanal Atımlı      |



Şekil 3. 3 katlı yapının öteleme eğrisi ve zaman tanım alanında dinamik sonuçları



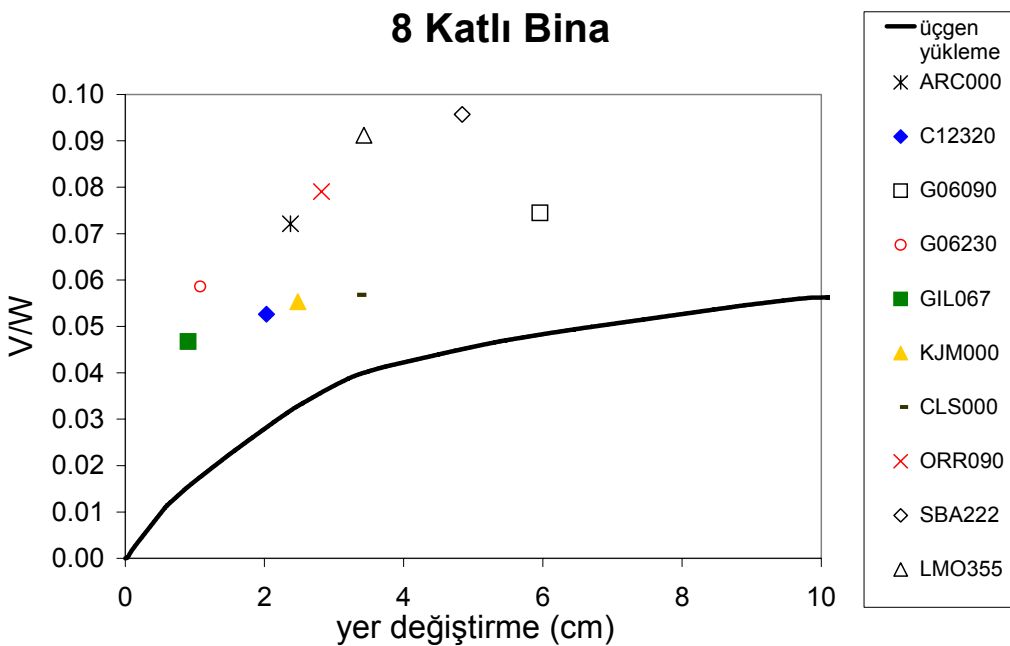
Şekil 4. 5 katlı yapının öteleme eğrisi ve zaman tanım alanında dinamik sonuçları

tanım alanında dinamik analizi sonuçları da sunulmuştur.

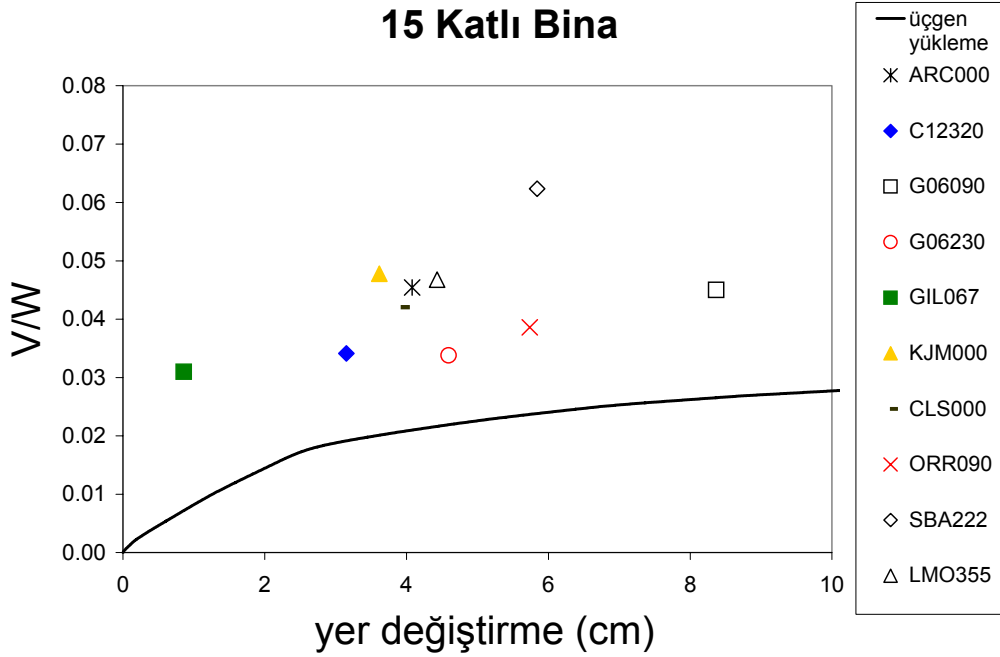
Şekil 5 ve 6'da sırasıyla 8 ve 15 katlı yapıların öteleme eğrileri verilmiştir. Aynı şekillerde bu yapılar için seçilen on deprem verisi ile elde edilen zaman tanım alanında dinamik analizi sonuçları da sunulmuştur.

Seçilen betonarme çerçeve yapıların statik öteleme analiz sonuçları şekil 3, 4, 5 ve 6'da verilmiş ve zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Betonarme yapıların sismik analizinde yaygın olarak kullanılmakta olan statik

öteleme analizleri, doğrusal olmayan analizler içinde en güvenilen analiz olan zaman tanım alanında dinamik analizlerle karşılaştırıldığında, öteleme analizlerinin, zaman tanım alanında analiz sonuçları ile birebir örtüşmediği görülmektedir. Özellikle kat adedi arttıkça bu iki analiz sonucu birbirinden uzaklaşmaktadır. Bu sebeple yapıların sismik davranışlarının değerlendirilmesinde sadece öteleme analizlerinin kullanılması yanlış sonuçlar doğurabilecektir. Bu sonucu engellemek amacıyla yapıların sismik analizlerinin olasılıklı olarak da değerlendirilmesi ve olasılıklı sismik analizlerin, sismik davranışın değerlendirmesinde kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir.



Şekil 5. 8 katlı yapının öteleme eğrisi ve zaman tanım alanında dinamik sonuçları



Şekil 6. 15 katlı yapının öteleme eğrisi ve zaman tanım alanında dinamik sonuçları

Buradan hareketle bu çalışmada betonarme çerçeve yapılar için olasılıklı sismik analizler yapılmıştır. Bu sismik analizler kırılma analizlerinin gerçekleştirilmesi ile yapılmıştır.

### 3.4. Betonarme Çerçeve Yapıların Kırılma Analizleri

Sismik değerlendirme analizlerinin olasılık ifadelerinin dahil edilmeden yapılması, yapının sismik davranışının ifade edilmesinde yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Çünkü analizlerde yapı kapasitesi ve tepkisi gibi ifadelerde değişik nedenlere bağlı belirsizlik ve eksiklik olabilir. Bu belirsizlik ve eksikliklerin olasılıklı bir şekilde ifade edilmemesi bu analiz yöntemlerinin sonuçlarının gerçekten farklı sonuçlar vermesine sebep olabilir.

Bu sebeple olasılıklı sismik analiz yöntemlerinin sismik değerlendirmede kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Kırılma analizleri yapıların olasılıklı sismik analizine imkan vermektedir. Kırılma, yapının hasar görülebilirliğinin olasılıklı ifadesidir. Deprem tehlikesi altındaki yapıların belirli bir deprem parametresi ile hasar risklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlere kırılma analizleri denilmektedir. Gelecekteki depremlerin büyüklüklerinin ve etkilerinin bilinmemesi nedeniyle, yapısal davranışı veya hasarı tahmin etmek mümkün olamayabilmektedir. Kırılma analizlerinde yapının sismik risk analizini ve sismik yer hareketine karşı olasılıklı tepkisini ifade etmek oldukça önemli ve gereklidir [11].

Kırılma analizlerinde basitleştirilmiş doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır. İleride meydana gelecek

depremlerin bilinmemesinden ötürü, hesaplamaların geçmişte olmuş depremler üzerine kurulması gereklidir. Bu sebeple, geçmiş depremler kullanılarak geleceğe yönelik analizler yapılmaktadır [12].

Yapıların kırılma analizleri, maruz kalacakları depremlerin en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri ve belirlenen limit durumları için yapısal tepkinin yapısal kapasiteyi geçme olasılığı üzerine kurulmuştur.

Bu çalışma kapsamında seçilen betonarme çerçeve yapıların kırılma analizleri seçilen ve tablo 1'de gösterilen deprem verileri için yapılmıştır. Normalize edilmiş spektral ivmenin medyan değeri ( $SA_n$ ), %5 sönüm oranlı normalize edilmiş tasarım tepki spektrumundan elde edilebilir. Eğer sönüm oranı %5'den farklı ise sönüm uyarılma katsayısı kullanılmalıdır. Betonarme binalar için sönüm oranları %5 ile %10 arasında alınabilir [11-13]. Yapısal tepkiyi etkileyen iki ana yapısal parametre vardır. Bunlar sönüm oranı ve yapısal periyodur. Yapısal periyodu ve sönüm oranı göz önüne alan  $\beta_R = \sqrt{0.2^2 + 0.3^2} = 0.36$  'dır. Logaritmik standart sapma ( $\beta_C$ ) ise 0.28 ile 0.30 arasındadır [11,12]. Bu çalışma için ilk akma limit durumu için  $\beta_C$  0.30 alınmıştır.

Limit durumları olarak yapının göçme, burkulma durumu, denge kararsızlığı, yanal deplasman limiti ve kullanılabilirlik gibi durumları alınabilir. Ancak ilk akma ve göçme iki ana limit durumdur. Bir moment dayanım çerçevesi için, ilk akma noktası yapının herhangi bir yerinde ilk plastik mafsallın oluşumu olarak tanımlanır. Bu nedenle ilk akma limit durumu kullanılabilirlik limit durumu olarak ele alınabilir. Yapının göçme durumu ise yapıda tükenme

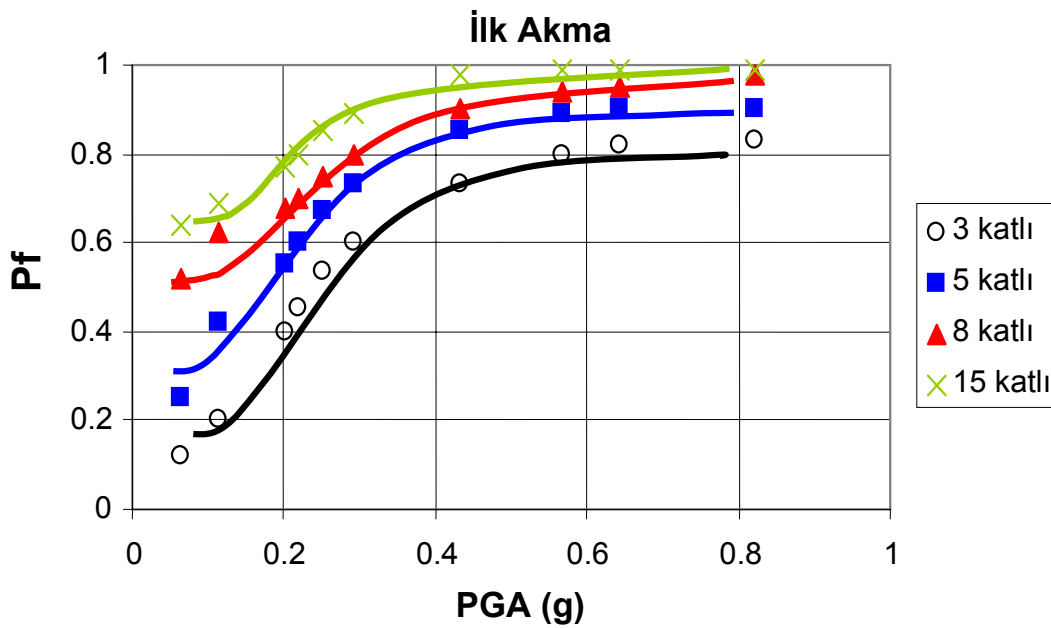
mekanizmasının oluşumu olarak tanımlanır. Göçme limit durumu dayanım limit durumunu temsil eder [14]. Çalışma için güvenlik değeri  $S_R=SA_C/SA_R$  ile belirlenmiştir. Seçilmiş olan dört çerçeve yapı için 0.0633 ile 0.8213g arasında değişen depremler uygulanarak,  $SA_C$ ,  $SA_R$ , ve  $S_R$  değerleri elde edilmiştir.  $SA_C$  deterministik yapısal kapasite değerini,  $SA_R$  ise Yapısal tepki değerini ifade etmektedir. Bu çalışmada ilk akma ve göçme limit durumları göz önüne alınmış ve bu limit durumlarına göre kırılma olasılıkları elde edilmiştir.

Şekil 7 ve 8’de sırasıyla her yapı için PGA değerlerine karşı ilk akma ve göçme limit durumu olasılıkları tek bir grafik halinde verilmiştir. Denklem 6 kullanılarak, limit durumu olasılıkları, limit

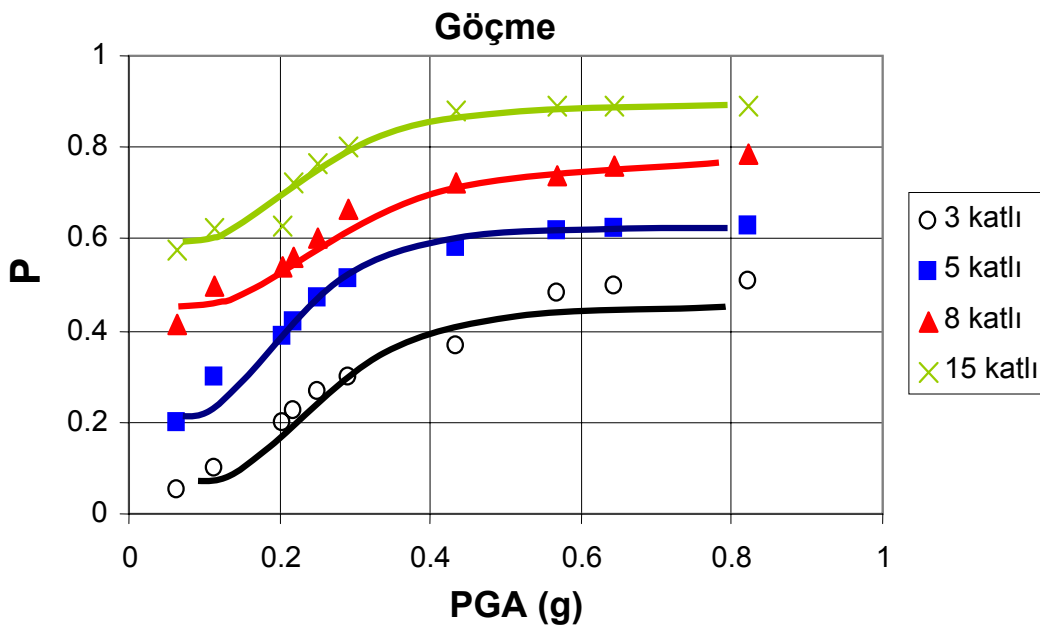
durumlarına göre PGA değerlerine karşı aşılma olasılıkları ( $P_f$ ) hesaplanarak kırılma eğrileri elde edilir.

Şekil 9 ve 10’da sırasıyla 3 ve 5 katlı yapıların kırılma eğrileri verilmiş ve bu eğriler ilk akma ve göçme limit durumları için elde edilmiştir. Seçilen deprem verilerine ait PGA değerlerine karşı aşılma olasılıkları ( $P_f$ ) hesaplanarak kırılma eğrileri elde edilmiştir.

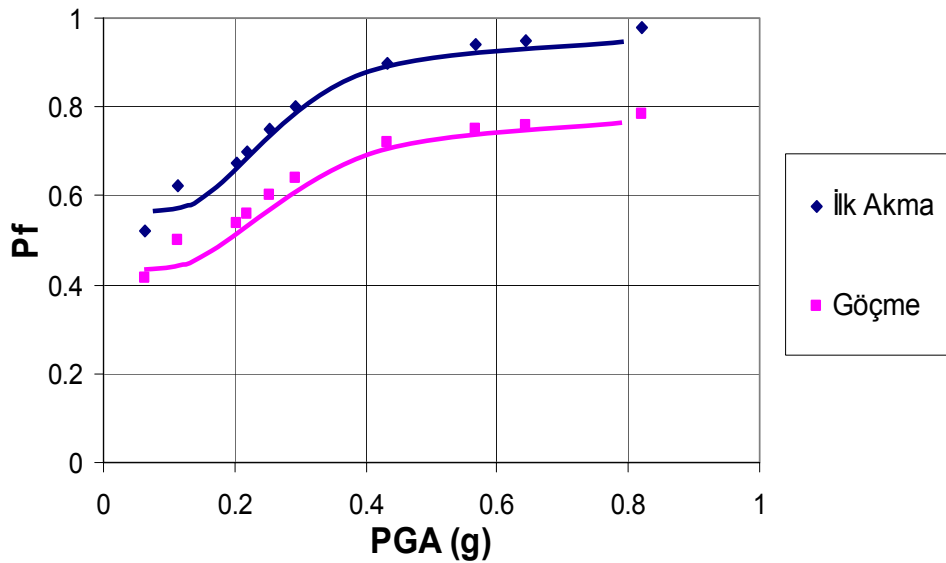
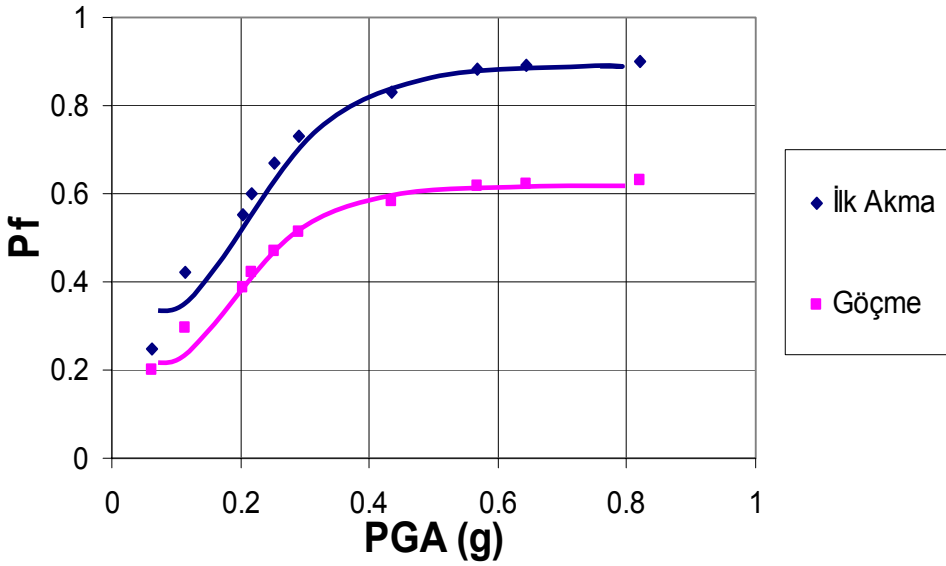
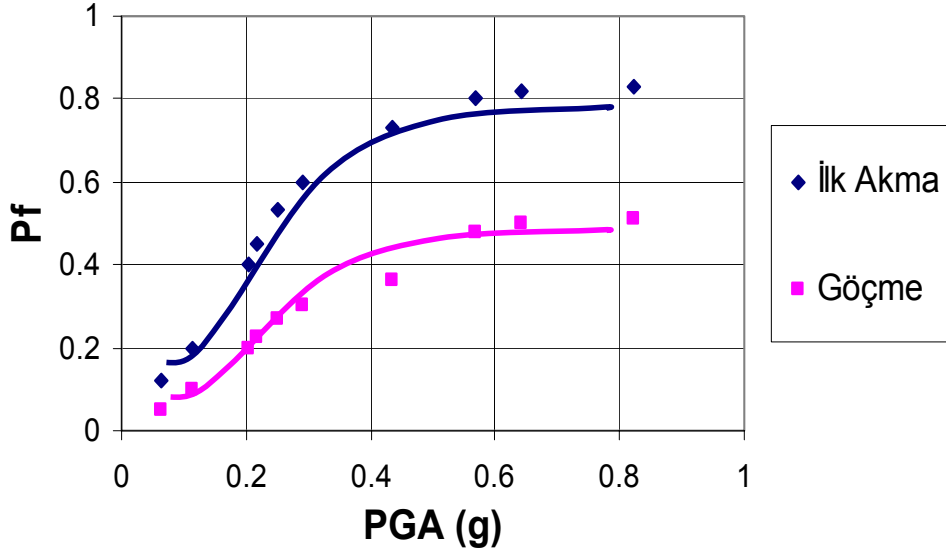
Şekil 11 ve 12 ‘de sırasıyla 8 ve 15 katlı yapılar için aynı grafikler elde edilmiştir. Seçilen yapıların kat adetleri arttıkça ilk akma ve göçme limit durumu aşılma olasılıklarının arttığı şekillerde görülmektedir.



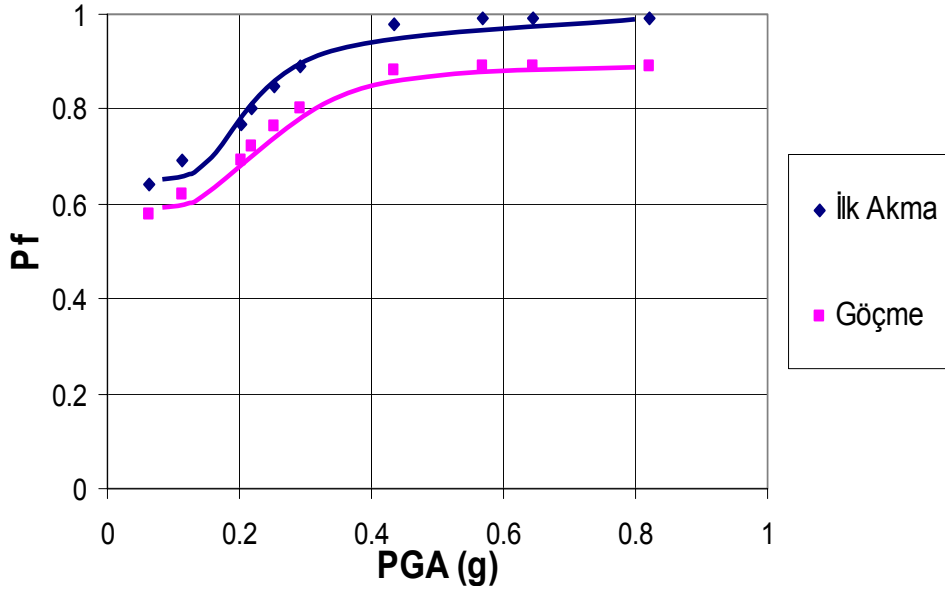
Şekil 7. 3, 5, 8 ve 15 katlı yapıların ilk akma değerleri için kırılma olasılıkları eğrileri



Şekil 8. 3, 5, 8 ve 15 katlı yapıların göçme değerleri için kırılma olasılıkları eğrileri







Şekil 12. 15 katlı yapının ilk akma ve göçme değerlerine göre kırılganlık eğrileri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada betonarme çerçeve yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde olasılıklı ifadelerin sismik analizlere dahil edilmesi sağlanmıştır. Yapıların sismik analizinde kullanılan statik öteleme analizleri, zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak, olasılıklı ifadelerin sismik analize dahil edilmesi gerekliliği gösterilmiştir. Betonarme çerçeve yapılar için ilk akma ve göçme limit durumlarında kırılganlık analizleri yapılmıştır. Kırılganlık analizleri sonucu elde edilen kırılganlık eğrilerinden görülmektedir ki göçme limit durumu yapı tasarımını belirleyen limit koşuludur. Yapının göçmesi, yapı elemanlarının göçmelerinden daha çok, bina sisteminin tümünden göçme mekanizmasına bağlıdır.

Şekil 3,4,5 ve 6'da öteleme eğrileri, zaman tanım alanında dinamik analizleri sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur. Seçilen binalar için, öteleme eğrilerinin yapılan zaman tanım alanında dinamik analizleri sonuçlarından kat adetleri arttıkça uzaklaştığı görülmektedir. Bu da yapıların sismik değerlendirmesinde olasılıklı yaklaşımların kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 7 ve 8'de betonarme çerçeve yapıların kırılganlık eğrileri kat artışlarına göre verilmiştir. Şekil 9, 10, 11 ve 12'de de aynı eğriler her bina için ayrı ayrı çizdirilmiştir. Öteleme eğrilerinin, zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarından uzaklaşması sismik değerlendirilmenin yanlış yapılmasına sebep olabilmektedir. Kırılganlık eğrileri, meydana gelebilecek gerçek değerlerden sapmalarını sebep olduğu sonuçları yanlış değerlendirilmesinin ortadan kaldırılmasına ve daha gerçekçi yaklaşımların yapılmasına imkan verebilecektir. Kırılganlık analizleri yapılması, öteleme analizlerinin sonuçları ile yapının olası deprem karşısındaki davranışının

daha iyi tahmin edilmesini mümkün hale getirmektedir. Yapıların sismik davranışları istatistiksel olarak değerlendirilip öteleme analizleri ve zaman tanım alanında dinamik analizlerinin arasındaki ilişki standard sapma içinde ifade edilebildiğinde, kırılganlık analizleri yapının güvenirliliği için oldukça tatmin edici sonuçlar verecektir.

#### KAYNAKLAR

1. Ellingwood B, Galambos T V, **Probability Based Load Criteria for American National Standard Washington**, National Bureau of Standards, 1980.
2. NEHRP, **Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings**, Building Seismic Safety Council, Washington DC, 1988.
3. **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, IMO, İzmir Şubesi, 1998.
4. **FEMA 273,-274, Commentary on the NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings "NEHRP Guidelines"**, Washington D.C., 1997.
5. **FEMA 356 Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, "NEHRP Guidelines"**, Washington D.C., 2000.
6. **FEMA 440 Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, "NEHRP Guidelines"**, Washington D.C., 2005.
7. Li, Y.R., **Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation**, Doktora Tezi, University of Texas, Austin, TX., 1996.
8. Akbaş, B. ve diğerleri, "Seismic Behavior and Pushover Analyses in Steel Frames", **5. deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul, 2003.

9. Chintanapakdee C. ve Chopra A. K., "Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 32:417-442, 2003.
10. Hwang H., ve Huo J.R., "Generation of hazard consistent fragility curves", **Soil Dynamic and Earthquake Engineering**, 13, 345-354, 1994.
11. Hwang H.M., Jaw J.W., **Seismic Fragility analysis of frame structures**, Technical report, NCEER-88-00009 State University of New York at Buffalo, 1989.
12. Petrovski S. ve Nocevski N.K., **Definition of empirical and theoretical models for assesment of high rise buildings**, Technical Report, IZIIS Skopje, 1993.
13. Singhal A. ve Kiremidjan A. **A method for Earthquake Motion Damage Relationship**, Technical Report, NCEER 97-008 State University of New York at Buffalo, 1997.
14. Hui Mi Hsu, **Reliability Based Seismic LRFD Criteria for Reinforced Concrete Frame Buildings**, Doktora Tezi, Memphis State University, Memphis, 1991.
15. **TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları**, T.S.E. Kurumu, 2000.
16. Prakash, V., Powell, G., Campbell, S., **DRAIN 2D V 1.10**, U.C. Berkeley, CA. 1993.
17. <http://peer.berkeley.edu>