

## Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri

Ali GÜRBÜZ<sup>1</sup>  
Muhammed TEKİN<sup>2</sup>

### ÖZ

Bu çalışmanın başlıca amacı; olası bir depremde meydana gelecek hasar ve kayıp olasılıklarını tahmin etmeye yarayan bir hasar tahmin metodu geliştirmektir. Bu amaçla; 11 farklı tip betonarme yapı için hasar olasılık grafikleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 341 adet betonarme konut binası; yapım yılı, kat adedi ve bina kalitesi gibi ortak özelliklerine göre gruplanmıştır. Toplam 11 farklı bina grubu elde edilmiştir. Binaların tamamı bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak modellenmiş ve her bir bina modeli nonlinear statik itme analizi ile analiz edilmiştir. Ardından, analizlerden elde edilen veriler kullanılarak her bina grubu için 4 farklı hasar olasılığını gösteren kırılma eğrileri çizilmiştir. 11 farklı bina grubu için toplam 44 kırılma eğrisi elde edilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen eğriler kullanılarak benzer özelliklere sahip binaların yer aldığı herhangi bir bölgedeki olası hasarları tahmin etmek mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem hasar tahminleri, kırılma eğrileri, hasar olasılıkları, betonarme binalar.

### ABSTRACT

#### Developing Damage Estimation Methods for Different Types of Reinforced Concrete Buildings

The main purpose of this study is to develop a damage and loss estimation method for predicting earthquake damage in a possible earthquake. For this purpose; damage probability graphs have been drawn for 11 different types of reinforced concrete structures. In the study, 341 reinforced concrete buildings are grouped according to common features such as number of stories, age of the building, construction quality etc. A total of 11 different building groupings were obtained. All of the buildings are modeled by 3-D computer modeling and each was analyzed by nonlinear pushover analysis. Then, fragility curves for 4 different damage probabilities were plotted for each of the building groups using the data obtained from pushover analysis results. Total of 44 fragility curves were

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 03.11.2015 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2017 gününe kadar tartışmaya açıktır.
- DOI: 10.18400/tekderg.334196

1 Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize - ali.gurbuz@erdogan.edu.tr  
2 Gelişim Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - muhammed.tekin59@hotmail.com

obtained for 11 different building groups. Using the fragility curves obtained by this study, it is possible to estimate the potential damage in any area of the buildings featuring similar characteristics.

**Keywords:** Earthquake loss estimation, fragility curves, damage probability, reinforced concrete buildings.

## 1. GİRİŞ

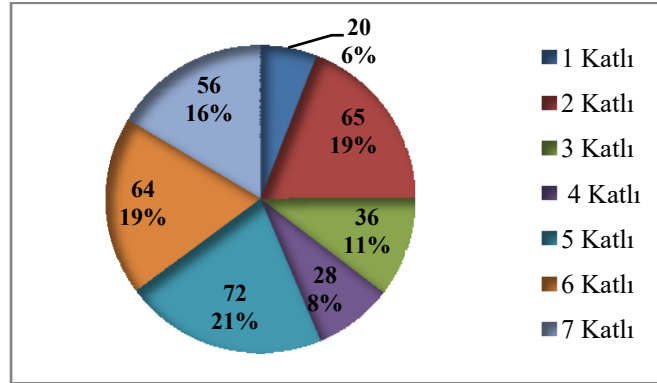
Ülkemiz topraklarının çok büyük bir bölümü hasar verici şiddette deprem tehlikesi altındadır [1]. Deprem etkileri altında betonarme binalarda oluşabilecek çeşitli hasarların önceden belirlenebilmesi her zaman önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yaşanan depremler sonucu yapılarda oluşan büyük hasar ve ekonomik kayıplar, gelecek depremlerde oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi için mevcut bina stokunun hasar görebilme riskinin değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [2]. Bu amaçla Türkiye'deki betonarme yapı stoku göz önüne alınarak yapılan çalışmalarda; deprem hasarları ve hasara neden olan parametreler araştırılmıştır [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Bu parametrelere bağlı olarak meydana gelebilecek olası hasarları tahmin edebilmek için geçmiş deprem verilerinden faydalanılmış ve çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [13, 14, 15, 16]. Kırılma eğrisi veya hasar olasılık eğrisi olarak adlandırılan grafiklerden faydalanarak topyekûn hasarı tahmin etmek de son yıllarda üzerinde çalışılan metotlar arasındadır [17, 18, 19, 20]. Kırılma eğrilerini elde etmek için deneysel ve analitik birçok yöntem kullanılabilir [2, 11, 13, 14, 17, 19, 21]. Bu çalışmada; ülkemizdeki az ve orta katlı betonarme yapıların olası bir depremde karşılaşacağı hasarları tahmin etmek için artımsal itme analizi esaslı analitik yöntem tercih edilmiştir. Bu kapsamda; rasgele örneklem yöntemiyle seçilen ve farklı kat adedine sahip 341 adet betonarme konut binası için artımsal itme analizi esaslı yöntemle kırılma eğrileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında; mimari ve betonarme projeleri temin edilen binalar ortak özelliklerine göre 11 gruba ayrılmıştır. Doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile 11 gruptaki her bir binanın yanal deplasman kapasitesini gösteren kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bir sonraki adımda, çok serbestlik dereceli sistem için bulunan kapasite eğrilerine uygulanan koordinat dönüşümü ile modal kapasite diyagramları elde edilmiştir. Böylece, kırılma eğrilerine parametre olarak seçilen spektral deplasman değerleri de elde edilmiş olur. Kırılma eğrilerinin logaritmik dağılıma uyduğu varsayılarak, binalar için hesaplanan spektral deplasman değerlerinin doğal logaritmaları alınmıştır. Bir sonraki adımda; her bir grup için, gruptaki binalara ait spektral deplasman değerlerinin lognormal ortalaması ve lognormal standart sapması hesaplanmıştır. Son olarak; tahmin edilecek olası hasarı derecelendirmek için 4 farklı hasar olasılık sınırı belirlenmiştir. Hesaplanan sınır değerleri yardımıyla, her bir hasar seviyesi için hasar olasılıklarını gösteren kırılma eğrileri çizilmiştir.

## 2. ÇALIŞMADAKİ BİNALARA AİT İSTATİSTİKLER VERİLER

Çalışmada incelenen binalar hakkındaki veriler mevcut binaların betonarme ve mimari projelerinden elde edilmiştir. Sismik risk analizinde kullanılacak olan verilerin düzenlenmesi amacıyla, binalar ortak karakteristik özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

## 2.1. Kat Adedi

Çalışmada analiz edilen binaların %6'sı tek katlı, %17'si iki katlı, %12'si üç katlı, %9'u dört katlı, %23'ü beş katlı, %18'i altı katlı ve %15'i yedi katlı betonarme konuttan oluşmaktadır.

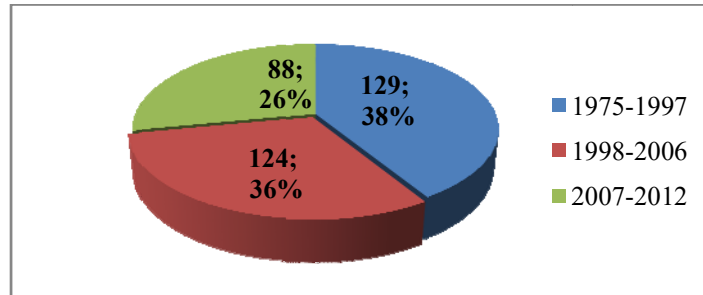


Şekil 1. Binaların kat adedine göre dağılımı

Şekil 1'deki daire grafik; bu çalışmada kullanılan toplam 341 adet binanın kat adedine göre dağılımını göstermektedir.

## 2.2. Yapım Yılı

Bu çalışmada kullanılan betonarme konut binaları 1975-2012 yılları arasında inşa edilmiştir. Şekil 2'deki daire grafik; çalışmada kullanılan binaların yapım yılına göre dağılımını göstermektedir.

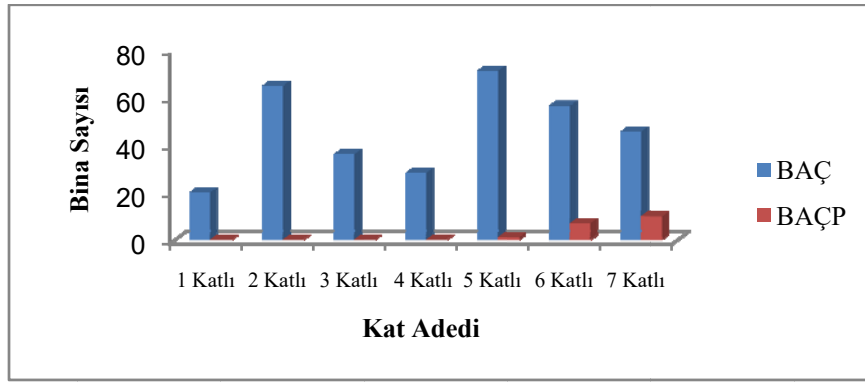


Şekil 2. Yapım yılına göre bina sayıları

Çalışma envanterindeki binaların %38'i 1975 ile 1997 yılları arasında, %36'sı 1998 ile 2006 yılları arasında, %26'sı 2007 sonrasında inşa edilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi; analiz edilen binaların %38'ini 1998 öncesi binalar oluşturmaktadır.

### 2.3. Taşıyıcı Sistem Türü

Binaların taşıyıcı sistemi belirlenerek, betonarme çerçeve (BAÇ) veya betonarme çerçeve ve perde (BAÇP) sistemlerinden biri olarak seçilmiştir. Bu çalışmada BAÇP sistemli binalar ayrı bir grup içinde ele alınmıştır. İncelenen 1 – 4 katlı yapılarda perde duvara rastlanmazken, 5 katlı 1 yapıda, 6 katlı yedi binada ve 7 katlı on binada perde duvar bulunmaktadır. Şekil 3 çalışmada ele alınan 341 adet binanın taşıyıcı sistem türüne göre dağılımını göstermektedir.

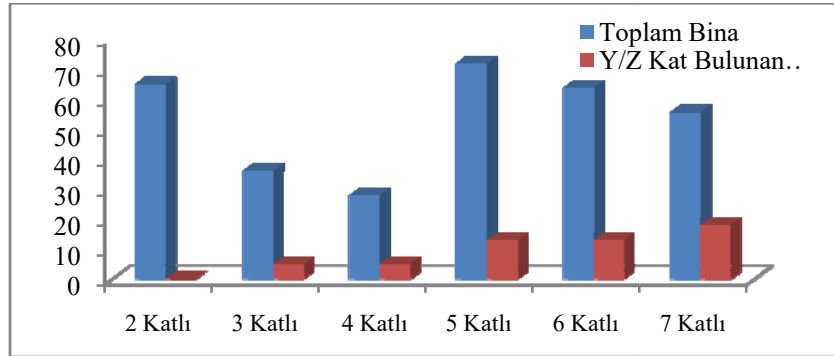


Şekil 3. Taşıyıcı Sistem Türünün Kat Adedine Göre Dağılımı

Grafiğe göre toplam 18 adet binanın taşıyıcı sistem yapısı BAÇP ve 323 adet binanın taşıyıcı sistemi BAÇ'dir

### 2.4. Yumuşak Kat/Zayıf Kat

Mevcut envanterdeki 54 binada yumuşak ve/veya zayıf kat bulunmaktadır. Tek katlı yapılarda teknik olarak bu düzensizlik bulunamayacağından, envanterdeki 2-7 katlı binaların durumu ele alınmıştır. Envanterde bulunan iki katlı yapılarda da yumuşak kata rastlanmamıştır. Diğer kat adedindeki binaların dağılımı ise Şekil 4'te grafiksel olarak görülmektedir.

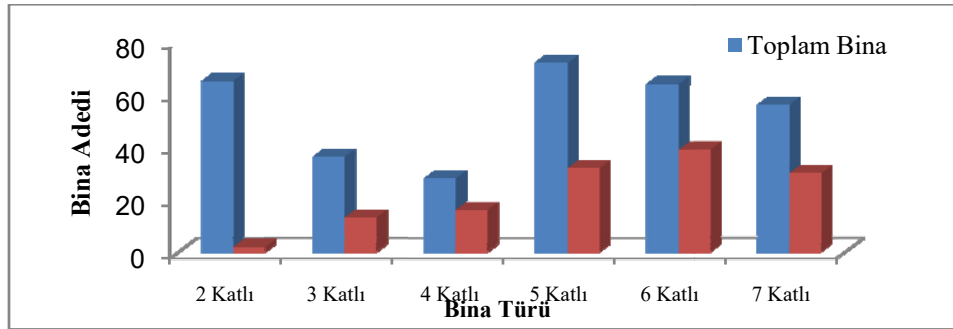


Şekil 4. Yumuşak/Zayıf Kat bulunan binaların katlara göre dağılımı

Grafikte görüldüğü gibi; üç ve dört katlı binalardan 5'er tanesinde, beş ve altı katlı binaların 13'er tanesinde ve yedi katlı binaların 18 tanesinde zayıf/yumuşak kat bulunmaktadır.

## 2.5. Ağır çıkmalar

İncelenen yapılarda en sık rastlanan olumsuzluk ağır çıkmalar olmuştur. Envanterdeki ağır çıkma bulunan binaların kat adedine göre dağılımı Şekil 5'teki gibidir.

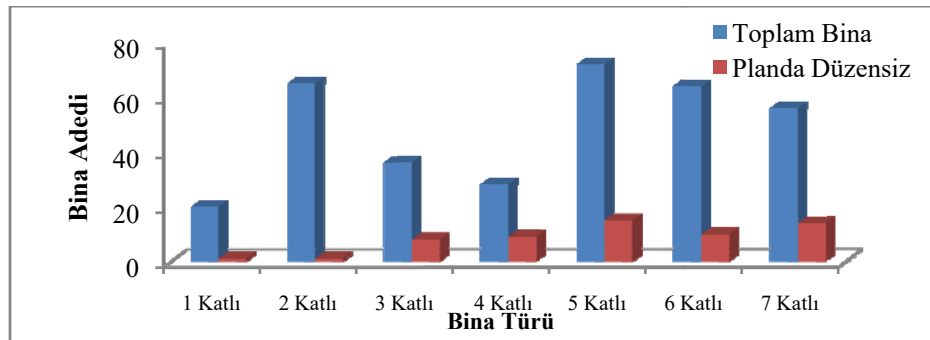


Şekil 5. Ağır çıkma bulunan binaların kat adedine göre dağılımı

Çalışmada incelenen binaların 132 tanesinde ağır çıkmaya rastlanmıştır. Şekil 5'teki sütun grafikte; binadaki kat adedi arttıkça ağır çıkma kullanımına daha fazla rastlandığı görülmektedir. 4 kat ve üzeri binalar dikkate alındığında her iki binadan birinde ağır çıkmaya rastlanmaktadır. Veriler; kat planında çıkma yapmanın deprem açısından olumsuz bir parametre olmasına karşın, kullanılabilir bina alanına önemli ölçüde katkı sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.

## 2.6. Planda Düzensizlik/Burulma Etkisi

İncelenen 341 adet betonarme konutun 58'inde planda düzensizlikler bulunmaktadır. Planda düzensiz binaların dağılımı Şekil 6'daki sütun grafikte görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi incelenen binalarda %15 oranında planda düzensizlik bulunmaktadır.



Şekil 6. Planda düzensizliğe sahip binaların kat adedine göre dağılımı

### **3. YAPI TİPLERİNİN BELİRLENMESİ**

İncelemeye tabi tutulan binaların taşıyıcı sistemleri ile ilgili öne çıkan bazı ortak özellikler aşağıdaki gibidir:

- Kat sayısı 6'dan az olan binalarda perde-çerçeve sistemin kullanımına rastlanmamıştır.
- Binaların tasarımında dikkate alınan hareketli yük değerleri iç mekânlarda 2 kN/m<sup>2</sup>, merdiven ve balkonlarda ise 3,5 kN/m<sup>2</sup> ve 5 kN/m<sup>2</sup>'dir.
- Projesi incelenen yapıların kat yüksekliğine bakıldığında; genellikle 2,65 m, 2,70 m ve 2,80 m değerleri ön plana çıkmaktadır. Zemin katı ticari amaçla kullanılan binalarda ise kat yüksekliğinin 4 m'ye kadar çıktığı görülmektedir.
- Projesi incelenen betonarme konutlarda en yaygın kullanılan giriş kesiti 25/50 cm, kolon boyutları çoğunlukla 25/40 cm'den başlamak üzere kat sayısı ve projesine göre değişkenlik göstermektedir.
- İncelenen binaların kesit ve malzeme gibi bazı özellikleri birbirlerine yakın olmakla birlikte; kat adedi, planda ve düşeyde düzensizlik durumları gibi sismik analizleri olumsuz etkilediği bilinen birçok değişkene daha sahiptirler.

İncelenen binalardan elde edilen verilere göre mevcut yapı tiplerinin sınıflandırılması üç farklı kıstas göz önüne alınarak yapılmıştır. Bunlar sırasıyla; bina proje yılı, kat adedi ve bina kalitesidir. Çalışmada kullanılan betonarme konut binaları, yapım yıllarına göre; 1998 öncesi yapılar ve 1998 ile sonraki yıllarda inşa edilen yapılar olmak üzere 2 gruba ele alınmıştır.

Bu çalışmanın temelinde binaların yanal deplasman kapasitelerine dayalı analizler yer aldığından, binaların kat adetlerine göre sınıflandırılması da kaçınılmaz olmuştur. Buna göre; ele alınan binalar, "1 ile 2 katlı yapılar", "3-5 katlı yapılar" ve "6-7 katlı yapılar" olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.

Kalite puanlamasında ise; mevcut binaların hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için "Riskli Bina Tesbit Esasları" hakkındaki yönetmelikte önerilen birinci kısım değerlendirme yöntemi uygulanmıştır [22]. Kalite puanlamasına göre sıralanan binalarda; 65 puanın aşağısı kötü kalite, 65 puan ve üzeri iyi kalite olarak kabul edilmiştir. Yönetmeliğin önerdiği birinci aşama hızlı değerlendirme yönteminde yer alan en büyük olumsuzluk parametreleri, ağır çıkma ve yumuşak kat olarak göze çarpmaktadır. Tek katlı konutlarda ağır çıkma, düşey düzensizlik ve yumuşak kat hiç bulunmazken, 2 katlı konutların tamamına yakınında da bu olumsuzluk parametreleri bulunmadığından performans puanları yüksek çıkmıştır. Bu nedenle 1 ve 2 katlı yapılarda 2 Temmuz yönetmeliğinde önerilen birinci aşama değerlendirme yöntemine göre kötü kalite bina grubu oluşturulamamıştır. 1 ve 2 katlı binalar sadece yapım yılına göre 1998 öncesi ve sonrası olarak iki gruba ayrılabilmiştir. Çalışmada değerlendirilen 1 ve 2 katlı binaların tamamında olumsuzluk puanları 70 puanın üzerinde ve puanlar kısmen birbirine yakın olduğundan 1 ve 2 katlı yapılarda kalite sınıflandırması yapılamamıştır. 1 ve 2 katlı yapılar sadece 1998 öncesi (98Ö12) ve 1998 sonrası (98S12) olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Binalarla yapılan bütün değerlendirmelerin neticesinde 11 adet betonarme yapı tipi elde edilmiştir. Toplam 11 adet yapı tipinin kodları ve isimleri aşağıdaki gibidir:

98Ö12 = 1998 öncesi inşa edilmiş 1-2 katlı betonarme çerçeveler  
98S12 = 1998 ve sonrası inşa edilmiş 1-2 katlı betonarme çerçeveler  
98Ö35İ = 1998 öncesi inşa edilmiş 3-5 katlı iyi kalite betonarme çerçeveler  
98S35İ = 1998 ve sonrası inşa edilmiş 3-5 katlı iyi kalite betonarme çerçeveler  
98Ö35K = 1998 öncesi inşa edilmiş 3-5 katlı kötü kalite betonarme çerçeveler  
98S35K = 1998 ve sonrası inşa edilmiş 3-5 katlı kötü kalite betonarme çerçeveler  
98Ö67İ = 1998 öncesi inşa edilmiş 6-7 katlı iyi kalite betonarme çerçeveler  
98S67İ = 1998 ve sonrası inşa edilmiş 6-7 katlı iyi kalite betonarme çerçeveler  
98Ö67K = 1998 öncesi inşa edilmiş 6-7 katlı kötü kalite betonarme çerçeveler  
98S67K = 1998 ve sonrası inşa edilmiş 6-7 katlı kötü kalite betonarme çerçeveler  
P67 = 6-7 katlı betonarme perde+çerçeve sistemler

#### 4. BİNALARIN ARTIMSAL İTME ANALİZLERİ

Çalışma kapsamında sınıflandırılan binalar, CSI SAP2000 programı ile modellenerek statik itme eğrileri, yanal kat ötelenmeleri ve gerekli modal parametreler (  $T_n$ ,  $\Gamma_n$ ,  $\Phi N_n$ ,  $M_n$  ) elde edilmiştir. Bu parametrelerden  $T_n$ : n. moda ait periyot,  $\Gamma_n$ : n. moda ait katılım çarpanı,  $\Phi N_n$ : n. moda ait N. Kat (en üst kat) modal genliği,  $M_n$ : n. moda ait etkin kütle temsil etmektedir. Yapı elemanları modellenirken kolonlar; moment ve eksenel yük taşıyan betonarme çubuk eleman olarak modellenmiştir. Kirişlerin sadece eğilme momentine maruz kaldığı varsayılmıştır. Beton ve çeliğin malzeme modeli için "Mander Modeli" kullanılmıştır [23]. Kesitlerin kesme kapasiteleri denklem 1 ile hesaplanmıştır. Analizlerde yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmamıştır.

$$V_s = \frac{\pi A_s f_{yh} D'}{2s} \quad (1)$$

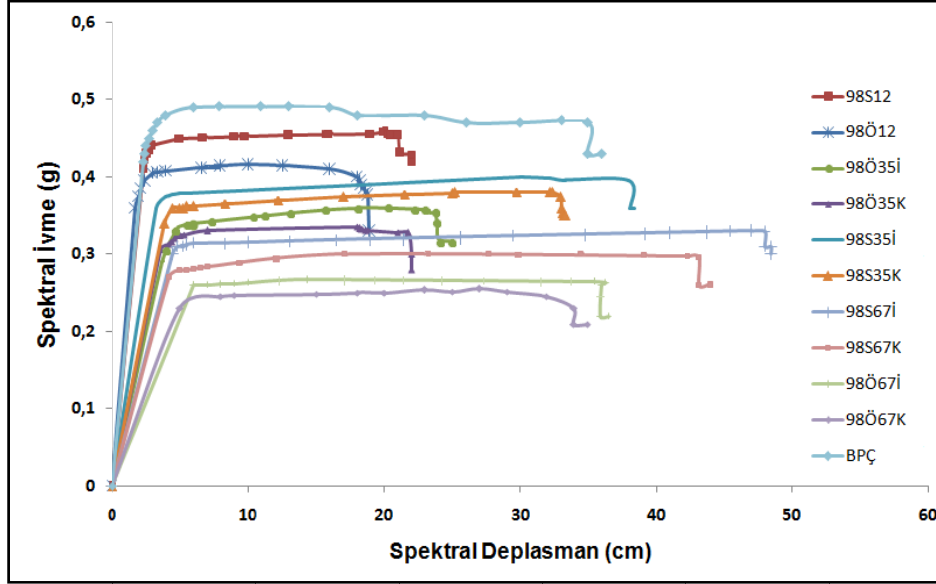
Denklemden;  $V_s$ , kesme kapasitesine çeliğin katkısı,  $A_s$ , çelik kesit alanı,  $D'$  donatı çapı,  $f_{yh}$ , çeliğin akma dayanımı ve  $s$ , donatı çubukları arasındaki boşluğu temsil etmektedir. Kesme kapasitesine betonun katkısı ise denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$V_c = 2 \left[ 1 + \frac{P_e}{2000 A_g} \right] \sqrt{f'_c} A_e \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2'de;  $V_c$ , kesme kapasitesine betonun katkısı,  $P_e$ , kesite etkiyen yük,  $f'_c$ , beton dayanımı,  $A_g$ , beton kesit alanı ve  $A_e$ , etkili beton kesit alanıdır. Binaların dinamik özellikleri, kütlelerle uyumlu olarak yapı modellerine etki ettirilen düşey yüklere göre doğrusal olmayan statik analiz ile hesaplanmıştır. Bu analizin sonuçları aynı zamanda artımsal itme analizinin başlangıç koşulu olarak dikkate alınmıştır. Analizde doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilebilmesi için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Bu yaklaşımla çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü

taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yaylı biçimde oluştuğu varsayılmıştır [2, 21]. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan bu bölgede; en büyük plastik şekil değiştirme değeri, mafsal boyunca sabit kabul edilmiştir.

Her bir bina iki farklı doğrultuda analiz edilmiş, böylece toplam 682 kapasite eğrisi elde edilmiştir. Her bina için zayıf yöndeki kapasite eğrisi dikkate alınmıştır. Kırılma eğrisi parametresi olarak spektral deplasman tercih edildiği için, elde edilen kapasite eğrileri Deprem Yönetmeliği 2007'de önerilen dönüşümle modal kapasite diyagramına dönüştürülmüştür [24]. Bu çalışmadaki 11 bina grubunun her birinden o grubu en iyi temsil edeceği düşünülen birer adet medyan bina seçilmiştir. Seçilen binaların modal kapasite eğrileri Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Medyan Modal Kapasite Eğrileri

## 5. HASAR SINIRLARI

Yukarıda açıklandığı üzere bir kırılma eğrisi; belirlenen hasar sınırına ulaşılması veya bu sınırın aşılması olasılığını gösteren eğridir. Bu nedenle; hasar olasılık sınırları, kırılma eğrilerinin hesaplanmasında temel kıstaslardan birisidir. Konuyla ilgili yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; betonarme binalar için birçok hasar seviyesi tanımlanmış ve kullanılmıştır. Binadaki hasarı 3, 4, 5 veya daha çok farklı seviyede tanımlamak mümkündür. Yapısal elemanların hasar durumları, bina kapasite eğrisinin eğimi veya yapının katlar arası ötelenme oranı gibi pek çok kıstas üzerinden hasar sınırları tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada İstanbul ve İzmir Deprem Master Planlarında da benimsenen hasar seviyeleri kullanılmıştır. Bunlar; FEMA Hazus Mh Mr5 programında önerilen katlar arası ötelenme oranına bağlı 4 hasar seviyesidir [25]. Tablo 1 çalışmada sınıflandırılan her bir grup için ötelenme oranına bağlı hasar durumlarını göstermektedir.



Tablo 1. Ötelenme Oranına Bağlı Hasar Durumları

Grup	Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Çok Ağır Hasar
98O12	0,005	0,008	0,02	0,05
98S12	0,005	0,0087	0,0233	0,06
98O35I 98O35K 98O67I 98O67K	0,0033	0,0053	0,0133	0,0333
98S35I 98S35K 98S67I 98S67K	0,0033	0,0058	0,0156	0,04
Perdeli	0,002	0,004	0,01	0,02

## 6. KIRILGANLIK EĞRİLERİNİN ÇİZİLMESİ

Kırılgenlik eğrileri özetle; sınır hasar seviyeleri belirlenen binaların birikimli dağılımını gösteren, birikimli dağılım fonksiyonlarıdır. Uygulamada bir kırılgenlik eğrisinin çizimi, bu eğriyi niteleyen  $\overline{S_{d_{s_i}}}$  ve  $\beta_{d_{s_i}}$  parametrelerinin belirlenerek denklem 3'te yerine konulmasından ibarettir.

$$Pd \geq (d_{s_i} | S_d) = \varphi \left( \frac{\ln(S_d) - \overline{S_{d_{s_i}}}}{\beta_{d_{s_i}}} \right) \quad (3)$$

Denklem 3'te; P sembolik olarak hasar olasılığını,  $\overline{S_{d_{s_i}}}$  bina hasarının ilgili hasar seviyesine eriştiği ortalama modal yerdeğiştirmeyi,  $\beta_{d_{s_i}}$ , ilgili sınır hasar seviyeleri için modal yerdeğiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapmayı,  $\varphi$  ise birikimli standart dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında sınıflandırılan her bir bina için, sınır spektral yerdeğiştirme değerlerinin doğal logaritmaları alınmıştır. Çalışmada 11 ayrı grup ve 4 farklı hasar seviyesi için toplam 44 hasar olasılık eğrisi tanımlanmıştır. Her bir eğri için, ilgili binaların sınır değerleri kullanılarak logaritmik ortalama ve logaritmik standart sapmaları hesaplanmıştır. Hesaplanan  $\beta_{d_{s_i}}$  ve  $\overline{S_{d_{s_i}}}$  parametreleri denklem 3'te yerine konularak, kırılgenlik eğrileri elde edilmiştir.

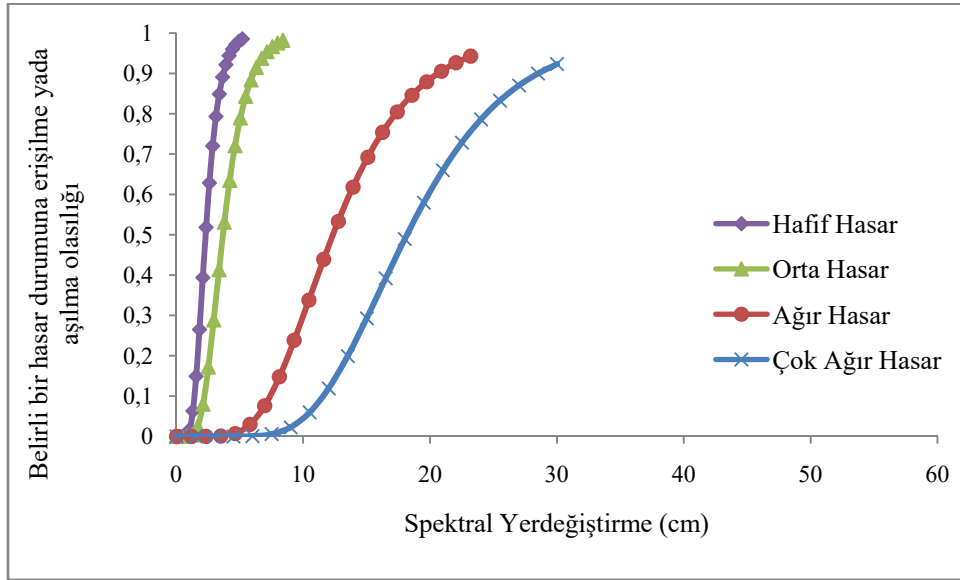
Bu çalışmadaki 11 grup binanın ortalama  $\overline{S_{d_{s_i}}}$  ve  $\beta_{d_{s_i}}$  parametreleri tablo 2'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2'de; 11 grup ve 4 farklı hasar seviyesi için toplam 44'er adet lognormal ortalama ve lognormal standart sapma hesaplanmıştır. Bu parametrelerin denklem 3'te yerine konması sonucu elde edilen kırılgenlik eğrileri ise Şekil 8'de verilmiştir.

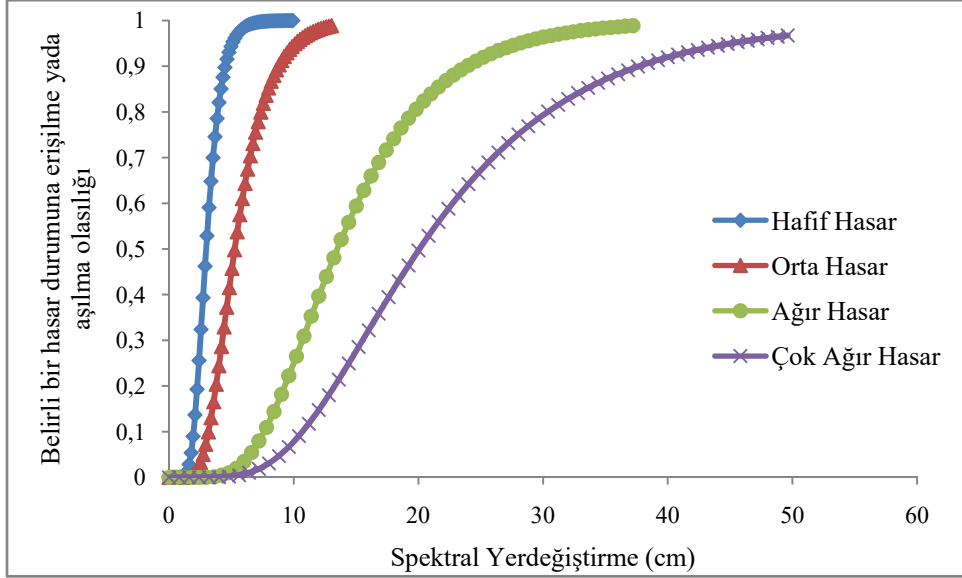
Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri

Tablo 2; Hasar sınırlarına göre olasılık yoğunluk fonksiyonu parametreleri

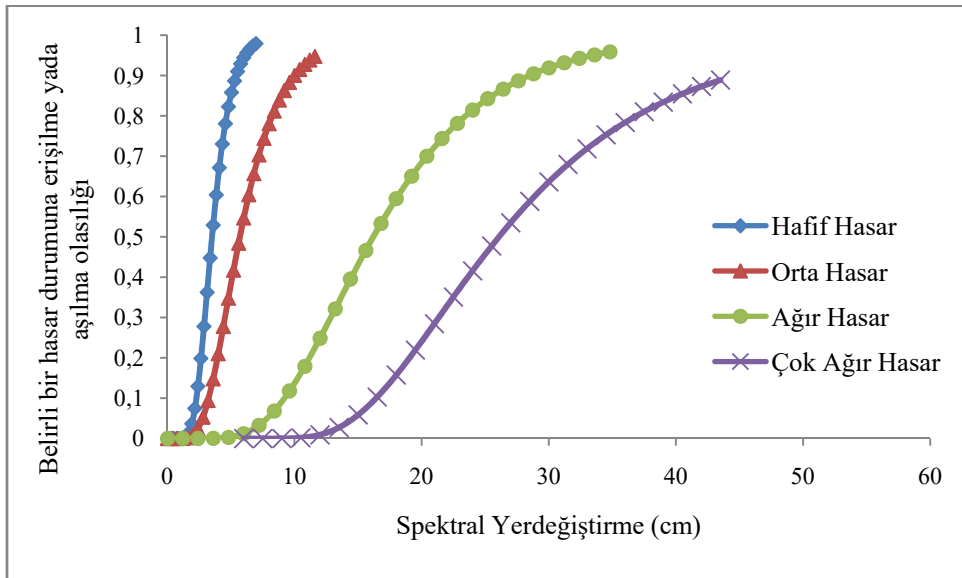
GRUP	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Parametreleri (cm)							
	Sd1 (Hafif Hasar )		Sd2 (Orta Hasar)		Sd3 (Ağır Hasar)		Sd4 (Çok Ağır Hasar)	
	Log.Ort	L.Std.Sp	Log.Ort	L.Std.Sp	Log.Ort	L.Std.Sp	Log.Ort	L.Std.Sp
98Ö12	0,8373	0,3714	1,3016	0,3947	2,3134	0,4693	2,6892	0,4013
98S12	1,0919	0,3236	1,6621	0,3978	2,6015	0,3950	2,9481	0,3952
98Ö35K	1,0168	0,3327	1,2622	0,3598	2,2250	0,3404	2,2822	0,4105
98Ö35İ	1,3867	0,3287	1,9121	0,3869	2,7425	0,3841	3,0141	0,3813
98S35İ	1,2646	0,5216	1,9667	0,45308	2,8431	0,33548	3,3175	0,2958
98S35K	1,1119	0,3714	1,6086	0,4047	2,4990	0,4708	2,8339	0,3994
98Ö67İ	1,482	0,4503	2,3163	0,4209	3,0164	0,2908	3,4478	0,3273
98Ö67K	1,282	0,413	1,9956	0,3308	2,8507	0,3311	3,2837	0,2921
98S67İ	1,527	0,3431	2,1303	0,4501	2,1395	0,3760	3,5314	0,3412
98S67K	1,3305	0,4271	1,9793	0,4136	2,8806	0,3542	3,1710	0,2785
Perdeli	0,1384	0,2806	0,7175	0,3977	1,5463	0,4012	2,0323	0,4222



Şekil 8. Grup 98O12 kırılmalık eğrileri

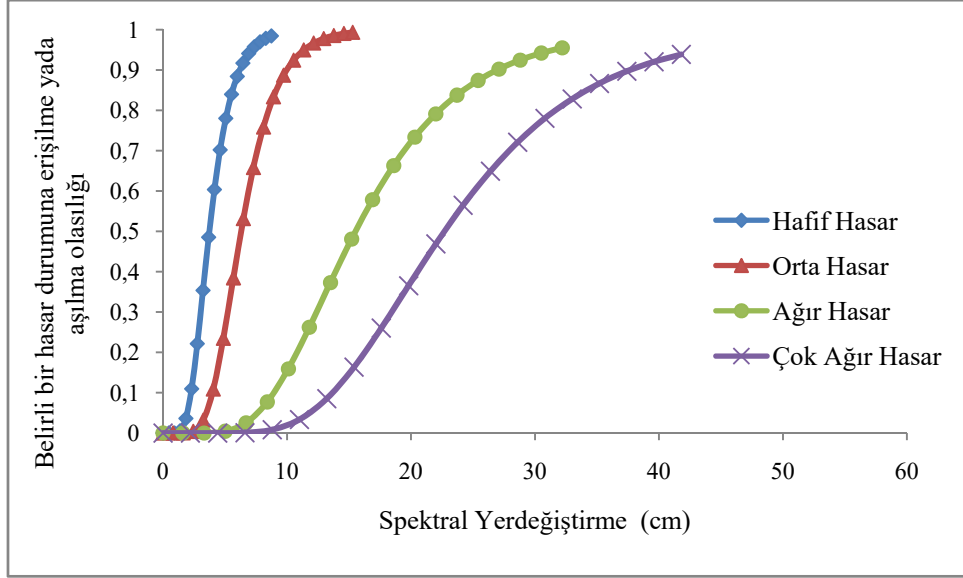


Şekil 9. Grup 98S12 kırılma eğrileri

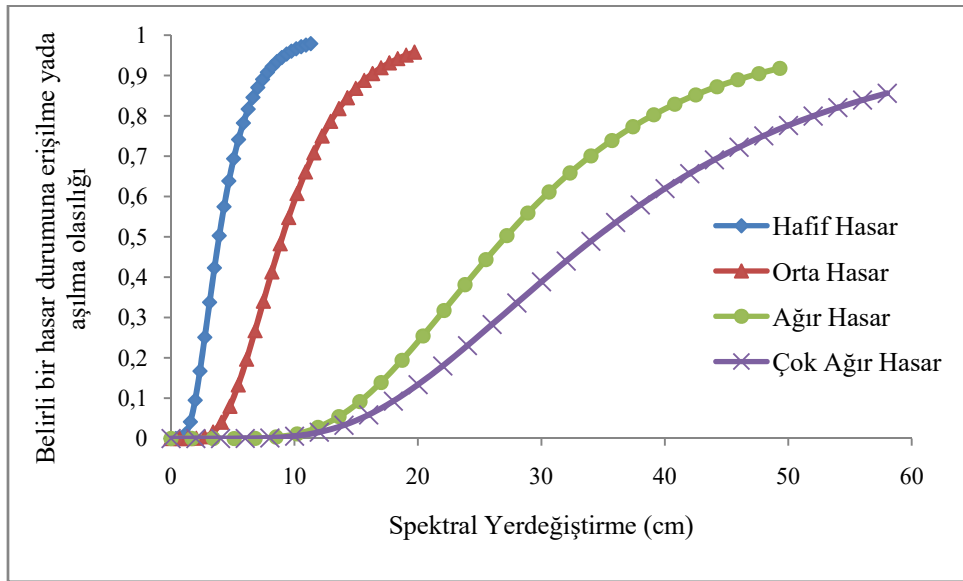


Şekil 10. Grup 98Ö35İ kırılma eğrileri

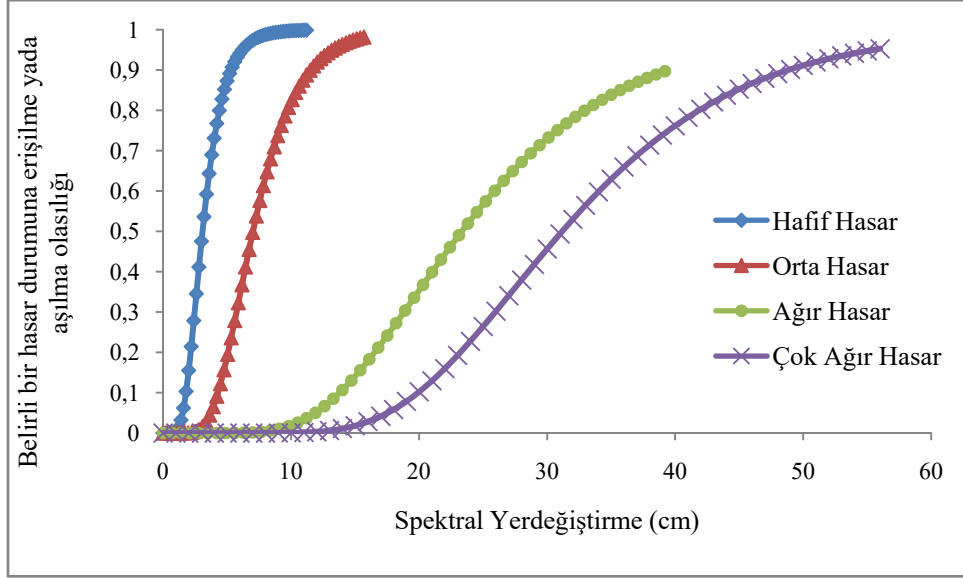
Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri



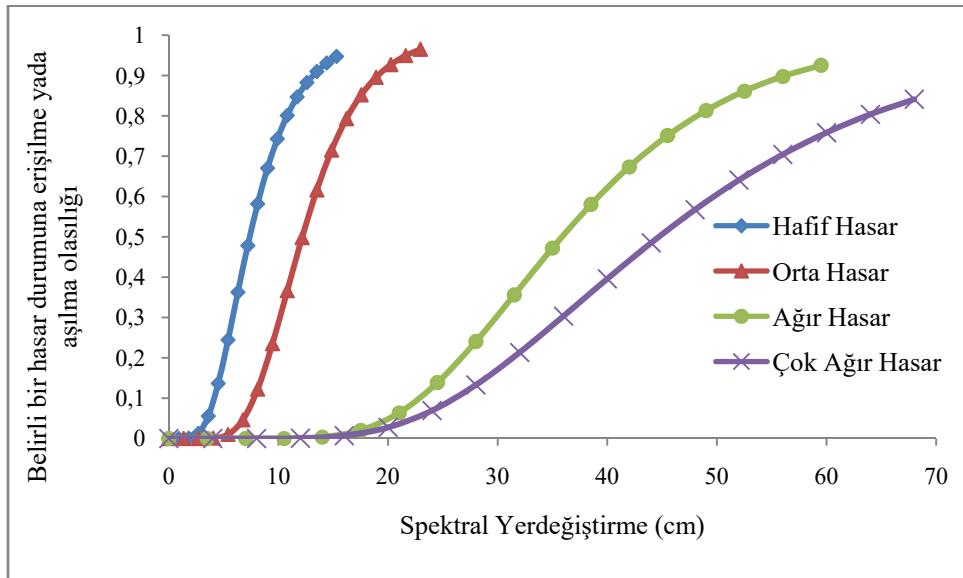
Şekil 11. Grup 98Ö35K kırılmalık eğrileri



Şekil 12. Grup 98S35İ kırılmalık eğrileri

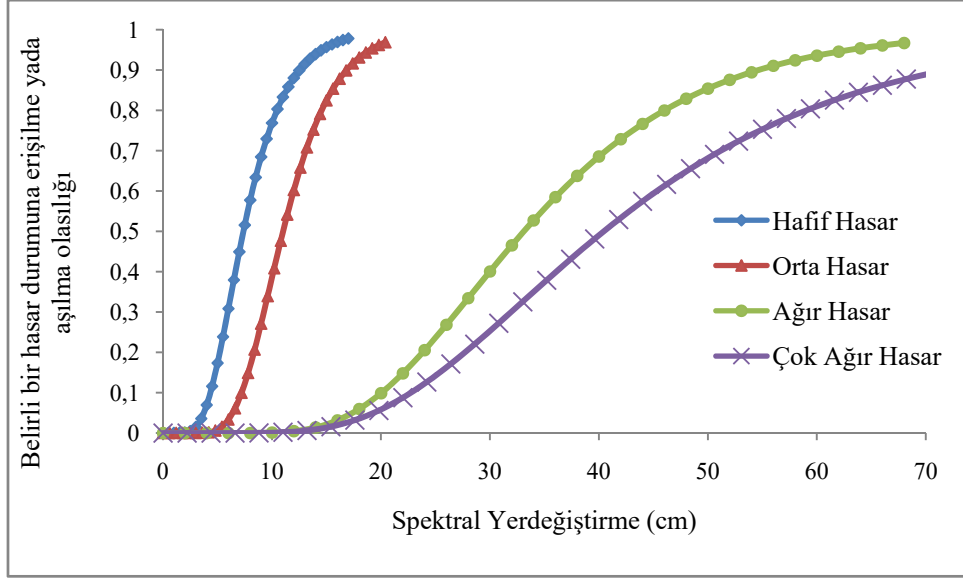


Şekil 13. Grup 98S35K kırılmalık eğrileri

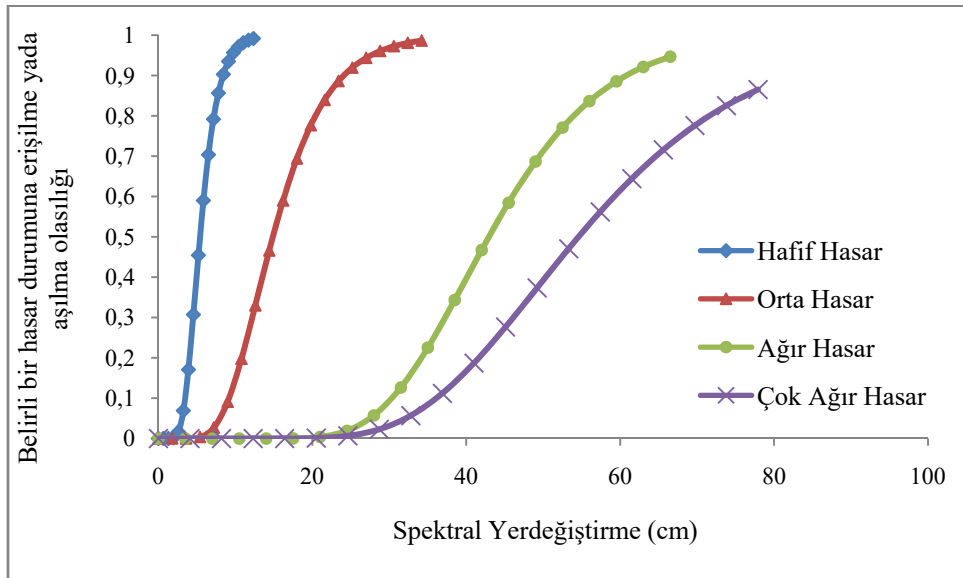


Şekil 14. Grup 98Ö67İ kırılmalık eğrileri

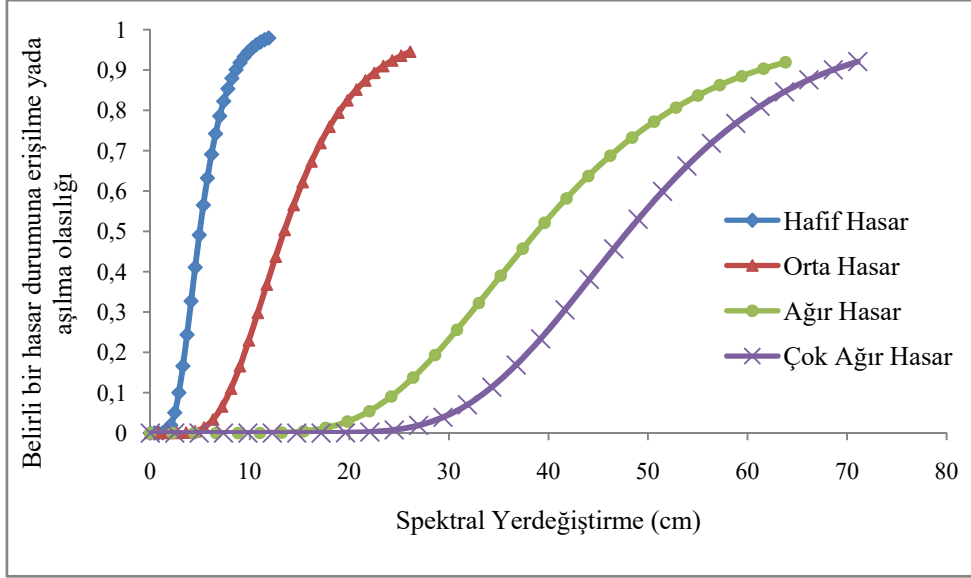
Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri



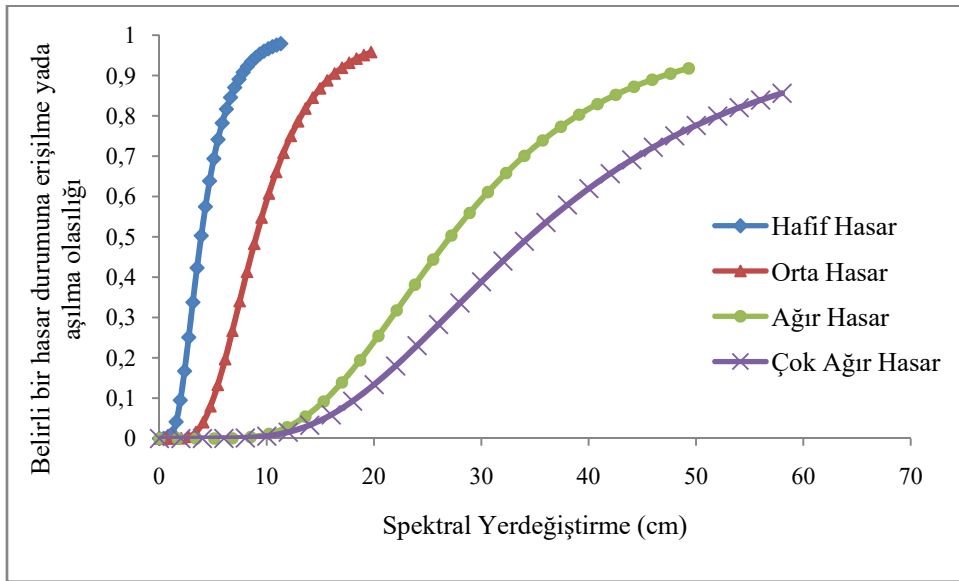
Şekil 15. Grup 98Ö67K kırılmalık eğrileri



Şekil 16. Grup 98S67İ kırılmalık eğrileri



Şekil 17. Grup 98S67K kırılmalık eğrileri



Şekil 18. Grup BPC kırılmalık eğrileri

## 7. SAYISAL BULGULAR

Çalışmada incelenen yapılar için; zemin katın betonarme kesit alanının zemin katın oturum alanına bölünmesiyle elde edilen betonarme oranı %0,5 ile %3 arasında değişim göstermiştir. Betonarme oranı kadar betonarme kalitesi de önem arz etmektedir. Yıllara göre kullanılan beton sınıfının arttığı açıkça görülmektedir.

Bir hızlı değerlendirme yöntemi olarak performans sıralamasına tabi tutulan yapılar, puanlarına göre değerlendirildiğinde; 1998 sonrası yapılan binaların performans puanlarının da 1998 öncesi yapılan binaların performans puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Binalar; iyi kalite ve kötü kalite olmak üzere 2 kalite sınıfında ele alınmıştır. Riskli Bina Tespit Esaslarına ilişkin yönetmelikte ayrıntılı olarak anlatılan performans puanlaması sistemine göre yapılan sıralama, binaların deprem riski açısından genel bir fikir vermektedir. Bu çalışmada genellikle en yüksek performans puanlı yapıların 1 ve 2 katlı yapılar olduğu, en düşük performans puanlı yapıların ise 6 ve 7 katlı yapılar olduğu göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar; kat adedi arttıkça binaların depremde daha fazla hasar görme olasılığının da arttığını açıkça ortaya koymaktadır. İncelenen binaların performans puanlarını düşüren en önemli olumsuzlukların ise yumuşak kat, zayıf kat ve ağır çıkmalar olduğu görülmektedir. Araştırmaya konu olan binalarda en fazla rastlanan olumsuzluk olarak ağır çıkmalar ön plana çıkmaktadır. Özellikle 3 ve üzeri kat adedine sahip binaların yaklaşık %30'unda en az bir yönde ağır çıkma bulunmaktadır.

Performans sıralaması yöntemi, binaların deprem performansları ve risk durumları hakkında genel bir fikir vermekle birlikte, bu çalışmada, puanlar sadece binaların sınıflandırılması amacıyla kullanılmıştır. Depremde ortaya çıkabilecek sonuçları daha gerçekçi biçimde tahmin edebilmek içinse her bir binaya doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmış ve binaların kapasite diyagramları elde edilmiştir.

İtme analizi sonuçları değerlendirildiğinde, çoğunlukla performans sıralamalarıyla örtüşen sonuçlar elde edilmiştir. Nonlinear statik itme analizi sonuçlarına göre çalışmadaki farklı grup binaları birbirleriyle karşılaştırabilmek için, periyot, süneklik, taban kesme kuvveti katsayısı parametrelerin grup ortalamaları Tablo 3'te listelenmiştir.

Tabloda her bir bina grubu için hesaplanan o gruptaki binaların ortalama periyot, ortalama süneklik ve ortalama taban kesme kuvveti katsayıları görülmektedir. Binaların yatay yer değiştirme cinsinden süneklik kapasiteleri denklem 4'e göre hesaplanmıştır.

Denklem 4'te  $\mu$ , yatay yer değiştirme cinsinden süneklik kapasitesini tanımlamaktadır.  $\delta_u$ ; bina tepe noktasının en büyük yatay yer değiştirme değerini ve  $\delta_y$ ; doğrusal hareketin bittiği andaki tepe noktası yer değiştirme değeridir.

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (4)$$

Dayanım açısından kıyaslama yapabilmek amacıyla Tablo 3'teki bir diğer parametre de en yüksek taban kesme kuvvetinin ( $V_y$ ) toplam bina ağırlığına ( $W$ ) oranı şeklinde belirlenen taban kesme kuvveti katsayısıdır.

Plandaki boyutlarında ve her iki doğrultuda yatay yükler etkisinde etkin çalışan kolon sayılarında önemli farklar bulunmayan binaların, her iki doğrultuda da deprem yükleri altında davranışlarının (dayanım ve yer değiştirme kapasitelerinin) birbirine yakın olduğu



söylenbilir. Binaların taşıyıcı sistemini oluşturan çerçevelerin, özellikle binanın plandaki her iki doğrultusu boyunca sürekli olması, binanın yatay yük dayanım ve yerdeğiştirme kapasitesini artırmaktadır.

Tablo 3. Bina Gruplarının Ortalama Periyot, Süneklik ve Taban Kesme Kuvveti Katsayıları

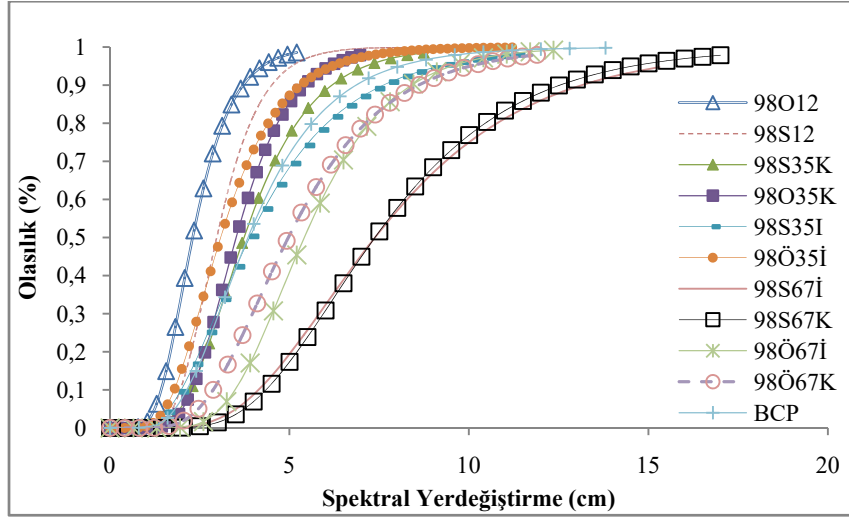
Bina Tipi	Periyot (t)	Süneklik ( $\mu$ )	Taban Kesme Kuvveti Katsayısı ( $V_y/W$ )
98O12	0,351	4,12	0,1524
98S12	0,318	5,90	0,2286
98O35İ	0,467	4,54	0,1978
98O35K	0,533	4,23	0,1664
98S35İ	0,410	6,71	0,2483
98S35K	0,476	6,32	0,2219
98O67İ	0,781	4,27	0,1692
98O67K	0,893	3,95	0,1437
98S67İ	0,695	6,61	0,2376
98S67K	0,782	6,32	0,2193
BPÇ	0,584	5,33	0,2314

Bu çalışmada kullanılan kırılmalık eğriler basitleştirilmiş bir ifadeyle; hasar sınırları belli olan bir grup binanın spektral deplasmana göre hasar dağılımını gösteren grafiklerdir. Kırılmalık eğrileri ve pushover analizi sonuçları birlikte ele alındığında; betonarme perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanıldığı binalar (Grup BPÇ) belirgin biçimde diğer gruplardan farklı davranış göstermektedir. Binada perde duvar bulunan sistemlerin yatay yük kapasitesinin, diğer grup binalara göre belirgin şekilde arttığı gözlenmektedir. Benzer şekilde; taşıyıcı sisteminde betonarme çerçevenin yanı sıra perde duvarların da kullanıldığı yapıların yanıl ötelenmeleri de belirgin biçimde azalmaktadır. Bu çalışmada ele alınan bina grupları incelendiğinde betonarme perde+çerçeve sistemli binaların aynı kat adedine sahip çerçeve sistemli binalara oranla yaklaşık %50 oranında daha az yanıl ötelenme yaptığı gözlenmiştir. Çalışmadaki bütün grupların kırılmalık eğrilerini birlikte değerlendirebilmek için 11 grup binanın aynı hasar seviyesine ait eğrileri Şekil 19- Şekil 22'de aynı grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Hafif hasar olasılık seviyesine ait kırılmalık eğrileri; Şekil 19'da, orta hasar olasılık seviyesine ait kırılmalık eğrileri Şekil 20'de, Ağır hasar seviyesi için oluşturulan kırılmalık eğriler Şekil 21'de ve çok ağır hasar hasar olasılık seviyesi için oluşturulan kırılmalık eğriler Şekil 22'de verilmiştir.

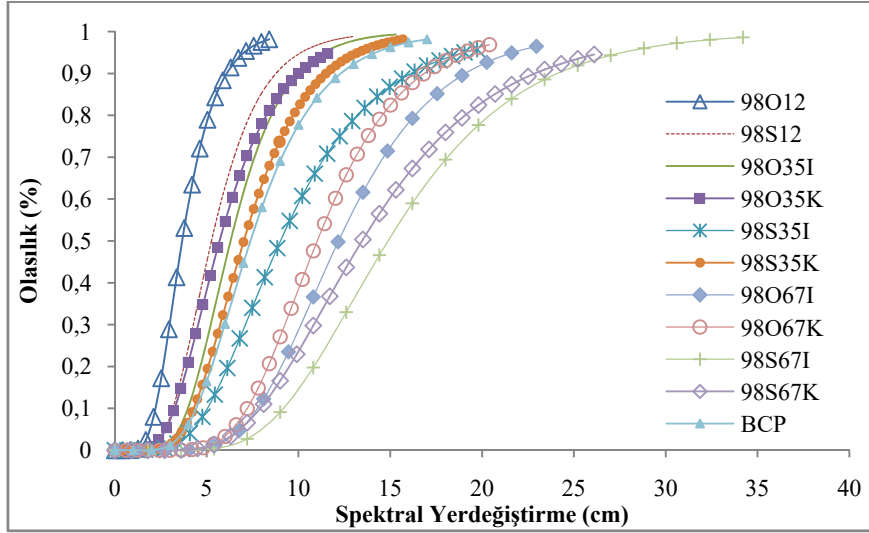
Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olan binalar kendi içinde karşılaştırıldığında; 1998 öncesi inşa edilen yapılarda hasar olasılık yüzdelerinin aynı kat adedine sahip 1998 ve

*Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri*

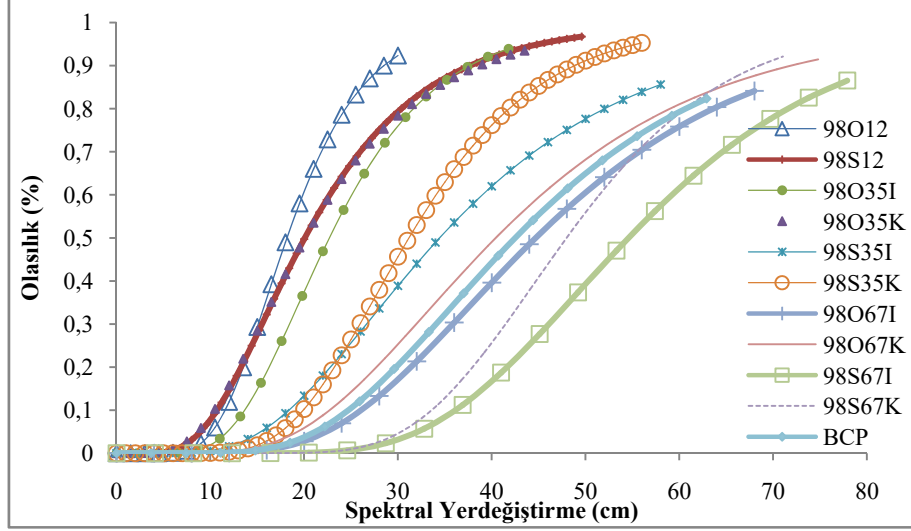
sonrası inşa edilen binalara göre daha yüksek olduğu fark edilmektedir. Bu fark genel olarak bütün hasar seviyelerinde eğrilerin eğimi boyunca belirgindir.



*Şekil 19. Hafif hasar seviyesi kırılma eğrileri*



*Şekil 20. Orta hasar seviyesi kırılma eğrileri*



Şekil 22. Çok ağır hasar seviyesi kırılmalık eğrileri

### 7.1. Sonuçların Benzer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Bu çalışmalarda ülkemizdeki farklı yapı tiplerini temsil eden birçok kırılmalık eğrisi geliştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen eğriler; gerek yapı tipleri, gerekse hasar parametresi olarak benzer özellikteki yapı stokunu içeren eğriler ile karşılaştırılması faydalı olacaktır. Ülkemizde betonarme yapıların hasar olasılıkları üzerine yapılan çalışmalardan iki tanesi İzmir ve İstanbul illerimiz için geliştirilen Deprem Master Planlarıdır. İzmir için 1975 sonrası inşa edilmiş 1-2 katlı betonarme binalar için elde edilen kırılmalık eğrileri Şekil 22'deki gibidir.

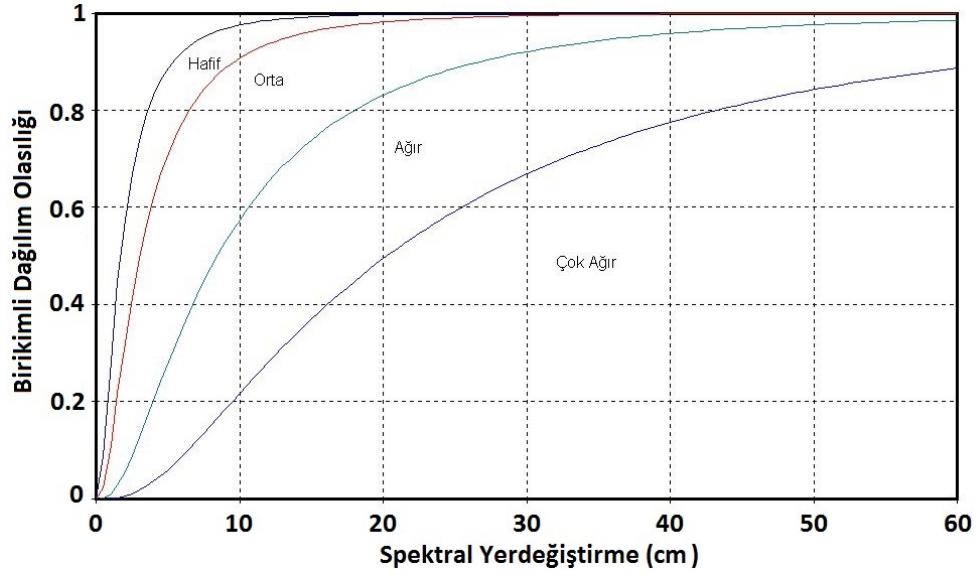
Değerlendirme için %50 hasar olasılığını gösteren tam orta nokta referans olarak kabul edilirse; Şekil 22'ye göre; İzmir için 1-2 katlı yapıların hafif hasar olasılığı 0-2cm, orta hasar olasılığı 2-3cm, ağır hasar olasılığı 3-8cm ve çok ağır hasar olasılığı 8-20cm aralığında dağılım göstermektedir. Bu değerler, bu çalışmada 1998 öncesi inşa edilmiş 1-2 katlı yapılar için elde edilen dağılımla yaklaşık olarak örtüşmektedir. İzmir Deprem Master Planı'nın 2000 yılında hazırlandığı göz önüne alındığında envanterdeki yapıların büyük çoğunluğunu 1998 öncesi yapıların bu benzerliğin sebebi olarak ön plana çıkmaktadır.

Şekil 23'te ise İzmir'deki 1975 sonrası 3-5 katlı yapılar için elde edilmiş kırılmalık eğrileri görülmektedir.

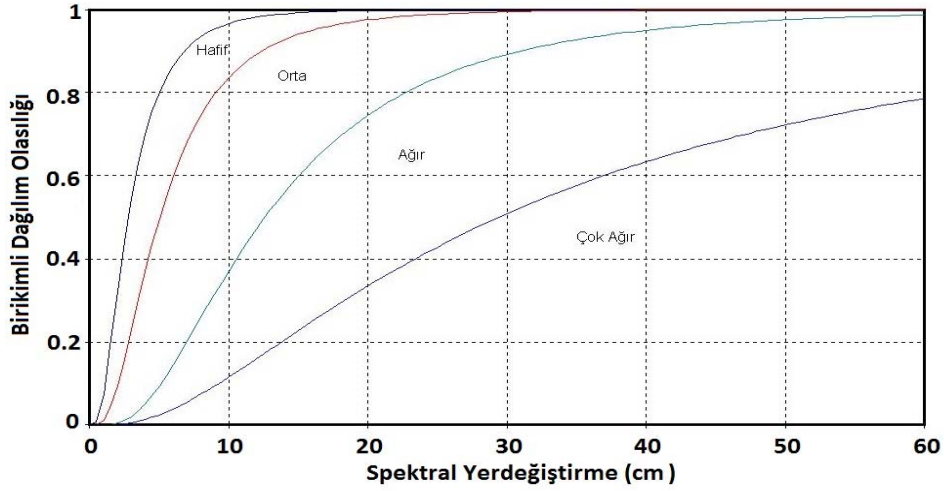
Değerlendirme için yine eğrilerin orta noktası referans olarak kabul edilirse; Şekil 22'ye göre; hafif hasarın olasılığı yaklaşık olarak 0-3cm, orta hasar olasılığı 3-5cm, ağır hasar olasılığı 5-13cm ve çok ağır hasar olasılığı 13-30cm arasında dağılım göstermektedir. İzmir'deki 3-5 katlı yapılar için bulunan değerler yine bu çalışmada 1998 öncesi inşa edilmiş 3-5 katlı yapılar için elde edilen dağılımla yaklaşık olarak örtüşmektedir.

*Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri*

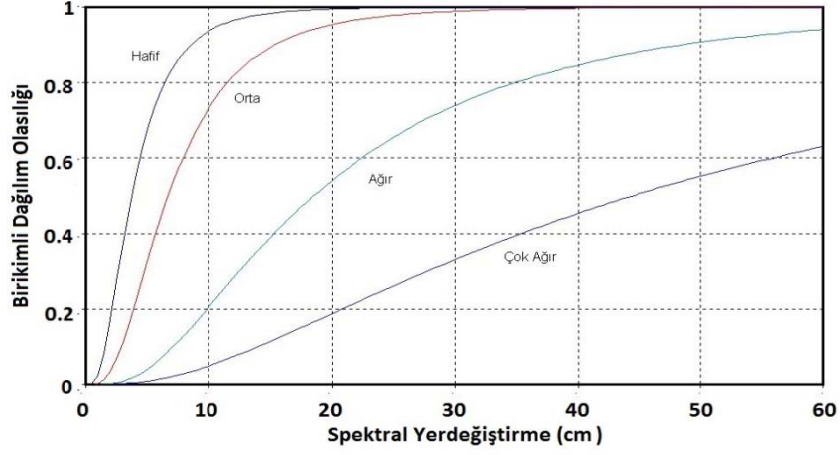
Şekil 24'te ise İzmir'deki 1975 sonrası 6 ve daha fazla katlı yapılar için elde edilmiş kırılmalık eğriler görülmektedir.



Şekil 22. İzmir'de 1975 sonrası inşa edilmiş 1-2 katlı betonarme binalar için kırılmalık eğrileri [26]



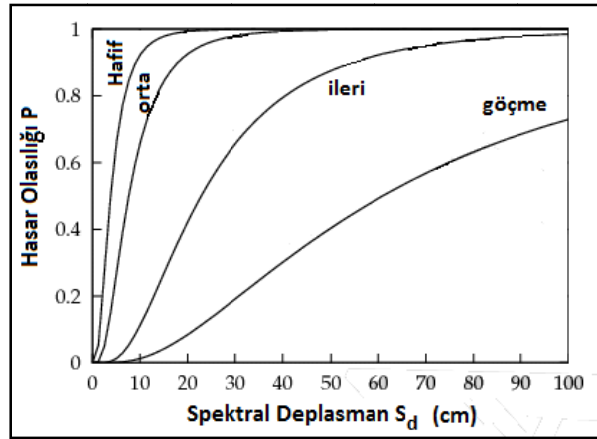
Şekil 23. İzmir'de 1975 sonrası inşa edilmiş 3-5 katlı betonarme binalar için kırılmalık eğrileri [26]



Şekil 24. İzmir'de 1975 sonrası inşa edilmiş 6 ve daha fazla katlı betonarme binalar için kırılmalık eğrileri [26]

Şekil 24.'teki hasar dağılımında; ağır hasar ve çok ağır hasar seviyesi eğrilerinin bu çalışmada 1998 öncesi 6-7 katlı binaların hasar dağılımdan daha büyük yerdeğiştirme değerleri gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu durumun envanterdeki binaların kat sayısı farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan binalarda en yüksek kat adedi 7 kat olmasına karşın, İzmir için yapılan çalışma envanterinde çok sayıda 8 ve üzeri kat adedine sahip bina bulunmaktadır. İstanbul Deprem Master Planı kapsamında yapılan çalışmalarda da benzer yapı tipleri için benzer yanıl yerdeğiştirme sonuçları elde edilmiştir [27].

Bu çalışmalara paralel olarak Şekil 25'te HAZUS çalışmasında orta katlı betonarme yapılar için önerilen kırılmalık eğrileri görülmektedir.



Şekil 25. Orta Katlı Betonarme Yapılar İçin Kırılmalık eğrileri [28]

### *Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri*

Ülkemizde meydana gelen büyük depremlerin hasar tespit raporları incelendiğinde; 1999 Marmara depreminde, incelenen 200.000'in üzerinde betonarme konutun yaklaşık %30'u ağır hasarlı veya yıkık olarak rapor edilmiştir [27, 29, 30, 31]. Yine 2011 Van depreminde incelenen 12500 binadan yaklaşık %25'inin ağır hasarlı olduğu rapor edilmiştir [32].

Söz konusu depremlerde tespit edilen hasarlı binaları bu çalışmadaki bina guruplarıyla bire bir eşleştirmek mümkün olmamakla birlikte, Marmara depreminde genel olarak 1998 öncesi inşa edilmiş orta katlı betonarme binaların yoğunlukta olduğu tahmin edilmektedir [34, 35, 36, 37]. Van depremindeki hasarlı binalarda ise 1998 öncesi ve sonrası inşa edilmiş yapıların karışık olduğu gözlenmiştir [32, 38, 39]. Mevcut deprem hasar raporları ile bu çalışmada önerilen yöntem sonuçlarını en yakın biçimde kıyaslayabilmek amacıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te 6 Katlı betonarme binalar referans alınmıştır. Tablo 4'te Marmara ve Van depremlerinde 6 katlı betonarme binaların aldığı hasarlar görülmektedir. Tablo 5 ise, bu çalışmada önerilen yöntemle 6 ve 7 katlı betonarme binalarda oluşabilecek hasar tahminlerini göstermektedir.

*Tablo 4. 6 Katlı Betonarme Binalar İçin 1999 Marmara ve 2011 Van Depremlerinde Tespit Edilen Hasar Durumları [32, 34, 35, 36, 37, 38, 39]*

Bina Grubu	Hasarsız	Hafif Hasarlı	Orta Hasarlı	Ağır Hasarlı veya Yıkık
2011 Van Depremi	%20	%26	%20	%34
1999 Marmara Depremi	%9	%23	%51	%17

*Tablo 5. 6 Katlı Binaları İçeren Grupların Hasar Olasılıkları*

Bina Grubu	Hasarsızlık Olasılığı	Hafif Hasar Olasılığı	Orta Hasar Olasılığı	Ağır Hasar veya Göçme Olasılığı
98Ö67İ	%24	%30	%27	%21
98Ö67K	%20	%15	%42	%28
98S67İ	%24	%41	%28	%17
98S67K	%20	%38	%22	%20

Tablo 4 ve Tablo 5 birlikte ele alındığında; 1999 Marmara depreminde 6 katlı binaların %17'si, Van depreminde ise %34'ü ağır hasarlı ve yıkık olarak görülmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemle göre ise Ağır hasarlı ve yıkık bina oranının %17 ile %28 arasında olacağı hesaplanmıştır.

Yapılan bir çok çalışma Türkiye genelinde yaygın olarak kullanılan az ve orta katlı betonarme yapıların yan al deplasman altında benzer hasar dağılımları gösterdiğini ortaya koymaktadır [2, 5, 13, 14].

## 7.2. Sonuç ve Öneriler

Taşıyıcı sistemde betonarme çerçevelerle birlikte betonarme perde duvarlara yer verilmesinin yapı rijitliğini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir. Bu çalışma perde+çerçeve sistemlerin ağır hasar riskini azaltmakta oldukça etkili olduğunu tekrar göstermiştir. Buna rağmen çalışmada incelenen binalarda perde duvar kullanımının oldukça seyrek düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Taşıyıcı sisteminde betonarme çerçeve ve perde duvarların birlikte kullanıldığı bu tür binaların birçoğunda ise perde duvar sayısı sınırlı düzeyde kalmıştır. Çalışmada incelenen perde+çerçeve sistemli binalarda, betonarme kesit alanları dikkate alındığında; perde duvarların kolonlara oranı %10-30 arasında değişmektedir. Taşıyıcı sistemde kullanılan perde duvar sayısının artırılması binada kullanılan betonarme oranını artırmaktadır. Depreme karşı daha dayanıklı yapılar inşa etmek için; bundan sonra inşa edilecek olan betonarme yapılarda perde duvar oranlarının artırılması oldukça önemlidir. Çalışmadaki binaların betonarme alanının zemin kat alanına oranı binde 5 ile yüzde 3 arasında değişiklik göstermiştir. Yönetmelikler düzenlenirken binaların kat alanına bağlı olarak minimum betonarme alanı ile ilgili düzenlemelerin de yapılması faydalı olacaktır. Her geçen gün beton teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte beton kalitesinin artması daha az beton alanı ile yönetmeliklerin gerektirdiği şartları sağlayabilmeyi mümkün kılmaktadır. Fakat binadaki taşıyıcı eleman kesitlerinin küçülmesi, depremde dezavantaj teşkil edebilmektedir. Bu soruna bir çözüm önerisi olarak; yönetmeliklerin betonarme binalar için sadece çerçeve sistemlerle çözüm yapılması yerine perde duvar kullanılmasını teşvik edecek şekilde düzenlenmesi faydalı olacaktır.

## Kaynaklar

- [1] TUBİTAK Türkiye Ulusal Deprem Araştırmaları Programı 2005-2014, Tübitak Yayınları, Ankara, 2005.
- [2] Uçar, T., Düzgün, M. Betonarme binalar için artımsal itme analizi esaslı analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması. İMO Teknik Dergi. 2013, (402), 6421-6446.
- [3] Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P., Akka , N., (1983). Second Turkish Nuclear Power Plant Site Selection Investigations: A Probabilistic Assessment of the Seismic Hazard in Turkey, Earthquake Engineering Research Center, Middle East Technical University, METU/EERC Report No. 83-01, Ankara.
- [4] Akkaya, A.D. and Yüccemen, M.S., "Stochastic Modeling of Earthquake Occurrences and Estimation of Seismic Hazard: A Random Field Approach", Probabilistic Engineering Mechanics, 2002, (17), 1-13.
- [5] Özcebe, G., Yüccemen, M.S. and Aydoğan, V., "Statistical Seismic Vulnerability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings on a Regional Scale", Journal of Earthquake Engineering, 2004, 8(5), 1-25.
- [6] Kemec S, Duzgun HSB (2006a) Use of 3D visualisation in natural disaster risk assessment for urban areas. In: Abdulrahman A, Zlatanova S, Coors V (eds) Lecture notes in geoinformation and cartography series, innovations in 3D geo information systems. Springer, New York, pp 557-566

- [7] Kemec S, Duzgun HSB (2006b) 3-D visualisation of urban earthquake risk, ECI conference: geohazards—technical, economical and social risk evaluation 18–21 June 2006, Lillehammer, Norway
- [8] Binici, B., Yakut, A., Özcebe, G., Erenler, A., “Provisions For The Seismic Risk Evaluation Of Existing Reinforced Concrete Buildings In Turkey Under The Urban Renewal Law” *Earthquake Spectra*, 2015, 31(3), 1353-1370.
- [9] Yüçemen, M. S., “Probabilistic Assessment of Earthquake Insurance Rates for Turkey “, *Natural Hazards*, 2005, (35) 291-313.
- [10] Yakut, A., Özcebe, G. and Yüçemen, M.S., “Seismic Vulnerability Assessment Using Regional Empirical Data”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2006, (35),1187-1202.
- [11] Askan, A. and Yüçemen, M. S., Probabilistic Methods for the Estimation of Potential Seismic Damage: Application to Reinforced Concrete Buildings in Turkey. "Structural Safety", 32, (2010), p.262-271.
- [12] Duzgun, H. S. B., Yucemen, M. S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K., Kemec, S., An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework for Urban Areas. "Natural Hazards", 59, (2011), p.917-947.
- [13] Un, E., Erberik, M. A., Askan, A. Performance assessment of Turkish residential buildings for seismic damage and loss estimation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2015, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000547.
- [14] Güneyisi, E. M., Şahin, N. D. Viskoelastik sönümleyicili yapıların hasar potansiyeli eğrilerinin belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim, Ankara, 2011.
- [15] Kayabalı, K., (2002). Modeling of Seismic Hazard for Turkey Using the Recent Neotectonic Data, *Engineering Geology*, Vol. 63, 221-232.
- [16] Deniz A (2006) Estimation of earthquake insurance premium rates for Turkey. M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, METU, Ankara
- [17] Abo-El-Ezz, A., Nolle, M. J., Nastev, M. Seismic fragility assessment of low-rise stone masonry buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 2013, 12(1), 87-97.
- [18] Hsieh, M. H., Lee, B. J., Lei, T. C., Lin, J. Y. Development of medium and low rise reinforced concrete building fragility curves based on Chi-Chi Earthquake data. *Natural Hazards*. 2013. 69(1), 695-728.
- [19] Lignos, D. G., Karamanci, E. Drift-based and dual-parameter fragility curves for concentrically braced frames in seismic regions. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013, 90(1), 209-220.
- [20] Casotto, C., Silva, V., Crowley, H., Nascimbene, R., Pinho, R. Seismic fragility of Italian RC precast industrial structures. *Engineering Structures*. 2015, (94), 122-136.
- [21] Kırçıl, M. S., Polat, Z. Fragility analysis of mid-rise R/C frame buildings. *Engineering Structures*. 2006, 28(9), 1335-1345.



- [22] Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanunun Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, T.C Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 2013.
- [23] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988). "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete." J. Struct. Engrg., ASCE, 114(8), 1804-1826.
- [24] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Resmi Gazete No: 26454, Ankara, 2007.
- [25] Quick Guide to HAZUS-MH MR1, Federal Emergency Management Agency, ESRI, California, June 2006.
- [26] İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi, İzmir, 2000.
- [27] Ansal, A. İstanbul deprem senaryoları. İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayını, Deprem Dosyası. 2003, 66(1), 16-26.
- [28] Molina, S., User manual for the earthquake loss estimation tool: SELENA, Norsar and Universidad de Alicante, Norsar, October 1, 2010.
- [29] İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N., Bayülke, N., Çoruh, E., (1996). Catalogue of Earthquakes Between 1976-1996 with Acceleration Records, Earthquake Research Department of the General Directorate of Disaster Affairs Publications, Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, (in Turkish).
- [30] Bal, I. E., Crowley, H., Pinho, R., "Displacement-Based Earthquake Loss Assessment for an Earthquake Scenario in Istanbul", Journal of Earthquake Engineering, 2008, 12(S2), 12-22.
- [31] Özmen, B., (1999). Iso-intensity map of İzmit earthquake, Earthquake Research Department, General Directorate of Disaster Affairs, Ankara, available on-line in Turkish at <http://www.deprem.gov.tr/raporlar.htm>.
- [32] Görgün, E., (2003). Calibration of Various Magnitude Scales in Turkey Using Broadband Data, M.Sc. Thesis, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Bogaziçi University, İstanbul.
- [33] Afet Raporu: "Müdahale,İyileştirme ve Sosyoekonomik Açıdan Van Depremi", T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2014, Ankara.
- [34] Erdik M., Demircioğlu M., Sesetyan K., Durukal E., Siyahi B., "Earthquake hazard in Marmara region, Turkey, Soil Dynamic Earthquake Engineering, 2004, (24), 605-631
- [35] Sümer, E., Türker, M., (2004). Building Damage Detection from Post-Earthquake Aerial Images Using Watershed Segmentation in Gölcük, Turkey, Proceedings, 20th International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress: Geo-Imagery Bridging. Continents, Commission 7, 642-647, İstanbul.
- [36] Özmen, B., "17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)", TDV/DR 010-53, Türkiye Deprem Vakfı, 2000.

*Farklı Tip Betonarme Binalar İçin Geliştirilmiş Hasar Tahmin Yöntemleri*

- [37] Sünbül, A. B., Dağdeviren, U., Gündüz, Z., Arman, H., “1999 Marmara Depremi Sonrası Adapazarı Şehir Merkezi Hasar Durumlarının Analizi Ve Deprem Ekonomik Boyutu”, TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara.
- [38] “Van Depremi Hasar Tespit Raporu” TMMOB Mimarlar Odası, 20 Ocak 2012, Ankara.
- [39] Middle East Technical University Earthquake Engineering Research Center “23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik Ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri” Rapor No: METU/EERC 2011-04, Kasım 2011, Ankara.
- [40] Gürbüz, A. (2015) Manisa'daki perdeli ve perdesiz betonarme konut yapılarının deprem performansının belirlenmesi ve hasar olasılık eğrilerinin çizilmesi, Doktora Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.