



**TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU**

**THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY**

**AZ VE ORTA KATLI BETONARME YAPILARIN
HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

PROJE NO: 104M565

YRD. DOÇ. DR. MURAT ALTUĞ ERBERİK

**EKİM 2006
ANKARA**

ÖNSÖZ

Türkiye’de nüfusun hızlı kentsel büyümeye paralel olarak deprem tehlikesi taşıyan bölgelere kayması, son yıllarda meydana gelen depremlerin sebep olduğu sosyal ve ekonomik kayıpların artmasında ciddi rol oynamıştır. Bu yıkıcı afetler sonrası oluşan kayıplar, deprem tehlikesinin ve bu tehlikeye maruz kalacak yapı stokunun hasargörebilirliğinin belirlenmesi konusunda ülkemizde toplumsal bir farkındalığın oluşmasına yol açmıştır.

Yakın zamanda karşılaşılabileceğimiz olası deprem felaketlerinin mevcut yapı stoku üzerine etkisinin tahmini amacıyla yapılan çalışmalar, deprem zararlarının azaltılması ile ilgili stratejiler geliştirilmesi ve deprem sonrası eylem planlarının hazırlanması için çok önemli birer kilometre taşı olacaktır. Bu genel çerçeve içerisinde ülkemizdeki yapı stokunun %75’ini kapsayan, fiziksel hasar ve can kaybı açısından en kritik grubu oluşturan az ve orta katlı betonarme çerçeve sistemler, bu projede incelenmiştir. Proje kapsamı dahilinde bu yapı grubuna ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuş, oluşturulan eğriler değişik yer hareketi seviyeleri altında incelenmiştir. Tamamlanmış olan bu ve benzeri araştırmalar, Türkiye’de yer alan bina stokunun mevcut deprem riskinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Ayrıca elde edilen bu veriler ışığında, potansiyel depremler sonucu oluşacağı tahmin edilen zararların en aza indirgenmesi için neler yapılması gerektiğini çok açık bir şekilde ortaya koymak mümkün olacaktır.

Bu proje Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	2
İÇİNDEKİLER.....	3
ŞEKİL LİSTESİ.....	5
TABLO LİSTESİ.....	8
ÖZET.....	9
ABSTRACT.....	10
1 Giriş.....	11
2 Türkiye’deki Betonarme Yapı Stokunun Genel Özellikleri.....	12
3 Hasargörebilirlik Eğrileri ile İlgili Literatür Taraması.....	15
4 Hasargörebilirlik Analizi.....	20
4.1 Örneklemeye Teknikleri ile Yapısal Simülasyonların Oluşturulması.....	20
4.1.1 Örneklemeye Metodu.....	21
5 Dizayn ve Analiz.....	23
5.1 Yer Hareketi Kayıtlarının Seçimi.....	23
5.2 Tasarım İlkeleri.....	27
5.3 Tasarım Spektrumu.....	27
5.4 Çalışmada Kullanılan Bina Modellerinin Tasarımı.....	29
5.5 Analiz Metodu.....	30
6 Az ve Orta Katlı yapıların Sınıflandırılması.....	35
6.1 Yapı Sınıflarının Tespiti.....	35
6.1.1 Yapı Sınıflarının Malzeme ve Davranış Özellikleri.....	36
6.1.2 Tersinir Yükler Altındaki Davranış Özellikleri.....	39
7 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması.....	44
7.1 Kuvvetli Yer Hareketi Parametresinin Seçimi.....	44
7.2 Yapısal Özelliklerin Örneklenmesi.....	45
7.3 Yapıların Hasar Sınırlarının Belirlenmesi.....	49
7.4 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması.....	54
7.5 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Karşılaştırılması.....	63
8 Türkiye’deki Az ve Orta Katlı Betonarme Çerçevesel Yapıların Hasar Görebilirliği: Uygulama Çalışması.....	66
8.1 Fatih Bölgesi Yapı Envanteri.....	67

8.2	Hızlı Değerlendirme Metodu	67
8.3	Hasar Tayin Analizi	70
8.4	İkinci Kademe Değerlendirme	71
9	Tek Serbestlik Dereceli Sistemler için Hasargörebilirlik Eğrileri	74
9.1	Eşdeğer Tek Dereceli Sistem	75
9.2	Eşdeğer Tek Dereceli Sistemlerin Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması.....	78
9.3	Elde Edilen Eğriler Üzerine Bir Değerlendirme	91
10	Sonuçlar ve Genel Değerlendirme	95
10.1	Genel Değerlendirme	95
10.2	Sonuç.....	97
REFERANSLAR		99
EK A.....		106
EK B.....		113

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrası bir hava fotoğrafı (ODTU–GISAM).....	13
Şekil 2 17 Ağustos Kocaeli depremi sırasında neredeyse tamamen hasar görmüş bir cadde (ODTU–GISAM).....	14
Şekil 3 Tuğla duvarlı betonarme çerçeveler için üretilmiş hasargörebilirlik eğrileri (Mosalam ve diğerleri, 1997).	18
Şekil 4 Mantar döşemeli orta katlı betonarme binalar için elde edilen potansiyel hasar eğrileri (Erberik ve Elnashai, 2004).....	19
Şekil 5 a) Kümülatif dağılım fonksiyonu (n = 5) b) İhtimal yoğunluk fonksiyonu (n = 5).	22
Şekil 6 FEMA 356 Tasarım Spektrumu Değerleri.....	28
Şekil 7 Analitik Modeller İçin Oluşturulan Tasarım Spektrumları.....	29
Şekil 8 3 katlı model, b) 5 katlı model, c) 7 katlı model, d) 9 katlı model.	33
Şekil 9 Analitik modellerin periyotlarının ampirik periyot değerleri ile karşılaştırılması.....	34
Şekil 10 IDARC çevrim modeli parametrelerinin sembolik olarak gösterimi a) rijitlik azalımı, b) dayanım azalımı, c) çevrimsel davranışta daralma.....	39
Şekil 11 İyi yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=200$, $\beta_1=0.01$, $\beta_2=0.01$, $\gamma=1.0$).....	41
Şekil 12 İyi yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.....	41
Şekil 13 Tipik yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=20$, $\beta_1=0.25$, $\beta_2=0.25$ ve $\gamma=0.6$).....	42
Şekil 14 Tipik yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.....	42
Şekil 15 Zayıf yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=5$, $\beta_1=0.5$, $\beta_2=0.5$, $\gamma=0.3$).....	43
Şekil 16 Zayıf yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.....	44
Şekil 17 Kolon sargı etkisi a) Zayıf b) Tipik c) İyi yapı stoku için örnek modeller.....	47
Şekil 18 Çalışmada tanımlanan hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....	50
Şekil 19 İtme analizinin sembolik olarak gösterimi.....	50
Şekil 20 Rijitlik azalım indeksinin sembolik olarak gösterimi.....	52
Şekil 21 Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ile ilgili yönteminin şematik olarak gösterilmesi.....	56
Şekil 22 MRF3–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	57
Şekil 23 MRF5–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	57

Şekil 24 MRF7–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	58
Şekil 25 MRF9–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	58
Şekil 26 MRF3–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	59
Şekil 27 MRF5–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	59
Şekil 28 MRF7–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	60
Şekil 29 MRF9–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	60
Şekil 30 MRF3–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	61
Şekil 31 MRF5–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	61
Şekil 32 MRF7–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	62
Şekil 33 MRF9–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	62
Şekil 34 MYH=40cm/s için bulunmuş hasar bölgesi olasılıkları.....	63
Şekil 35 MYH=60cm/s için bulunmuş hasar bölgesi olasılıkları.....	64
Şekil 36 MYH=40cm/s için bulunmuş kat bazında hasar bölgesi olasılıkları.....	64
Şekil 37 MYH=60cm/s için bulunmuş kat bazında hasar bölgesi olasılıkları.....	65
Şekil 38 Fatih bölgesi kata göre bina sayıları.....	67
Şekil 39 MYH = 40cm/s için MRF5–T bina türü hasar ihtimaller.....	71
Şekil 40 İtme analizi ve FEMA çift doğrusal kapasite sonucu.....	75
Şekil 41 ADRS Spektrum.....	76
Şekil 42 Deformasyon talebinin yer hareketi hızı cinsinden elde edilmesi.....	80
Şekil 43 Yapı sınıfları için ÖO–MYH bağıntısı ve veriye uygun fonksiyonun özellikleri.....	81
Şekil 43 (devamı) Yapı sınıfları için ÖO–MYH bağıntısı ve veriye uygun fonksiyonun özellikleri.....	82
Şekil 44 MRF3–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	85
Şekil 45 MRF5–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	86
Şekil 46 MRF7–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	86
Şekil 47 MRF9–P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	87
Şekil 48 MRF3–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	87
Şekil 49 MRF5–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	88
Şekil 50 MRF7–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	88
Şekil 51 MRF9–T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	89
Şekil 52 MRF3–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	89
Şekil 53 MRF5–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	90
Şekil 54 MRF7–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.....	90

Şekil 55 MRF9–S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.	91
Şekil 56 Zayıf yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.	92
Şekil 57 Tipik yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.	92
Şekil 58 İyi yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.	93
Şekil A1 MRF3–P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	107
Şekil A2 MRF5–P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	107
Şekil A3 MRF7–P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	108
Şekil A4 MRF9–P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	108
Şekil A5 MRF3–T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	109
Şekil A6 MRF5–T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	109
Şekil A7 MRF7–T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	110
Şekil A8 MRF9–T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	110
Şekil A9 MRF3–S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	111
Şekil A10 MRF5–S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	111
Şekil A11 MRF7–S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	112
Şekil A12 MRF9–S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.	112
Şekil B1 MRF3–P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	114
Şekil B2 MRF5–P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	114
Şekil B3 MRF7–P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	115
Şekil B4 MRF9–P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	115
Şekil B5 MRF3–T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	116
Şekil B6 MRF5–T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	116
Şekil B7 MRF7–T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	117
Şekil B8 MRF9–T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	117
Şekil B9 MRF3–S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	118
Şekil B10 MRF5–S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	118
Şekil B11 MRF7–S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	119
Şekil B12 MRF9–S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.	119

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Yer hareketi kayıtları: Grup I.....	24
Tablo 2 Yer hareketi kayıtları: Grup II.	25
Tablo 3 Yer hareketi kayıtları: Grup III.....	26
Tablo 4 Yer hareketi gruplarının istatistiksel verileri.	27
Tablo 5 Analitik modellerin kesit ve periyot değerleri.	32
Tablo 6 Çalışmaya konu olan 12 farklı yapı tipi.....	35
Tablo 7 Beton Dayanımı ortalama değerleri ve değişkenliği.....	37
Tablo 8 Çelik akma dayanımı ortalama değerleri ve değişkenliği.....	37
Tablo 9 Beton elastisite modülü ortalama değerleri ve değişkenliği.....	38
Tablo 10 Çelik elastisite modülü ortalama değerleri ve değişkenliği.....	38
Tablo 11 Farklı yapı sınıfları için kütle ve sönüm değerleri.....	39
Tablo 12 Değişik performans seviyeleri için önerilen parametre değerleri.....	40
Tablo 13 Üç farklı yapı sınıfı için kullanılan çevrim modeli parametreleri.....	44
Tablo 14 İyi sınıf yapı stoku için beton dayanımı değerlerinin LHS ile oluşturulması.....	46
Tablo 15 İyi sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.....	47
Tablo 16 Tipik sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.....	48
Tablo 17 Zayıf sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.....	49
Tablo 18 Hasargörebilirlik eğrileri için elde edilen hasar sınırları.....	53
Tablo 19 Kat sayısına bağlı bina taban puanı.....	69
Tablo 20 Olumsuzluk puanı.....	69
Tablo 21 Kat sayısı ve yapı sınıfına göre bina sayısı.....	70
Tablo 22 Yapı sınıfları bazında göçme sınırının değişik yüzdeler için aşılma olasılığına göre bina sayısı.....	72
Tablo 23 Kat bazında göçme sınırının değişik yüzdeler için aşılma olasılığına göre bina sayısı.....	72
Tablo 24 Hasar Katsayıları.....	73
Tablo 25 Bina sayıları ve hasargörebilirlik değerleri.....	73
Tablo 26 İyi, tipik ve zayıf yapı sınıfları için eşdeğer TSD sistem parametreleri.....	77
Tablo 27 Tüm yapı sınıfları için elde edilen β_D değerleri.....	83
Tablo 28 Eşdeğer TSD sistemler için ortalama hasar sınırı değerleri.....	85
Tablo 29 Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemler.....	95

ÖZET

Yapı sistemlerinin hasargörebilirliğinin yerel yapı karakteristiği ve bina envanteri göz önüne alınarak belirlenmesi, deprem etkilerinin tahmini ve bu etkilerin hafifletilmesi için hayati önem taşımaktadır. Benzer bir çalışmanın ürünü olan bu rapor, Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme çerçeveli yapı sistemlerinin hasargörebilirliğini ortaya koyma amacı taşımaktadır.

Bu projenin kapsamı, ülkemizdeki yapı stokunun yaklaşık %75'ini oluşturan ve genellikle konut amaçlı kullanılan az ve orta katlı betonarme çerçeveli yapı sistemleri ile sınırlıdır. Benimsenen metod sebebiyle 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme çerçeveli yapıların mevcut deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarımı yapılmış ve bu yapılara ait iki boyutlu analitik modeller hazırlanmıştır. Malzeme değişkenliğindeki belirsizlikler analitik simülasyonlarının oluşturulmasında göz önüne alınmış, bu modeller ülkemize özgü yapı karakteristikleri ve büyük depremler sonrası elde edilen sismik performans gerçekleri doğrultusunda zayıf, tipik veya iyi kalite olmak üzere sınıflandırılmıştır. Yapıların farklı deprem grupları için hesaplanmış talep istatistikleri maksimum katlararası ötelenme oranı ile ifade edilmiştir. Yapısal kapasite hasar sınırları ile tanımlanmıştır. Hasargörebilirlik eğrileri her bir yapı sınıfı için oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda, elde edilen hasargörebilirlik eğrileri bölgesel hasar tahmin çalışmasına uygulanmıştır. Bu amaçla, İstanbul'un Fatih ilçesinde yürütülen yapıların deprem güvenliği projesine dahil bina envanteri kullanılmıştır. Ortaya çıkan sonuçların ışığında ülkemizdeki az ve orta katlı betonarme çerçeveli binaların doğasındaki yapısal zayıflıklar hasar potansiyeli fonksiyonları ile yansıtılmıştır.

Sonuç olarak bu araştırma projesi önümüzdeki dönemde ülkemizde özellikle kentsel alanlarda yapılacak deprem hasar ve kayıplarının tahminine ilişkin çalışmalar için güvenilir bir hasar potansiyeli veri tabanı oluşacaktır.

Anahtar Sözcükler: Betonarme çerçeveli yapılar, yapısal zayıflıklar, hasargörebilirlik eğrisi sismik talep, malzeme değişkenliği, hasar tahmin analizi.

ABSTRACT

The investigation of structural vulnerability by considering the country-specific characteristics of building stock is vital to manage the earthquake risk and to develop strategies for disaster mitigation. Such a research project aimed to assess the structural deficiencies in low-rise and mid-rise reinforced concrete frame structures in Turkey is presented in this report.

The scope of the research project is low-rise and mid-rise structures, which constitute approximately 75% of the total building stock in Turkey and which are generally occupied with residential purposes. As a consequence of the methodology followed, the seismic design of 3, 5, 7 and 9-story reinforced concrete frame structures are carried out based on the current earthquake codes and two dimensional analytical models are constructed accordingly. The uncertainty in material variability is taken into account in the formation of structural simulations. Frame structures in this study are categorized as poor, typical or superior according to the specific characteristics of construction practice and the observed seismic performance of structures after major earthquakes in Turkey. The seismic demand statistics in terms of maximum interstory drift ratio are obtained for different sets of ground motion records. The capacity is determined in terms of limit states and the corresponding fragility curves are obtained from the probability of exceedance each limit state for different levels of ground shaking. In the last phase of the study, the generated fragility curves are employed in a regional loss estimation study. For this purpose, the building database that has been constituted during the project regarding the assessment of seismic safety of building structures in Fatih district, Istanbul. The results are promising in the sense that the inherent structural deficiencies are reflected in the final fragility functions.

Consequently, this report provides a reliable fragility-based database for earthquake damage and loss estimation studies in urban areas of Turkey.

Keywords: Reinforced concrete frame structures, structural deficiencies, fragility curve, seismic demand, material variability, damage estimation analysis.

1 Giriş

Ülkemizde son on yıl içerisinde kentsel bölgelerde meydana gelen depremler, hem maddi hem de manevi açıdan çok büyük kayıplara yol açmıştır. Bu yıkıcı afetler sebebiyle oluşan hasar, Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkenin ekonomisinde büyük sıkıntılara neden olmaktadır. Buna ek olarak ortaya çıkan üretim kaybının sonucu, ekonomik zararlar katlanarak artmıştır. Ülke nüfusunun yoğun olarak yaşadığı bölgelerin aktif fay hatlarının yakınında bulunması, yakın gelecekte bu tür felaketlerle karşılaşmaya devam edeceğimizin bir göstergesidir. Öyleyse olası deprem etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin hafifletilmesi amacıyla çeşitli stratejilerin ortaya konulması gerekmektedir. Bu hedefe ulaşmanın önkoşulu, çok kapsamlı ve disiplinler arası bir çalışmadır. Böyle bir çalışmanın yapı mühendisliği ile ilgili kısmı, mevcut yapı stokunun hasargörebilirliğinin belirlenmesidir.

Deprem tehlikesinin tanımlanması ve yapı sistemlerinin hasargörebilirliğinin belirlenmesi deprem afetinin etkisinin tahmini amacıyla yapılan çalışmaların temel iki bileşenidir. Bunlardan ilki, bir mikrobölgeleendirme haritasının hazırlanmasını hedefler ve bu çalışmanın kapsamı dışındadır. İkinci bileşen ise daha çok şehir bölge planlama ve inşaat mühendisliğinin ilgi alanına girmekte olup, genel olarak mevcut bina stokunun ve diğer inşaat yapılarının (barajlar, köprüler, santraller, sanayi yapıları, vb.) belirlenmesi, sınıflandırılması ve hasargörebilirliğinin saptanmasını içerir.

Afet senaryolarının hazırlanması aşamasında, yapıların hasargörebilirlik eğrileri çıkarılırken ülkemizdeki yapı stokuna özgü hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Ancak bu durum genellikle gözardı edilmiş ve farklı ülkelerdeki yapı stoklarının hasargörebilirliğinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler, ülkemizde deprem hasarlarının ve kayıplarının tahmin edilmesi için yapılan çalışmalara adapte edilmiştir. Ancak, yapı stoku karakteristikleri arasında yer alan farklılıklar, elde edilen hasargörebilirlik eğrilerine de yansımakta ve sonuç olarak hasar ve kayıp tahminlerinde büyük yanılgılara yol açabilmektedir.

Ülkemizde, özellikle son yıllarda meydana gelen depremler sonrası gözlemlenen hasar ile ilgili geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Buradaki en önemli husus, hasarı gözlemlenen yapılarla ilgili verilerin, daha sonra bir istatistiksel çalışmada kullanılacağı göz önünde

bulundurularak titizlikle alınmış olmasıdır. Bu projenin amacı, son yıllarda elde edilen ciddi bilgi birikimini, en gelişmiş hesap yöntemlerini kullanarak ve ülkemizin yapı karakteristiklerini dikkate alarak hasar potansiyellerinin belirlenmesidir. Böylece hem yer hareketi özelliklerinin, hem de ülkemizdeki binalara özgü bazı yapısal özelliklerin hasargörebilirlik üzerindeki etkisini belirlemek mümkün olacaktır.

2 Türkiye'deki Betonarme Yapı Stokunun Genel Özellikleri

Betonarme inşaat, sıradan yapılardaki uygulanış kolaylığı, kalıplar aracılığıyla geometrik şekillendirme rahatlığı ve malzeme temin olanakları ile çağımızın yapım tekniği halindedir. Üstelik ülkemizdeki acemi ve üstünkörü yapım yöntemi betonarmeyi hızlı ve ucuz bir tekniğe dönüştürmüştür.

Hızla artan ülke nüfusu, kentleşme çabası ve kitlelerin çok kısa zaman içerisinde barınma ihtiyacını karşılamak istemesi, hem yerleşim bölgelerinin deprem güvenliği zayıf bölgelere kaymasına hem de buradaki yapı stokunun hiçbir yapısal anlayışa sığmayacak şekilde inşa edilmesine sebebiyet vermiştir.

Önceleri sadece kentsel yerleşim alanlarında karşımıza çıkan betonarme zaman içinde taşrada da kendisini göstermiş, hatta köyden kente göç eden kişilerin ucuz barınma ihtiyacını karşılamak üzere son derece mütevazı malzemeler ile inşa ettikleri gecekondular diye tabir edilen yapılarda bile kabul görmüştür. Bu tür bir yaygınlık içerisinde bilgisizce ve acemice inşa edilen betonarme yapılardan depreme dayanıklı bir davranış beklemek mümkün olmadığı gibi, son zamanlarda karşımıza düşey yükler altında dahi stabilitesini koruyamayan, kendi ağırlığı sebebiyle yıkılıp onlarca kişiye mezar olan yapılar çıkmaktadır (Karaesmen, 2002).

Bina sahipleri veya müteahhitler betonarme yapı tekniği konusunda bu denli sorumsuzca hareket ederken, kontrol ve uygulama denetimi ile mesul kurumlar da dikkatsiz ve düzensiz davranmış, sık sık gündeme gelen imar afları ve hukuksal çerçevedeki eksiklikler kalitesiz ve kontrolsüz bir yapı stokunun oluşmasına zemin hazırlamıştır. Şiddetli bir depremde çok ciddi hasar gören ve hatta yıkılan, bu sebeple can kayıpları ve maddi hasarın yoğunlaştığı bu tip yapılar ile ilgili gözlemler, yapıların büyük bir çoğunluğunda yürürlükte

olan yönetmeliğe uyulmadığını ve tasarım aşamasında mimari ve/veya taşıyıcı sistem seçilirken deprem davranışının göz önünde bulundurulmadığını ortaya koymaktadır.

Ülkemizdeki betonarme yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem davranışı açısından yetersiz, beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra bu yapılarda yumuşak kat, kısa kolon, kuvvetli giriş zayıf kolon gibi sistem yetersizliklerinin de bulunması, deprem güvenliği yeterli olmayan büyük bir yapı stokunu gündeme getirmektedir. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir (Özcebe ve diğerleri, 2002). Şekil 1 ve Şekil 2’de 1999 Kocaeli depremi sırasında yıkılmış olan orta katlı betonarme yapılardan örnekler yer almaktadır.



Şekil 1 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrası bir hava fotoğrafı (ODTU–GISAM).

Ülkemizde betonarme yapılara ait kusurlar üç ana başlık altında toplanabilir: Tasarım kusurları, donatı kusurları ve yapım kusurları (Tankut, 1999).

Tasarım kusurları: Ülkemizde özellikle kırsal alanlarda, hatta bazı kentsel yerleşim alanlarında dahi ehil bir tasarımdan söz etmek maalesef mümkün değildir. Özellikle bina mimarisi oluşturulurken ortaya çıkan kusurlar deprem dayanımı açısından hayati önem

taşımaktadır. Depremselliği açıkça bilinen ülkemizdeki birçok mühendis ve mimarlara depreme dayanıklı yapı kavramının verilememiş olması daha tasarım aşamasında binayı yapı güvenliği açısından yetersiz kılmaktadır. Ülkemizde karşılaşılan tasarım kusurlardan bazıları;

- Yetersiz yanal rijitlik
- Yatay ve düşey doğrultu düzensizlikleri
- Yumuşak ya da zayıf katlar
- Kısa kolonlar
- Ağır çıkımlar
- Zayıf kolon–güçlü kiriş birleşimleri vb.



Şekil 2 17 Ağustos Kocaeli depremi sırasında neredeyse tamamen hasar görmüş bir cadde (ODTU–GISAM).

Donatı kusurları: Bu tip kusurlar proje aşamasında, özellikle bilgisizlik ve umursamazlık sonucu, hem hesap hatası hem de detaylandırma hatası şeklinde sıkça görülmektedir.

- Yetersiz sargılama donatısı
- Yetersiz ve yanlış kenetleme
- Yetersiz kolon–kiriş birleşim bölgesi donatısı vb.

Yapım kusurları: Yapım aşamasındaki vurdumduymaz anlayış denetimsizlik ile birleşince, inşa edilen yapının tasarımdakinden farklı olması kaçınılmaz bir sonuçtur. Kontrol düzeni eksikliğinde ortaya çıkması kaçınılmaz bu kusurlar;

- Düşük nitelikli işçilik
- Projede olmayan birtakım yapısal unsurların eklenmesi
- Deprem davranışında hayati öneme sahip bazı yapısal elemanların yapım aşamasında göz ardı edilmesi
- Düşük nitelikli beton
- Proje ile uyumsuz eleman boyutları
- Yetersiz ve yanlış donatı uygulamaları.

Ülkemizde halen yaygın olarak kullanılan betonarme yapıların deprem performansları, kalkınmış ülkelerde gözlenenlerin çok altında kalmaktadır. 1992 Erzincan depreminde 4 ve 6 katlı betonarme binaların yaklaşık %50'sinin deprem hasarı sebebiyle tamamen yıkılıp yeniden inşa edilmesi veya ciddi bir tamir-takviye işlemine tabi tutulması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu, 1995 Hanshin (Japonya) depreminde gözlenmiş oranın yaklaşık 4 katı, 1995 Northridge (ABD) depreminde gözlenenin ise yaklaşık 12 katıdır.

3 Hasargörebilirlik Eğrileri ile İlgili Literatür Taraması

Hasargörebilirlik eğrileri, herhangi bir yapı tipinin, değişik yer hareketi seviyeleri altında önceden belirlenmiş hasar seviyelerini aşma olasılıklarını verir. Bu eğriler, son zamanlarda Amerika Birleşik Devletleri ve diğer gelişmiş ülkelerde yeni binaların tasarımı ve varolan binaların deprem davranışlarının değerlendirilmesi için geliştirilen performans- esaslı tasarım yöntemleri içerisinde sıklıkla kullanılan araçlardandır.

Hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması amacıyla çok basitten çok komplekse doğru sıralanabilecek pek çok yöntem ve model mevcuttur. Doğal olarak, basit yöntemler ve modeller kullanılarak elde edilen eğriler daha yaklaşık sonuçlar vermekte, kompleks yöntemler ve modeller kullanılması durumunda ise gerçek davranışa daha yakın sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir.

Hasargörebilirlik eğrilerini çıkarmanın en kolay yollarından biri uzman görüşüne başvurmaktır. Bu yöntem kullanılarak yapılan en sistematik çalışma, Amerika Birleşik Devletleri'nde Applied Technology Council (ATC) adıyla bilinen bir kuruluş tarafından gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar ATC-13 (Applied Technology Council, 1985) raporunda sunulmuştur. Bu çalışmada 40 farklı yapı tipi için hasargörebilirlik eğrileri elde edilirken, 58 farklı uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Bu uzmanlardan, öngörülen bir yer hareketi seviyesi altında söz konusu yapıların hangi seviyelerde hasar göreceğini tahmin etmesi istenmiş ve elde edilen sonuçlar, hasar olasılık matrisleri (bir yer hareketi seviyesi altında söz konusu yapının değişik hasar seviyelerinde bulunma olasılığını yüzde oranlar şeklinde veren tablolar) şeklinde sunulmuştur. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, uzmanların kişisel fikirlerine dayanan öznel verileri esas almasıdır. Bir uzmanın görüşü, diğer bir uzmana göre çok büyük farklılık gösterebilir. Bu sebepten dolayı hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması sırasında yer hareketi ve yapısal özelliklerden kaynaklanan belirsizliklerin yanına bir de uzmanların öznel görüşlerinden kaynaklanan belirsizlik eklenmektedir. Buna rağmen ATC-13 raporunda verilen eğriler, daha sonra hem birçok çalışmaya örnek olmuş, hem de bazı çalışmalarda esas olarak alınmıştır (Cardona ve Yamin, 1997; King ve diğerleri, 1997). Bunlardan en önemlisi, HAZUS Deprem Hasar Tahmin Metodolojisidir (National Institute of Building Sciences, 1999). Uzman görüşlerini esas almaya devam eden bu çalışmadaki tek fark, ATC-13'de yer hareketi parametresi olarak kullanılan Merkali Şiddet Ölçeği'nin yerini spektral yer değiştirme ve ivmenin almasıdır.

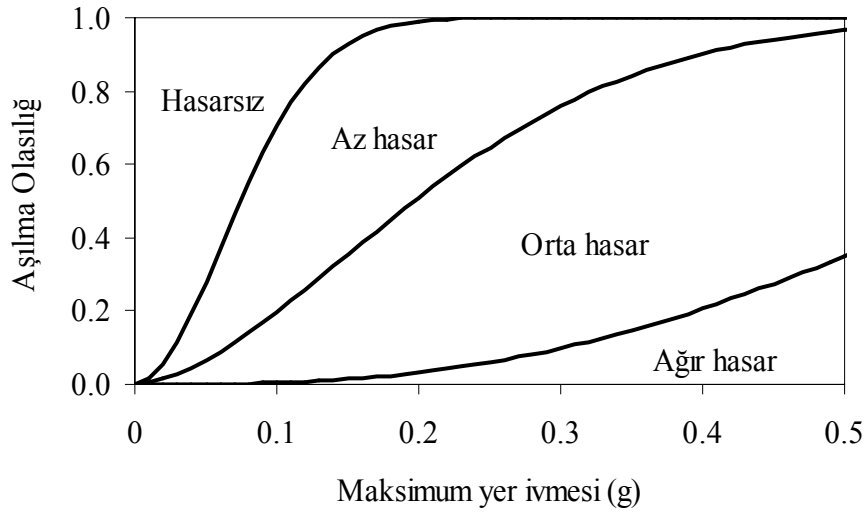
Hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesi için kullanılan bir diğer yöntem, deprem sonrası gerçek bina davranışını gözlemlemektir. Böylece geçmiş depremler sonrası elde edilen hasar durumu verileri istatistiksel olarak değerlendirilip eğrilerin oluşturulacağı formata dönüştürülür. Genellikle mühendislik hizmeti görmemiş ya da deprem davranışı karmaşık olan yapı tipleri için (örneğin yığma yapılar) uygundur. Bu yöntemi esas olarak yapılan ilk çalışmalardan birinde, ABD'nin San Fernando bölgesinde 1971 yılında meydana gelen deprem sonrası 5 katlı ya da daha yüksek yapıların uğradığı hasar yerinde incelenmiş ve eğrilerin elde edilmesinde bu gerçek yapı davranışına ait istatistiksel veri tabanı kullanılmıştır (Whitman ve diğerleri, 1974). 1989 yılında İsviçre Sigorta Şirketi, 1978 Albstadt (Almanya) ve 1985 Şili depremlerinde gözlemlenen hasarı esas olarak benzer bir çalışma yapmıştır (Porro ve Schraft, 1989). Bu konudaki en son araştırmalardan birinde, 19 değişik deprem sonrası betonarme yapılarda gözlemlenen hasar verileri kullanılmıştır (Rossetto ve Elnashai,

2003). Ancak araştırmacılar, ellerinde çok geniş bir veri tabanı olmasına rağmen her deprem sonrası birbirinden çok farklı gruplar tarafından değerlendirilmiş olan yapı davranışlarını sistematik bir şekilde gruplamanın zorluklarından bahsetmişlerdir.

Hasargörebilirlik eğrilerinin belirlenmesi için deneysel yöntemlerden de faydalanılabilir. Son yıllarda büyük ölçekli ve daha gerçekçi deneysel modelleri test etme imkânlarının artması, ilginin deneysel alana doğru yönelmesine neden olmuştur. Ancak büyük ölçekli deneylerin hem zaman açısından hem de ekonomik açıdan çok pratik olmayışı, deneysel yöntemlerin önündeki en büyük engeldir. Çok sayıda büyük ölçekli deney elemanını test etmek pratik açıdan mümkün olmadığı için parametrik bir çalışma yapmak da çok zordur. Bu yüzden, deneysel çalışmalar genellikle yapıların hasargörebilirliğinin değerlendirilmesi için değil, daha küçük ölçekteki yapı elemanlarının (betonarme kolon, kiriş, perde duvar, vb.) hasargörebilirliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Constantinou ve diğerleri, 2000; Chong ve Soong, 2000).

Hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde en sık kullanılan yöntem, analitik modellerden ve simülasyonlardan faydalanmaktır. Deprem sonrası hasar verileri ya da deneysel veriler olmadığı ve uzman görüşüne başvurulmadığı durumlarda tek çözümler analitik yöntemlerin kullanılmasıdır. Bu projede de analitik yöntemler esas alınacaktır. Analitik yöntemlerin en büyük avantajı kısa sürede çok sayıda yapıyı analiz etme imkânıdır. Bu tip yöntemlerde önemli olan hazırlanan analitik modelin özellikleri ve bu model ile birlikte kullanılacak olan hesaplama metodudur. En basit analitik model, tek serbestlik dereceli sistemdir. Çok az yapısal parametreye sahip olan bu model ile çok fazla sayıda analiz yapmak mümkündür. Bu nedenle pek çok araştırmacı tarafından tercih edilmiştir (Ibarra, 2003; Jeong ve Elnashai, 2004). şekil 3'de Mosalam ve diğerleri (1997) tarafından tuğla duvarlı betonarme çerçeveli yapılar için benzer analitik metotlar kullanılarak üretilmiş hasargörebilirlik eğrileri örnek olarak sunulmuştur. Ancak, bu basit model ile gerçek davranışı ve hasar dağılımını yakalamak mümkün değildir. Sıradan çerçeve davranışı göstermeyen ve kendine özgü yapısal özellikleri olan binalar için genellikle detaylı modeller içeren sonlu eleman programları kullanılmaktadır. Kullanılan analiz metodu da genellikle elastik ya da elastik-ötesi zaman tanım alanı yöntemidir. Normal çerçeve sistemlerinden farklı davranış gösteren mantar döşeme sistemine sahip betonarme binalar için yapılan çalışmalar buna bir örnektir (Erberik ve Elnashai, 2004; Hueste ve Bai, 2004). Erberik ve Elnashai (2004) tarafından yapılan

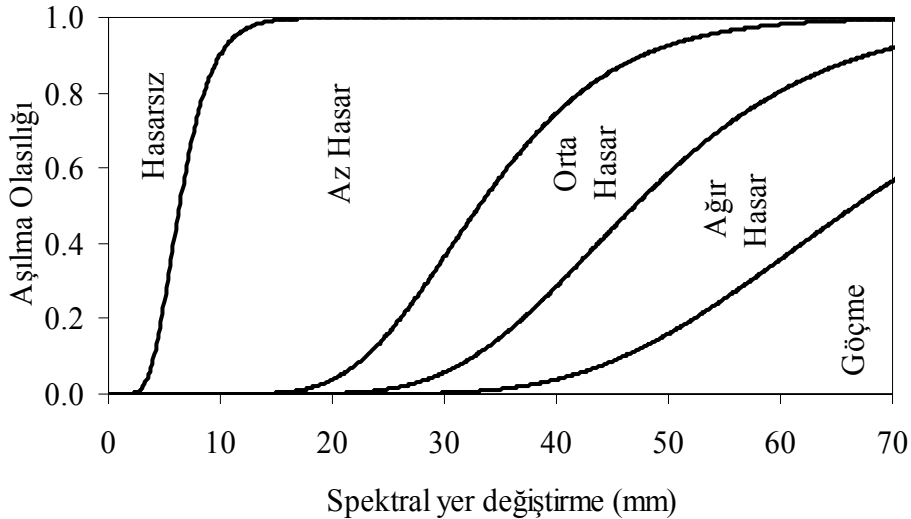
çalışmada elde edilen hasargörebilirlilik eğrileri Şekil 4'te yer almaktadır. Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yapı stokunun özelliklerini taşıyan, az, orta ve çok katlı betonarme yapıların hasargörebilirlilik eğrilerinin çıkarılmasında da sık sık bu tip detaylı modellerden ve analiz metotlarından faydalanılmıştır (Hwang ve Huo, 1997; Singhal ve Kiremidjian, 1997; Wen ve diğerleri, 2003). Ancak zaman tanım alanı metodu çok karmaşıktır ve analizlere harcanan zaman açısından pratik değildir. Bu tür problemler son zamanlarda araştırmacıları spektrum analizini esas alan metotlara yönlendirmiştir. Burada en çok kullanılan metot, Kapasite Spektrum Metodu'dur. Analiz süresi açısından oldukça tasarruf sağlayan bu metotta, yapıya ait artımsal itme analizi sonuçları ve yer hareketine ait elastik (ya da elastik-ötesi) spektrum sonuçları bir arada kullanılır (Barron-Corvera, 2000; Shinozuka ve diğerleri, 2000).



Şekil 3 Tuğla duvarlı betonarme çerçeveler için üretilmiş hasargörebilirlilik eğrileri (Mosalam ve diğerleri, 1997).

Ülkemizde de yakın zamana ait birkaç hasargörebilirlilik çalışması mevcuttur. Tek dereceli sistemleri esas alan çalışmalarda, Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme yapıların hasargörebilirliliğinin belirlenmesi amacıyla Düzce'de 1999 yılında meydana gelmiş olan iki büyük deprem sonrası derlenmiş bina envanterinden faydalanılmıştır (Akkar ve diğerleri, 2005; Erberik ve Çullu, 2006). 5 katlı betonarme sistemler için benzer bir çalışma Baykal ve Kırçıl (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kırçıl ve Polat (2006) ise iki boyutlu analitik modeller kullanarak 3, 5 ve 7 katlı binaların hasargörebilirlilik eğrilerini elde etmişlerdir.

Ancak tüm bu çalışmalar çok yeni ve sayıca yetersizdir. Gerçekçi hasargörebilirlik eğrileri elde etmenin karmaşık ve zahmetli bir iş olmasından dolayı ülkemizde şu ana kadar yapılan deprem hasarının ve kayıplarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda genellikle uluslararası çalışmalarda elde edilen sonuçlardan faydalanılmıştır. Başka bir deyişle, bu çalışmalar sonucunda çıkarılmış olan hasargörebilirlik eğrileri, bina stokumuza ait hasargörebilirliğin belirlenmesi amacıyla ya hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılmış, ya da ülkemiz koşullarına uyarlanması amacıyla çok basit yaklaşımlar içeren değişikliklere gidilmiştir. Buradaki en büyük problem, bu çalışmaların yapıldığı ülkeler ile Türkiye'nin yapı karakteristiği arasındaki büyük farklılıkların gözardı edilmesi veya gerektiği şekilde dikkate alınmamasıdır. Gelişmiş ülkelerdeki inşaat uygulamalarında sağlanan deprem güvenliği düzeyi, genellikle gelişmekte olan ülkemizin karakteristiğine uymamaktadır. Özellikle betonarme yapılarda yürürlükte olan yönetmeliğe uyulmaması, tasarım aşamasında deprem davranışının göz önüne alınmaması ve de yapım aşamasında etkin bir denetim uygulanmaması yüzünden oluşan zayıflıklar, ülkemizdeki yapıların diğer ülkelerdeki benzer yapılara göre deprem etkileri altında daha olumsuz davranış göstermesine ve hasar görmesine yol açmaktadır. Bu yüzden, ülkemizdeki betonarme yapıların özellikleri göz önüne alınıp bu yapılar için özgün hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ve daha sonra bu eğrilerin deprem hasar tahmini çalışmalarında kullanılması çok daha sağlıklı bir yaklaşım olacaktır.



Şekil 4 Mantar döşemeli orta katlı betonarme binalar için elde edilen potansiyel hasar eğrileri (Erberik ve Elnashai, 2004).

4 Hasargörebilirlilik Analizi

Hasargörebilirlilik tanımı, risk ifadesi ve bu riskin oluşmasına sebep olan tehlikenin saptanması ile mümkündür. Deprem olayında hasargörebilirlilik, yapısal davranış belirsizliği ve deprem tehlikesinin rastlantısallığının bir arada incelenmesi ile ifade edilebilir. Bunu gerçekleştirmek için kullanılacak araç, yapılara ait hasargörebilirlilik eğrileridir. Bunun nedeni, eğrilerin hasarsızlıktan göçmeye kadar tüm davranış spektrumunu ortaya çıkarmasıdır.

Hasargörebilirlilik en temel anlamda herhangi bir yer hareketi seviyesi için bir hasar sınırının aşılma olasılığı olarak ifade edilebilir. Buna göre Hasargörebilirlilik (HG);

$$HG = P[R \geq LS|HI] \quad (1)$$

Denklem (1)'de, R parametresi seçilen tepki ifadesini (deformasyon, kuvvet, hız vs.), LS kapasiteyi ortaya koyan sınır ifadesini, HI ise yer hareketi seviyesini temsil eder. Buna göre yapılardaki hasargörebilirlilik üç çeşit parametreye bağlıdır;

- Yer hareketi seviyesi
- Yapısal kapasite özellikleri
- Herhangi bir talep karşısında bina performansını temsil eden yapısal tepki parametreleri.

4.1 Örneklemeye Teknikleri ile Yapısal Simülasyonların Oluşturulması

Yapıların sismik davranışının tayini, deprem olayının rastlantısal doğası ve betonarme binalardaki malzeme değişkenliği gibi belirsizlikler sebebiyle oldukça zor ve zahmetli bir iştir. Bunca değişken nicelik ve belirsiz durum karşısında geneli yansıtan bir çalışma ancak örneklemeye teknikleri ile mümkündür.

Örneklemeye en temel anlamda anakütleyi oluşturan elemanların, geneli en iyi ifade edecek şekilde seçilme işlemi olarak tanımlanabilir. Örneklemeye, en ideal durum olan anakütleleri oluşturan birimlerin tümünden bilgi almaya dayanan “Tam Sayım” yerine, anakütle birim sayıları çok büyük olduğunda, düşük maliyet, zamandan tasarruf, kontrol edilebilirlik, ayrıntılı analiz gibi faydaları sebebiyle seçilmektedir (Orhunbilge, 1997).

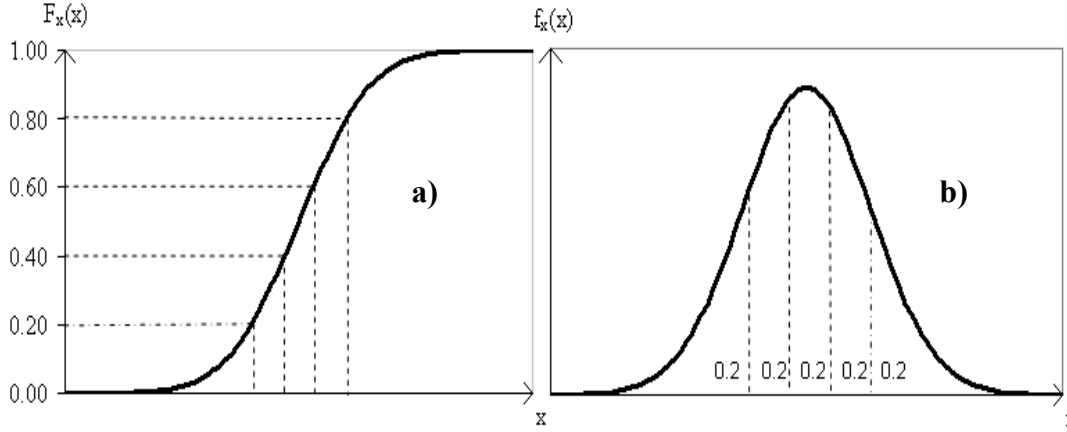
Örnekleme tesadüfi ve tesadüfi olmayan örnekleme olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer tesadüfi örnekleme kullanılırsa ihtimal kuralları uygulanabilmekte böylece örnek sonuçlarının ana kütleyle temsil edip etmediği anlaşılabilir (Orhunbilge, 1997). Betonarme çerçeveli sistemler ele alındığında, malzeme ve davranış özelliklerinin yapısal performansı doğrudan doğruya etkilediği bilinmektedir. Bu çalışma, malzeme ve davranış parametrelerini analitik modellere aktarmak için örnekleme yapmıştır.

4.1.1 Örnekleme Metodu

Tesadüfi örnekleme tekniklerinden biri olan Monte Carlo (Rubinstein, 1981) metodu anakütleri ifade etmekte oldukça başarılıdır. Monte Carlo metodu rasgele sayı seçimi yapar ve bu sayılardan ihtimal yoğunluk fonksiyonlarına uygun kümülatif dağılım fonksiyonları ile anakütleyi ifade eden değerleri belirler. Etkili bir araç olmasına karşın, arzu edilen yaklaşıklıkta sonuçlar için oldukça fazla sayıda örnek birim kullanır. Hesap yoğunluğu yüksek veya analiz birimi fazla çalışmalarda zaman ve maliyet açısından makul değildir. Latin Hypercube örnekleme (LHS) (McKay ve diğerleri, 1979) metodu benzer kesinlikte sonuçlar için daha az sayıda örnekleme yapar. Bu sebeple Monte Carlo metoduna alternatiftir ve birçok çalışmada tercih edilir (Ayyub ve Lai, 1989).

LHS metodu birden fazla değişkene uygulanabilen segmentasyona dayalı örnekleme tekniğidir. LHS metodunda değişkenlerin ihtimal dağılımı n sayıda eşit ihtimalli segmentlere ayrılır. Böylece parametrik uzayda k adet değişkenin eşit ihtimallere sahip n^k kadar hücresi olur. LHS metodu uygulanırken, değişken dağılımı birbiri üzerine binmeyen n sayıda aralığa bölünür. Böylece yoğunluk fonksiyonu altındaki her bir alan $P(X) = 1/n$ olur. Şekil 5, $n = 5$ olduğu durum için kümülatif dağılım fonksiyonu ile ihtimal yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

LHS metodu n adet birbiri üzerine binmeyen aralık için 0 ve 1 arasında n adet rasgele sayı seçer. Bir başka deyişle her bir aralık için bir sayı rasgele belirlenir. Sonra bu sayıları Denklem (2)'deki gibi kümülatif ihtimallere çevirir.



Şekil 5 a) Kümülatif dağılım fonksiyonu (n = 5) b) İhtimal yoğunluk fonksiyonu (n = 5).

$$P_m = \left(\frac{1}{n}\right)U_m + \left(\frac{m-1}{n}\right) \quad (2)$$

Denklem (2)'de m, 1 den n'e kadar aralık ifade eden tam sayıları, n aralık sayısını, U_m, 0 ve 1 arasında rasgele seçilmiş sayıyı ve P_m'de m'inci aralık için bulunan kümülatif ihtimali ifade eder. Denklem (3)'den anlaşılacağı üzere sadece bir rasgele oluşturulmuş sayı n adet aralıktan sadece birine denk gelir.

$$\left(\frac{m-1}{n}\right) < P_m < \frac{m}{n} \quad (3)$$

P_m değerleri her bir aralık için rasgele seçilmiş sayılar ile oluşturulduktan sonra ters dağılım fonksiyonları kullanılarak Denklem (4)'teki gibi hedeflenen nihai örnekleme değerleri elde edilir.

$$X_{k,m} = F_x^{-1}(P_m) \quad (4)$$

Denklem (4)'te X_{k,m} m'inci aralık için oluşturulmuş k örnekleme değerini, F_x⁻¹ ise ters kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade eder.

Daha önce belirtildiği gibi LHS metodu birden fazla değişkene uygulanabilmektedir. Bunun için ayrı ayrı her bir k değişkeni için oluşturulmuş n sayıda aralıktaki $X_{k,m}$ değerleri rasgele dizilir. Bir başka deyişle her bir değişken için oluşturulan sayı dizisinin rastlantısal permütasyonu alınır ve yan yana tahsis edilerek $(n \times k)$ elemanlı örnekleme matrisi oluşturulur.

LHS yukarıda bahsi geçen uygulamasıyla rastlantısal örnekleme değerlerini her bir ihtimal aralığından seçer ve bu değişkenleri yine rastlantısal sıralayarak tam sayımla ulaşılamayan anakütle değerlerini örnek istatistikleri ile ifade eder (Erberik ve Elnashai, 2003).

5 Dizayn ve Analiz

5.1 Yer Hareketi Kayıtlarının Seçimi

Yapı hasargörebilirliğinin tayini, yapısal kapasite belirsizliğinin ve yer hareketi değişkenliğinin bir arada incelenmesini gerektirir. Bu çalışmada farklı yer hareketi seviyelerinin tanımlanması için üç farklı yer hareketi grubu seçilmiştir. Her bir grup farklı özelliklere sahip 20 deprem kaydı içerir. Bu kayıtlar maksimum yer hızı seviyelerine göre ayrılmıştır. Buna göre, gruplar sırasıyla maksimum yer hızı 0–20 cm/s, 20–40 cm/s ve 40–60 cm/s olan kayıtları içerir.

Kullanılan deprem kayıtları, bu kayıtlara ait aletsel büyüklük değerleri (M_w), zemin özellikleri (Z) deprem kaynağına olan uzaklık (D), maksimum yer ivmesi ($MYİ$), maksimum yer hızı (MYH) Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’ de verilmiştir. Zemin özellikleri NEHRP zemin sınıflandırma kriterlerine (Building Seismic Safety Council, 2000) uygun belirlenmiştir. Buna göre zeminler kesme dalga hızı (V_s) değerleri için sert (H) zemin ($760\text{m/s} < V_s$), orta yumuşaklıkta (M) zemin ($360\text{m/s} < V_s < 760\text{m/s}$) ve yumuşak (S) zemin ($180\text{m/s} < V_s < 360\text{m/s}$) olarak belirlenmiştir.

Tablo 4’de 60 deprem kaydının oluşturduğu gruplar için ortalama aletsel büyüklük değeri (M_w), deprem kaynağına olan uzaklık (D) değeri, maksimum yer ivme ($MYİ$) değeri ve maksimum yer hızı (MYH) değeri ile bunlara ait değişkenlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 1 Yer hareketi kayıtları: Grup I.

DEPREM	İSTASYON	BİLEŞKE	Z	M _w	D (km)	MYİ (cm/s ²)	MYH (cm/s)
Morgan Hill, 04/24/84	Gilroy #2	0	S	6.1	11.8	153.7	5.0
Morgan Hill, 04/24/84	Gilroy#3	90	S	6.1	10.3	189.8	11.9
Morgan Hill, 04/24/84	Gilroy#6	0	M	6.1	6.1	214.8	11.3
Morgan Hill, 04/24/84	Gilroy #7	90	M	6.1	7.9	111.5	5.8
Morgan Hill, 04/24/84	Gilroy – Gavilan College	67	S	6.1	13.2	95.0	3.4
Imperial Valley, 10/15/79	Calexico Fire Station	N45W	S	6.5	10.4	197.6	18.9
Imperial Valley, 10/15/79	Borchard Raxch El Centro Array #1	S50W	S	6.5	22.6	121.1	10.4
Imperial Valley, 10/15/79	Parachute Test Facility, El Centro	N45W	S	6.5	10.4	197.6	17.3
Imperial Valley, 10/15/79	Casa Flores, Mexicali	0	S	6.5	9.8	236.8	19.3
Coyote Lake, 08/06/79	Gilroy Array NO. 3 Sewage Treatment	50	S	5.7	6	252.4	16.9
Coyote Lake, 08/06/79	SJB Overpass, Bent 3	67	S	5.7	17.2	84.6	4.7
Livermore, 01/24/80	Livermore VA Hospital	128	M	5.5	–	121.7	17.4
Livermore, 01/24/80	Livermore VA Hospital	38	M	5.5	–	180.3	17.9
North Palm Springs, 07/08/86	Fun Valley	135	S	6.2	12.7	123.0	9.5
North Palm Springs, 07/08/86	Fun Valley	45	S	6.2	12.7	123.5	6.1
Whittier Narrows, 10/01/87	7420 Jaboneira, Bell Gardens	S27W	S	6.1	16.4	89.8	2.7
Whittier Narrows, 10/01/87	200 S. Flower, Brea, CA	N20E	S	6.1	22.2	109.4	7.1
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy #6 – San Ysidro	0	M	7	12.2	112.2	13.1
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy #6 – San Ysidro	90	M	7	12.2	166.9	13.9
Livermore, 01/27/80	Morgan Territory Park	265	M	5.8	8	242.7	11.0

Tablo 2 Yer hareketi kayıtları: Grup II.

DEPREM	İSTASYON	BİLEŞKE	Z	M _w	D (km)	MYİ (cm/s ²)	MYH (cm/s)
Morgan Hill, 04/24/84	Halls Valley	240	S	6.1	2.5	305.8	39.6
Imperial Valley, 10/15/79	Keystone RD., El Centro Array #2	S40E	S	6.5	16.2	309.4	32.7
Imperial Valley, 10/15/79	Anderson RD., El Centro Array #4	S40E	S	6.5	8.3	480.8	38.1
Imperial Valley, 10/15/79	Community Hosp.,Keystone RD.,El Cenrto Array#10	S50W	S	6.5	8.7	117.3	22.9
Imperial Valley, 10/15/79	Aeropuerto Mexicali	315	S	6.5	3.2	249.9	23.9
Parkfield, 06/27/66	Cholame,Shandon, Array NO. 5	N85E	M	6.1	7.1	425.7	25.4
Coyote Lake, 08/06/79	Gilroy Array NO. 2	140	S	5.7	6.0	248.9	31.9
Imperial Valley, 10/15/79	Casa Flores, Mexicali	270	S	6.5	9.8	414.7	31.5
Whittier Narrows, 10/01/87	7420 Jaboneria, Bell Gardens	N63W	S	6.1	16.4	215.9	28.0
Northridge, 01/17/94	6850 Coldwater Canyon AVE., North Hollywood	S00W	S	6.7	12.5	296.0	23.1
Northridge, 01/17/94	Los Angeles, Brentwood V.A. Ho	195	S	6.7	23.1	182.1	24.0
Loma Prieta, 10/18/89	Saratoga – 1–Story School Gym	270	S	7	13.7	347.3	37.2
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy #2 – HWY 101/Bolsa RD	0	S	7	4.5	344.2	33.3
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy #2 – HWY 101/Bolsa RD	90	S	7	4.5	316.3	39.2
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy #3 – Gilroy Sewage Plant	0	S	7	6.3	531.7	34.5
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy – Gavilian Coll.	67	M	7	3.0	349.1	28.9
Loma Prieta, 10/18/89	Gilroy – Gavilian Coll.	337	M	7	3.0	310.0	23.0
Whittier Narrows, 10/01/87	Los Angeles – Obregon Park	360	S	6.1	14.2	420.1	21.8
Northridge, 01/17/94	Los Angeles – UCLA Grounds	90	M	6.7	22.9	272.4	22.0
Northridge, 01/17/94	Los Angeles – UCLA Grounds	360	M	6.7	22.9	464.6	21.9

Tablo 3 Yer hareketi kayıtları: Grup III.

DEPREM	İSTASYON	BİLEŞKE	Z	M _w	D (km)	MYİ (cm/s ²)	MYH (cm/s)
Duzce, 11/12/99	Bolu	NS	S	7.1	20.41	722.1	55.2
Imperial Valley, 10/15/79	Bonds Corner	230	S	6.5	4.4	762.4	45.0
Imperial Valley, 10/15/79	Bonds Corner	140	S	6.5	4.4	578.0	44.3
Imperial Valley, 10/15/79	James RD., El Centro Array #5	S40E	S	6.5	5.2	539.8	49.7
Imperial Valley, 10/15/79	McCabe School, El Centro Array #11	S50W	S	6.5	12.4	362.5	45.2
Imperial Valley, 10/15/79	Dogwood RD., Diff. Array, El Centro	NS	S	6.5	5.6	473.6	41.1
Imperial Valley, 10/15/79	Aeropuerto Mexicali	45	S	6.5	3.2	284.9	42.0
Imperial Valley, 10/15/79	Community Hosp.,Keystone RD.,El Cenrto Array#10	N40W	S	6.5	8.7	226.6	46.0
Northridge, 01/17/94	7769 Topanga Canyon Blvd., Canoga Park	S16W	S	6.7	15.7	381.0	59.8
Chi-Chi, Taiwan, 09/20/99	Chiayi – Meishan School, CHY006	360	S	7.6	14.5	351.8	42.1
Loma Prieta, 10/18/89	Corralitos – Eureka Canyon RD	0	S	7	2.8	617.7	55.2
Kocaeli 8/18/99	Duzce	SN	S	7.4	17.06	307.8	50.7
Landers, 06/28/92	Joshua Tree – Fire Station	90	M	7.3	10	278.4	42.7
Northridge, 01/17/94	Pacoima – Kagel Canyon	360	M	6.7	10.6	424.2	50.9
Cape Mendocino, 04/25/92	Petrolia	0	S	7	9.5	578.1	48.3
Cape Mendocino, 04/25/92	Rio Dell – 101/Painter ST. Overpass	360	M	7	18.5	538.5	42.6
Chi-Chi, Taiwan, 09/20/99	Taichung – Chungming School, TCU051	360	S	7.6	7	230.0	40.6
Chi-Chi, Taiwan, 09/20/99	Taichung – Taichung City, TCU082	360	S	7.6	4.5	182.1	41.0
Northridge, 01/17/94	17645 Saticoy ST.	S00E	S	6.7	13.3	428.7	59.8
Northridge, 01/17/94	14145 Mulholland DR., Beverly Hills, CA	N09E	S	6.7	19.6	419.3	57.9

Tablo 4 Yer hareketi gruplarının istatistiksel verileri.

	Grup I		Grup II		Grup III	
	Ortalama	COV (%)	Ortalama	COV (%)	Ortalama	COV (%)
M_w	6.2	7	6.6	6	6.9	6
D (km)	12.3	38	10.4	67	10.4	56
MYİ (in g)	0.16	35	0.34	31	0.44	38
MYH (cm/s)	11.17	49	29.14	22	48	13

5.2 Tasarım İlkeleri

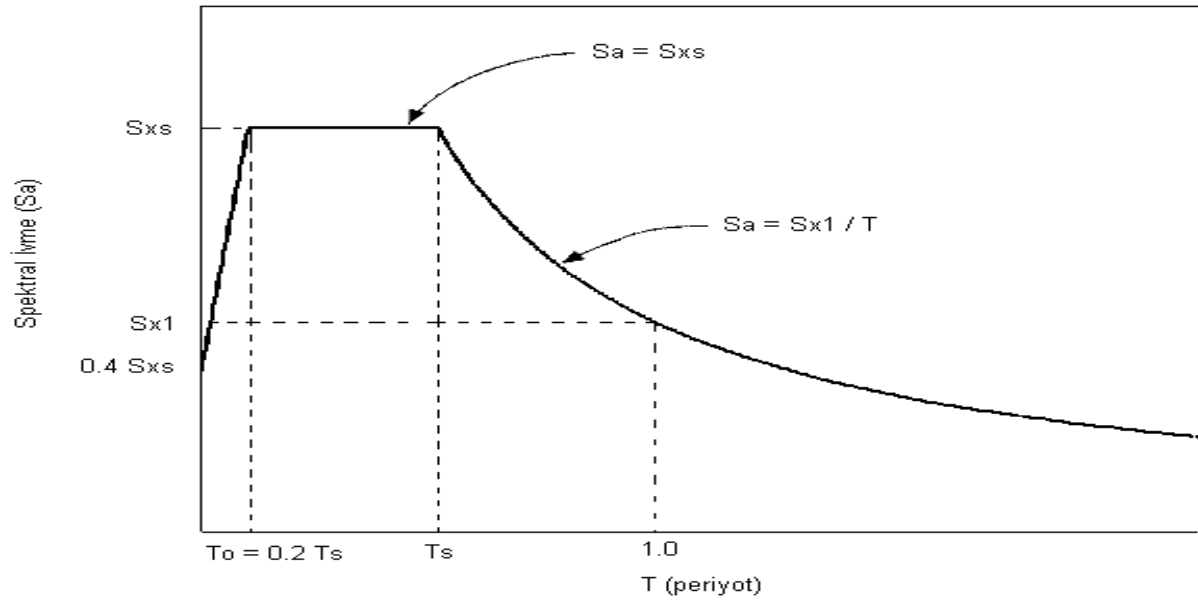
Betonarme bina tıpkı Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de en çok kullanılan yapı tipidir. Uygulamadaki bu yaygınlık ve kabul görüşün tabii bir sonucu olarak ortaya çıkan standartlar ve yönetmelikler temelde ülkelerin sosyoekonomik durumlarını da göz önüne alarak betonarme yapılarda kabul edilebilir bir performansı hedefler.

5.3 Tasarım Spektrumu

Deprem yönetmelikleri, yapı hesabında mühendisin dikkate alması gereken yer hareketini tasarım spektrumu olarak tanımlar. Kuvvetli yer hareketi ölçümleri ve aktif fay hatları ile ilgili sismolojik ve mühendislik çalışmaları tasarım spektrumunu hesaplarının gelişmesi üzerinde büyük rol oynamıştır. Bu çalışmalar genellikle ihtimal hesapları ve azalım ilişkileri çerçevesinde istatistiki metotlar kullanılarak yapılır ve sismik tehlike hesapları olarak adlandırılır. Sonuçta ortaya çıkan tasarım spektral değerleri, farklı hesap amaçlarına uygun yer hareketi seviyelerini içerir ve belli bir tekrar periyodu aralığında aşılma olasılığı tanımlanmış maksimum hesap değerlerini gösterir (Akkar ve Gülkan, 2002).

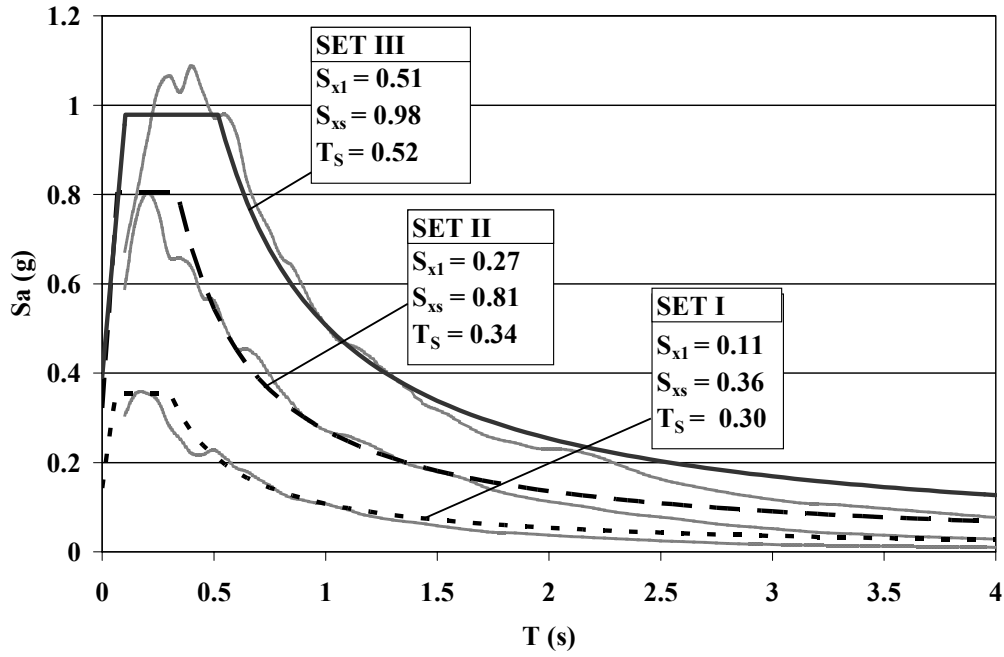
Türk Deprem Yönetmeliği güncel tasarım spektrumları için genel anlamda yerel zemin koşullarını kullanırken, fay uzaklığı veya benzer birtakım şartları göz ardı etmektedir. Oysa sismik hasar tespiti için yapılacak çalışmalarda konum–mesafe–büyüklük gözetilerek hazırlanmış tasarım spektrumları kullanmak daha uygundur (Kalkan ve Gülkan, 2004).

Herbiri 20 depremden oluşan 3 grup için tasarım spektrumları FEMA 356 (ASCE, 2000)' ya uygun olarak oluşturulmuştur. FEMA dizayn spektrumu Şekil 6'da verilmiştir. Tasarım spektrumu değerleri S_{xs} , S_a ve T_s , tepki spektrumu kullanılarak elde edilir. Temel olarak tek dereceli elastik bir sistemin kuvvetli yer hareketi altında gösterdiği maksimum tepkinin periyoda (T) bağlı bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesine tepki spektrumu denir (Akkar ve Gülkan, 2002). S_{xs} , 0.2 saniyelik periyot değeri için elde edilen ivme değeridir. Tepki spektrumundaki maksimum ivme değerinin %90'ından daha az olamaz. S_{x1} ise periyot değeri 1.0 saniye için bulunur. S_{x1} değerinin S_{xs} e bölünmesi ile tasarım spektrumu maksimum ivme değerlerinin büyük sınır değeri T_s elde edilir. Küçük sınır değer T_o ise T_s değerinin %20'si olarak ifade edilir.



Şekil 6 FEMA 356 Tasarım Spektrumu Değerleri.

Şekil 7, üç deprem grubu için tepki spektrumu ivme değerlerini ve bunlara ait tasarım spektrumu ivme değerlerini göstermektedir.



Şekil 7 Analitik Modeller İçin Oluşturulan Tasarım Spektrumları.

5.4 Çalışmada Kullanılan Bina Modellerinin Tasarımı

Bu çalışma ülkemizde betonarme binaların ekonomik ömürlerine ve kullanım amaçlarına göre tasarlanması amacı ile kullanılan iki şartnameyi esas alır. Buna göre, TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (Türk Standartları Enstitüsü, 2000) ve afetlere maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamı veya bölümleri için gerekli minimum koşulları tanımlayan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998) bu çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca, hazırlanan modeller, donatı hesapları ve eleman boyutları ACI Building Code (ACI Committee 318, 2002) ile uyumlu seçilmiştir.

Yüklerin tamamının betonarme çerçeveler ile taşındığı binalar, Türkiye’de en çok kullanılan yapısal sistemdir. Dış kaplama veya bölme amaçlı kullanılan dolgu duvarlar ise bu çerçeveli sistemlerin tasarım ve hesabında dikkate alınmaz. Ülkemizdeki yapı stokunun genel deprem performansını yansıtmayı hedefleyen bu çalışma yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü analitik modellerin hazırlanması aşamasında süneklik düzeyi yüksek, deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı yerinde dökme betonarme binaları seçmiş, dolgu duvarları hesaplara katmamıştır.

Bu çalışma için seçilen yapı tipi az ve orta katlı betonarme çerçeve sistemli yapı tipidir. Tasarım ve analiz aşamasında kat sayısı 3, 5, 7 ve 9 olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda 3, 5, 7 ve 9 katlı yapıları temsil eden 2 boyutlu analitik modeller hazırlanmıştır. Kat sayısı yapısal davranışta belirleyici parametre olduğu için çalışmanın ilk kısmında belirlenmiş, kat yüksekliği olarak pratikte oldukça sık karşılaşılan 3m, kiriş açıklığı olarak ise 5m seçilmiştir.

Analitik modeller hazırlanırken, düşey yükler için, TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, (Türk Standartları Enstitüsü, 1987) kullanılmıştır. Yapılarda sıkça görülen bir uygulama olduğu için üst katlara doğru taşıyıcı elemanların kesitlerindeki azalma durumu modellere yansıtılmıştır. Yapısal analiz ve donatı hesabı için SAP 2000 (Computers and Structures, Inc., 2002) kullanılmış, analitik modellerin tasarımı yukarıda bahsedilen tasarım spektrumlarına ve şartnamelere uygun yapılmıştır. Hazırlanmış analitik modellerin özellikleri Tablo 5’de verilmiştir. Burada model isimleri için kullanılan kısaltmalar, modelin kat sayısını (3S, 5S, 7S ve 9S), ve hangi dizayn spektrumuna göre tasarlandığını (D1, D2 ve D3) ifade eder. Buna göre oluşturulmuş 12 temel model dört farklı kat adedi ve üç farklı dizayn spektrumu kullanılarak elde edilmiştir. Kısaca 3SD1 bu modelin birinci dizayn spektrumu kullanılarak tasarlanmış üç katlı bir bina olduğunu ifade eder. Tablo 5’deki diğer kolonlar ise modellerin periyotlarını, bu modellerde kullanılan kolon ve kiriş kesitlerinin isimlerini, bu kesitlerin hangi katlarda kullanıldığını ve boyutlarını göstermektedir. Çalışmada kullanılan iki boyutlu analitik modellerin taslakları Şekil 8’de verilmiştir.

5.5 Analiz Metodu

Bu çalışma hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında analitik yöntemler kullanmayı benimsemiştir. Buna göre çalışmanın ilk aşamasında hazırlanan, az ve orta katlı betonarme yapıları temsil eden 3, 5, 7 ve 9 katlı analitik modellerin analizinde sonlu elemanlar metodunu kullanan bir yapısal analiz programı IDARC-2D (Valles ve diğerleri, 1996) ve elastik-ötesi zaman tanım alanı yöntemi kullanılacaktır. Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşması için gerekli tüm kapasite ve sismik performans talep analizleri bu platform kullanılarak oluşturulacaktır. Başlangıçta üç değişik yer hareketi grubu için tasarlanmış analitik modellerde, yapı stokunun karakteristik özelliklerine uygun olarak çeşitli değişiklikler yapılacaktır. Bu değişiklikler,

yapılarda sıkça görülen taşıyıcı sistem zayıflıklarının, malzeme kalitesindeki yetersizliklerin ya da detaylandırma hatalarının analitik modele yansıtılmasından ibarettir. Yeni modellerin analizi sonrası elde edilen performans değerleri, hasar ve yer hareketini ifade eden parametrelerin belirlenmesinin ardından istatistiki bir çalışma ile ortaya çıkarılacaktır. Yer hareketi grupları değişik tasarım spektrumu seviyeleri ile uyumlu olarak seçilecektir. Böylece aynı tip yapıların değişik deprem seviyeleri altındaki davranışını da gözlemlemek mümkün olacaktır.

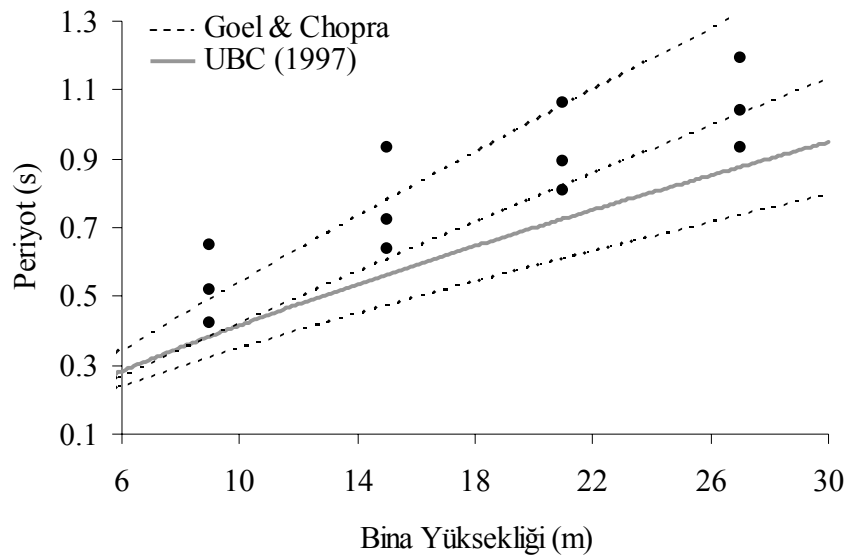
Tablo 5 Analitik modellerin kesit ve periyot değerleri.

NO	MODEL	PERİYOT (s)	KESİT	KAT NO	h (cm)	b (cm)
1	3SD1	0.65	BEAM3	1-2-3	45	25
			COL3	1-2-3	30	30
2	3SD2	0.52	BEAM3	1-2-3	45	30
			COL3	1-2-3	35	35
3	3SD3	0.42	BEAM3	1-2-3	50	30
			COL3	1-2-3	40	40
4	5SD1	0.93	BEAM2	1-2-3	45	25
			BEAM3	4-5	45	25
			COL2	1-2-3	35	35
			COL3	4-5	30	30
5	5SD2	0.72	BEAM2	1-2-3	50	30
			BEAM3	4-5	50	30
			COL2	1-2-3	40	40
			COL3	4-5	35	35
6	5SD3	0.64	BEAM2	1-2-3	50	30
			BEAM3	4-5	50	30
			COL2	1-2-3	45	45
			COL3	4-5	40	40
7	7SD1	1.06	BEAM1	1-2-3	50	30
			BEAM2	4-5	50	30
			BEAM3	6-7	45	25
			COL1	1-2-3	40	40
			COL2	4-5	35	35
8	7SD2	0.89	COL3	6-7	30	30
			BEAM1	1-2-3	55	30
			BEAM2	4-5	50	30
			BEAM3	6-7	50	30
			COL1	1-2-3	45	45
9	7SD3	0.81	COL2	4-5	40	40
			COL3	6-7	35	35
			BEAM1	1-2-3	55	30
			BEAM2	4-5	50	30
			BEAM3	6-7	50	30
10	9SD1	1.19	COL1	1-2-3	50	50
			COL2	4-5	45	45
			COL3	6-7	40	40
			BEAM1	1-2-3	55	30
			BEAM2	4-5-6	50	30
11	9SD2	1.04	BEAM3	7-8-9	45	25
			COL1	1-2-3	45	45
			COL2	4-5-6	40	40
			COL3	7-8-9	35	35
			BEAM1	1-2-3	55	30
12	9SD3	0.93	BEAM2	4-5-6	55	30
			BEAM3	7-8-9	50	30
			COL1	1-2-3	50	50
			COL2	4-5-6	45	45
			COL3	7-8-9	40	40
			BEAM1	1-2-3	60	30
			BEAM2	4-5-6	55	30
			BEAM3	7-8-9	50	30
			COL1	1-2-3	55	55
			COL2	4-5-6	50	50
			COL3	7-8-9	45	45



Şekil 8 3 katlı model, b) 5 katlı model, c) 7 katlı model, d) 9 katlı model.

Tablo 5’de yer alan periyot değerleri, daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekildeki siyah noktalar 3, 5, 7 ve 9 katlı yapıların değişik tasarım spektrumu değerlerini göz önüne alarak oluşturulmuş iki boyutlu analitik modellerinden elde edilmiştir. Birinci hakim periyotun bina yüksekliğine göre değişimini gösteren kesik çizgili eğriler, Goel ve Chopra (1997) tarafından betonarme çerçevesel yapılar için önerilen ampirik denklemin alt sınır, ortalama ve üst sınırını temsil etmektedirler. Gri renkte olan eğri ise A.B.D.’de 1997 yılında yayınlanmış olan binalarla ilgili yönetmelik tarafından önerilen periyot–bina yüksekliği ilişkisidir (Uniform Building Code, 1997). Şekil 9’da da görüldüğü üzere, analitik modellerden elde edilen periyot değerleri, daha önce yapılmış çalışmalarla kıyaslandığında biraz yüksektir. Tabii ki şekildeki eğrilerin Kaliforniya’da yer alan betonarme çerçevesel yapılardan elde edilen veriler ışığında çıkarıldığını göz ardı etmemek gerekir. Ayrıca birinci hakim periyoda katkısı olan dolgu duvarlar analitik modelde yer almadığı için yapılar olması gerekenden biraz daha esnek gözükmektedir. Ancak tüm bunların yanı sıra ülkemizdeki yapıların dünyanın gelişmiş ülkelerindeki benzerlerine kıyasla daha zayıf olduğu da bir gerçektir. Bunun en önemli sebebi, binalara deprem sırasında yeterli yanal rijitliği sağlayacak olan kesit boyutlarındaki yetersizliklerdir. Bu tip yetersizlikler yapının herhangi bir deprem altında olması gerekenden daha fazla yanal ötelenmeye maruz kalmasına, başka bir deyişle hasar görmesine yol açmaktadır.



Şekil 9 Analitik modellerin periyotlarının ampirik periyot değerleri ile karşılaştırılması.

6 Az ve Orta Katlı yapıların Sınıflandırılması

6.1 Yapı Sınıflarının Tespiti

Bu çalışma Türkiye'deki yapı stokunun özelliklerini üç farklı alt sınıfa ayırarak yansıtmayı seçmiştir. Buna göre iyi, tipik ve zayıf olarak belirlenen alt sınıflar ülkemizin yapı karakteristiklerini ve yapım kalitelerini belirtmektedir. Yapıların kat sayıları ve kalite sınıfları göz önüne alındığında hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulacağı 12 farklı yapı tipi ortaya çıkar (Tablo 6).

Tablo 6 Çalışmaya konu olan 12 farklı yapı tipi.

Kat Sayısı	Yapı Sınıfı		
	İyi	Tipik	Zayıf
3	MRF3-S (3SD1, 3SD2, 3SD3)	MRF3-T (3SD1, 3SD2, 3SD3)	MRF3-P (3SD1, 3SD2, 3SD3)
5	MRF5-S (5SD1, 5SD2, 5SD3)	MRF5-T (5SD1, 5SD2, 5SD3)	MRF5-P (5SD1, 5SD2, 5SD3)
7	MRF7-S (7SD1, 7SD2, 7SD3)	MRF7-T (7SD1, 7SD2, 7SD3)	MRF7-P (7SD1, 7SD2, 7SD3)
9	MRF9-S (9SD1, 9SD2, 9SD3)	MRF9-T (9SD1, 9SD2, 9SD3)	MRF9-P (9SD1, 9SD2, 9SD3)

Oluşturulan üç yapı sınıfının nitelikleri şöyle sıralanabilir:

İyi Yapı Sınıfı: Bu sınıfa dahil binalar mevcut deprem şartnamelerine göre tasarlanmış, arzu edilen yapısal karakteristik özelliklere sahip yapılardır. Malzeme kalitesi iyi ve tasarımı deprem davranışına uygun olduğu için bu tür yapılar genelde yeterli performans değerlerine sahip olurlar.

Tipik Yapı Sınıfı: Bu sınıf ülkemizin konut amaçlı kullanılan betonarme yapı stokunun çoğunluğunu ifade eden özelliklere sahiptir. Genelde mühendislik hizmeti almış olmalarına karşın, deprem performansı açısından öneme sahip bazı kusurları bulunur.

Zayıf Yapı Sınıfı: Mühendislik hizmeti hiç almamış veya deprem kuvvetlerine karşı tasarıma sahip olmayan binalardır. Son senelerde ülkemizde yaşanmış deprem afetleri bu tip yapı stokunun sismik faaliyete karşı son derece hasargörebilir olduğunu bir kez daha kanıtlamıştır. Ciddi hasar gören hatta birçoğu yıkılan bu tip yapılarda Bölüm 2’ de bahsi geçen yapı kusurlarının birçoğu bir arada bulunur.

6.1.1 Yapı Sınıflarının Malzeme ve Davranış Özellikleri

Ülkemizdeki yapı stoku malzeme kalitesi, özellikleri ve işçilik açısından ciddi farklılıklar göstermektedir. Bunu hasargörebilirlik eğrilerine yansıtmak için önceden belirlenmiş yapı sınıflarına ait malzeme özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Buna göre yapılardaki deprem performansını etkileyen temel malzeme parametreleri beton dayanımı, çelik akma dayanımı, beton elastisite modülü ve çelik elastisite modülü olarak belirlenmiştir.

6.1.1.1 Beton Dayanımı (f_c)

Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremlerinden sonra yapılan çalışmalar ciddi hasar görmüş binaların çoğunda, beton tasarım dayanımı ve saha dayanımı arasında ciddi farklar bulunduğunu ve beton dayanım değişkenliğinin yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır (Booth ve diğerleri, 2004; Aydoğan, 2003). Ortalama değerler için Düzce yapı hasarı veri tabanı kullanılmıştır (Aydoğan, 2003). İyi yapı sınıfı için 20MPa, tipik yapı sınıfı için 15MPa, zayıf yapı sınıfı için ise 10MPa ortalama beton dayanımları seçilmiştir. Dağılım için beton numuneler üzerine yapılmış önceki çalışmalar kullanılmıştır (Julian, 1955; Mirza ve diğerleri, 1979; Dymiotis ve diğerleri, 1999; Ellingwood, 1977; Ang ve Cornell, 1974; Ghobarah ve diğerleri, 1998). Ayrıca yukarıda belirtilen beton dayanım değişkenliği iyi yapı sınıfından zayıf yapı tasarımına doğru daha da artmaktadır (Mirza ve diğerleri, 1979; Mosalam ve diğerleri, 1997; Hwang ve Huo, 1997; Ellingwood ve diğerleri, 1980). Buna göre farklı yapı sınıfları için seçilen ortalama değerler, değişkenlik katsayısı (COV) ve dağılımı Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7 Beton Dayanımı ortalama değerleri ve değişkenliği.

Yapı Sınıfı	Beton Dayanımı (f_c)		
	Ortalama (MPa)	COV (%)	Dağılım
İYİ	20	16	Normal
TİPİK	15	18	Normal
ZAYIF	10	20	Normal

6.1.1.2 Çelik Akma Dayanımı (f_y)

Çelik akma dayanımı için normal dağılım kabul edilmiş, değişkenlik katsayısı önceki çalışmalar referans alınarak belirlenmiştir (Dymiotis ve diğerleri, 1999; Ghobarah ve diğerleri, 1998; Mirza ve MacGregor, 1979). Karakteristik değerler, iyi yapı sınıfı için ST-III, zayıf yapı sınıfı için ST-I olarak belirlenmiştir. Ortalama akma dayanımı için karakteristik dayanım değerlerinin yüzde 15 fazlası kullanılmıştır. Çelik akma dayanım parametreleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8 Çelik akma dayanımı ortalama değerleri ve değişkenliği.

Yapı Sınıfı	Çelik Akma Dayanımı (f_y)		
	Ortalama (MPa)	COV (%)	Dağılım
İYİ	480	10	Normal
TİPİK	365	11	Normal
ZAYIF	250	12	Normal

6.1.1.3 Beton Elastisite Modülü (E_c)

Beton elastisite modülü için normal dağılım kabul edilmiş, ortalama değerler IDARC–2D kılavuzunda önerildiği gibi Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{c,ort} = 57 \sqrt{1000 * f_{c,ort}} \quad (\text{ksi cinsinden}) \quad (5)$$

Değişkenlik katsayısı Lee ve Mosalam'ın (2003) çalışmasındaki değerler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Farklı yapı sınıflarına ait parametreler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9 Beton elastisite modülü ortalama değerleri ve değişkenliği.

Yapı Sınıfı	Beton Elastisite Modülü (E_c)		
	Ortalama (MPa)	COV (%)	Dağılım
İYİ	21150	8	Normal
TİPİK	18950	9	Normal
ZAYIF	16400	10	Normal

6.1.1.4 Çelik Elastisite Modülü (E_s)

Çelik elastisite modülü sabit değer 200000 MPa olarak alınmıştır. Değişkenlik katsayısı önceki çalışmalar baz alınarak belirlenmiştir (Mosalam ve diğerleri, 1997; Mirza ve MacGregor, 1979). Çelik elastisite modülüne ait parametreler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10 Çelik elastisite modülü ortalama değerleri ve değişkenliği.

Yapı Sınıfı	Çelik Elastisite Modülü (E_s)		
	Ortalama (MPa)	COV (%)	Dağılım
İYİ	200000	3	Normal
TİPİK	200000	4	Normal
ZAYIF	200000	5	Normal

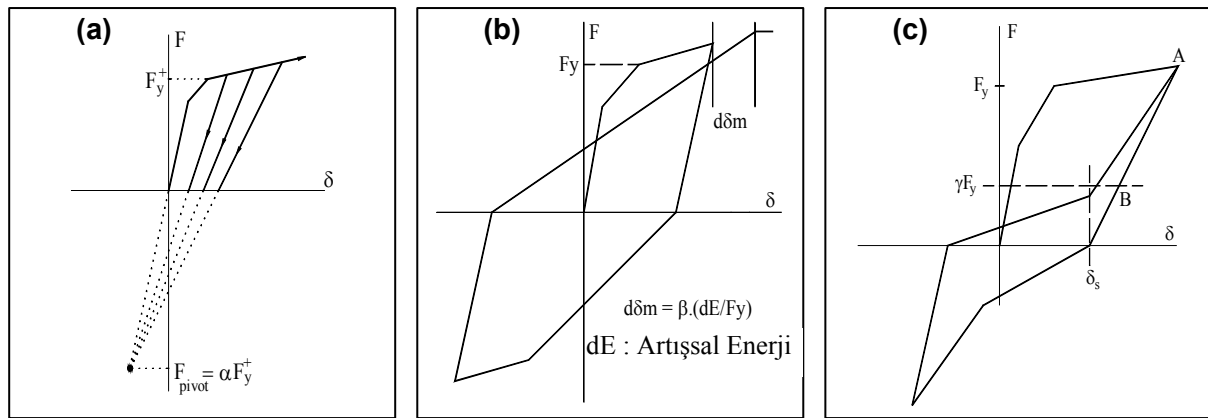
Malzeme değişkenliklerinin yanısıra kat kütlesi (M_S) ve sönüm (ζ) içinde yapısal farklılıklar gözetilmiş, ortalama değerler ve değişkenlik katsayıları sabit kabul edilmiştir (Ellingwood ve diğerleri, 1980; Porter ve diğerleri, 2002; Camelo ve diğerleri, 2001). Kütle ve sönüm değerlerinin yapısal sınıflara göre dağılımı Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11 Farklı yapı sınıfları için kütle ve sönüm değerleri.

Yapı Sınıfı	Kat Kütleleri (MS)		Sönüm, ζ	
	Ortalama (ton)	COV (%)	Ortalama (%)	COV (%)
İYİ	45.5	10	5	30
TİPİK	45.5	10	5	30
ZAYIF	45.5	10	5	30

6.1.2 Tersinir Yükler Altındaki Davranış Özellikleri

Yer hareketine maruz kalmış yapıların gerçek performansının elde edilmesi amacıyla pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda en çok kullanılan yöntem, yapısal elemanların tersinir yükler altındaki davranışlarının gerçek yapı performansı ile ilişkilendirmektir. Bu çalışmada analiz programı IDARC-2D'ye ait tersinir yük-deplasman modelleri, iyi, tipik ve zayıf yapı sınıflarının sismik performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılan yük deplasman modeli dört parametre içermektedir. Bu parametreler rijitlik azalımı parametresi (α), süneklığe bağlı dayanım azalımı parametresi (β_1), enerji tüketme kapasitesine bağlı dayanım azalımı parametresi (β_2) ve çevrimsel davranışta daralma parametresi (γ) olarak sıralanabilir. Adı geçen IDARC-2D çevrim modeli parametrelerinin sembolik gösterimi Şekil 10'da verilmiştir (Phan ve diğerleri, 1993). Değişik performans seviyeleri için kullanılması önerilen parametre değerleri ise Tablo 12'de yer almaktadır (Valles ve diğerleri, 1996).



Şekil 10 IDARC çevrim modeli parametrelerinin sembolik olarak gösterimi a) rijitlik azalımı, b) dayanım azalımı, c) çevrimsel davranışta daralma.

Tablo 12 Değişik performans seviyeleri için önerilen parametre değerleri.

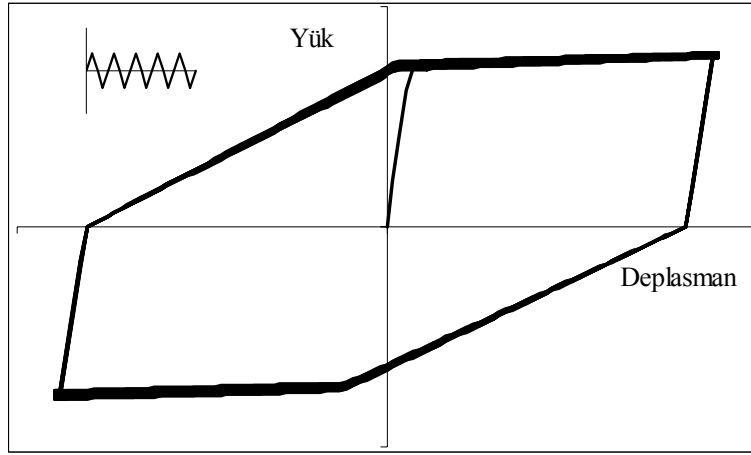
Parametre	Yapısal elemanların çevrimsel davranış esnasındaki performans seviyeleri			
	İdeal	İyi	Orta	Kötü
α	200	15	10	4
β_1	0.01	0.15	0.30	0.60
β_2	0.01	0.08	0.15	0.60
γ	1.00	0.40	0.25	0.05

6.1.2.1 Değişik Yapı Sınıfları için Kullanılacak Model Parametreleri

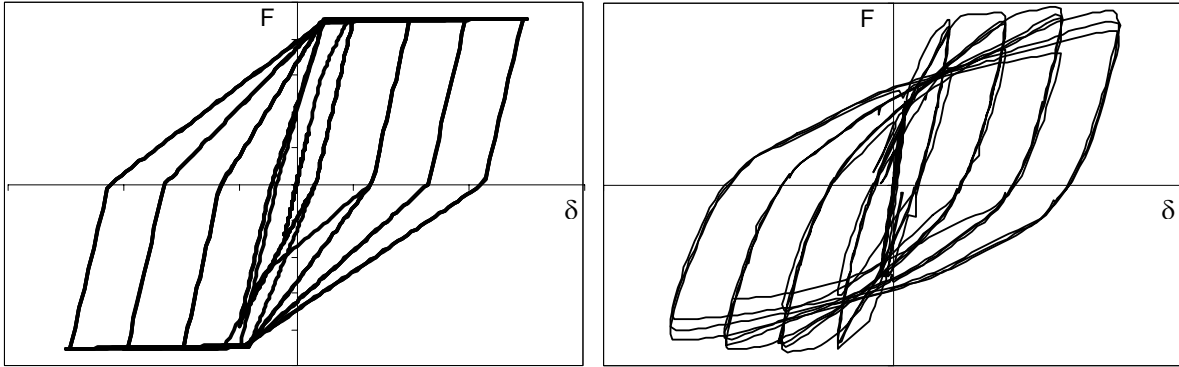
Değişik yapı sınıflarına ait çevrim modeli parametrelerinin belirlenmesinde, önerilen değerlerin (bakınız Tablo 12) yanısıra betonarme kolon deney elemanlarının tersinir yük altında gözlemlenen davranışlarından da faydalanılmıştır. Deney sonuçları, Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Kampusuna bağlı Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından derlenmiş olan Yapısal Performans Veritabanından alınmıştır (SPD,2003).

İyi Yapı Sınıfındaki binalarda, yapısal elemanların hiçbir azalıma maruz kalmadığı varsayılmaktadır. Bu sebepten dolayı Tablo 12'nin ilk kolonunda ideal performans seviyesi için yer alan model parametrelerinin iyi yapı sınıfı elemanlarını temsil etmesine karar verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak ($\alpha=200$, $\beta_1=0.01$, $\beta_2=0.01$ ve $\gamma=1.0$) sabit tersinir yük altında elde edilen sembolik IDARC-2D çevrim modeli Şekil 11'de yer almaktadır. Ardışık çevrimler sırasında hiçbir kapasite ya da rijitlik azalımı gözlenmemektedir. Ayrıca çevrim modelinin enerji tüketim kapasitesi (çevrimlerin içinde kalan alan) oldukça yüksektir.

Modelden elde edilen bu tip istenilen (ya da ideal) davranışı deneysel sonuçlarla teyit etmek de mümkündür. Böyle bir karşılaştırma Şekil 12'de verilmiştir. Deneysel veri, Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından yapılan çalışmada test edilen ve ideal performans göstermesi beklenen bir kolon elemanına aittir. Deneysel davranış ile analitik sonuçların birbirine yakın olduğu aşikardır.

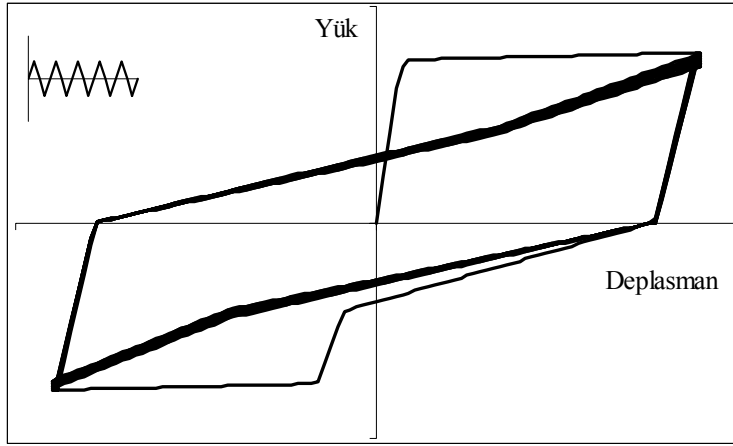


Şekil 11 İyi yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=200$, $\beta_1=0.01$, $\beta_2=0.01$, $\gamma=1.0$).



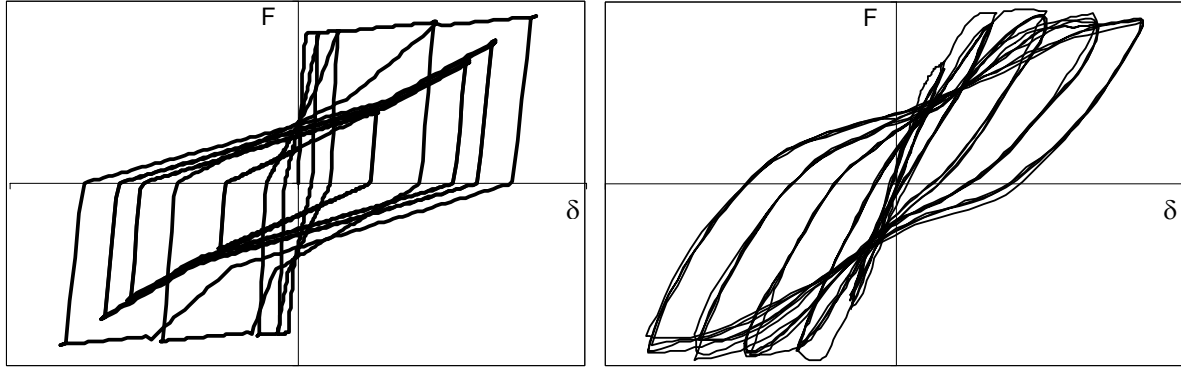
Şekil 12 İyi yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.

Tipik yapı sınıfındaki binalarda, deprem yüklerine maruz kalan elemanlarının dayanım ve rijitliğinde belli seviyede azalım olması beklenir. Bu yüzden, tersinin yükler altındaki yapı davranışını ifade etmek için $\alpha=20$, $\beta_1=0.25$, $\beta_2=0.25$ ve $\gamma=0.6$ değerleri kullanılmıştır. Bu parametreler kullanılarak sabit tersinir yük altında elde edilen sembolik IDARC-2D çevrim modeli Şekil 13'de yer almaktadır. Ardışık çevrimler sırasında hem dayanımda hem de rijitlikte az da olsa bir azalım gözlemek mümkündür. Öte yandan her bir çevrim içinde kalan alan gittikçe küçülmektedir.



Şekil 13 Tipik yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=20$, $\beta_1=0.25$, $\beta_2=0.25$ ve $\gamma=0.6$).

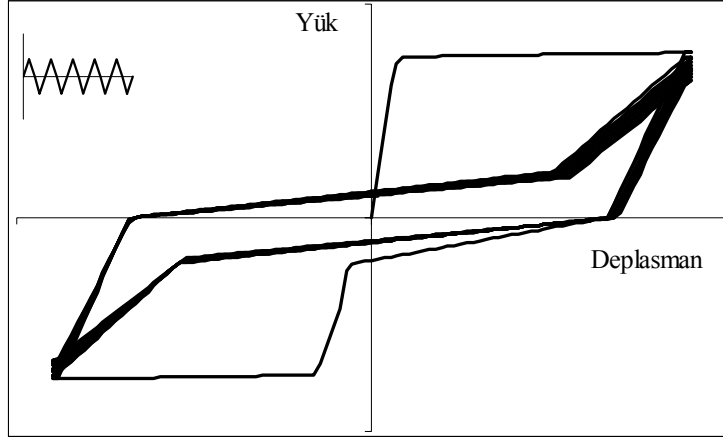
Analitik modellerden $\alpha=20$, $\beta_1=0.25$, $\beta_2=0.25$ ve $\gamma=0.6$ parametrelerini kullanılarak elde edilen tersinir davranışın deneysel sonuçlar ile de karşılaştırması Şekil 14’de verilmektedir. Deneysel tersinir davranış sonuçları Atalay ve Penzien (1975) çalışmasından alınmıştır.



Şekil 14 Tipik yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.

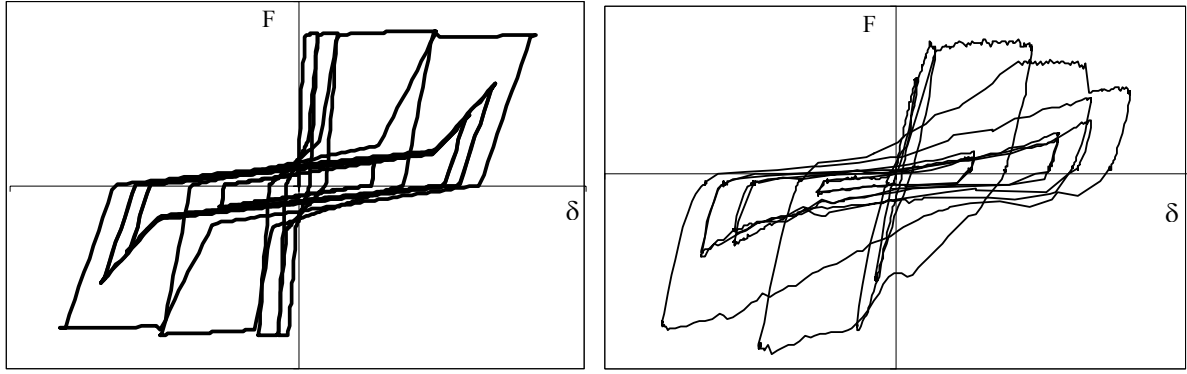
Zayıf yapı sınıfındaki binalarda, deprem yüklerine maruz kalan yapısal elemanların dayanım ve rijitliğinde çok ciddi azalmalar olması beklenmektedir. Bu sebepten dolayı Tablo 12’nin son kolonunda kötü performans seviyesi için yer alan değerler ve deneysel veriler ışığında belirlenen model parametreleri şu şekildedir: $\alpha=5$, $\beta_1=0.5$, $\beta_2=0.5$ ve $\gamma=0.3$. Bu parametreler

kullanılarak sabit tersinir yük altında elde edilen sembolik IDARC–2D çevrim modeli Şekil 15’de yer almaktadır. Ardışık çevrimler sırasında hem dayanım hem de rijitlik açısından ciddi bir azalma gözlenmekte, ayrıca ikinci çevrimle birlikte γ parametresi tarafından temsil edilen daralma sebebiyle modelin enerji tüketim kapasitesi de oldukça düşmektedir.



Şekil 15 Zayıf yapı sınıfındaki elemanlar için sembolik çevrim davranışı ($\alpha=5$, $\beta_1=0.5$, $\beta_2=0.5$, $\gamma=0.3$).

Şekil 16’de değişken tersinir yük altında yukarıda verilen parametrelerle oluşturulan IDARC–2D modeli Erberik ve Sucuoğlu (2004) tarafından test edilmiş yapısal elemanın deneysel tersinir yük deplasman eğrisiyle karşılaştırılmaktadır. Bu elemanın tasarımı sırasında uyulması gereken kurallar kasten ihlal edilmiş ve kötü bir performans göstermesi hedeflenmiştir. Her iki çevrimsel davranışta da çok ciddi dayanım ve rijitlik azalımı görülmekte, enerji tüketim kapasitesinde benzer azalimler tespit edilmektedir.



Şekil 16 Zayıf yapı sınıfı için analitik ve deneysel davranışın karşılaştırılması.

Hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması esnasında kullanılan yapısal elemanların çevrim modellerine ait parametreler bir kez daha toplu olarak Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13 Üç farklı yapı sınıfı için kullanılan çevrim modeli parametreleri.

Model Parametresi	İyi Yapı Sınıfı	Tipik Yapı Sınıfı	Zayıf Yapı Sınıfı
α	200	20	5
β_1	0.01	0.25	0.5
β_2	0.01	0.25	0.5
γ	1	0.6	0.3

7 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması

7.1 Kuvvetli Yer Hareketi Parametresinin Seçimi

Deprem şiddetini belirleyen parametrelerin ölçülmesi, deprem mühendisliğinin temel sorunlarından biridir, çünkü şiddet yapılardaki yer hareketi merkezli hasarın anlamsal ifadesidir. Bununla birlikte, deprem mühendisliği alanında yer hareketi şiddetinin objektif ölçümü konusunda bir fikir birliği sağlanabilmiş değildir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusundaki genel eğilim ölçülen yer hareketi şiddetinin, MYİ değeri ve yerel zemin şartlarına bağlı olarak uyarlanabilen ivme davranış spektrumu ile tanımlanmasıdır. Bu anlayış

yapısal tasarım anlamında pratik olsa dahi, özellikle şiddetli depremlerde yapı hasarının tanımlanmasında yetersiz kalabilmektedir. Üstelik ivme spektrumu, yapılardaki hasar artışının doğrudan doğruya sebebi olan yer hareketi süresini yansıtmaz.

MYH ivme döngüsünü maksimum enerji ile birlikte yansıtır. Maksimum ivme ve maksimum hız değerleri mutlaka yer hareketinin aynı döngüsünde oluşmak durumunda değildir. Newmark–Hall yaklaşımına göre, maksimum hız aslında periyodu 0.5 ve 2.0 saniye arasında olan yapıların sismik spektral davranışlarını etkiler (Sucuoğlu ve diğerleri., 1999). Buna göre tasarımlara ve analizlere temel olan deprem şiddeti MYH değerleri dikkate alınarak elde edilmiştir.

7.2 Yapısal Özelliklerin Örneklenmesi

Bölüm 6.1’de ülkemizdeki yapı stokunun karakteristik durumuna göre belirlenmiş malzeme ve davranış özellikleri ile bunların dağılımları, ortalama değerleri ve değişkenlik katsayılarının tespitinden bahsedilmiştir.

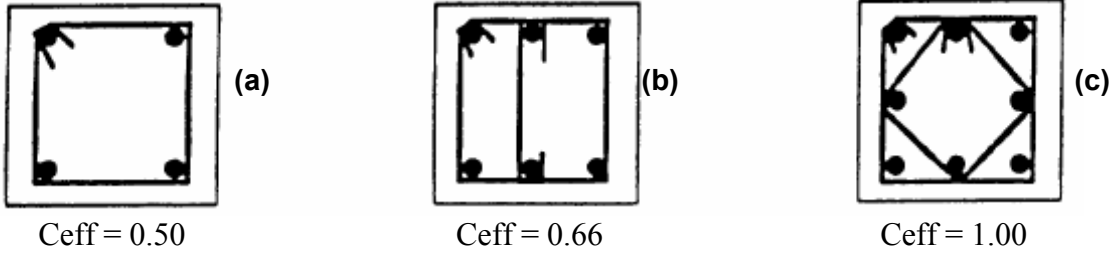
Bu çalışma anakütleyi (Türkiye’deki az ve orta katlı çerçeve sistemli betonarme yapı stoku) öncelikle 3 sınıfa ayırmış (iyi, tipik ve zayıf), her bir sınıf için 20 adet segman belirlemiş (herbir aralık için ihtimal yoğunluk fonksiyonu altında kalan alan 0.05) ve LHS metodunu uygulamıştır.

Tablo 14’te iyi sınıf yapı stokunun beton dayanımı için LHS metodu ile örnekleme verilmiştir. Burada m , U_m ve P_m bölüm 4.1.1’de bahsi geçen sayıları, ICDF ise ters kümülatif dağılım ile bulunan örnekleme değerlerini ifade eder. RNP bu örnekleme değerlerinin rasgele permütasyonları ile diziliminin, REP örnekleme sırasının, SV ise örnekleme değerinin ifadesidir. Buna göre çalışmaya konu olan 11 parametreye uygulanan 20 segmanlı LHS metodu, 11x20’lik örnekleme matrisini üç farklı yapı sınıfı için Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17’de vermiştir.

Tablo 14 İyi sınıf yapı stoku için beton dayanımı değerlerinin LHS ile oluşturulması.

Beton Dayanımı, f_c						
m	Um	Pm	ICDF	RNP	REP	SV (MPa)
1	0.206	0.010	12.56	5	1	22.30
2	0.988	0.099	15.88	4	2	18.73
3	0.007	0.100	15.90	14	3	19.67
4	0.219	0.161	16.83	20	4	15.88
5	0.375	0.219	17.52	8	5	12.56
6	0.056	0.253	17.87	17	6	20.20
7	0.921	0.346	18.73	2	7	19.37
8	0.177	0.359	18.84	12	8	17.52
9	0.438	0.422	19.37	7	9	23.49
10	0.190	0.459	19.67	3	10	25.68
11	0.508	0.525	20.20	6	11	20.93
12	0.631	0.582	20.66	13	12	18.84
13	0.273	0.614	20.93	11	13	20.66
14	0.080	0.654	21.27	19	14	15.90
15	0.933	0.747	22.13	18	15	22.98
16	0.290	0.764	22.30	1	16	24.82
17	0.487	0.824	22.98	15	17	17.87
18	0.245	0.862	23.49	9	18	22.13
19	0.686	0.934	24.82	16	19	21.27
20	0.241	0.962	25.68	10	20	16.83

LHS örnekleme sonuçları Tablo 15’de iyi yapı sınıfı için, Tablo 16’da tipik yapı sınıfı için ve Tablo 17’de zayıf yapı sınıfı için verilmiştir. Burada f_c , f_y , E_c ve E_s malzeme özelliklerini, D sönüm parametresini, MS ise kütleyi ifade eder. Bölüm 6.1.2’de bahsi geçen tersinir yük altındaki davranış farklılıklarının modellere aktarılması için belirlenen değerlerden rijitlik azalım parametresi (α), süneklığe bağlı dayanım azalımı parametresi (β_1), enerji tüketme kapasitesine bağlı dayanım azalımı parametresi (β_2), ve çevrimsel davranışta daralma parametresi (γ) ile belirtilmiştir. C_{eff} ise kolonlarda ki enine donatı etkisini ifade eden bir IDARC–2D girdi parametresidir (bakınız Şekil 17). Enine donatının temelde boyuna donatıyı yerinde tutmak, burkulmayı geciktirmek, çekirdek betonun sünekliliğini, bazı durumlarda dayanımını arttırmak ve kesme gerilmelerini karşılamak gibi işlevleri vardır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Deprem etkisi altında yapı performansını doğrudan etkileyen sargı donatısının hem hesabında, hem de saha uygulamasında ciddi hatalar ve yetersizliklerin bulunduğu yapılan çalışmalar ve deprem sonrası gözlemler ile sabittir.



Şekil 17 Kolon sargı etkisi a) Zayıf b) Tipik c) İyi yapı stoku için örnek modeller.

Tablo 15 İyi sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.

İYİ										
f_c(MPa)	f_y(MPa)	E_c(MPa)	E_s(MPa)	ζ	α	β₁	β₂	γ	C_{eff}	MS(ton)
22.30	467.72	19047	194322	7.10	200	0.01	0.01	1.00	1.00	52.974
18.73	478.07	19633	209379	4.69	200	0.01	0.01	1.00	1.00	48.777
19.67	559.90	23516	189952	5.59	200	0.01	0.01	1.00	1.00	44.361
15.88	398.11	22550	203623	5.05	200	0.01	0.01	1.00	1.00	46.409
12.56	537.13	21797	205071	6.23	200	0.01	0.01	1.00	1.00	48.048
20.20	500.85	21290	201089	3.76	200	0.01	0.01	1.00	1.00	40.946
19.37	522.32	23056	192311	4.57	200	0.01	0.01	1.00	1.00	55.76
17.52	486.40	21922	197294	5.86	200	0.01	0.01	1.00	1.00	47.759
23.49	438.21	20447	201991	1.02	200	0.01	0.01	1.00	1.00	45.216
25.68	427.49	22121	195407	5.40	200	0.01	0.01	1.00	1.00	41.789
20.93	407.32	23984	198896	6.87	200	0.01	0.01	1.00	1.00	49.707
18.84	440.62	20638	218541	7.54	200	0.01	0.01	1.00	1.00	47.158
20.66	457.95	20219	199337	3.63	200	0.01	0.01	1.00	1.00	38.528
15.90	485.43	17639	204797	4.89	200	0.01	0.01	1.00	1.00	45.752
22.98	496.06	22758	206787	4.26	200	0.01	0.01	1.00	1.00	37.678
24.82	549.78	21371	202958	2.96	200	0.01	0.01	1.00	1.00	42.729
17.87	510.88	20847	197945	5.30	200	0.01	0.01	1.00	1.00	50.791
22.13	520.23	19905	200376	6.54	200	0.01	0.01	1.00	1.00	39.933
21.27	471.90	21129	190671	3.22	200	0.01	0.01	1.00	1.00	43.156
16.83	453.16	18714	196521	4.02	200	0.01	0.01	1.00	1.00	44.148

Tablo 16 Tipik sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.

TİPİK										
$f_c(\text{MPa})$	$f_v(\text{MPa})$	$E_c(\text{MPa})$	$E_s(\text{MPa})$	ζ	α	β_1	β_2	γ	C_{eff}	MS(ton)
12.61	331.92	18677	202513	4.51	20	0.25	0.25	0.60	0.66	40.68
14.23	350.05	17644	208977	2.20	20	0.25	0.25	0.60	0.66	43.81
19.25	280.32	20062	206578	5.92	20	0.25	0.25	0.60	0.66	51.64
13.00	394.75	17011	189758	5.27	20	0.25	0.25	0.60	0.66	49.73
8.02	414.28	19242	204224	2.93	20	0.25	0.25	0.60	0.66	46.50
14.74	324.22	19584	201851	5.58	20	0.25	0.25	0.60	0.66	42.90
22.19	317.15	18944	199804	6.53	20	0.25	0.25	0.60	0.66	44.86
15.17	357.20	16296	194999	6.96	20	0.25	0.25	0.60	0.66	49.07
18.02	369.63	20262	197059	5.00	20	0.25	0.25	0.60	0.66	50.57
15.84	338.70	20520	193697	4.12	20	0.25	0.25	0.60	0.66	45.12
15.67	428.92	15415	187851	6.72	20	0.25	0.25	0.60	0.66	45.98
13.44	304.71	17416	200164	6.05	20	0.25	0.25	0.60	0.66	38.78
17.26	347.81	17984	207128	3.38	20	0.25	0.25	0.60	0.66	42.42
11.24	402.13	18478	198641	3.87	20	0.25	0.25	0.60	0.66	47.86
17.44	385.51	21974	195926	4.22	20	0.25	0.25	0.60	0.66	47.09
12.19	372.77	20766	203993	4.73	20	0.25	0.25	0.60	0.66	43.53
16.64	389.00	19026	182278	5.04	20	0.25	0.25	0.60	0.66	55.36
13.84	380.06	19743	212962	5.44	20	0.25	0.25	0.60	0.66	41.20
16.31	439.92	18208	191806	3.52	20	0.25	0.25	0.60	0.66	47.99
14.64	361.83	21310	214129	7.67	20	0.25	0.25	0.60	0.66	37.92

Tablo 17 Zayıf sınıf yapı stoku için analitik model değerleri.

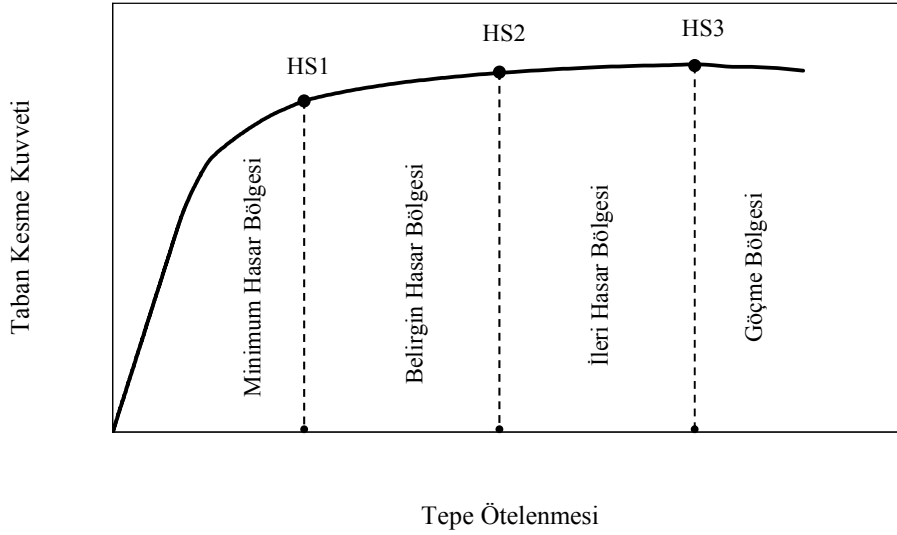
ZAYIF										
$f_c(\text{MPa})$	$f_v(\text{MPa})$	$E_c(\text{MPa})$	$E_s(\text{MPa})$	ζ	α	β_1	β_2	γ	C_{eff}	MS(ton)
11.26	281.86	17804	184052	4.32	5	0.50	0.50	0.30	0.50	47.50
10.47	240.38	17099	182427	3.75	5	0.50	0.50	0.30	0.50	39.91
9.57	306.91	18525	198751	5.97	5	0.50	0.50	0.30	0.50	40.96
10.69	224.16	16066	202957	5.60	5	0.50	0.50	0.30	0.50	42.56
11.58	280.88	17598	210277	3.61	5	0.50	0.50	0.30	0.50	49.96
7.63	226.02	19212	198316	5.47	5	0.50	0.50	0.30	0.50	43.49
13.45	235.75	14390	187187	2.23	5	0.50	0.50	0.30	0.50	47.00
9.43	216.45	15623	207731	4.10	5	0.50	0.50	0.30	0.50	38.84
12.23	297.75	13223	196174	3.17	5	0.50	0.50	0.30	0.50	48.70
7.07	247.45	16567	191378	5.03	5	0.50	0.50	0.30	0.50	42.19
10.19	206.60	17003	200496	5.35	5	0.50	0.50	0.30	0.50	36.06
12.62	231.58	14916	192772	7.76	5	0.50	0.50	0.30	0.50	45.17
8.03	274.79	16369	214635	6.61	5	0.50	0.50	0.30	0.50	46.50
11.71	262.94	15026	203884	4.87	5	0.50	0.50	0.30	0.50	45.50
10.95	195.24	17351	202452	2.73	5	0.50	0.50	0.30	0.50	50.21
8.74	252.75	15481	212100	4.57	5	0.50	0.50	0.30	0.50	51.61
9.16	256.88	15769	205900	4.76	5	0.50	0.50	0.30	0.50	54.03
9.86	244.68	18210	195689	6.35	5	0.50	0.50	0.30	0.50	44.19
6.96	257.96	16755	193260	6.14	5	0.50	0.50	0.30	0.50	48.11
8.43	268.17	13744	217913	7.11	5	0.50	0.50	0.30	0.50	44.41

7.3 Yapıların Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

Hasar sınırları (ya da sınır durumları), hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması aşamasında önemli bir rol oynamaktadırlar. İyi tanımlanmış sınır durumları gerçek sismik davranışı yansıtan hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için vazgeçilmez unsurlardır. Literatürdeki hasar sınırı çalışmaları tarandığında, önerilen limit değerlerin değişkenlik gösterdiği görülür. Bu çalışma hasar sınırlarının tayininde sabit dağılım gösteren değişken değerler kullanmıştır. Sonuç olarak, yapısal kapasitedeki belirsizlikler hasargörebilirlik çalışmasına yansıtılmaya çalışılmıştır.

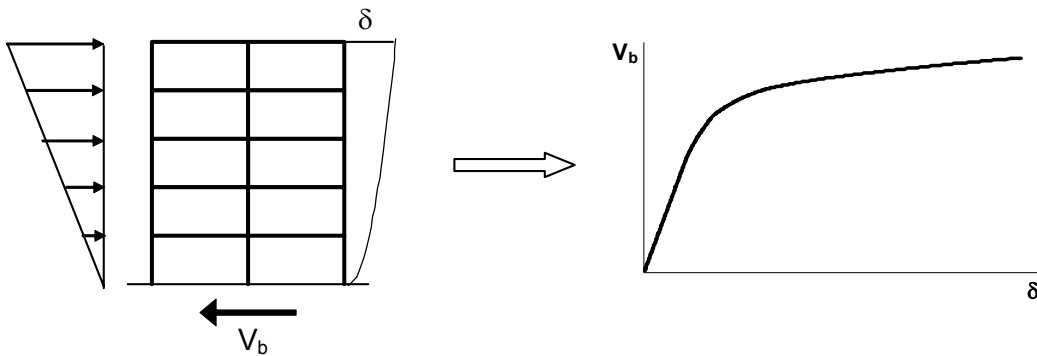
Bu çalışmada üç hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla Minimum Hasar Sınırı (HS1), Güvenlik Sınırı (HS2) ve Göçme Sınıridir (HS3). Şekil 18’de de görülebileceği gibi üç hasar sınırına karşılık dört değişik hasar bölgesi tanımlanmaktadır. Bunlar Hasarsızlık ya da Az

Hasar (Kısaca Minimum Hasar) Bölgesi (HB1), Belirgin (Ya da Orta) Hasar Bölgesi (HB2), İleri (ya da Ağır) Hasar Bölgesi (HB3) ve de Göçme Bölgesi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 18 Çalışmada tanımlanan hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

Hasar sınırlarının tayini amacıyla artımsal itme analizi sonucu elde edilen itme eğrisi kullanılmıştır. Bu eğrinin koordinat eksenleri “tepe ötelenmesi–taban kesme katsayısı” olup eşdeğer deprem yükü sabit ters üçgen yük dağılımı ile temsil edilmektedir. Eşdeğer deprem yükünün arttırılması sayesinde yapının ilk durumdan (hasarsız) göçme anına kadar olan tüm performans seviyelerini gözlemlemek mümkündür. Şekil 19’da itme analizi sembolik olarak gösterilmektedir.



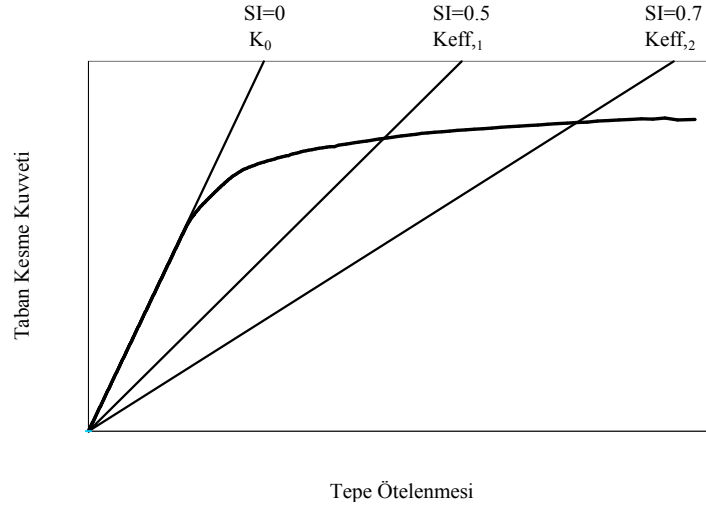
Şekil 19 İtme analizinin sembolik olarak gösterimi.

Bu çalışmada hasar sınırlarının katlararası ötelenme ile ifadesinde farklı yöntemler bir arada kullanılmıştır. Hasar sınırlarının tespitinde kullanılan ilk kriter, ilerleyen hasar oluşumunda yapının elemanlarındaki performans evrelerinin izlenmesi olmuştur. Buna göre, artımsal itme analizi sırasında kolon ve kiriş elemanlarında meydana gelen çatlama, akma ve göçme durumları takip edilmiştir. Artımsal itme analizinde kullanılan IDARC-2D programı her eleman için çatlama, akma ve göçme durumlarının fiziksel ifadesini vermiştir (Valles ve diğerleri, 1996). Buna göre 3SD2, 5SD2, 7SD2 ve 9SD2 modellerinin ilk iki katındaki hasar durumları takip edilmiş ve itme eğrisinin üzerinde tespit edilmiştir (bakınız Şekil A1-A12). Eğriler incelendiğinde, ardışık kiriş akmalarının yapının rijitliğinde ciddi azalmalara sebep olduğu görülür. Bu yüzden bu nokta birinci hasar sınırı olarak kabul edilmiştir. Kolon elemanlarındaki akma ise yapının yanal dayanımında azalmayı işaret ettiği için ikinci hasar sınırı olarak belirlenmiştir. Son olarak, hasar arttıkça birçok elemanda meydana gelen akma ve bazı kirişlerde oluşan göçme durumu üçüncü hasar sınırı olarak kabul edilmiştir zira bu noktadan sonra kesin bir stabiliteden söz etmek mümkün değildir ve binada göçme mekanizması oluşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada hasar sınırlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan bir diğer kriter, DiPasquale ve Çakmak (1987) tarafından geliştirilen rijitlik azalma indeksi (SI)'dir.

$$SI = 1 - \frac{K_i}{K_o} \quad (6)$$

Denklemden K_i terimi herhangi bir anda itme eğrisi üzerindeki sekant rijitliğini, K_o terimi ise başlangıç rijitliğini temsil etmektedir. K_i terimi başlangıç rijitliğine eşit olduğu zaman ($K_i=K_o$), rijitlikte henüz bir azalma olmamıştır ve indeks alt sınır olarak kabul edilen sıfır değerini alır ($SI=0$). Yapının rijitliği azaldıkça K_i terimi daha düşük değerler alır ve teorik olarak indeks bir değerine doğru yaklaşır ($SI \cong 1$). Pratikte bu değere ulaşmak mümkün değildir ancak indeks çok yüksek değerler alabilir ($SI=0.8-0.9$ gibi). Böylece yapının sekant rijitliğindeki değişikliğe bağlı olan bir performans indeksi ortaya çıkmaktadır. İndeksin sembolik olarak gösterimi Şekil 20'de yer almaktadır.



Şekil 20 Rijitlik azalım indeksinin sembolik olarak gösterimi.

Artımsal itme eğrileri ve rijitlik azalma indeksleri Ek A da verilmiştir. Şekil A1–A12’den görüleceği üzere, kiriş akmalarının olduğu kısımda rijitlik azalma indeksi 0.10 ve 0.20 arasında değerler almaktadır. Tepe ötelenmesi arttıkça, sekant rijitliği de azalmaktadır. İkinci hasar sınırı ise rijitlik indeksi 0.45 ve 0.55 değerlerine ulaştığında gözlenir. Son olarak göçme bölgesi rijitlik indeksinin 0.70 ve 0.85 değerleri ile sınırlanır.

Hasar sınırlarının tayininde kullanılan son kriter süneklik kapasitesidir. Buna göre elde edilmiş artımsal itme eğrileri FEMA 356 (ASCE, 2000) deki yöntem ile çift doğrusal hale getirilir. Süneklik kapasitesi daha sonra Denklem (7) ile bulunur. Burada δ herhangi bir noktadaki ötelenme değeri, δ_y ise akma ötelenme değeridir.

$$\mu = \delta/\delta_y \quad (7)$$

Literatürde süneklik kapasitesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri Calvi (1999) tarafından birinci ve ikinci hasar durumunu tespit için yapılmıştır. Buna göre, iyi yapı sınıfına ait binalar için önerilen maksimum ve minimum değerler sırasıyla Denklem (8) ve Denklem (9)’da verilmiştir.

$$\mu_{\min} = 1 + 1.05/n \quad (8)$$

$$\mu_{\max} = 1 + 2.24/n \quad (9)$$

Burada n kat sayısını ifade eder. Benzer şekilde birtakım yapısal zayıflıklara sahip binalar için önerilen değerler Denklem (10)'da verilmiştir.

$$\mu_{\min} = \mu_{\max} = 1 + 2.99/n \quad (10)$$

Süneklik kapasitesi için söz konusu benzer bir çalışma Booth ve diğerleri (2004) tarafından yapılmıştır. Burada önemli nokta bu çalışmanın Marmara bölgesinden 6 farklı alan için yürütülmüş olmasıdır. Bu çalışma Türkiye'deki yapılar için ikinci ve üçüncü hasar sınırı değerlerini tespit eder. Buna göre ikinci hasar sınırı için 1.5 ve 3.0 arasında bir değer tespit edilirken; üçüncü sınır bölgesi için 3.0 ve 6.0 arasında bir süneklik kapasitesi tespit edilir.

Yukarıda belirtilen kriterler göz önüne alınarak tüm yapılarda kritik kat olduğu kabul edilen birinci kattaki ötelenme cinsinden hesaplanan sınır durumlar Tablo 18'de verilmektedir. Artımsal itme analizi sonuçları, SI indeks değerleri ve farklı süneklik kapasite değerleri EK A da verilmiştir (bakınız Şekil A1–A12).

Tablo 18 Hasargörebilirlik eğrileri için elde edilen hasar sınırları.

Yapı Sınıfı	Maksimum Katlararası Ötelenme Oranı (%)					
	Birinci Hasar Sınırı		İkinci Hasar Sınırı		Üçüncü Hasar Sınırı	
	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır Değeri	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır Değeri	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır Değeri
MRF3-P	0.26	0.34	0.52	0.80	1.19	1.64
MRF3-T	0.35	0.47	1.17	1.75	2.41	3.22
MRF3-S	0.43	0.58	1.07	1.54	2.93	3.89
MRF5-P	0.20	0.26	0.38	0.49	0.85	1.43
MRF5-T	0.26	0.36	0.58	0.95	1.84	2.50
MRF5-S	0.36	0.46	0.86	1.28	2.70	3.47
MRF7-P	0.17	0.22	0.38	0.50	0.61	0.89
MRF7-T	0.18	0.25	0.54	0.72	1.03	1.62
MRF7-S	0.22	0.29	0.51	0.73	1.93	2.76
MRF9-P	0.16	0.21	0.32	0.40	0.54	0.69
MRF9-T	0.16	0.21	0.45	0.57	0.90	1.49
MRF9-S	0.18	0.25	0.48	0.62	1.78	2.68

Daha önce bahsedildiği gibi bu çalışma tek bir hasar sınırı değeri yerine sabit dağılıma sahip değişken hasar sınır değeri kullanmayı benimsemiştir. Hasar sınırı durumu için kesin bir tanım olmaması ve yapısal değişikliği göz önüne alabilmek için bu yol benimsenmiştir. Buna göre her bir hasar sınırı değeri sabit dağılım gösteren alt ve üst sınırlar içerisinde sabit dağılım ile rastlantısal değişen değerler olarak kabul edilmiştir.

7.4 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması

İyi, tipik ve zayıf yapı sınıfları çerçevesinde 3, 5, 7 ve 9 katlı yapıların analitik modelleri, IDARC–2D bilgisayar programı aracılığıyla zaman tanım alanı yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen maksimum kat ötelemelerinin, kullanılan yer hareketi kayıtlarına ait MYH değerleri ile olan ilişkisi çıkartılmıştır. Sonuçlar EK–B’ de yer almaktadır. Herhangi bir MYH değerinde dikey olarak yer alan veriler, malzeme değişkenliği göz önüne alınarak oluşturulmuş simülasyonlardan elde edilen maksimum kat ötelemesi değerleridir. Doğal olarak yer hareketi parametresi arttıkça bu değerler de artış göstermektedir. Her şekil dikey çizgiyle üç değişik alana bölünmüştür. Bu çizgiler arasında kalan veriler değişik sismik tehlike seviyeleri için tasarımı yapılan binaların performansını temsil etmektedir.

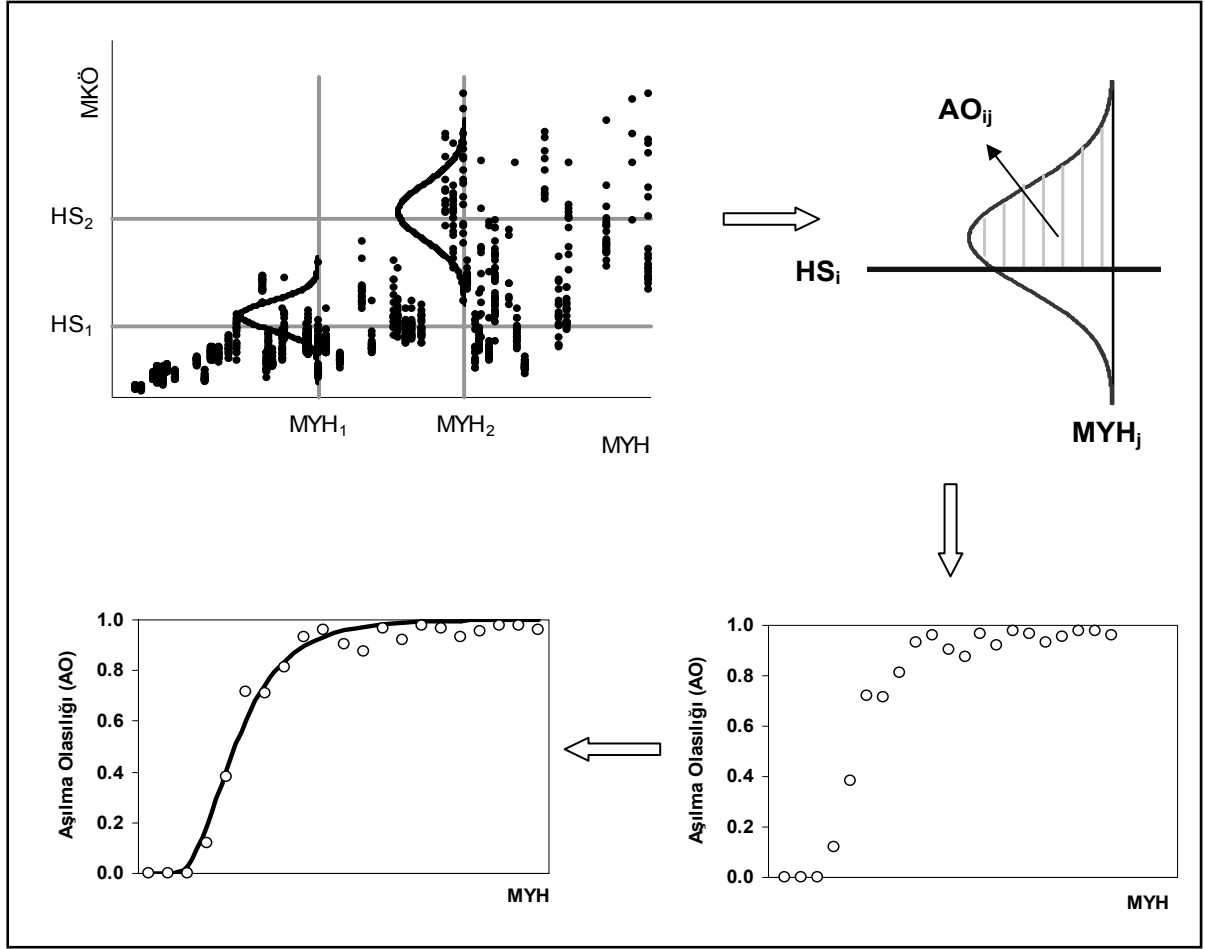
Şekillerdeki her dikey (sabit MYH değerine sahip) veri grubunun istatistiksel olarak normal dağılım gösterdiği kabul edilirse bu gruba ait bir ortalama ve standart sapma değeri hesaplamak mümkün olabilir. Böylece şekil üzerindeki her dikey veri grubu iki basit istatistiksel tanım parametresi ile temsil edilebilir. Bu istatistiksel veriler, hasargörebilirlik eğrilerinin oluşumu için aşılma olasılıklarının hesaplanmasında kullanılır. Aşılma olasılığı, herhangi bir MYH seviyesi için bir hasar sınırının aşılma olasılığını ifade etmektedir. Sembolik olarak

$$AO_{i,j} = P(MKÖ \geq HS_i | MYH_j) \quad (11)$$

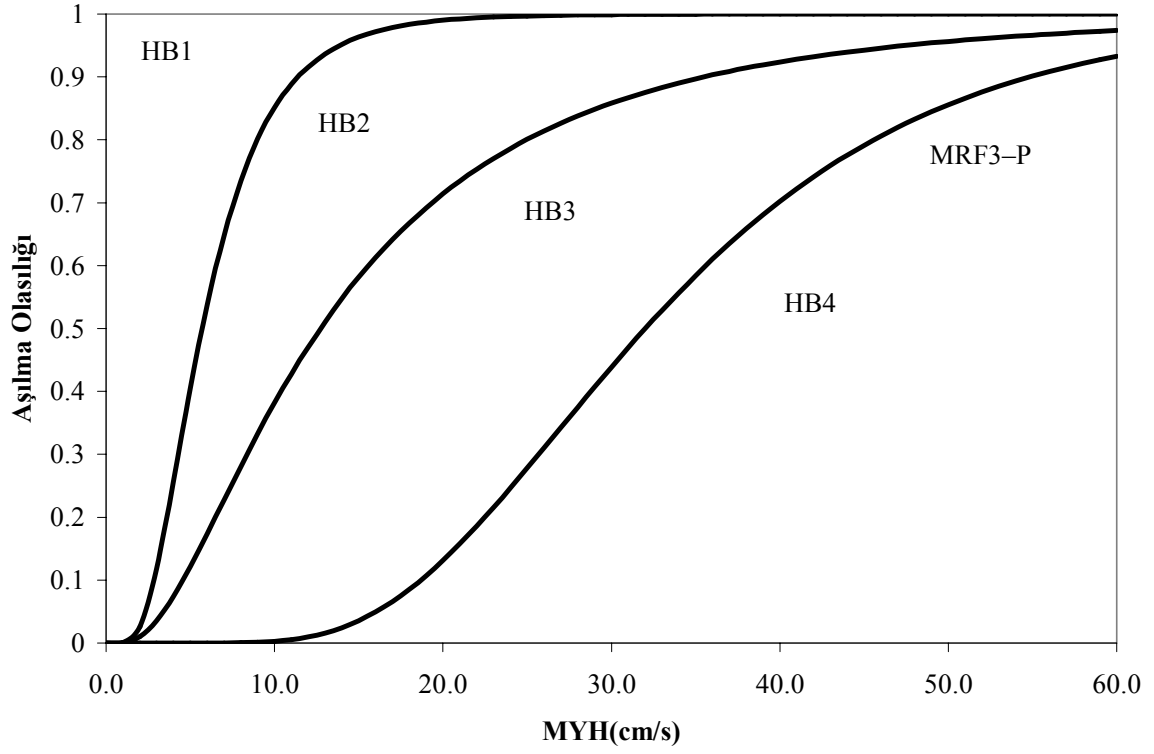
şeklinde ifade edilebilir. Yukarıdaki ifadede $AO_{i,j}$, j seviyesindeki maksimum yer hızı altında i’inci hasar sınırının (maksimum kat ötelemesi cinsinden) aşılma olasılığını, MKÖ maksimum kat ötelemesini, HS_i i’inci hasar sınırını ve MYH_j ise j’inci maksimum yer hareketi seviyesini temsil eder. Aşılma olasılığının görsel olarak ifadesi Şekil 21’de yer almaktadır.

Tüm MYH seviyeleri için aşıma olasılıkları hesaplandığı zaman, AO–MYH koordinat sisteminde monotonik olarak artan noktalardan oluşan bir grafik elde edilir (bakınız Şekil 21). Bu hasargörebilirlik eğrisinin ham hali olup genelde matematiksel olarak daha iyi ifade edilmesi amacıyla noktalara uygun bir eğri uydurulmaktadır. Bu çalışmada hasargörebilirlik eğrileri lognormal kümülatif dağılım ile bulunmuştur.

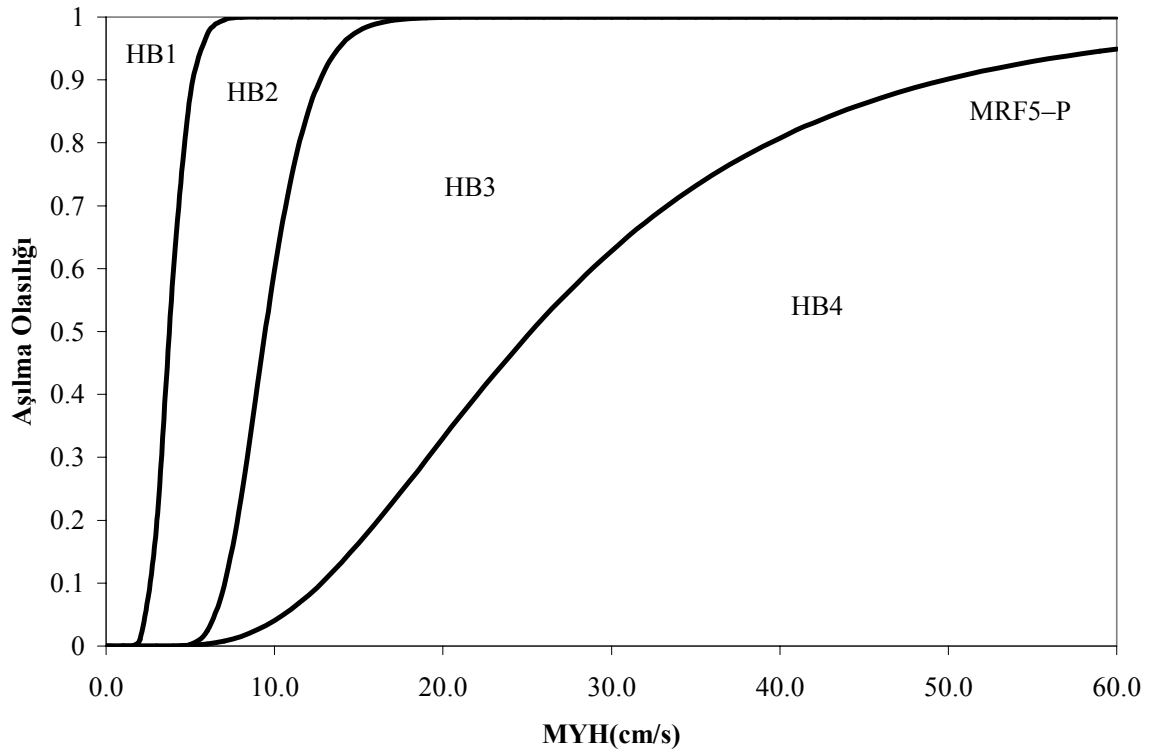
Üç değişik yapı sınıfına ait 3, 5, 7 ve 9 katlı düzlemsel yapı modelleri kullanılarak elde edilen hasargörebilirlik eğrileri Şekil 22–33’de yer almaktadır. İyi yapı sınıfına ait binalar için üçüncü sınır durumun mevcut olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi bu yapıların tasarımında temel ilkelere eksiksiz uyulması sebebiyle göçme olasılığının ihmal edilebilecek kadar az çıkmasıdır. Zayıf yapı sınıfındaki binalarda ise kat sayısı arttıkça birinci ve ikinci hasar sınırlarının birbirine yaklaştığı gözlenmektedir. Bunun sebebi yapı elemanlarının hasar görmeye başladıktan sonra çok hızlı bir şekilde belirgin hasardan ileri hasara geçiş yapmasıdır. Bir başka deyişle tasarım açısından zayıf yapılarda hafif hasar ile ağır hasar arasındaki tolerans çok azdır, yapı hızlı bir şekilde göçme riski ile karşı karşıya kalmaktadır.



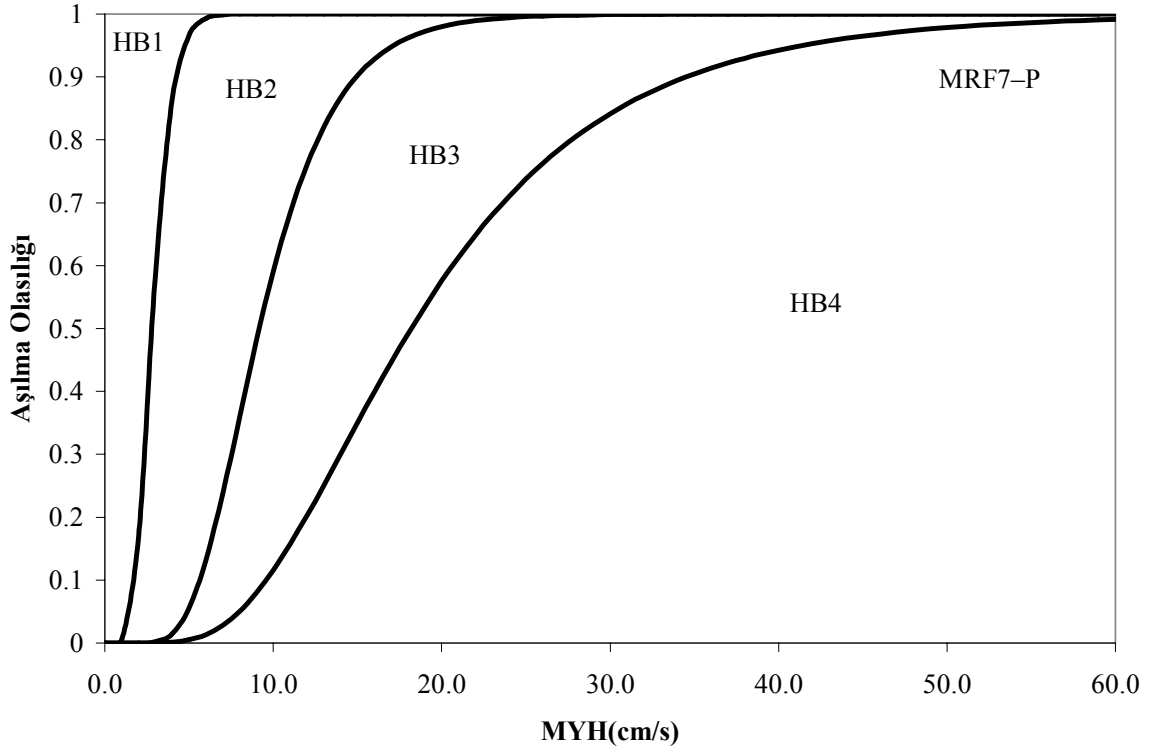
Şekil 21 Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ile ilgili yönteminin şematik olarak gösterilmesi.



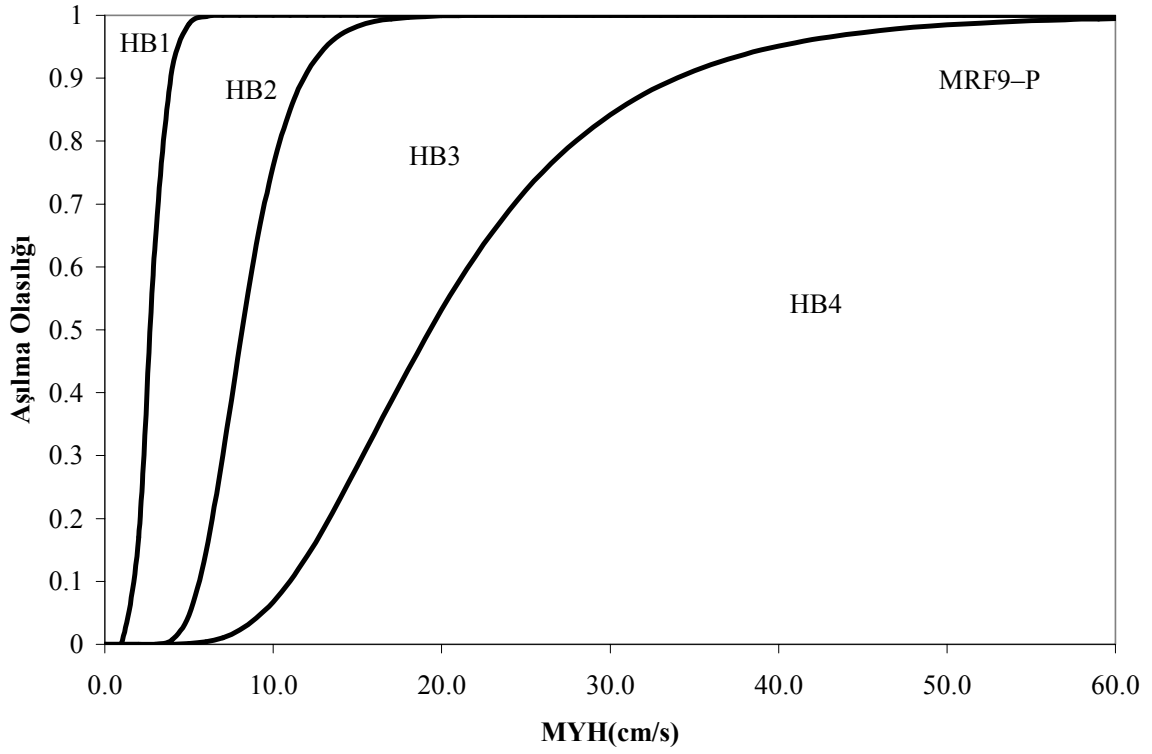
Şekil 22 MRF3-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



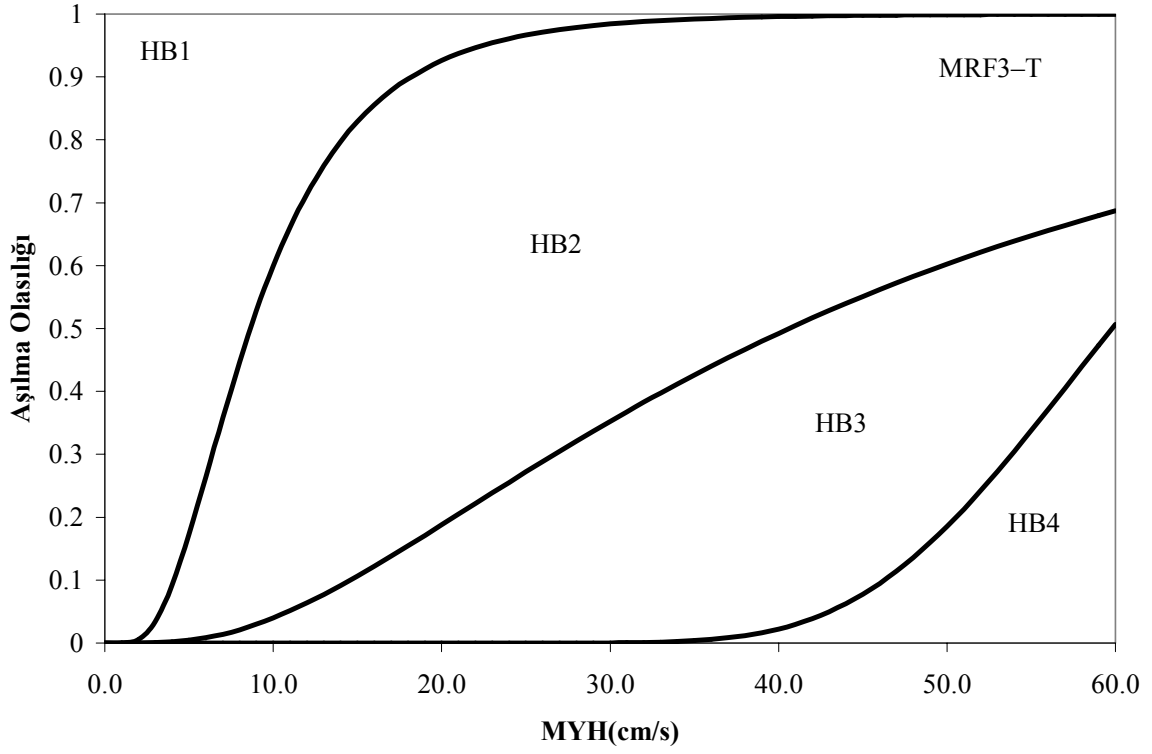
Şekil 23 MRF5-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



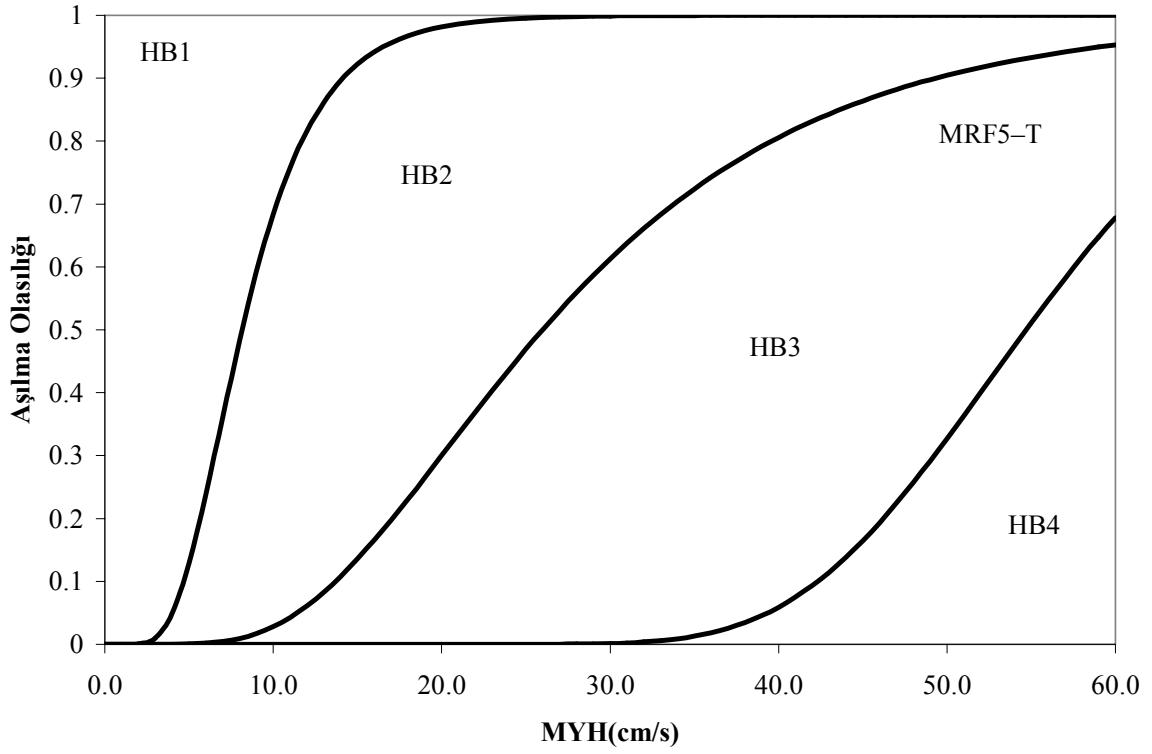
Şekil 24 MRF7-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



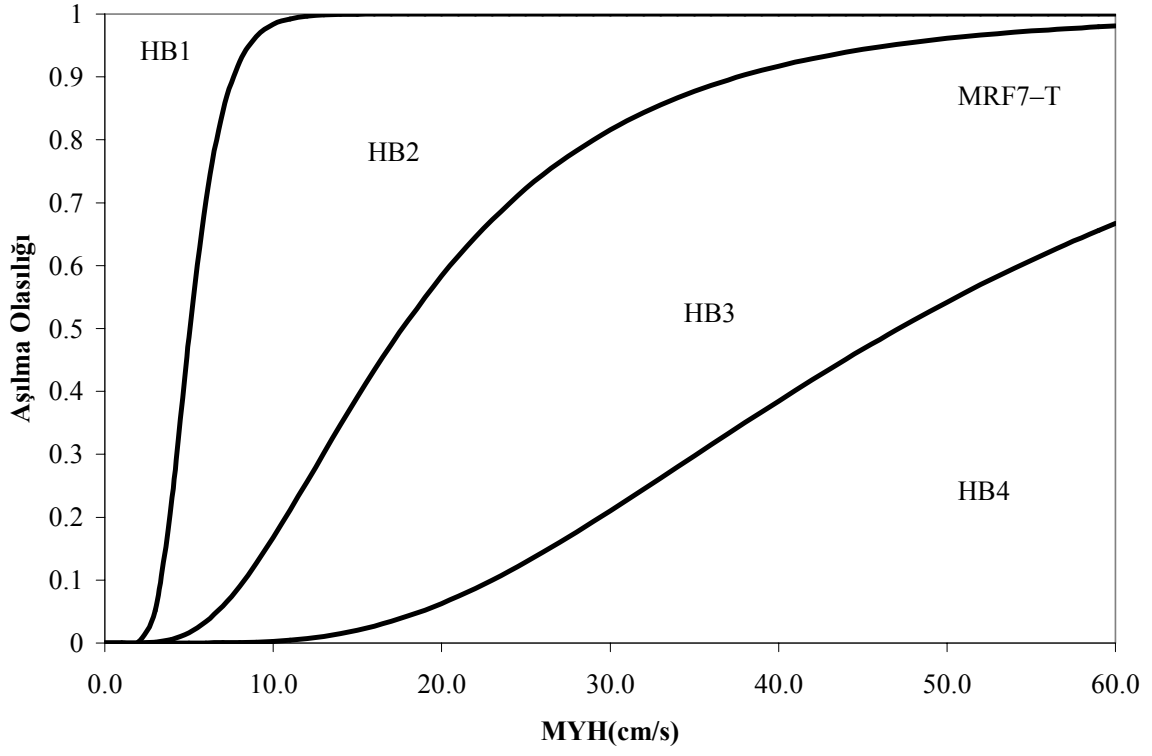
Şekil 25 MRF9-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



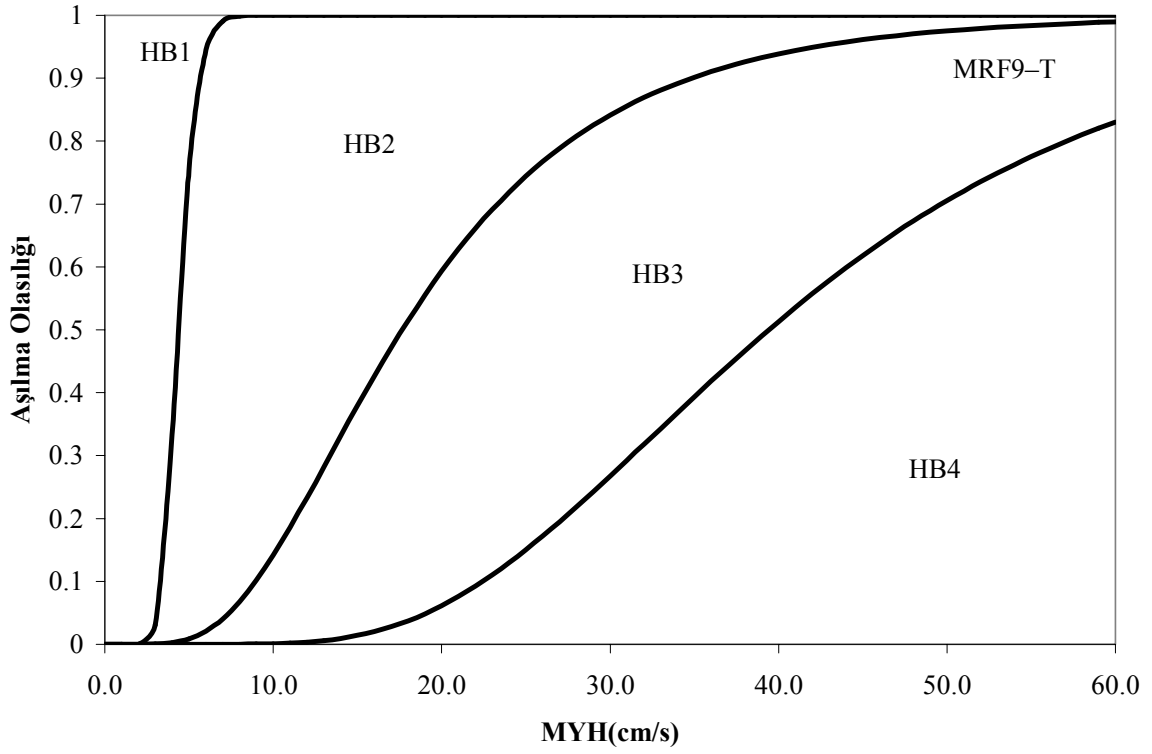
Şekil 26 MRF3-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



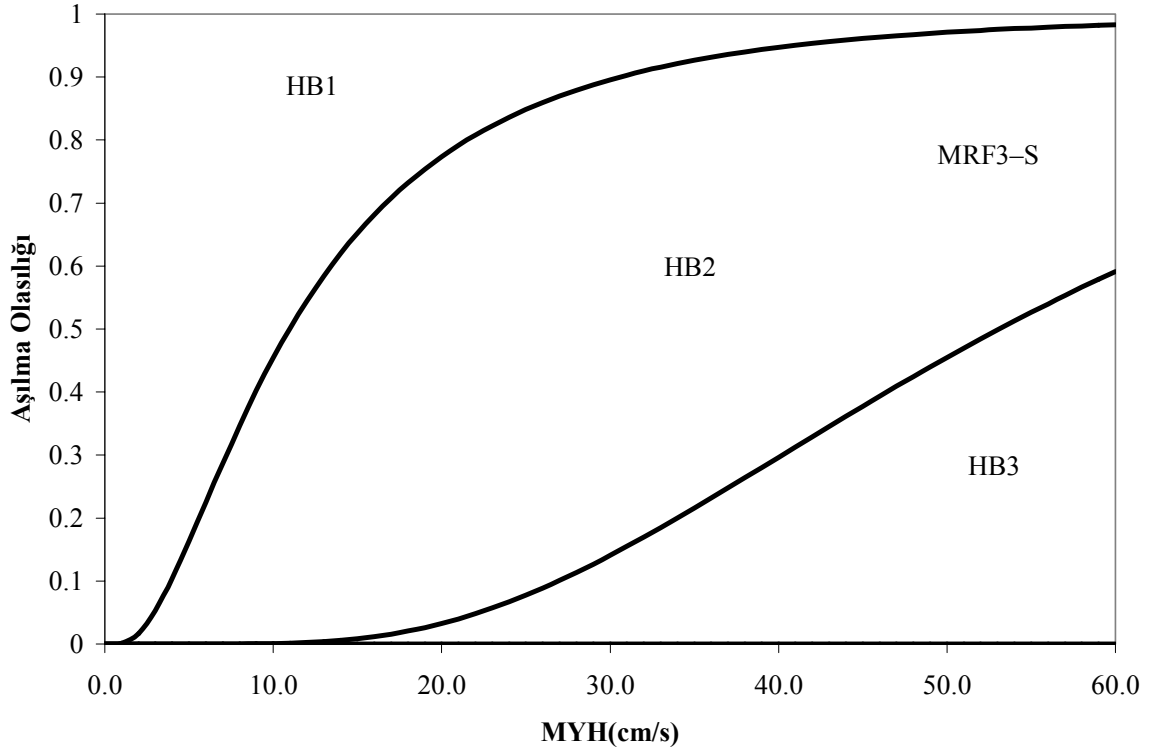
Şekil 27 MRF5-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



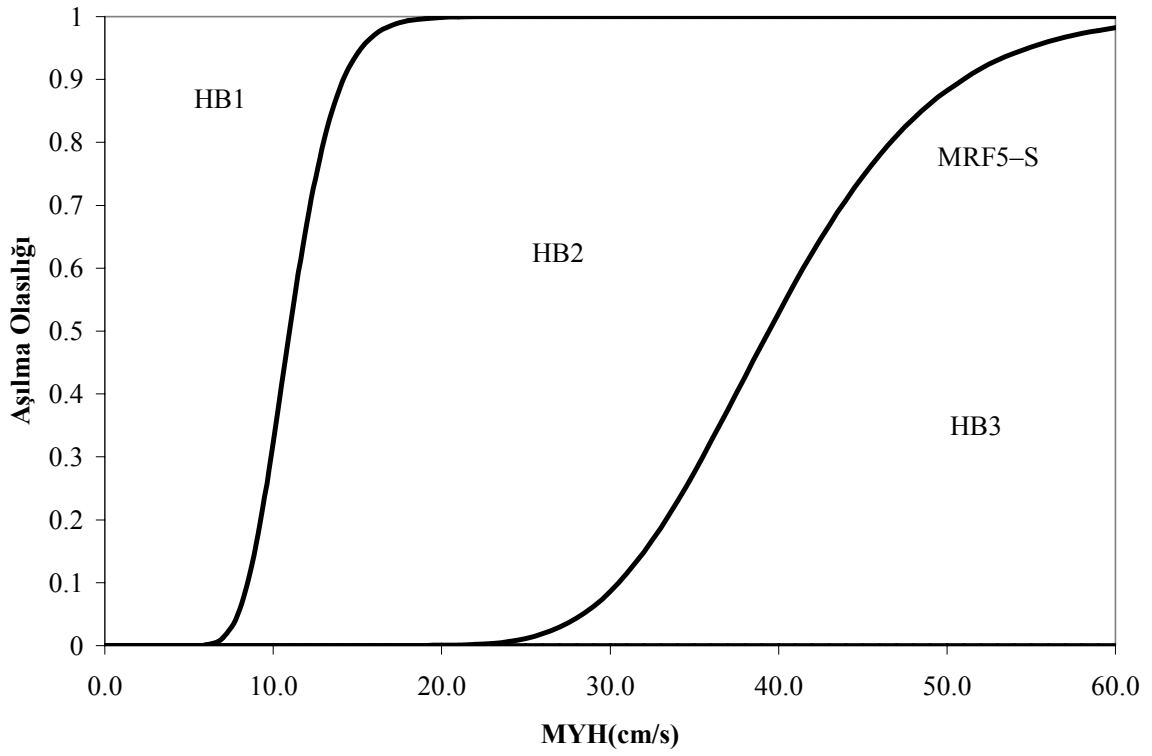
Şekil 28 MRF7-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



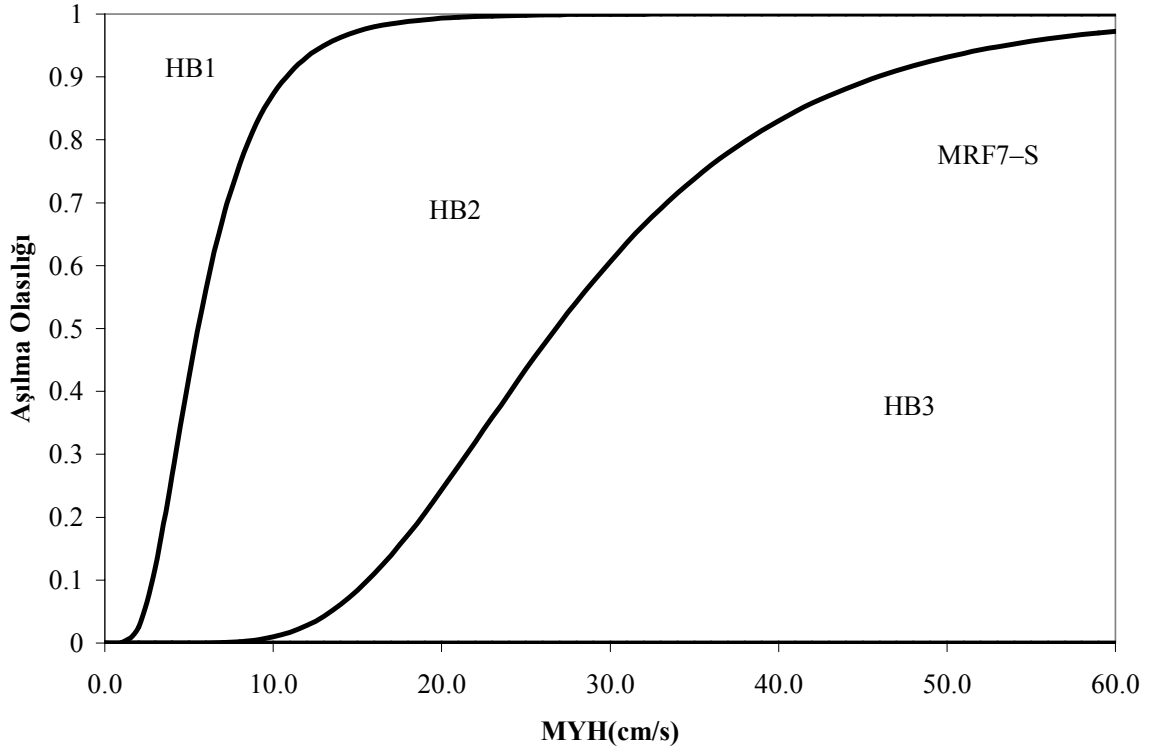
Şekil 29 MRF9-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



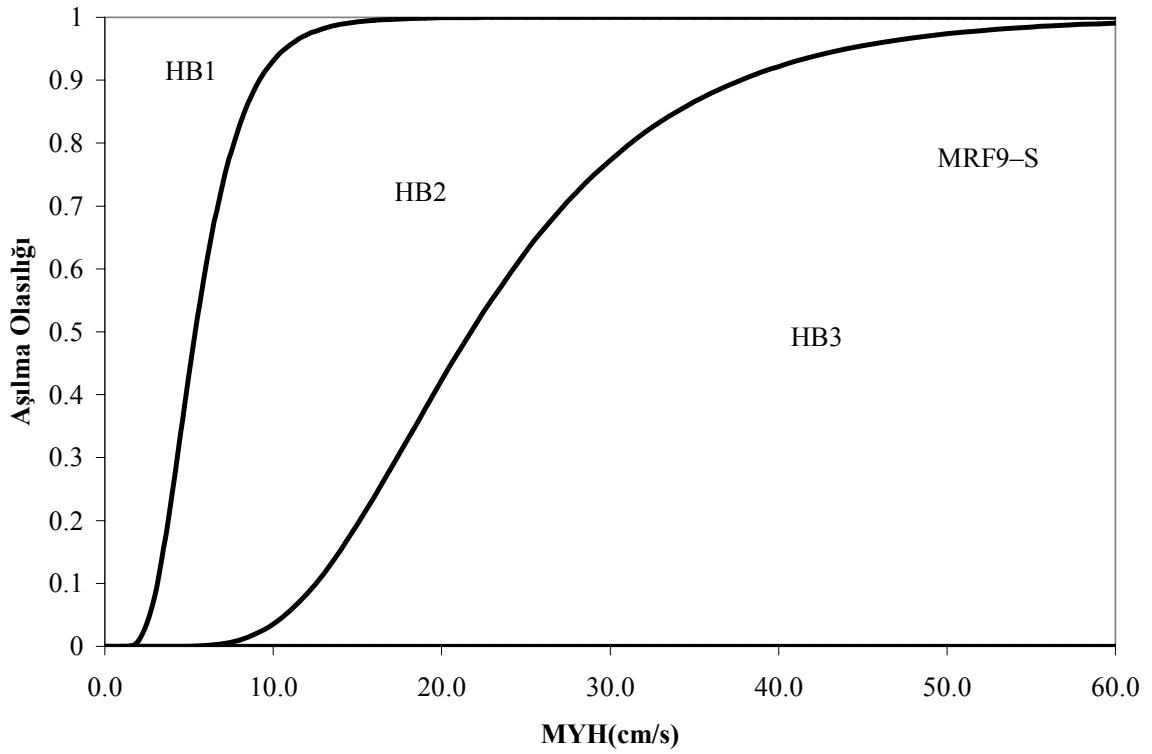
Şekil 30 MRF3-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



Şekil 31 MRF5-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



Şekil 32 MRF7-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



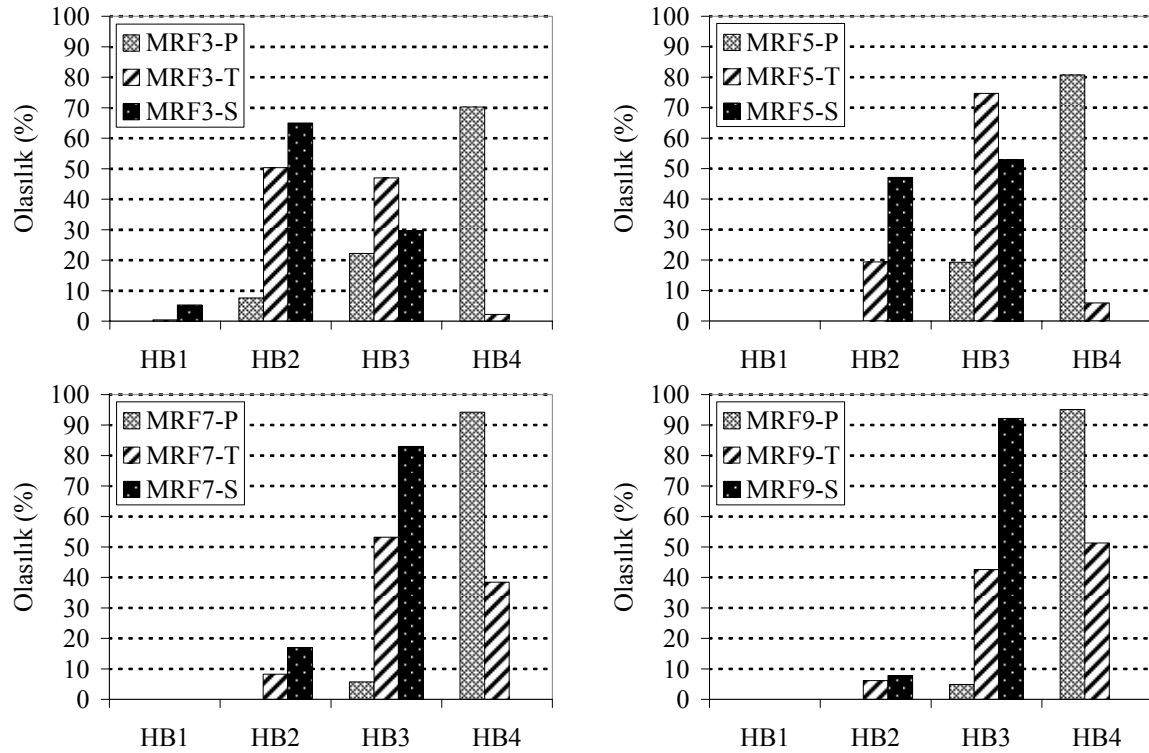
Şekil 33 MRF9-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.

7.5 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Karşılaştırılması

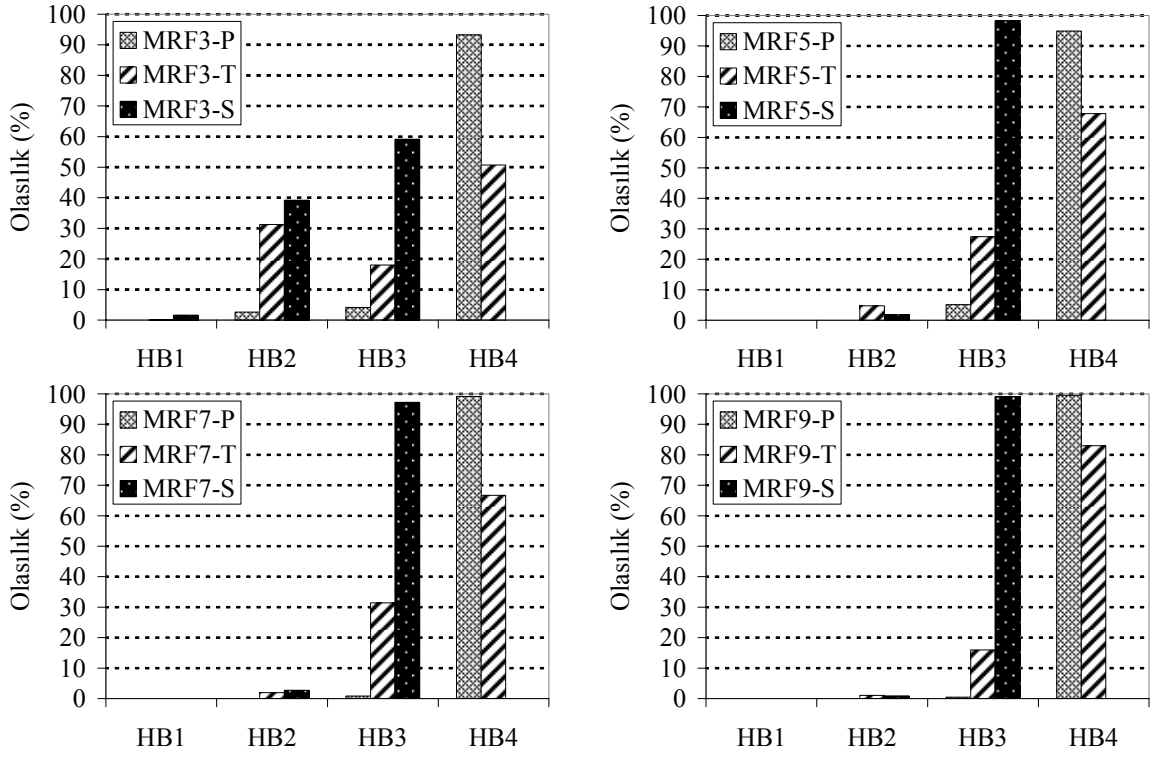
Bu çalışmada yapıların deprem performansı hasargörebilirlik eğrileri yardımı ile ortaya konmuştur. Deprem hasarının tahmini ve zararların en aza indirgenmesi için deprem tehlikesinin de belirlenmesi gerekir. Yapıların hasar durumlarının karşılaştırılması için mevcut yapı stokuna etki ettiği varsayılan 40cm/s ve 60 cm/s'lik MYH değerleri seçilmiştir.

Şekil 34 ve Şekil 35 değişik MYH değerleri için (40, 60 cm/s) iyi, tipik ve zayıf yapı grubundaki binaların hasar bölgesi olasılıklarının karşılaştırmasını verir.

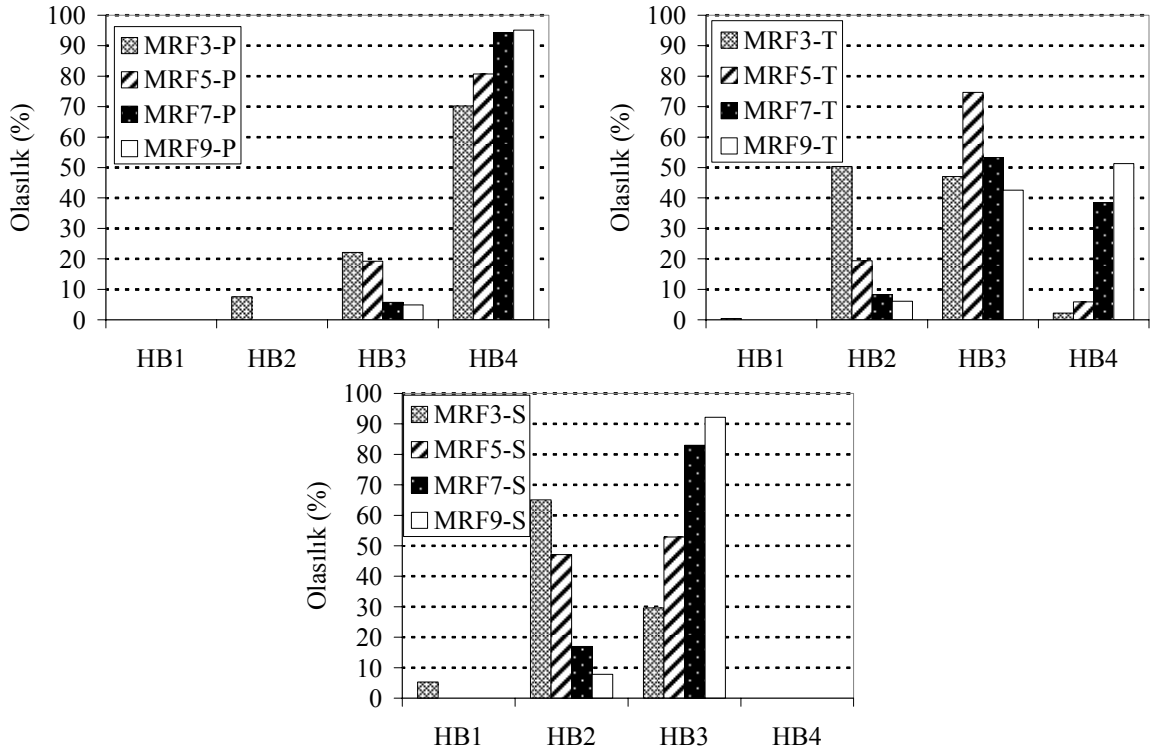
Şekil 36 ve Şekil 37 değişik MYH değerleri için (40, 60 cm/s) yapı grubundaki binaların kat bazında hasar bölgesi olasılıklarının karşılaştırmasını verir.



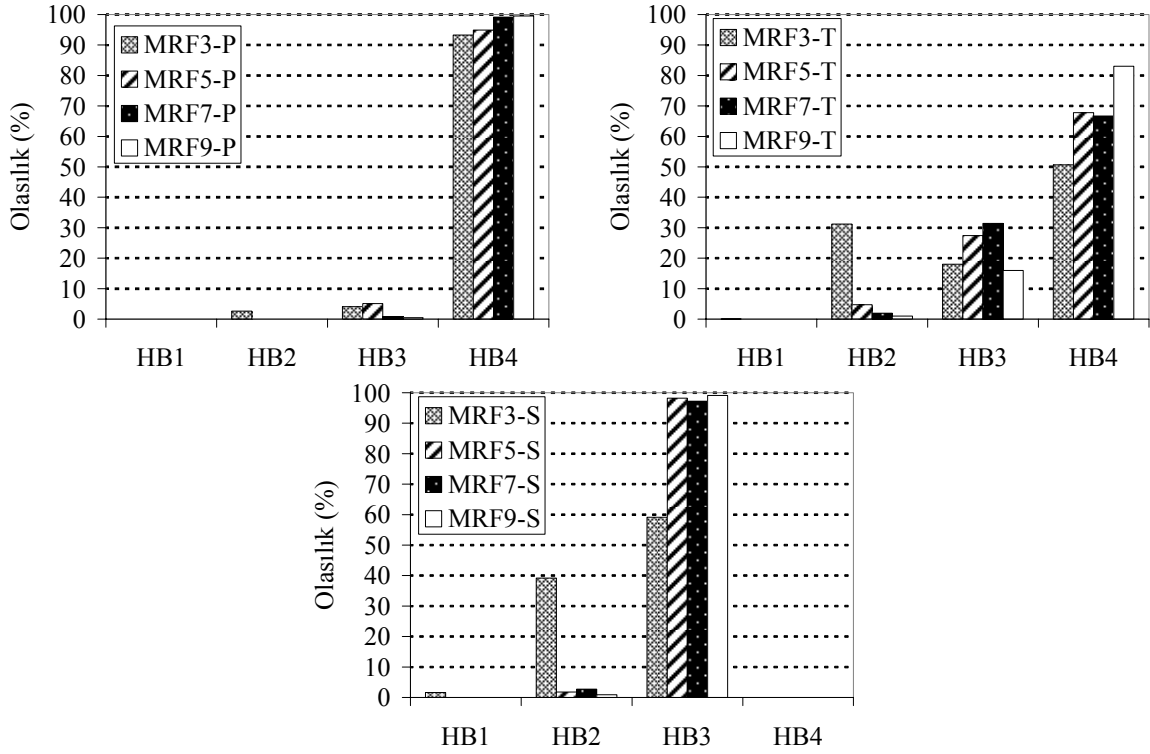
Şekil 34 MYH=40cm/s için bulunmuş hasar bölgesi olasılıkları.



Şekil 35 MYH=60cm/s için bulunmuş hasar bölgesi olasılıkları.



Şekil 36 MYH=40cm/s için bulunmuş kat bazında hasar bölgesi olasılıkları.



Şekil 37 MYH=60cm/s için bulunmuş kat bazında hasar bölgesi olasılıkları.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi hem iyi, hem tipik, hem de zayıf yapı grubuna ait binalarda kat sayısı arttıkça hasar olasılıkları da artmaktadır. Bir başka deyişle, aynı yapı grubuna ait ve aynı yer hareketi seviyesine (MYH cinsinden) maruz kalan iki yapıdan fazla kat sayısına sahip olan az kat sayısı olan yapıya göre daha fazla hasar görmektedir. Bu sonuç ülkemiz yapı stokunun karakteristik bir özelliğini olan kat sayısı–hasar ilişkisini teyit etmektedir. Daha önce başka araştırmacılar tarafından da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Aydoğan, 2003; Akkar ve diğerleri, 2005). Üç yapı stokuna ait hasar tahminleri arasında büyük farklılıklar gözlenmektedir. Özellikle yüksek yer hareketi seviyesinde (MYH=60), kalite farklılıkları yapıyı bir anda az–orta hasar seviyelerinden ağır hasara hatta göçme bölgesine taşımaktadır. Bu geçişin zayıf yapı grubunda çok daha hızlı olduğu gözlenmektedir. Bunu en büyük sebebi, daha önce hasargörebilirlik eğrilerinde tartışıldığı üzere, zayıf yapılarda hafif hasar ile ağır hasar arasındaki toleransın çok az olmasıdır. Bu sonuç modelleme sırasında göz önüne alınan zayıflıkların hasargörebilirlik eğrilerine sağlıklı bir şekilde aktarıldığını göstermektedir.

8 Türkiye'deki Az ve Orta Katlı Betonarme Çerçevesel Yapıların Hasar Görebilirliği: Uygulama Çalışması

Deprem etkilerinin tahmini ve bu etkilerin hafifletilmesi için yapılan çalışmalarda yapı stokunun hasargörebilirliğinin tespiti hayati önem taşımaktadır. Bu tür bir tespit, yerel yapı stokunun karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve deprem tehlikesinin tayini ile mümkündür.

Bu çalışma Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme çerçevesel yapıların hasar potansiyelini hasargörebilirlik eğrileri yardımı ile ortaya koymuştur. Çalışmanın son kısmında, elde edilen hasargörebilirlik bilgisi bölgesel hasar tahmin çalışmalarına uygulanmıştır. Bu amaçla seçilen uygulama bölgesi hem deprem dayanımı düşük konutlarda yaşayan kalabalık nüfusu, hem de depremselliği açıkça bilinen İstanbul'daki Fatih semtidir.

Fatih bölgesi bina envanteri, İstanbul Büyükşehir yapı stoku hasar potansiyelini inceleyen bir diğer proje için elde edilmiştir. Söz konusu çalışma mevcut yapı stokunun çok aşamalı sismik değerlendirme çalışmasını konu alan NATO projesinin (Özcebe ve diğerleri, 2003; Yakut ve diğerleri, 2003) bir devamı niteliğindedir. Bu projede, üç aşamalı bir değerlendirme yöntemi uygulanmıştır.

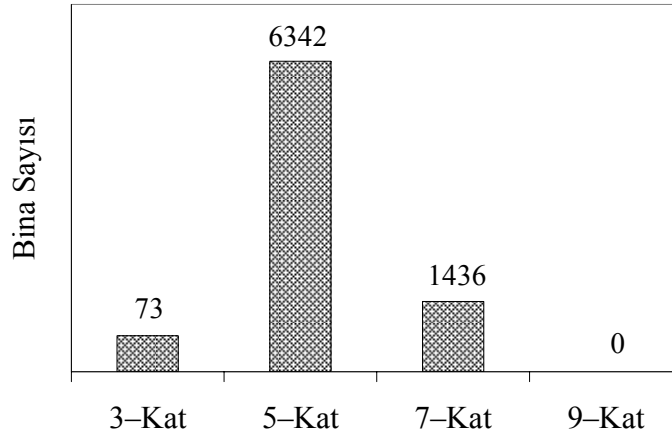
- Hızlı Değerlendirme
- İkinci Kademe Değerlendirme
- Detaylı Değerlendirme

Hızlı değerlendirme aşamasında Sucuoğlu ve Yazgan (2003) tarafında geliştirilen metod benimsenmiştir. Fatih bölgesindeki yapı stoku için bu aşama tamamlanmış ve elde edilen veriler ışığında İkinci kademe değerlendirme safhasına geçilmiştir.

Bu çalışmada, az ve orta katlı betonarme çerçevesel yapılar için elde edilen hasargörebilirlik bilgisi yukarıda bahsi geçen çalışma için ikinci kademe değerlendirme yöntemine alternatif olarak önerilebilir. Bu kısım ikinci kademe değerlendirme çalışmasının bir uygulamasıdır.

8.1 Fatih Bölgesi Yapı Envanteri

Fatih bölgesi yapı envanteri 17108 adet betonarme bina hakkında bilgi içermektedir. Bu çalışmadaki hasargörebilirlik eğrileri, 3, 5, 7 ve 9 katlı yapılar için türetildiğinden, buna karşılık gelen bina bilgisi tüm envanter içerisinde taranmış ve çalışmada kullanılacak kısım ayıklanmıştır. Sonuç olarak 8516 bina bu çalışmada kapsamında ele alınacaktır. Bu sayının bina kat sayısına göre dağılımı Şekil 38’de verilmiştir. Bu yapı stoku içerisinde 9 katlı yapı olmadığını ifade etmek faydalı olacaktır.



Şekil 38 Fatih bölgesi kata göre bina sayıları.

Fatih bölgesi için yapılan çalışmada bina envanteri, her bir bina için jeolojik pozisyon, zemin durumu, sismik şiddet parametresi ve deprem performansı için önemli diğer özellikler hakkında bilgi içerir. Bu parametrelerin bazıları ve hızlı değerlendirme yöntemine ilişkin bilgiler bir sonraki kısımda detaylı bir şekilde verilecektir.

8.2 Hızlı Değerlendirme Metodu

Hızlı değerlendirme metodu sismik değerlendirme yöntemleri arasında en basit metottur. Herhangi bir analiz içermez. Amacı ikinci kademe değerlendirmesi yapılacak öncelikli binaları belirlemedir (Sucuoğlu ve Yazgan 2003). Hızlı değerlendirme metodu için kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

Kat Sayısı: Deprem performansının tayinini amaçlayan diğer çalışmalar Türkiye'deki binaların kat sayısı arttıkça hasargörebilirliğinin de arttığını göstermektedir (Aydoğan, 2003; Akkar ve diğerleri, 2005). Bu yüzden temel üzerindeki toplam kat sayısı bina durumunun ifade eden ana parametre olarak alınacaktır.

Yumuşak Kat: Binalarda herhangi bir katın rijitlik ve dayanımında görülen ani değişiklik yumuşak kat meydana getirir. Özellikle Türkiye'deki yapı stokunda sıkça karşılaşılan bir durumdur ve deprem performansını olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden yumuşak katın varlığı bina için bir zayıflık teşkil eder, "1" olumsuzluk parametresi ile hesaba katılır.

Ağır Çıkmalar: Türkiye'de sıkça görülen bir diğer uygulamadır. Çerçeve sistemi dışında düzenlenen geniş ve ağır çıkmalar kütle merkezini yukarı kaydırır ve bina deprem performansının olumsuz yönde etkiler bu yüzden, "1" olumsuzluk parametresi ile hesaba katılır.

Görünen Yapı Kalitesi: Bina işçiliği ve malzeme kalitesini belirtir. Buradan hareketle binanın yapım kusurlarına sahip olup olmadığı ve malzeme durumu anlaşılabilir. Yapı kalitesi ile hasar arasında yakın ilişki olduğu için hesaba katılır. Olumsuzluk parametresi iyi kalite binalarda "0", orta kalite binalarda "1" ve kötü kalite binalarda "2" alınarak hesaba katılır.

Kısa Kolon: Ara kirişler kullanılması, yarım örülmüş duvarlar, bant pencere uygulaması kısa kolon oluşumuna sebep olabilir. Bina deprem performansının olumsuz yönde etkiler bu yüzden "1" olumsuzluk parametresi ile hesaba katılır.

Çarpışma Etkisi: Farklı kat yüksekliği ve/veya toplam bina yüksekliğe sahip bitişik yapılar için geçerlidir. Çarpışma etkisi binaların hasargörebilirliğini artırır, ara kat çökmelerine sebep olabilir, bu yüzden "1" olumsuzluk parametresi ile hesaba katılır.

Tepe/Yamaç Etkisi: Binanın belirgin bir tepe yada eğimi fazla bir yamaç üzerinde olması deprem etkilerini arttırmaktadır. Bu sebeple "1" olumsuzluk parametresi ile hesaba katılır.

Yerel Zemin Koşulları ve Deprem Etkisi: Binaların deprem tehlikesinin tayini, maruz kalacakları yer sarsıntısının şiddeti ile ifade edilir. Şiddet, binanın faya olan uzaklığı, yerel

zemin koşulları ve fayın durumu ile yakından alakalıdır. Bina envanteri hazırlanırken, deprem şiddeti üç kategoride hazırlanmıştır. Buna göre beklenen deprem MYH değeri 40cm/s'den küçük ise Hız Bölgesi I, 40cm/s ve 60cm/s arasında ise Hız Bölgesi II ve 60cm/s'den büyükse Hız Bölgesi III olarak ifade edilmiştir.

Buna göre hızlı değerlendirme metodu bina deprem puanı hesabı ile tamamlanır. Her bina için hız bölgesine bağlı bina taban puanı Tablo 19'da, olumsuzluk puanı ise Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 19 Kat sayısına bağlı bina taban puanı.

Kat Sayısı	Taban Puan		
	Hız Bölgesi I	Hız Bölgesi II	Hız Bölgesi III
3	90	120	140
5	65	85	100
7	60	80	90

Tablo 20 Olumsuzluk puanı.

Kat Sayısı	Olumsuzluk Puanı					
	Yumuşak Kat	Ağır Çıkma	Görünen Yapı Kalitesi	Kısa Kolon	Çarpışma Etkisi	Tepe/Yamaç Etkisi
3	-15	-10	-10	-5	-2	0
5	-25	-15	-15	-5	-3	-2
7	-30	-15	-15	-5	-3	-2

Binalar için bina deprem puanı Denklem (12) ile hesaplanır. Bu denklemde PAS, hesaplanan bina deprem puanını, BS Tablo 19'da verilen bina taban puanını, PS Tablo 20'de verilen bina olumsuzluk puanını PP ise bina olumsuzluk parametresini ifade eder.

$$PAS = BS - \sum PS \times PP \quad (12)$$

Hızlı değerlendirme metodu sonunda elde edilen bina deprem puanlarının yapı sınıfı ve kat sayısına bağlı dökümü Tablo 21’de verilmiştir. Bu puanlar her bir binaya bir yapı sınıfı tayin etmek amacı ile kullanılabilir. Bu şekilde, elde edilen hasargörebilirlik eğrilerini kullanmak mümkün olacaktır. Burada kriter bina deprem puanı olarak kabul edilmiş, 100 ve üzerinde bir puana sahip binalar iyi, 50 ve 100 arasındaki puana sahip olan binalar tipik, 50’nin altında puana sahip binalar ise zayıf sınıfa dahil kabul edilmiştir.

Tablo 21 Kat sayısı ve yapı sınıfına göre bina sayısı.

Bina Deprem Puanı	Yapı Sınıfı	3–Katlı	5– Katlı	7– Katlı
$100 \leq \text{PAS}$	İYİ	353	56	0
$90 \leq \text{PAS} < 100$	TİPİK	156	67	7
$80 \leq \text{PAS} < 90$		67	1454	15
$70 \leq \text{PAS} < 80$		94	808	193
$60 \leq \text{PAS} < 70$		17	1106	153
$50 < \text{PAS} < 60$		14	1120	189
$40 < \text{PAS} \leq 50$	ZAYIF	16	429	293
$30 < \text{PAS} \leq 40$		3	996	154
$20 < \text{PAS} \leq 30$		16	187	312
$10 < \text{PAS} \leq 20$		2	77	77
$0 < \text{PAS} \leq 10$		0	42	43

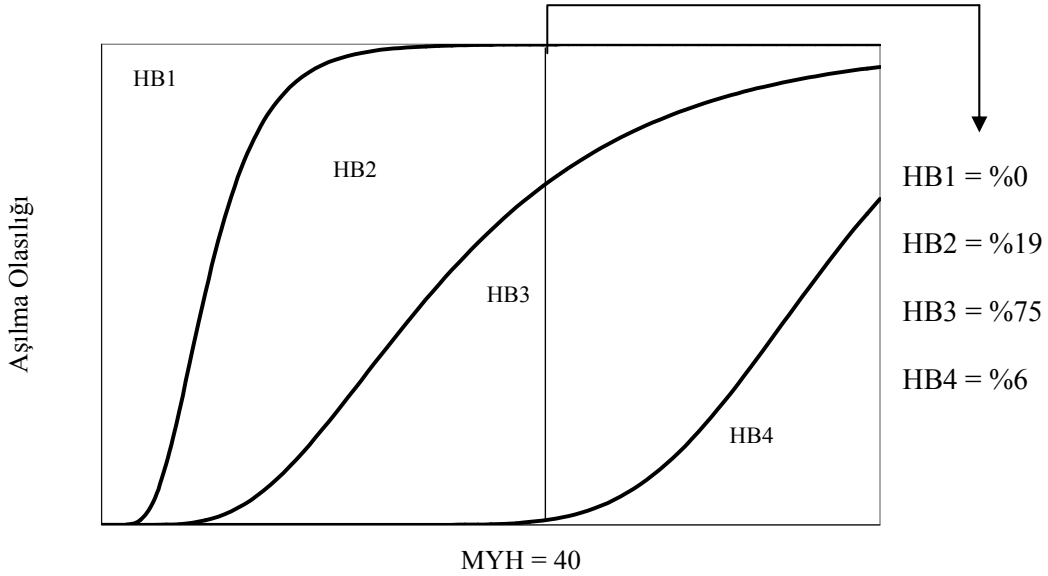
Buna göre 409 binanın iyi yapı sınıfına ait, 5460 binanın tipik yapı sınıfına ait ve 2647 binanın zayıf yapı sınıfına ait olduğu görülür. Bina deprem puanlarına dair sınırlar, hızlı değerlendirme metodu kapsamında gözlenen bina zayıflıkları ile Bölüm 2’de bahsi geçen bina zayıflıklarının ortak incelenmesi sayesinde belirlenmiştir.

8.3 Hasar Tayin Analizi

Bu çalışmada önerilen ikinci kademe değerlendirme metodu üç kısımdan oluşur. Bunlar, sismik tehlike tayini, bina envanteri ve hasargörebilirlik eğrileridir. Sismik tehlikenin tayini için İstanbul Büyükşehir Belediyesi aracılığıyla yürütülmüş diğer çalışmalar (Japan International Co–operation Agency ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2002) baz alınmıştır.

MYH deprem şiddet parametresi olarak kabul edilmiş, 72 yıllık bir tekrar periyodu için hazırlanan senaryo deprem değerleri kullanılmıştır. Buna göre hasar tayin analizi üç kısımda gerçekleştirilir.

- 1) Binaların deprem puanı hızlı değerlendirme yöntemi ile belirlenir.
- 2) Binalar bu puanlara göre iyi, tipik yada zayıf olarak sınıflandırılır.
- 3) Her bina için kat sayısı (3, 5, 7 ve 9) ve ait olduğu yapı sınıfı (iyi, tipik, zayıf) göz önüne alınarak belirlenen hasargörebilirlik eğrisi ile belli bir MYH değeri için hasar ihtimalleri bulunur. 5 katlı tipik bir bina için 40cm/s MYH değeri göz önüne alındığında bulunan hasar ihtimalleri Şekil 39’da verilmiştir. Buna göre ilk hasar bölgesinde bulunma olasılığı %0, 2. hasar bölgesinde bulunma olasılığı %19, 3. hasar bölgesinde bulunma olasılığı %75 ve 4. hasar bölgesinde bulunma olasılığı %6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 39 MYH = 40cm/s için MRF5-T bina türü hasar ihtimalleri.

8.4 İkinci Kademe Değerlendirme

Hasargörebilirlik eğrileri kullanarak yapılan ikinci kademe değerlendirme sonuçları farklı her bir yapı için hasar ihtimallerini içerir. Bu önemli bilgi çeşitli yollardan elde edilebilir:

1) Hasar istatistiklerini ve sismik performansı nispeten kötü binaları tespit etmek için ihtimal esaslı bir kriter kullanılabilir. Örneğin, göçme olasılıkları belli bir değerin üzerinde olan binalar tespit edilirse Tablo 22 ve Tablo 23 elde edilir.

Tablo 22 Yapı sınıfları bazında göçme sınırının değişik yüzdelere için aşılma olasılığına göre bina sayısı.

	ZAYIF	TİPİK	İYİ
P (HS3 \geq 0.5)	2627	25	0
P (HS3 \geq 0.6)	2567	7	0
P (HS3 \geq 0.7)	2464	0	0
P (HS3 \geq 0.8)	1577	0	0
P (HS3 \geq 0.9)	913	0	0

Tablo 23 Kat bazında göçme sınırının değişik yüzdelere için aşılma olasılığına göre bina sayısı.

	3-Kat	5-Kat	7-Kat
P (HS3 \geq 0.5)	45	1726	881
P (HS3 \geq 0.6)	37	1656	881
P (HS3 \geq 0.7)	37	1548	879
P (HS3 \geq 0.8)	37	661	879
P (HS3 \geq 0.9)	37	73	803

Tablo 22'den görüleceği üzere göçme sınırının aşılma olasılığı %50'den yüksek binalarda yapı sınıfı kalitesi azaldıkça, bina sayısında ciddi bir artış gözükmemektedir. Zayıf yapı sınıfına dahil birçok bina yüksek ihtimalle göçme bölgesine geçerken, iyi yapı sınıfı için göçme durumunda bina gözlenmemektedir. Bunu yanı sıra Tablo 23, kat sayısı arttıkça hasar sınırı 3'ü aşan bina sayısının arttığını ortaya koymaktadır. Buna göre elden edilen veriler ve istatistikler detaylı değerlendirme kısmına rahatça aktarılabilir.

2) Bir diğer ikinci kademe değerlendirme yöntemi tek bir hasargörebilirlik değeri kullanmak olabilir. Buna göre belli bir sismik şiddet seviyesinde her bir yapı için hesaplanan hasar olasılıkları hasar katsayıları ile çarpılarak tek bir hasargörebilirlik değerine ulaşılabilir.

Örneğin Şekil 39’da gösterilen hasargörebilirlik ihtimalleri Tablo 24’teki hasar katsayıları ile çarpılır.

Tablo 24 Hasar Katsayıları.

Hasar Bölgesi	Katsayı
HB1	0
HB2	0.33
HB3	0.67
HB4	1.0

Buna göre elde edilen hasargörebilirlik değeri 0 ile 1 arasında olur. Yüksek değer yapının deprem etkisine belirlenmiş şiddet için hasargörebilirliğinin yüksek olduğuna işaret eder. Şekil 39’de incelenmiş yapının hasargörebilirlik değeri (HD) hesaplanırsa ;

$$HD = 0 \times 0 + 0.33 \times 0.19 + 0.67 \times 0.75 + 1.0 \times 0.06 = 0.63 \text{ bulunur.}$$

Buna göre Fatih bölgesindeki yapıların kat sayısı ve ait oldukları yapı stokuna göre hasargörebilirlik değerleri ve buna karşılık gelen bina sayıları Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25 Bina sayıları ve hasargörebilirlik değerleri.

Hasargörebilirlik Değeri	MRF3P	MRF3T	MRF3S	MRF5P	MRF5T	MRF5S	MRF7P	MRF7T	MRF7S
$0.9 < HD \leq 1.0$	37	0	0	1548	0	0	879	0	0
$0.8 < HD \leq 0.9$	0	0	0	163	15	0	0	2	0
$0.7 < HD \leq 0.8$	0	31	0	20	0	0	0	484	0
$0.6 < HD \leq 0.7$	0	11	0	0	2611	0	0	69	0
$0.5 < HD \leq 0.6$	0	85	7	0	1816	10	0	2	0
$0.4 < HD \leq 0.5$	0	215	109	0	0	30	0	0	0
$0.3 < HD \leq 0.4$	0	6	197	0	113	16	0	0	0
$0.2 < HD \leq 0.3$	0	0	40	0	0	0	0	0	0
$0.1 < HD \leq 0.2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$0 < HD \leq 0.1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

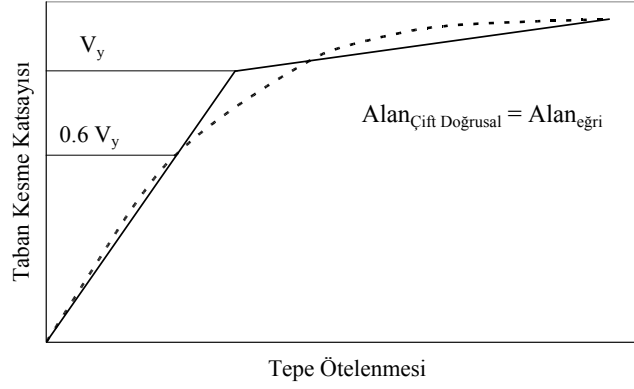
Tüm yapı stoku için hasargörebilirlik değerleri hesaplandıktan sonra göreceli deprem performansının belirlenmesi için Tablo 25’de gösterildiği gibi belli bir sınır değer çizilir ve bu seviyenin altında kalan yapılar nispeten güvenli kabul edilirken, üstte kalanlar detaylı değerlendirme yöntemine tabii tutulur.

Bu çalışmanın kapsamı dışında olmasına rağmen, yukarıda bahsi geçen hasar ihtimali değerlendirme sonuçları ile deprem kayıplarının tahmini ve zararların tespiti çalışmaları yürütülebilir. Direk sosyal kayıplar, direk ekonomik kayıplar, iş kayıpları, tamir/tadilat gereksinimleri, yerine inşa maliyetleri ve endirekt ekonomik kayıplar bulunabilir. Daha detaylı bilgi ve tespit çalışmalarına HAZUS dokümanından (National Institute of Building Sciences, 1999) ulaşılabilir.

9 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler için Hasargörebilirlik Eğrileri

Tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler, hem kısa zamanda tamamlanabilmesi hem de birkaç yapısal parametre ile yürütülebilmesi açısından birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir. TSD sistem kullanarak çok kısa zamanda elastik–ötesi zaman tanım alanı analizi yapmak mümkündür. Belli bir yer hareketi kaydı için elde edilen tepe ötelenme değerleri daha sonra çok katlı sistemlerin tepe ötelenmesine çevrilebilir ve performans kriteri olabilir.

Çalışmanın bu kısmında daha önce detaylı modeller ve çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemler kullanılarak elde edilen sonuçların yanısıra birde TSD sistem kullanılarak elde edilen hasargörebilirlik eğrileri incelenecektir. ÇSD sistemler için daha önce elden edilen ve EK A’ da verilen (bakınız Şekil A1–A12) artımsal itme analizi eğrileri, yukarıda bahsedildiği gibi ters üçgen yükleme ile bulunmuştur. Buna göre birinci hakim periyot–deplasman ilişkisi esaslı eğriyi çift doğrusal halde ifade etmek için çeşitli yöntemlerden faydalanılabilir. Bu çalışma, itme sonuçlarını FEMA 356 (ASCE, 2000) yöntemi ile çift doğrusal şekilde ifade eder. FEMA 356 (ASCE, 2000) çift doğrusal kapasite eğrisi Şekil 40’da gösterilmektedir. Buna göre artımsal itme analizi eğrisi altında kalan alan ve çift doğrusal sonuç altında kalan alan eşit olur. Ayrıca birincil rijitlik eğrisinin itme eğrisini akma noktasının %60’ında kesmesi tekrarlanan denemeler sonucu sağlanır.



Şekil 40 İtme analizi ve FEMA çift doğrusal kapasite sonucu.

9.1 Eşdeğer Tek Dereceli Sistem

Bu çalışma TSD sistem elde etmek için ATC-40 (Applied Technology Council, 1996) yöntemini kullanmıştır. Buna göre ÇSD sistem, efektif kütlesi (M^*) ve efektif birincil periyodu (T_{eff}) bilinen bir TSD sistem ile tanımlanır. Burada bina deprem tepkisinin birinci hakim periyot esaslı tespiti kabul edilmiş olur.

Eşdeğer TSD sistemin kuvvet-deplasman ilişkisi çift doğrusal kapasite eğrisi ile ifade edildikten sonra; ivme-deplasman tepki spektrumu (ADRS) formatına Denklem (13) ve Denklem (14) kullanılarak dönüştürülür.

$$S_a = \frac{V}{\alpha_1 \times W} \quad (13)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{tepe}}{PF_1 \times \phi_{tepe,1}} \quad (14)$$

Denklem (13) ve Denklem (14)'de

V: Taban kesme kuvveti

W: Bina Toplam ağırlığı

α_1 : birinci hakim periyot modal kütle katsayısı (bakınız Denklem (15))

Δ_{tepe} : Tepe ötelenme değeri

PF₁: Birinci hakim periyot modal katılım değeri (bakınız Denklem (16))

Ø_{tepe,1}: Birinci hakim periyot tepe ötelenme genliği olarak ifade edilebilir.

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \times \phi_{i,1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \times \phi_{i,1}^2)}{g} \right]} \quad (15)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \times \phi_{i,1})}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \times \phi_{i,1}^2)}{g}} \quad (16)$$

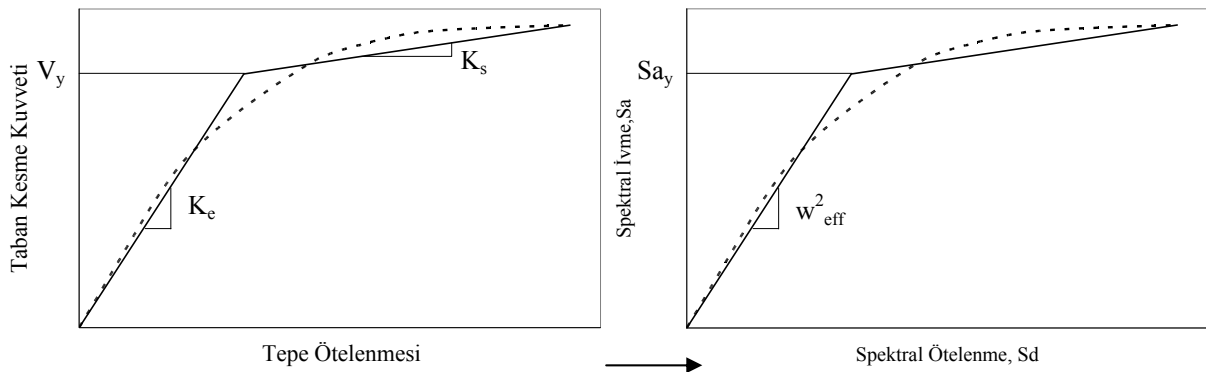
Denklem (15) ve Denklem (16) de

w_i: her katın ağırlığı

Ø_{i,1}: birinci hakim periyot için her katın ötelenme genliği

g: yer çekimi ivmesi olarak ifade edilebilir.

ADRS formatı için gerekli değerler yukarıda gösterildiği gibi bulunduktan sonra TSD sistemin etkili birinci hakim frekansını bulmak da mümkün olur (bakınız Şekil 41).



Şekil 41 ADRS Spektrum.

Çift doğrusal kapasite eğrisinin birincil rijitlik eğiminden w_{eff}^2 bulunduktan sonra Denklem (17) Denklem (18) ve Denklem (19) ile TSD sistem parametreleri bulunur. Sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir.

$$M^* = \alpha_1 \times M \quad (17)$$

$$K^* = w_{eff}^2 \times M^* \quad (18)$$

$$F_y = V_y = S_{a_y} \times W^* \quad (19)$$

Denklem (17), Denklem (18) ve Denklem (19)'da

- M: ÇSD sistemin bina kütlesi
 M^* : TSD sistemin efektif kütlesi
 K^* : TSD sistemin birincil efektif rijitliği
 W^* : TSD sistemin efektif ağırlığı
 w_{eff} : TSD sistemin efektif birincil frekansı
 F_y : Akma kuvveti
 V_y : Akma kesme kuvveti
 S_{a_y} : akma spektral ivmesi

Tablo 26 İyi, tipik ve zayıf yapı sınıfları için eşdeğer TSD sistem parametreleri.

	İYİ			TİPİK			ZAYIF		
	M^* (ton)	K^* (kN/m)	T (s)	M^* (ton)	K^* (kN/m)	T (s)	M^* (ton)	K^* (kN/m)	T (s)
3SD1	117.75	8130.44	0.76	118.35	6630.27	0.84	119.13	5000.32	0.97
3SD2	116.21	12985.36	0.59	115.84	11000.10	0.64	115.79	8807.26	0.72
3SD3	113.84	21728.29	0.45	113.67	18480.69	0.49	113.23	15163.26	0.54
5SD1	185.18	6556.71	1.06	185.16	5397.26	1.16	185.82	4226.45	1.32
5SD2	185.35	11555.72	0.80	185.80	9608.95	0.87	185.67	7727.32	0.97
5SD3	182.19	14745.96	0.70	182.25	12650.88	0.75	182.45	10309.10	0.84
7SD1	248.69	7258.30	1.16	249.79	5987.15	1.28	250.49	4719.29	1.45
7SD2	246.87	10460.96	0.97	246.81	8790.13	1.05	247.76	6983.48	1.18
7SD3	245.54	12742.29	0.87	245.95	10834.84	0.95	246.40	8965.14	1.04
9SD1	309.20	7116.84	1.31	309.34	5932.54	1.43	311.33	4729.14	1.61
9SD2	318.97	9681.78	1.14	319.59	8267.09	1.24	319.71	6548.85	1.39
9SD3	311.32	12380.19	1.00	310.90	10674.95	1.07	311.29	8763.67	1.18

Yukarıda bahsedilen parametreleri kullanarak TSD sistemlerin periyot, dayanım faktörü ve elastik-ötesi rijitlik doğrusunun eğimi gibi değerlerini de belirlemek mümkündür. Elde edilen TSD sistem parametreleri kullanılarak elastik-ötesi itme analizleri tüm yer hareketi seviyeleri için tamamlanmıştır. Buna göre TSD sistemler için tepe ötelenmesi (δ_{tepe}) bulunmuş, ÇSD sistem tepe ötelenmelerine Denklem (20)'de gösterildiği gibi çevrilmiştir.

$$\Delta_{tepe} = \delta_{tepe} \times PF_1 \quad (20)$$

9.2 Eşdeğer Tek Dereceli Sistemlerin Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması

ATC-40 (Applied Technology Council, 1996) dokümanında verilen yöntem uyarınca her yapı sınıfı için ayrı ayrı elde edilen eşdeğer TSD sistem parametreleri bir önceki bölümde verilmişti. Yapısal sistemlere ait hasargörebilirlik eğrileri bu yeni veri seti kullanılarak tekrar elde edilmiştir. Ancak ÇSD sistemler için uygulanmış olan hasargörebilirlik eğrisi oluşturma yönteminden farklı bir yaklaşım göz önüne alınmıştır. Bunun ana nedeni, ÇSD sistemler için geçerli olan malzeme ya da yapısal eleman davranışına ait parametre değişkenliği gibi kavramların sadece yukarıda bahsedilen üç yapısal parametre ile tanımlanan TSD sistemlere yansıtılmasının zorluğudur. Ayrıca TSD sistemler için elde edilen hasargörebilirlik eğrileri genelde bina sismik performansının tek tek ve detaylı olarak irdelenmesi gereken durumlarda değil, daha çok belirli bir bina stokunun göreceli hasargörebilirliğinin elde edilmesi gereken durumlarda kullanılmaktadır. Bundan dolayı eşdeğer TSD sistemler için uygulamada daha basit ve yapısal anlamda hesaba katılan idealizasyona da uygun bir hasargörebilirlik eğrisi elde etme yöntemi benimsenmiştir. Hasargörebilirlik eğrileri aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmiştir (Hueste ve Bai, 2004).

$$P(HS_i / MYH) = 1 - \Phi \left[\frac{\ln(\delta_{C,i}) - \ln(\delta_D)}{\sqrt{\beta_{C,i}^2 + \beta_D^2 + \beta_M^2}} \right] \quad (21)$$

Bu denklem herhangi bir hasar sınırının (HS_i) maksimum yer hızına göre aşılma olasılığını bir standart normal kümülatif dağılım olarak vermektedir. Denklemin sağ tarafında bulunan $\delta_{C,i}$ parametresi, bir hasar sınırının ortalama deformasyon değeridir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere bu çalışmada üç değişik hasar sınırı ($i=3$), başka bir deyişle dört değişik

hasar bölgesi mevcuttur. Bu hasar bölgeleri sırasıyla “Minimum Hasar Bölgesi”, “Belirgin Hasar Bölgesi”, “İleri Hasar Bölgesi” ve “Göçme Bölgesi” olarak adlandırılmıştır (bakınız Şekil 18).

δ_D parametresi ise yer hareketi tarafından talep edilen ortalama deformasyonu temsil etmektedir. Çalışmada kullanılmış olan yer hareketi kayıtlarının, yani maksimum yer hızının bir fonksiyonudur ve zaman tanım alanında elastik-ötesi analiz kullanılarak belirlenmiştir. Tutarlılığı korumak amacıyla eşdeğer TSD sistemlerin dinamik analizleri de IDARC-2D adlı analiz programı ile gerçekleştirilmiştir.

ÇSD sistemler için kullanılmış olan deprem kayıt grupları dikkate alınarak gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu her yapı sınıfı için Şekil 42’dekine benzer bir dağılım elde edilir. Daha sonra bu dağılıma en uygun olan fonksiyon seçilir (en yüksek R^2 değerini veren) ve bu fonksiyon δ_D parametresinin hesaplanmasında kullanılır.

Denklemin paydasında yer alan β parametreleri, yer hareketi kayıtlarından ve yapısal özelliklerden kaynaklanan belirsizliklerin göz önüne alınmasını sağlarlar. İlk parametre olan β_C , deformasyon kapasitesindeki belirsizliği temsil eder. İkinci parametre β_D , yer hareketi kayıtlarının çeşitliliğinden dolayı ortaya çıkan deformasyon talebi belirsizliğini temsil eder ve Şekil 42’de gösterilen ortalama eğrinin veri noktalarına uzaklığını hesaplamak suretiyle elde edilir.

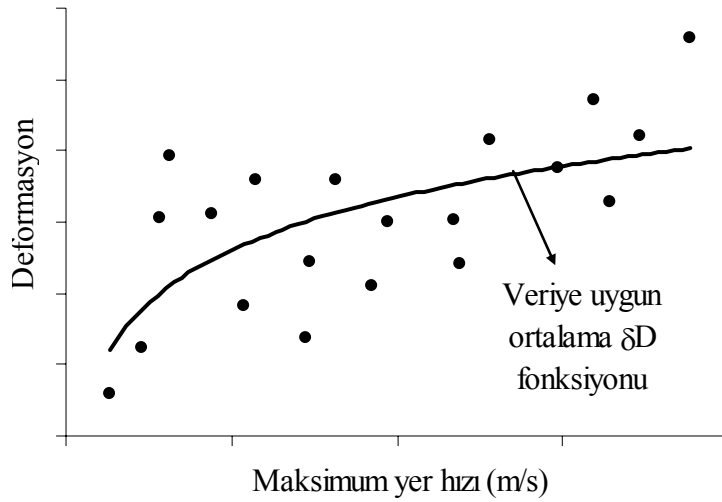
$$\beta_D = \sqrt{\ln(1 + s^2)} \quad (22)$$

Denklemden yer alan s^2 parametresi standart hatanın karesi olup formülasyonu aşağıdaki şekildedir:

$$s^2 = \frac{\sum [\ln(Y_i) - \ln(Y_f)]^2}{n - 2} \quad (23)$$

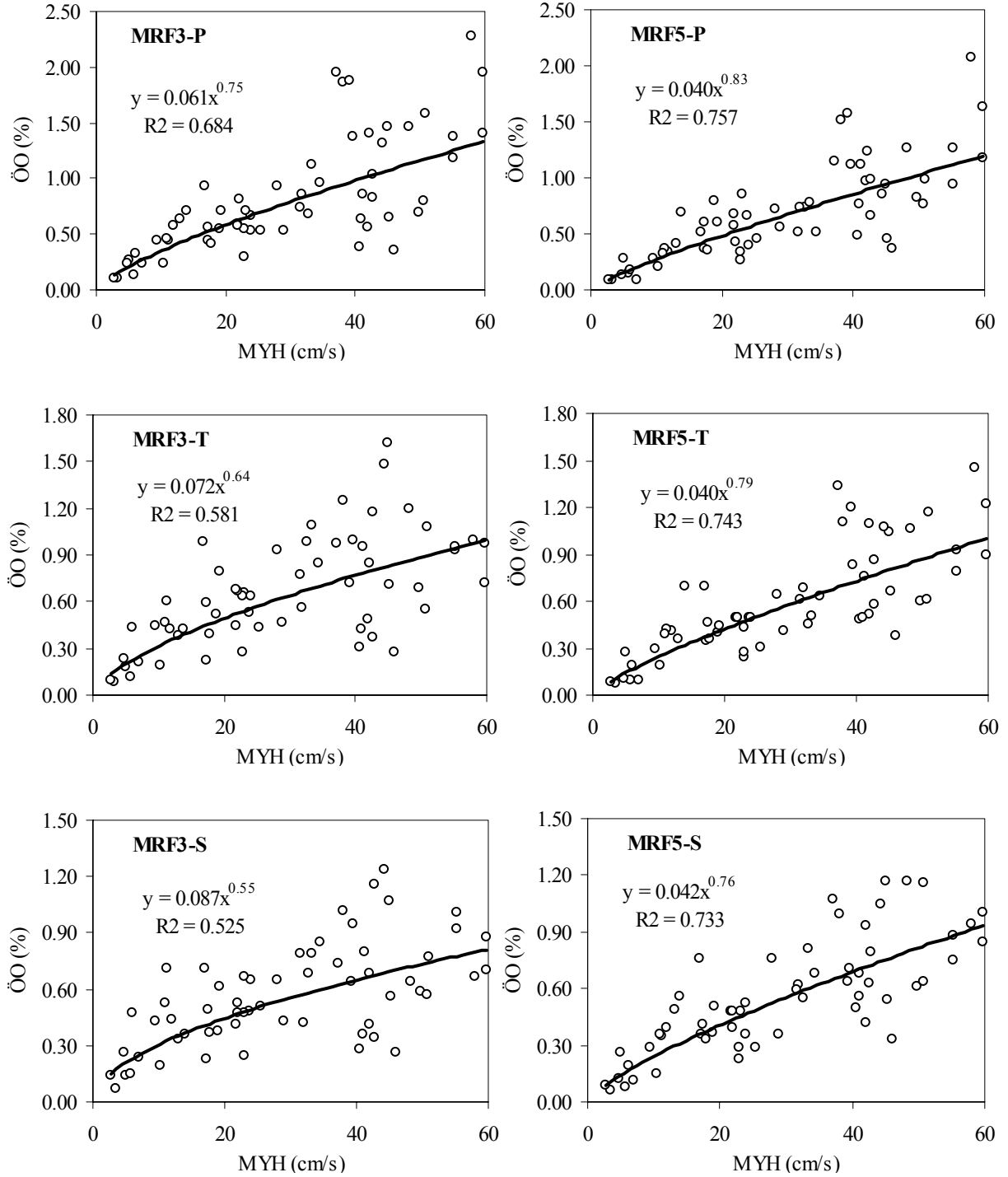
Denklem (23)'de yer alan Y_i analiz sonucu elde edilen noktasal değerleri, Y_f ise ortalama fonksiyon kullanılarak elde edilen değerleri temsil etmektedir. Paydada yer alan n parametresi ise toplam veri noktasını ifade etmektedir.

Denklem (21)'de yer alan son parametre β_M ise analitik modellemeden kaynaklanan belirsizliğini içerir ve genellikle sabit bir değerdir ve bu çalışmada da 0.3 olarak kabul edilmiştir.

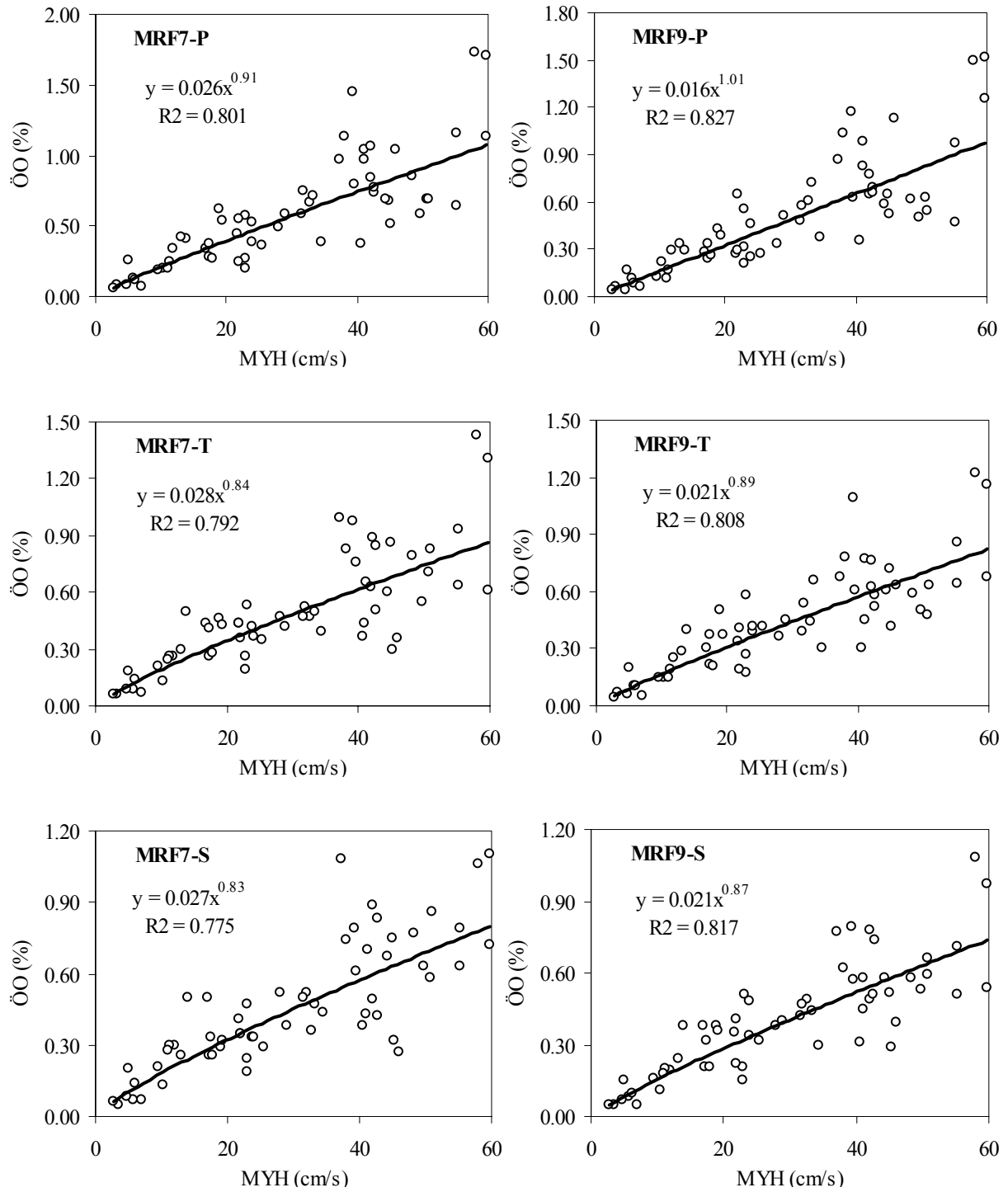


Şekil 42 Deformasyon talebinin yer hareketi hızı cinsinden elde edilmesi.

İlk aşamada eşdeğer TSD sistem parametreleri ve yer hareketi kayıtları kullanılarak her bir bina sınıfı için ötelenme oranının (ÖÖ) dağılımı elde edilmiştir (Şekil 43). Dağılımlara en uygun fonksiyonların seçilmesi amacıyla, regresyon analizi kullanılarak değişik fonksiyonlar denenmiş ve hepsi için R^2 değerleri hesaplanmıştır. İstatistikte “belirleme katsayısı” olarak bilinen R^2 değeri, seçilen eğri ile mevcut veri arasındaki uyumu gösteren bir parametredir. Bu parametrenin bire (1.0) yakın değerler vermesi uyumun yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 43 Yapı sınıfları için ÖÖ–MYH bağıntısı ve veriye uygun fonksiyonun özellikleri.



Şekil 43 (devamı) Yapı sınıfları için ÖÖ–MYH bağıntısı ve veriye uygun fonksiyonun özellikleri.

Şekil 43’de de gösterildiği gibi denenen fonksiyonlar arasında en yüksek R^2 değerine sahip olan üslü fonksiyondur. Bu fonksiyon aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$y = a x^b \quad (24)$$

Denklemden yer alan “a” ve “b” sabitleri her bina sınıfı için ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 43’de verilmiştir. Aynı denklemde “y” ÖO değerlerini, “x” ise MYH değerlerini temsil etmektedir. R^2 değerleri ise 0.52-0.83 arasında değişmektedir. Genellikle 3 katlı yapılarda ÖO değerleri daha dağınık bir görüntü çizmektedir. Kat sayısı arttıkça R^2 değerleri de artmaktadır. Mevcut R^2 değerlerinden de anlaşılacağı üzere, en uygun olarak seçilen üslü fonksiyonun bile ÖO–MYH bağıntısını çok iyi yansıttığı söylenemez. Bunun ana sebepleri yer hareketi kayıt sayısının çok fazla olmaması ve değişik karaktere sahip kayıtların birarada kullanılmasıdır.

Deformasyon talebi belirsizliğini temsil eden β_D parametresi her bina sınıfı için hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 27’de verilmiştir. Değerler 0.3-0.4 aralığında değişmektedir. Az katlı binalar için genellikle yüksek olan parametre değerleri kat sayısı arttıkça azalmaktadır. Tablodaki değerlerden çıkarılabilecek en önemli sonuç, yer hareketi kayıtlarının talep ettiği deformasyondaki belirsizliğin (Şekil 43’de de görüldüğü üzere) yüksek olduğudur.

Tablo 27 Tüm yapı sınıfları için elde edilen β_D değerleri.

	İyi Yapı Sınıfları			
	MRF3-S	MRF5-S	MRF7-S	MRF9-S
β_D	0.39	0.34	0.33	0.31
	Tipik Yapı Sınıfları			
	MRF3-T	MRF5-T	MRF7-T	MRF9-T
β_D	0.41	0.35	0.32	0.33
	Zayıf Yapı Sınıfları			
	MRF3-P	MRF5-P	MRF7-P	MRF9-P
β_D	0.38	0.35	0.34	0.35

Denklem (21)’de herhangi bir hasar sınırının ortalama deformasyon değerini temsil eden $\delta_{C,i}$ parametresinin belirlenmesi için raporun daha önceki bölümlerinde verilmiş olan iki boyutlu

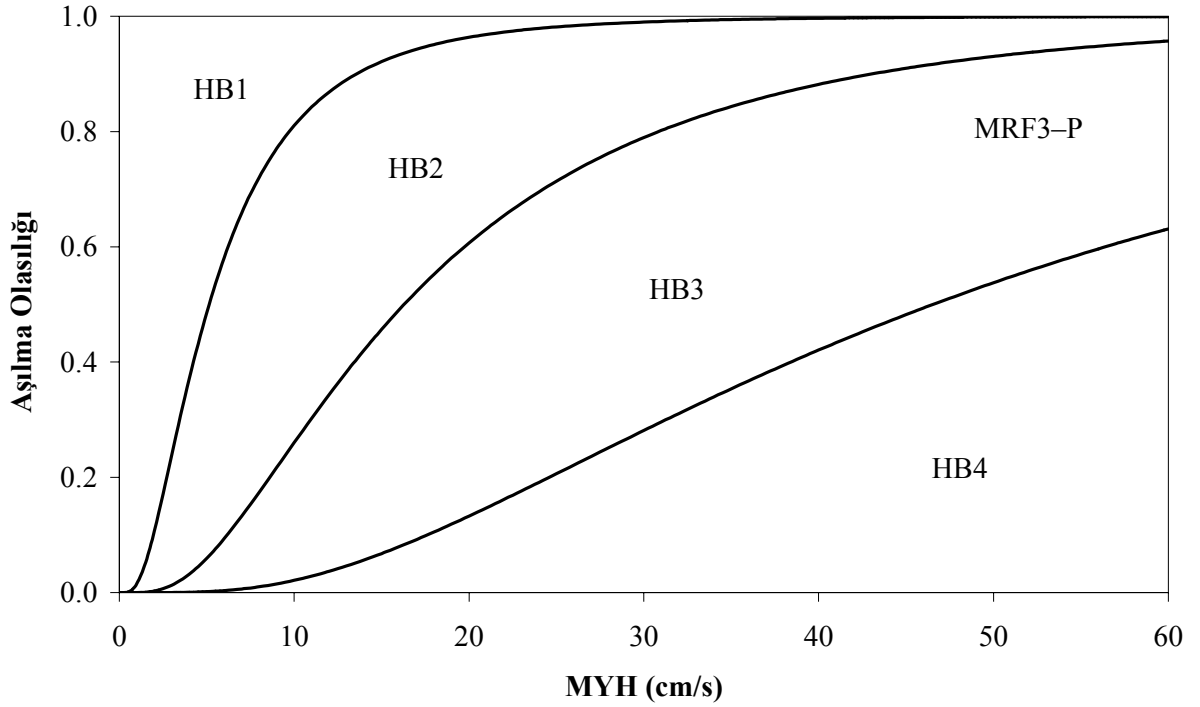
analitik modellerin hasar sınırının tayini ile ilgili çalışmaların yanısıra eşdeğer TSD sistemlerin hasargörebilirlik eğrileri üzerine yapılan bazı çalışmalar da esas alınmıştır. Bunun ana sebebi iki boyutlu bina modellerinde göz önüne alınmış olan eleman bazındaki hasar belirtilerinin (kirişlerde ve kolonlarda betonun çatlaması, donatının akması, elemanın yük taşıma kapasitesinin azalması, vb.) TSD sistemlerde gözlemlenmesinin mümkün olmamasıdır. Bu sebepten dolayı sistem davranışını ön plana çıkararak başka hasar parametrelerini de mercek altına almak gerekmektedir. Bu amaca yönelik iki farklı çalışmada, Türkiye’deki az ve orta katlı betonarme çerçeve yapıların hasargörebilirliği eşdeğer TSD sistemler kullanılarak incelenmiştir (Akkar ve diğerleri, 2005; Erberik, 2006). Her iki çalışmada da Düzce’de 1999 yılında meydana gelen her iki büyük depreme de maruz kalmış betonarme binaların yapısal özelliklerini içeren veri tabanından faydalanılmıştır. Düzce veri tabanında yer alan binalar sismik davranışları açısından genellikle bu çalışmada tipik ve zayıf yapı sınıfında yer alan bina modelleriyle örtüşmektedirler. Diğer bir deyişle, bu iki çalışma TSD sistemlerin hasar sınırlarının tayini açısından değerli birer veri kaynağıdır. Her iki araştırmada da aynı bu çalışmada olduğu gibi üç farklı hasar sınırı göz önüne alınmış, ayrıca çalışmalardan birinde (Erberik, 2006) tayin edilmiş olan hasar sınırlarına ait belirsizlik mertebeleri de hesaplanmıştır. Bu değerler 0.26 ile 0.35 arasında değişmekte olup Denklem (21)’in paydasında yer alan ve deformasyon kapasitesindeki belirsizliği temsil eden β_c parametresinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yukarıdaki paragrafta bahsi geçen çalışmalar ışığında eşdeğer TSD sistemler için belirlenmiş olan ortalama hasar sınırı değerleri ÖO cinsinden Tablo 28’de verilmiştir. Üç farklı hasar sınırı ve 12 değişik yapı sınıfı için belirlenmiş olan ortalama değerlerin genellikle Tablo 18’de iki boyutlu bina modelleri için belirlenmiş olan hasar sınırı değerlerinden çok farklı olmadıkları gözlenmektedir. Hasar sınırı değerlerinin belirsizliğini temsil eden β_c parametresi ise yapı sınıfından bağımsız olarak 0.30 olarak kabul edilmiştir.

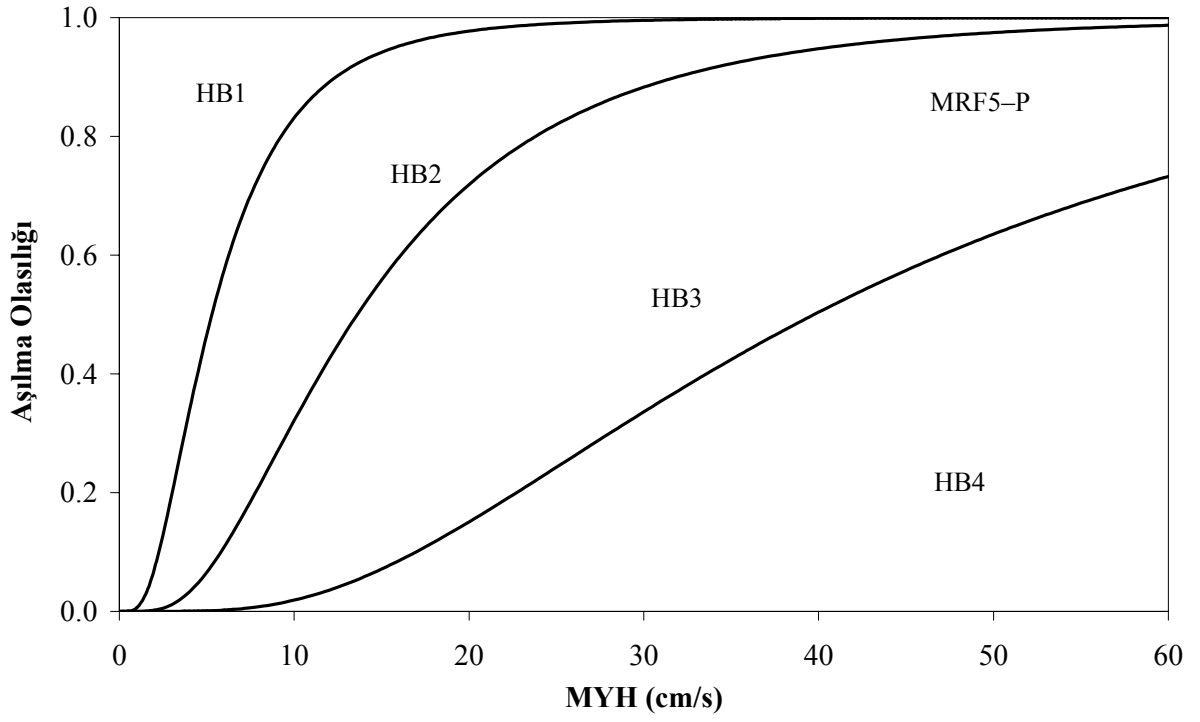
Denklem (21)’de yer alan tüm parametrelerin belirlenmesinden sonra TSD sistemlerin hasargörebilirlik eğrileri maksimum yer ivmesinin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Bu hasargörebilirlik eğrileri Şekil 44–55’te yer almaktadır.

Tablo 28 Eşdeğer TSD sistemler için ortalama hasar sınırı değerleri.

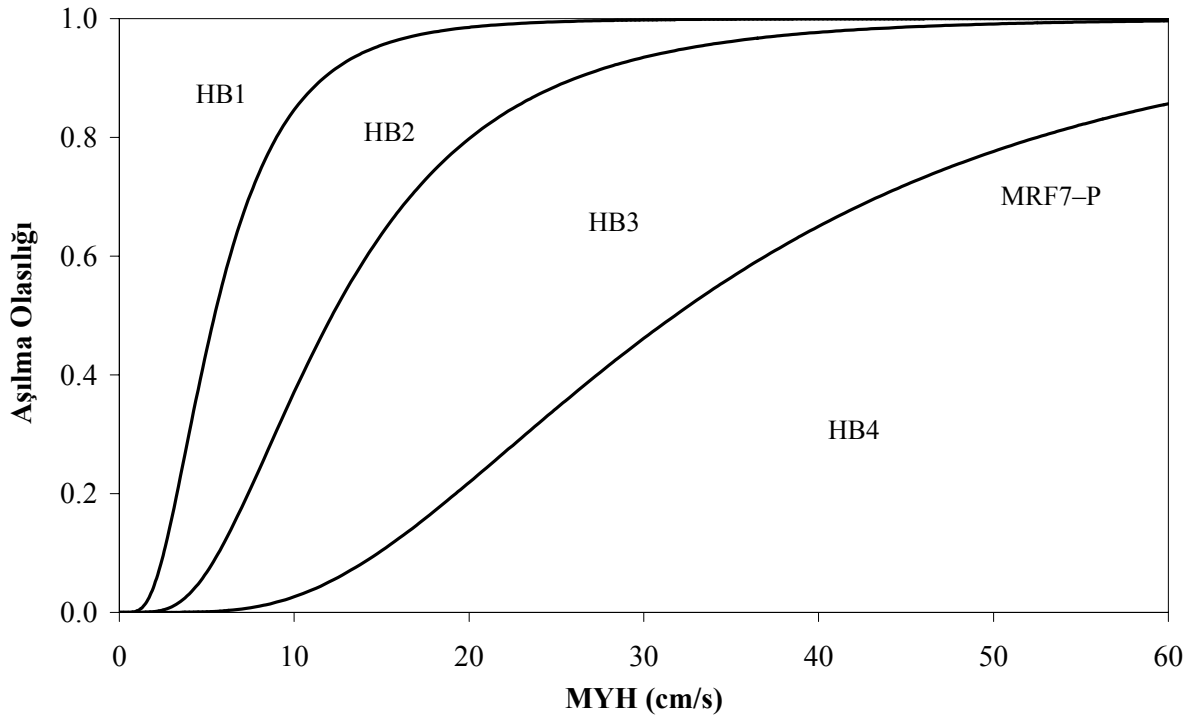
Bina Sınıfı	Ötelenme Oranı (%)		
	1. Hasar Sınırı (HS1)	2. Hasar Sınırı (HS2)	3. Hasar Sınırı (HS3)
MRF3-P	0.21	0.50	1.10
MRF3-T	0.27	0.85	1.50
MRF3-S	0.45	1.10	2.40
MRF5-P	0.16	0.35	0.85
MRF5-T	0.21	0.60	1.40
MRF5-S	0.28	0.75	2.10
MRF7-P	0.12	0.25	0.60
MRF7-T	0.16	0.45	1.00
MRF7-S	0.20	0.50	1.80
MRF9-P	0.09	0.20	0.50
MRF9-T	0.12	0.40	0.90
MRF9-S	0.15	0.45	1.65



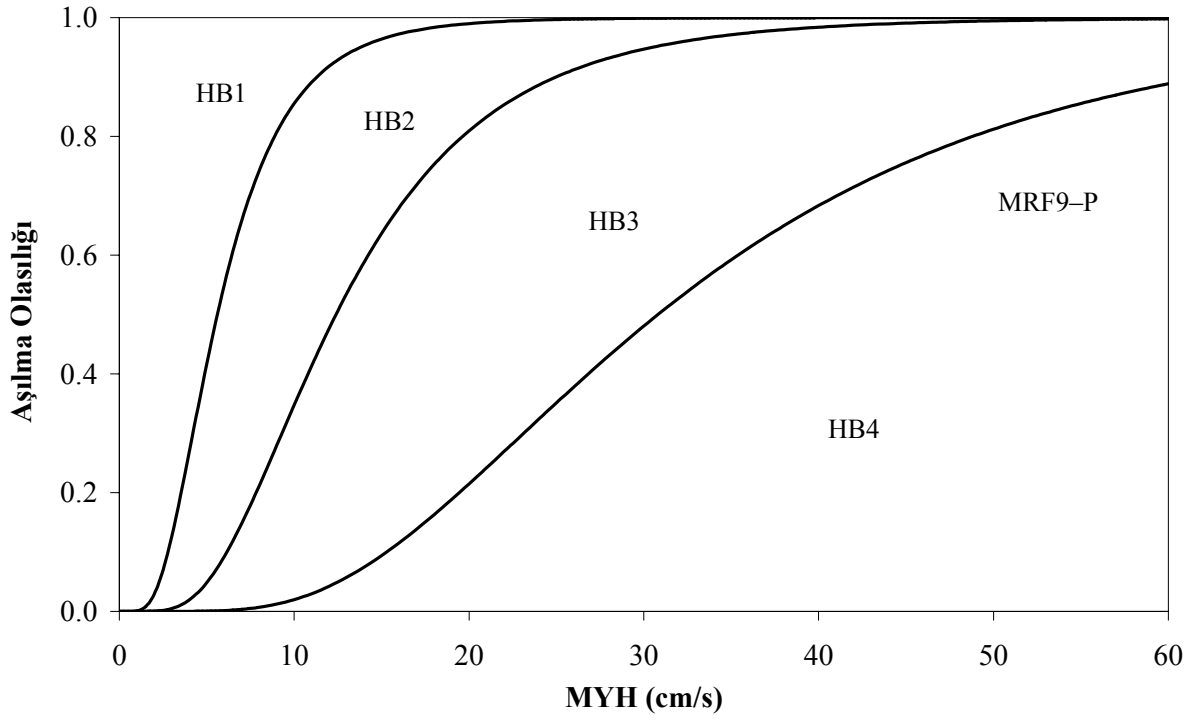
Şekil 44 MRF3-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



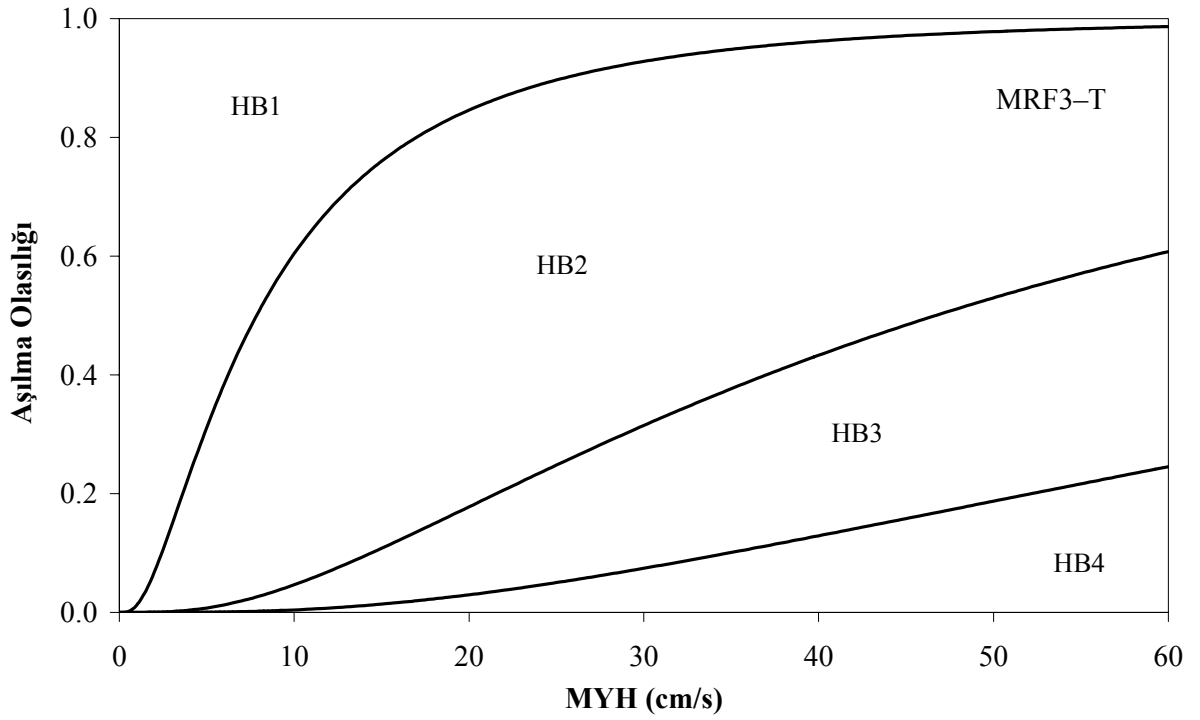
Şekil 45 MRF5-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



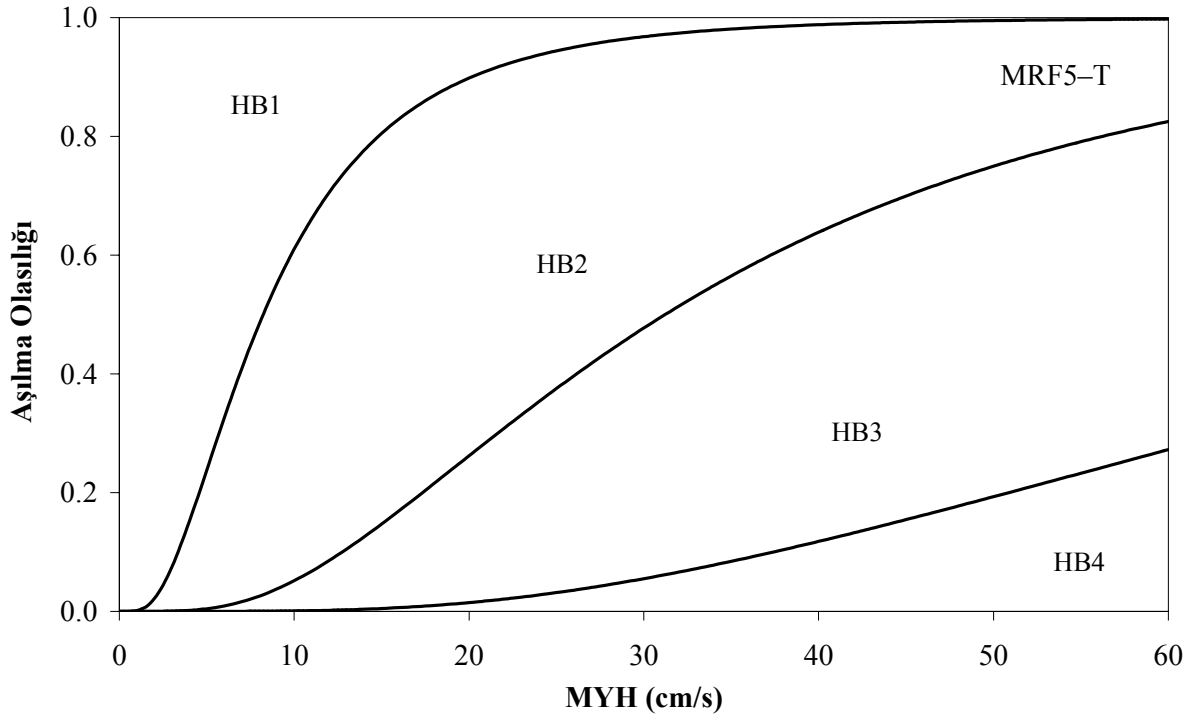
Şekil 46 MRF7-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



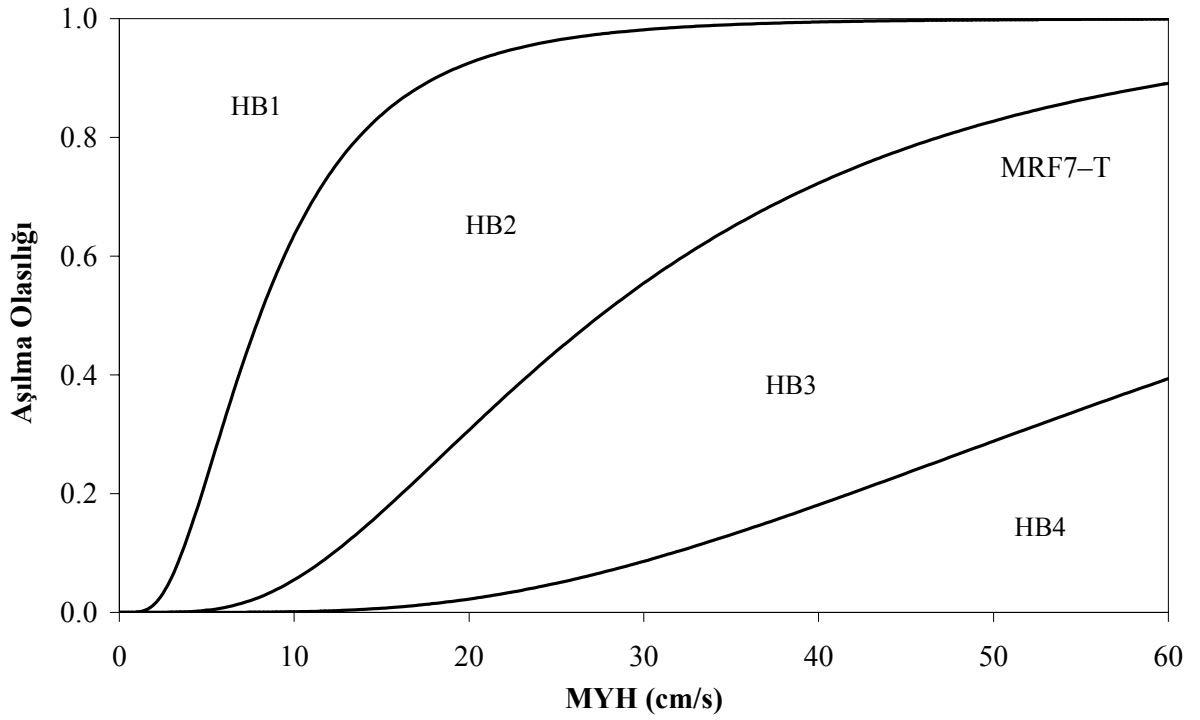
Şekil 47 MRF9-P yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



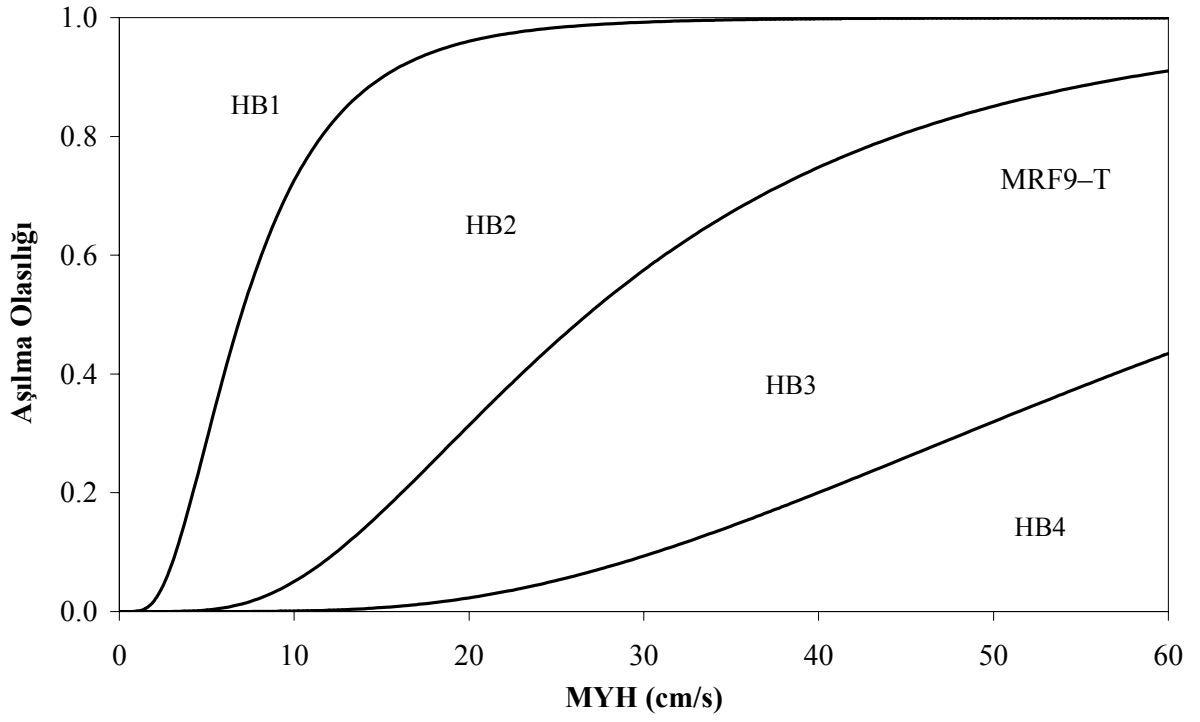
Şekil 48 MRF3-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



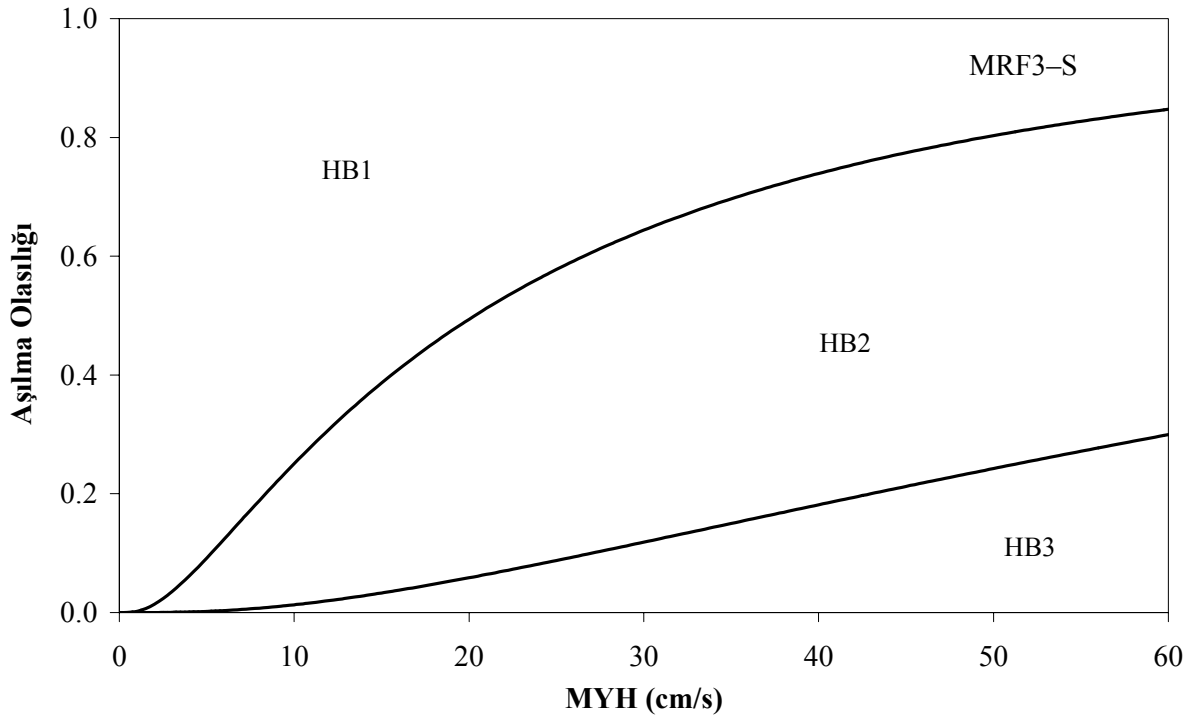
Şekil 49 MRF5-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



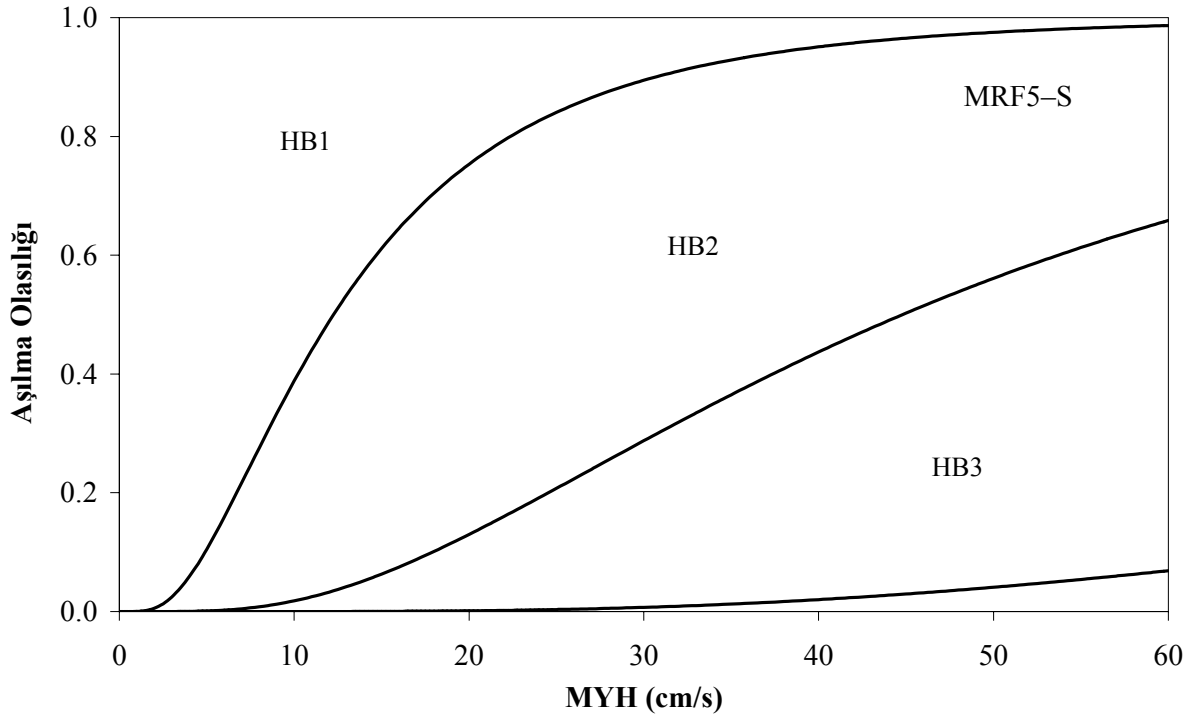
Şekil 50 MRF7-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



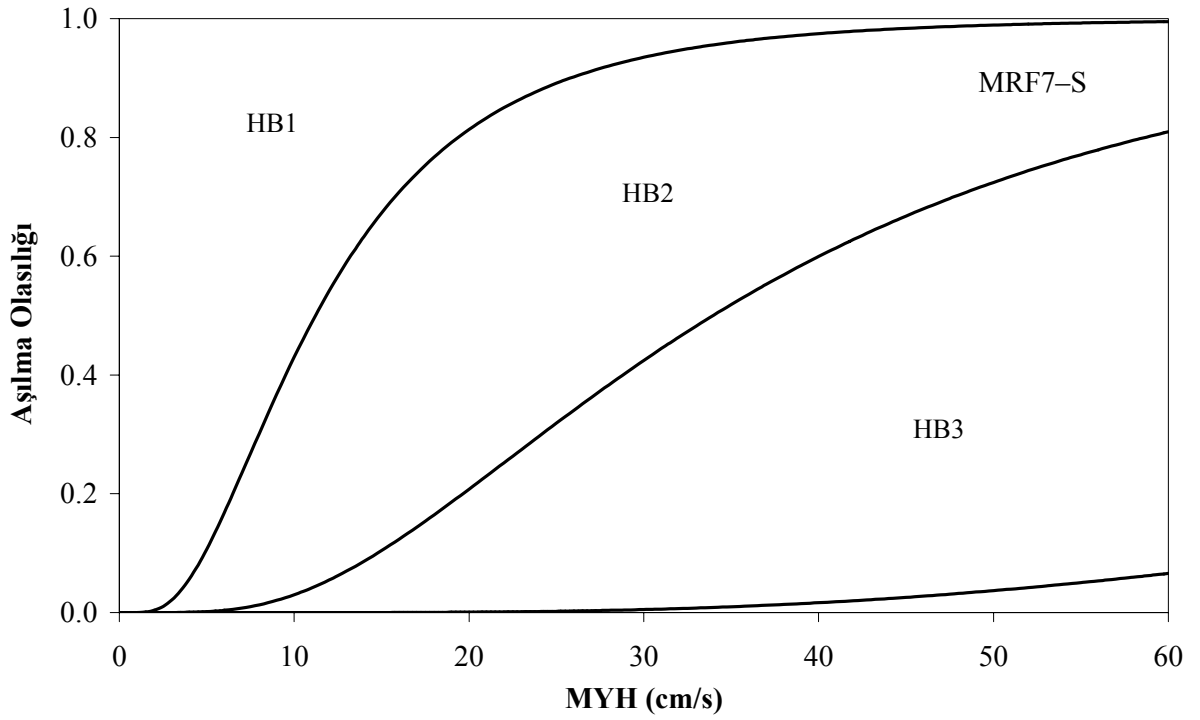
Şekil 51 MRF9-T yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



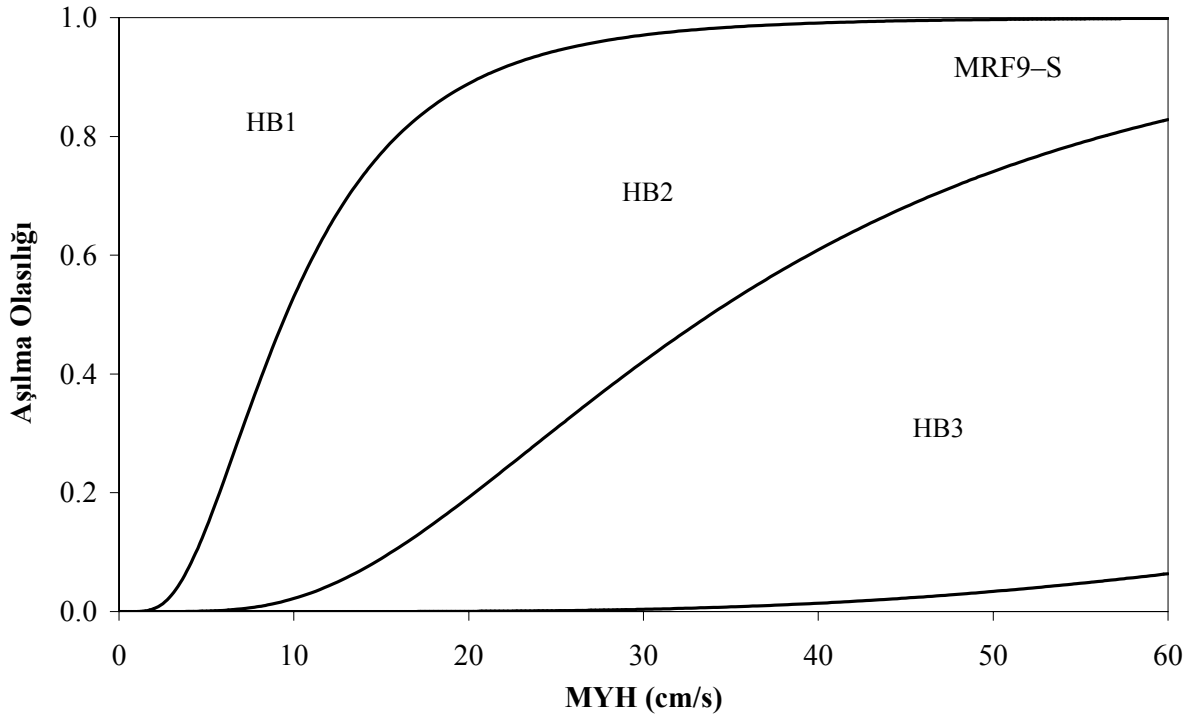
Şekil 52 MRF3-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



Şekil 53 MRF5-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



Şekil 54 MRF7-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.



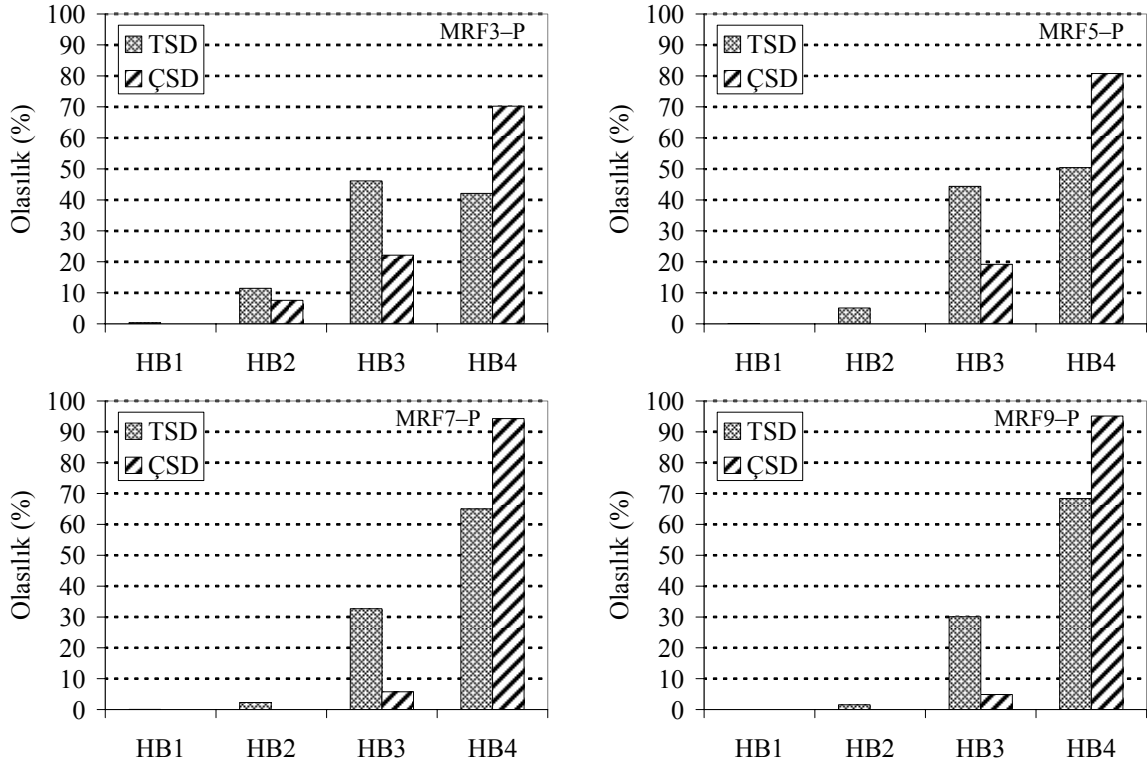
Şekil 55 MRF9-S yapı sınıfı hasargörebilirlik eğrileri.

9.3 Elde Edilen Eğriler Üzerine Bir Değerlendirme

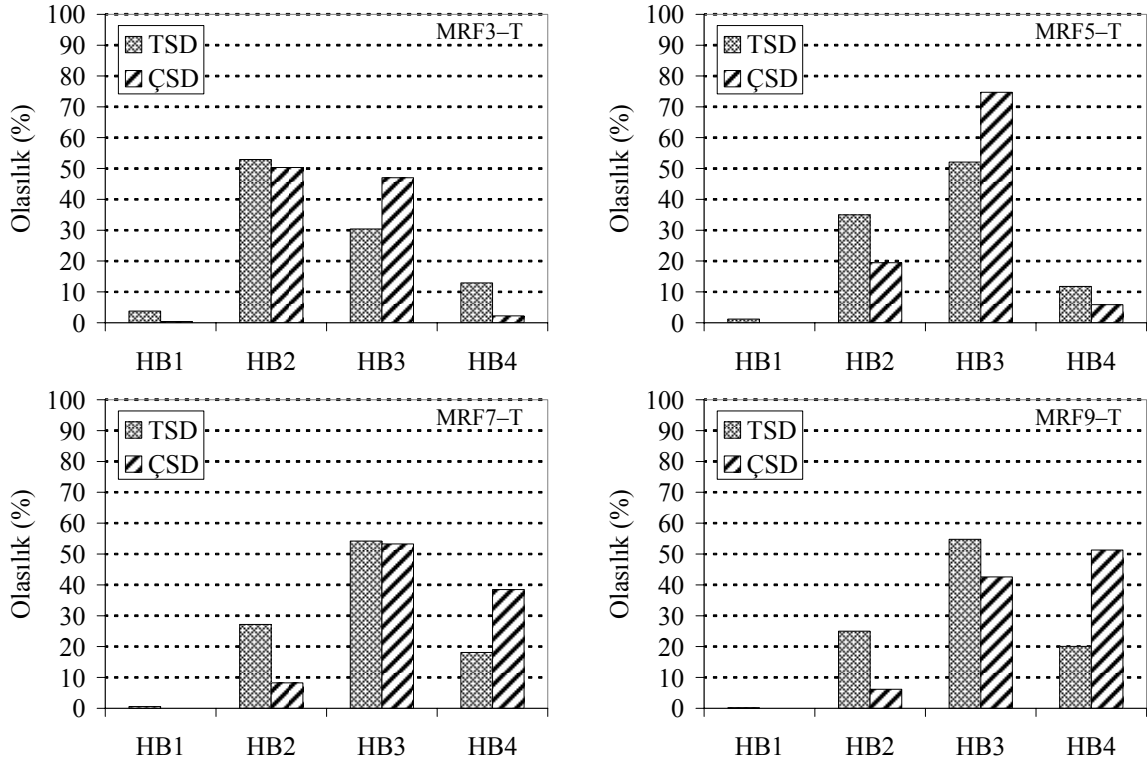
Çalışmanın bu kısmında TSD sistemler kullanılarak oluşturulmuş hasargörebilirlik eğrileri ÇSD sistemler kullanılarak oluşturulmuş hasargörebilirlik eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla farklı yapı sınıfları için hasar bölgesi olasılıkları hesaplanmıştır. Yapıların hasar durumlarının karşılaştırılması için mevcut yapı stokuna etkidiği varsayılan yer hareketinin MYH değeri 40cm/s olarak seçilmiştir.

Zayıf, tipik ve iyi yapı sınıfına ait yapıların TSD ve ÇSD sistemler ile bulunmuş hasar bölgesi olasılıkları Şekil 56–58’de verilmiştir.

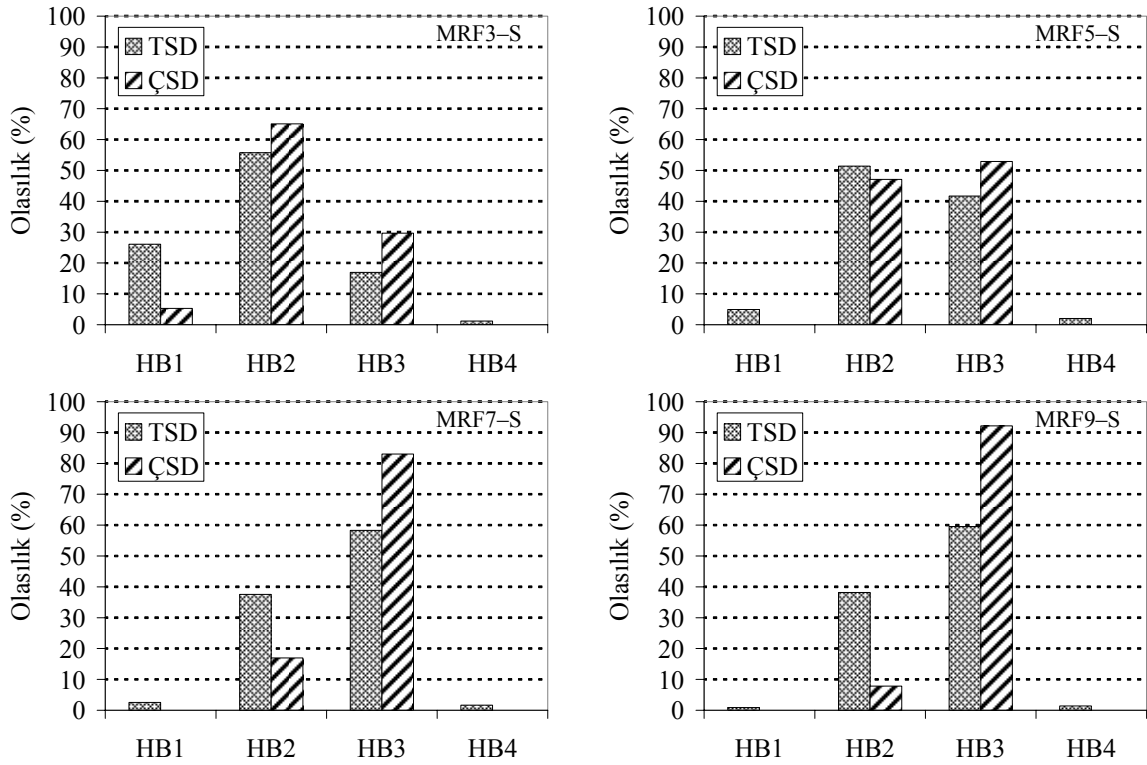
İki boyutlu yapı modellerine ve bu modeller esas alınarak oluşturulan eşdeğer TSD sistemlere ait hasargörebilirlik eğrileri karşılaştırıldığında, aynı maksimum yer hızı değeri için tahmin edilen hasarların bazı durumlarda birbirinden oldukça farklı olduğu gözlenmektedir. İlk bakışta dikkat çeken bu farklılık, esasında çok şaşırtıcı bir durum değildir.



Şekil 56 Zayıf yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 57 Tipik yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 58 İyi yapı sınıfı için TSD ve ÇSD model sonuçlarının karşılaştırılması.

Pek çok yapısal elemanın bir araya getirilmesi ile oluşturulan iki boyutlu bina modelleri, yapısal hasarın daha kesin bir şekilde tahmin edilmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Bu tip analitik modellerin hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için detaylı metotlar tercih edilmektedir. Bu çalışmanın ilk bölümünde de benzer modellerin hasargörebilirlik eğrilerini elde etmek üzere değişik yer hareketi kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında elastik-ötesi analizler yapılmış, modellere ait malzeme, kütle, sönüm değişkenliği de göz önüne alınmış, hasar sınırlarının tespiti için artımsal itme analizi ve diğer detaylı yöntemlere başvurulmuştur. Öte yandan eşdeğer TSD sistemler çeşitli varsayım ve yaklaşımlar sonucu elde edildikleri için bu tip modeller kullanılarak yapılan hasar tahminlerinin çok detaylı ve kesin olması beklenemez. Bu sebepten dolayı hasargörebilirlik eğrileri elde edilirken kullanılan yöntemler de (aynı bu çalışmada olduğu gibi) daha basit ve yaklaşıktır. Zaten detaylı analitik modeller ve analiz yöntemleri kullanılarak üretilen hasargörebilirlik eğrilerinin daha yaklaşık ve basit modeller ve yaklaşık yöntemler kullanılarak oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri ile aynı sonuçlar vermesi beklenemez. O zaman detaylı modeller ve yöntemlerle uğraşmanın hiç bir anlamı olmaz. Önemli olan husus bu iki yaklaşım arasındaki farklılıkları bilmek ve hasar

tahmini değerlendirmesini buna göre yapmaktadır. Bu çalışmada hasargörebilirlik eğrilerinin üretilmesi için kullanılmış iki yaklaşım arasındaki farklılıklar Tablo 29’da verilmiştir.

Çok dereceli iki boyutlu bina modellerinden eşdeğer TSD sistemlerin elde edilmesi bile başlı başına pek çok varsayım içermektedir. Bilindiği gibi eşdeğer TSD sistem parametreleri bina modellerinden artımsal itme analizi sonucu elde edilen eğriler kullanılarak belirlenmektedir. Bu esnada yapının birinci doğal titreşim moduna uygun olarak hareket ettiği varsayılmaktadır. Ancak kat sayısı arttığı ya da yapının elastik ötesi zorlamalara maruz kaldığı durumlarda bu varsayım yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bunun yanısıra daha önce yapılan çalışmalar, artımsal itme analizinden elde edilen deformasyon değerlerinin zaman tanım alanında elde edilen değerlere kıyasla genellikle daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır (Mwafy, 2002; Oğuz, 2005; Metin, 2006). Aynı araştırmacılar, aradaki farkın bina kat sayısının arttığı ve yapının elastik ötesi davranışa zorlandığı durumlarda daha belirgin olduğu gözlemiştir.

Ayrıca bu çalışmada iki boyutlu analitik modellerin kolon ve kiriş elemanlarının tersinir yükler altındaki davranışını temsil eden model parametre değerleri ile eşdeğer TSD sistemlerin genel davranışını temsil eden model parametre değerlerinin aynı olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu varsayımın kullanılması kararı bir kaç durum için bina modellerine ait taban kesme kuvveti – tepe ötelenmesi bağıntısı ile sistem modellerine ait kuvvet-deplasman bağıntısının karşılaştırması ile verilmiştir. Ancak düşük deformasyon seviyelerinde ve iyi yapı sınıfına ait modeller için uygun olan bu varsayımın, elastik-ötesi deformasyon seviyelerinde ve özellikle zayıf yapı sınıfına ait modeller için geçerliği tartışmalıdır. Bu başlı başına uğraşılması gereken bir husustur ve bu konuda şu ana kadar çok fazla bir araştırma bulunmamaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm faktörler bir araya geldiği zaman iki boyutlu bina modelleri ve TSD sistem modellerin hasargörebilirlik eğrileri arasında gözlenen farklılıkların normal olduğu söylenebilir. Asıl önemli olan husus her iki durumda da yapılan hasar tahmininin ne tür varsayımlara dayandığını bilmek ve sonuçları ona göre yorumlamaktır.

Tablo 29 Hasargörebilirlilik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemler.

Hasargörebilirlilik Eğrisi Oluşturma Yöntemleri	
İki boyutlu analitik modeller	Eşdeğer tek dereceli sistemler
Etki eden yapısal parametreler: kolon ve kiriş elemanlarının malzeme özellikleri (beton dayanımı, çelik akma dayanımı, beton elastisite modülü, çelik elastisite modülü), geometrik özellikleri (uzunluk, kesit alanı), tersinir yükler altındaki davranış özelliklerine ait parametreler, kütle ve sönüm.	Etki eden yapısal parametreler: periyot, dayanım faktörü ve elastik ötesi eğim.
Bir potansiyel eğrisi elde etmek için kullanılan veri sayısı: 1200	Bir potansiyel eğrisi elde etmek için kullanılan veri sayısı: 60
Örnekleme metodu: LHS	Yok

10 Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

10.1 Genel Değerlendirme

Bu çalışma Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme çerçeve yapıların hasargörebilirliliğinin incelenmesi için yapılmıştır. Sonuç olarak yapısal hasargörebilirliliği ülkemiz yapı karakteristiği ve bina özelliklerini göz önüne alarak belirlemiştir.

Farklı seviyelerde sismik şiddet ifade eden üç yer hareketi grubu 60 deprem kaydı kullanılarak oluşturulmuştur. Kayıtlar MYH seviyeleri 0–20cm/s, 20–40cm/s ve 40–60 cm/s olacak şekilde gruplanmıştır.

3, 5, 7 ve 9 katlı analitik modeller hazırlanmış, bu modellerin sismik dizaynı yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olacak şekilde yapılmıştır. Yer hareketi gruplarından elde edilen tasarım spektrumları kullanılmış böylece sağlıklı bir sismik performans temin edilmiştir. Böylece deprem dayanımı yönünden yeterli ve kaliteli yapı sınıfı elde edilmiş bu sınıf iyi yapı sınıfı

olarak adlandırılmıştır. Daha sonra bu modeller Türkiye'deki yapı kusurları ve deprem dayanım eksiklikleri göz önüne alınarak değiştirilmiş, sismik performans açısından bazı kusurlara sahip tipik ve deprem davranışı yetersiz zayıf yapı sınıfı elde edilmiştir. Buna göre iyi, tipik ve zayıf yapı sınıfı, tersinir davranış özellikleri, malzeme özellikleri ve inşaat kaliteleri açısından farklılıklar gösterir. Malzeme özelliklerindeki farklılıklar modellere Latin Örneklemeye Metodu kullanılarak aktarılmıştır.

Yapısal kapasite hasar sınırları ile belirlenmiştir. Gerçekçi hasar sınırı tespiti hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde önemli bir kriter olduğu için rijitlik indeksi, süneklik katsayısı ve yapısal elemanlardaki hasar oluşumu bir arada incelenmiş, hasar sınırları istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Deprem davranışı katlararası ötelenme oranı ile ifade edilmiş, elastik-ötesi zaman tanım alanı yöntemi iyi, tipik ve zayıf yapı sınıfına ait 3, 5, 7 ve 9 katlı modellere uygulanmıştır.

MYH ve buna karşılık elde edilen maksimum katlararası ötelenme oranları talep-tepki ilişkisi ile incelenmiş, her yapı tipi için hasar sınırlarının aşılma olasılığı bulunmuştur. Sonuçlar lognormal kümülatif dağılım kullanılarak hasargörebilirlik eğrilerine dönüştürülmüştür.

Eğrilerin elde edilmesi sonrası basit bir uygulamaya yer verilmiştir. Hasargörebilirlik eğrilerini esas alan bir yapı deprem güvenliği değerlendirme metodu İstanbul'da Fatih ilçesi az ve orta katlı betonarme çerçeveli binaların sismik değerlendirme çalışmalarına alternatif olarak sunulmuştur. Ayrıca değerlendirme sonuçları yorumlanmış ve bu alandaki benzer çalışmalara katkılarına değinilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde hasargörebilirlik eğrileri, TSD sistemler kullanılarak bir kez daha elde edilmiştir. İlk önce iki boyutlu analitik modellerin itme eğrileri kullanılarak eşdeğer TSD sistem parametreleri oluşturulmuştur. Bu amaçla FEMA ve ATC dokümanlarında yer alan yöntemlere başvurulmuştur. Daha sonra ÇSD sistemlerinkine oranla daha basit ve yaklaşık bir yöntem kullanılarak hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler daha önce bina modelleri için çıkarılmış olan eğrilerle karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem arasındaki farklılıklar ve bunların sonuçlara yansımaları detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

10.2 Sonuç

Yukarıdaki tartışmalar esas alındığında varılan sonuçlar:

- Hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılmasında çeşitli metotlar kullanmak mümkündür. Sonunda elde edilen eğriler bu metotlara, yapısal modellemeye ve hasar ifadesine dair seçimler ile yakından ilgilidir. Bu tercih ve kabuller benzer analitik modeller ve sismik veri tabanı kullanılsa dahi, farklı araştırmacıların elde ettiği hasargörebilirlik sonuçlarında farklılıklara sebep olabilir.
- Beton dayanımı, çelik akma dayanımı, beton elastisite modülü ve çelik elastisite modülü gibi malzeme karakteristiklerindeki değişkenlik, yapısal hasargörebilirliği etkiler. Tersinir davranış özellikleri de hasargörebilirlik üzerinde etkilidir. Ayrıca bu çalışmada kat kütlesi ve sönüm de yapısal hasargörebilirliği etkileyen tesadüfi değişkenler olarak kullanılmıştır.
- Yer hareketi değişkenliği hasargörebilirlik eğrilerine etki eden tüm belirsizliklerin arasında en baskın olanıdır. Yer hareketi belirsizliği ile karşılaştırıldığında yapısal belirsizlikler daha az etkili görünmektedir.
- Hasar sınırı tayinlerini olasılık esaslı belirlemek gerekir zira hasar sınırları söz konusu olduğunda kesin değerlere ulaşmak her zaman mümkün olamamaktadır.
- Elde edilen hasargörebilirlik eğrileri Türkiye'deki yapı stokunun özellikleri göz önüne alınarak en detaylı analiz yöntemleri ile elde edildiğinden, oldukça yeni ve geleneksel çalışmalara alternatif araçlardır.
- Hasargörebilirlik eğrileri incelendiğinde yapısal hasarın azalan yapı kalitesi ile beraber arttığı görülür. Özellikle yüksek MYH seviyelerinde bu durum daha net ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak çalışmaya konu olan betonarme binaların karakteristik özelliklerinin hasar potansiyellerine yansıtıldıkları görülmüştür.
- Yapısal hasar artan kat sayısı ile orantılı olarak artmaktadır. Türkiye'deki yapılar için yüksek katlı yapıların genelde sismik tehlikelere karşı daha kırılğan olduğu diğer bazı araştırmacılar tarafından da ortaya konmuştur.
- TSD sistemler için oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri iki boyutlu analitik modeller için oluşturulan eğrilere kıyaslandığında farklılıklar gözlenmektedir. Ancak her iki yaklaşımda kullanılan yöntemlerin özellikleri göz önüne alındığında bu boyutta bir farklılığın çok şaşırtıcı olmadığı ortaya çıkmaktadır. Zaten basit ve yaklaşık yöntemler

ve modeller kullanılarak elde edilen sonuçların daha karmaşık ve detaylı yöntemler ve modeller kullanılarak elde edilen sonuçlarla aynı olması beklenemez.

- Deprem felaketini engellemek mümkün değildir, ancak getireceği maddi ve manevi zararları en aza indirmek bizlerin elindedir. Yakın zamanda karşılaşılabileceğimiz olası deprem felaketlerinin etkilerinin araştırılması ve zararların azaltılmasına yönelik afet senaryosu, master plan ve deprem hasarının belirlenmesi çalışmalarında bu projede elde edilen eğriler rahatlıkla kullanılabilir. Ortaya çıkan kaynak hem mevcut durum adına bir fotoğraf hem de bundan sonra neler yapılması gerektiği konusunda bir bildiri niteliği taşımaktadır.

REFERANSLAR

- ACI COMMITTEE 318, ACI 318-02, Building Code Requirements for Structural Concrete., American Concrete Institute, Detroit, (2002).
- AKKAR, S., Gülkan, P., Tasarım Spektrumlarının Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (PDDM) ve Yakın Mesafe Depremler Yönünden İncelenmesi, ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Ankara, (2002).
- AKKAR, S., Sucuoğlu, H., ve Yakut, A., Displacement-based fragility functions for low and mid-rise ordinary concrete buildings, Earthquake Spectra, 21(4), (2005), 901–927.
- AKKAR, S., Sucuoğlu, H., Yakut, A., Displacement-based fragility functions for low and mid-rise ordinary concrete buildings, Earthquake Spectra, 21(4), (2005), 901-927.
- ANG, A.H.–S. ve Cornell, C.A., Reliability Bases of Structure Safety and Design, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.100, No.9, (1974), pp.1755–1769.
- APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, Earthquake Damage Evaluation Data for California, ATC-13, Redwood City, California, (1985).
- ATALAY, M.B. ve Penzien, J., The seismic behavior of critical regions of reinforced concrete components as influenced by moment, shear and axial force, Technical Report EERC–UCB 75–19, University of California, Berkeley, California, (1975).
- AYDOĞAN, V., Seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey, M.Sc., Middle East Technical University, Ankara, (2003).
- AYYUB, B.M., ve Lai, K–L., Structural reliability assessment using Latin hypercube sampling, Proc., 5th Int. Conf. on Struct. Safety and Reliability, ICOSSAR'89, Vol. 2, ASCE, New York, (1989), 1177–1184.
- BAYKAL, H. ve Kırçıl, M.S., Fragility Analysis of R/C Frame Buildings on Firm Sites, Paper No. 8NCEE–000688, 100th Anniversary Earthquake Conference, San Francisco, California, (2006).
- BARRON-CORVERA, R., Spectral Evaluation of Seismic Fragility of Structures, (Doktora Tezi), Development of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo, N.Y, (2000).

- BOOTH, E., Spence, R. ve Bird, J., Building Vulnerability Assessment using Pushover Methods – A Turkish Case Study, Proceedings of an International Workshop on Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation, Bled Slovenia, (2004), pp. 397–408.
- BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL., NEHRP Recommended Provisions for Seismic regulations for New Buildings & Other Structures, FEMA 368, Washington, DC, (2000).
- CALVI, G.M., A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 3 (3), (1999), 411–438.
- CAMELO, V. S., Beck, J. L., Hall, J. F., Dynamic Characteristics of Woodframe Structures, Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, Richmond, CA, (2001).
- CARDONA, O.D., Yamin L.E., Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogota, Colombia, *Earthquake Spectra* Vol.13 (4), (1997), 795-815.
- CHONG, W.H., Soong, T.T., Sliding Fragility of Unrestrained Equipment in Critical Facilities, Technical Report MCEER 00-0005, Buffalo, New York, (2000).
- COMPUTERS AND STRUCTURES, INC., SAP 2000 Nonlinear, Version 8.0.8., Structural Analysis Program, Berkeley, CA, (2000).
- CONSTANTINOU, M.C., Tsopeles, P., Hammel, W., Sigaher, A.N., New Configurations of Fluid Viscous Dampers for Improved Performance, Passive Structural Control Symposium, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan, (2000).
- DIPASQUALE, E., Çakmak, A.S., Detection and assessment of seismic structural damage, Technical Report NCEER-87-0015, State University of New York, Buffalo, NY, (1987).
- DYMIOTIS, C., Kappos, A. J., Chryssanthopoulos, M. K., Seismic Reliability of RC Frames with Uncertain Drift and Member Capacity, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.125, No.9, (1999), pp. 1038-1047.
- ELLINGWOOD, B., Statistical Analysis of RC Beam Column Interaction, *Journal of Structural Engineering* ASCE, Vol.103, (1977), pp.1377–1388.

- ELLINGWOOD, B., Galambos, T. V., MacGregor, J. G., Cornell, C. A., Development of a Probability-Based Load Criterion for American National Standard A58, National Bureau of Standards, Washington, DC, (1980).
- ERBERİK, M.A., Fragility-Based Assessment of Typical Mid-Rise and Low-Rise RC Buildings in Turkey, Engineering Structures (hakemler tarafından incelenme aşamasındadır), (2006).
- ERBERİK, M.A. ve Çullu, S., Assessment of Seismic Fragility Curves for Low- and Mid-Rise Reinforced Concrete Frame Buildings using Düzce Field Database. NATO Science Series, Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, (2006), pp.151-166.
- ERBERİK, M.A. ve Elnashai, A.S., Seismic Vulnerability of Flat-Slab Structures, Technical Report, Mid-America Earthquake Center DS-9 Project, University of Illinois at Urbana-Champaign, (2003).
- ERBERİK, M.A., Elnashai, A.S., Fragility Analysis of Flat-slab Structures, Engineering Structures, Vol.26, (2004), 937-948.
- ERBERİK, M.A., Sucuoğlu, H., Seismic energy dissipation in deteriorating systems through low-cycle fatigue, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.33, (2004), pp. 49-67.
- ERSOY, U., Özcebe, G., Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, (2001).
- FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency. Washington, DC, (2000).
- GHOBARAH, A., Aly, N. M., El-Attar, M., Seismic Reliability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings, Journal of Earthquake Engineering, Vol.2, No.4, (1998), pp.569-592.
- GOEL, R.K., Chopra, A.K., Period formulas for moment resisting frame buildings. Journal of Structural Engineering ASCE 123 (11), (1997), 1454-1461.
- HUESTE, M.B. ve Bai, J.W., Impact of Retrofit on the Seismic Fragility of a Reinforced Concrete Structure, Paper No.1163, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, (2004).
- HUESTE, M.B., Bai, J.W., Impact of Retrofit on the Seismic Fragility of a Reinforced Concrete Structure, Paper No.1163, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, (2004).

- HWANG, H., Huo, J. R., Chapter 7.b: Development of Fragility Curves for Concrete Frame and Shear Wall Buildings, Loss Assessment of Memphis Buildings, Technical Report NCEER 97-0018, (1997), 113-137.
- IBARRA, L., Global Collapse of Frame Structures under Seismic Excitations, (Doktora Tezi), Stanford University, CA, (2003).
- JAPAN INTERNATIONAL CO-OPERATION AGENCY VE ISTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ, The Study on a Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Final Report, Tokyo-Istanbul, (2002).
- JEONG, S.H., Elnashai, A.S., Parametrized Vulnerability Functions for As-built and Retrofitted Structures, Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation Proceedings of the International Workshop Bled, Slovenia, PEER Report No.2004/05, (2004).
- JULIAN, E.G., Discussion of Strength Variations in Ready-mixed Concrete by A.E. Cummings, ACI Structural Journal, Vol.51, No.12, (1955), pp.772-778.
- KALKAN, E., Gülkan, P., Site-Dependent Spectra Derived From Ground Motion Records in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20 (4), 1111-1138. Earthquake Engineering Research Institute, (2004).
- KARAESMEN, E., Öncesiyle Sonrasıyla Deprem, Atılım Üniversitesi Yayınları, Ankara, (2002).
- KIRÇIL, M.S. ve Polat, Z., Fragility analysis of mid-rise RC frame buildings, Engineering Structures 28, (2006) 1335-1345.
- KING, S.A., Kiremidjian A.S., Basöz N., Law K., Vucetic M., Doroudian, M., Oloson R.A., Eiding J.M., Goettel K.A., Horner G., Methodologies for Evaluating the Socio-Economic Consequences of Large Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.13(4), (1997), 565-585.
- LEE, T.H., Mosalam, K.M., Sensitivity of seismic demand of a reinforced concrete shear-wall building, Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Der Kiureghian, Madanat & Pestana (eds), (2003), pp. 1511-1518.
- MCKAY, M.D., Conover, W.J., Beckman, R.J., A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, Technometrics, Vol.21, (1979), pp. 239-245.

- METİN, A., Inelastic Deformation Demands on Moment-Resisting Frame Structures, (Yüksek Lisans Tezi.), Middle East Technical University , Ankara, (2006).
- MIRZA, S.A. Hatzinikolas, M., MacGregor, J.G., Statistical Descriptions of Strength of Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.105, No.ST6, (1979), pp.1021-1036.
- MIRZA, S.A., MacGregor, J.G., Variability of Mechanical Properties of Reinforcing Bars, Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.105, No.ST5, (1979), pp.921-937.
- MOSALAM, K., Ayala, G., White, R., Chapter 7.c: Development of Fragility Curves for Masonry Infill - Concrete Frame Buildings, Loss Assessment of Memphis Buildings, Technical Report NCEER 97-0018, (1997), 139- 158.
- MWAIFY, A.M. Seismic performance of code designed RC buildings. (Doktora Tezi), Imperial College, Londra, İngiltere, (2002).
- NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES., HAZUS Technical Manual (3 volumes), prepared for Federal Emergency Management Agency, Washington DC, (1999).
- OĞUZ, S., Çerçevesiz yapılarda itme analizi yöntemlerinin değerlendirilmesi, (Yüksek lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (2005).
- ORHUNBİLGE, N., Örneklemeye Yöntemleri ve Hipotez Testleri, İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1997).
- ÖZCEBE, G., Ersoy, U., Tankut, T., Akyüz, U., Erduran, E., Keskin, S., Mertol, C., Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Arttırılması, ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Ankara, (2002).
- ÖZCEBE, G., Yüçemen, M.S., Aydoğan, V., ve Yakut, A. Preliminary Seismic Vulnerability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey – Part I: Statistical Model Based on Structural Characteristics, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, NATO Science Series IV/29, (1975), pp. 29–42.
- PHAN, L.T., Todd, D.R., ve Lew, H.S., Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames, Technical Report NISTIR 5128, Building and Fire Research Laboratory, Gaitersburg, Maryland, (1993).
- PORRO, B., Schraft A., Investigation of Insured Earthquake Damage, Natural Hazard, Vol.2, (1989), 173-184.

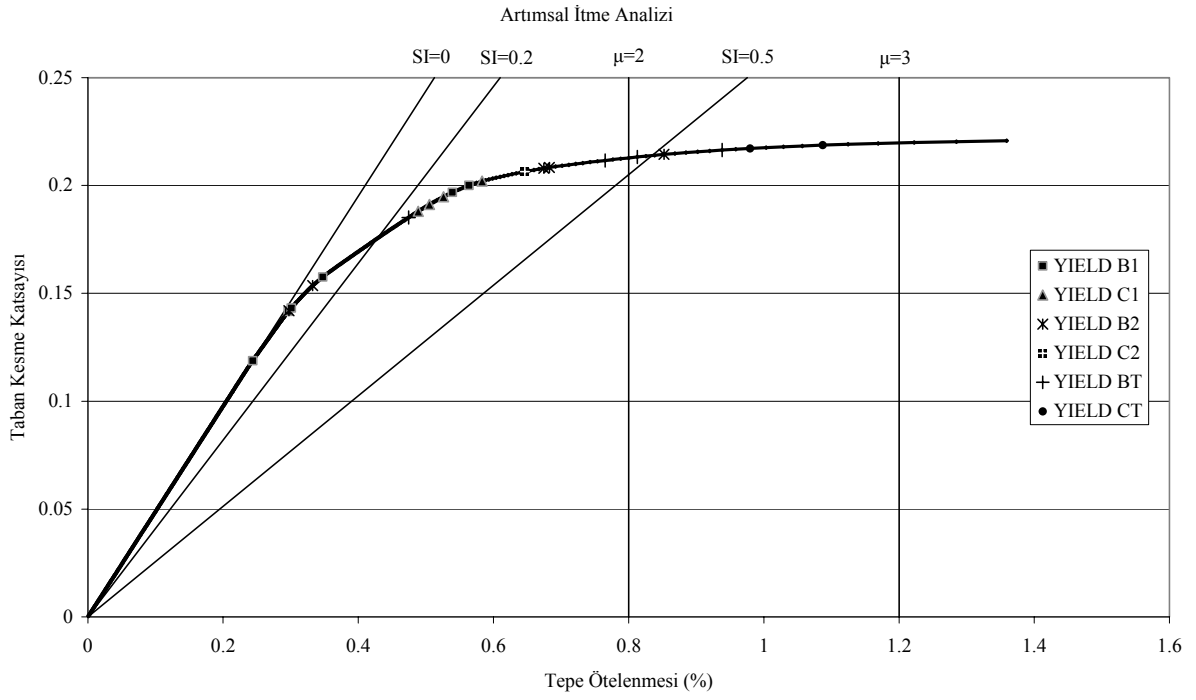
- PORTER, K.A., Beck, J.L., Shaikhutdinov, R.V., Sensitivity of Building Loss Estimates to Major Uncertain Variables. *Earthquake Spectra*, Volume 18, No. 4, (2002), pages 719–743.
- ROSSETTO, T., Elnashai, A.S., Derivation of Vulnerability Functions for European Type RC Structures Based on Observational Data, *Engineering Structures* Vol.25 (10), (2003), 1241-1263.
- RUBINSTEIN, R.Y., *Simulation ve the Monte Carlo Method*, Wiley, 278 pages, (1981).
- SAATÇIOĞLU, M., Özcebe, G., Response of reinforced concrete columns to simulated seismic loading. *ACI Structural Journal* 86 (1), (1989), pp. 3-12.
- SHINOZUKA, M., Feng, M. Q., Kim, H. K., Kim, S. H., Nonlinear Static Procedure for Fragility Curve Development, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126 (12), (2000), 1287-1295.
- SINGHAL, A., Kiremidjian, A.S., A Method for Earthquake Motion-Damage Relationships with Application to Reinforced Concrete Frames, Technical Report NCEER 97-0008, Buffalo, NY, (1997).
- SPD. PEER Structural Performance Database, <http://nisee.berkeley.edu/spd/>, (2003).
- SUCUOĞLU, H., Gülkan, P., Erberik, A., Akkar, S., Measures of Ground Motion Intensity in Seismic Design, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium on Structural Engineering*, 1999. Ankara, (1999).
- SUCUOĞLU, H. ve Yazgan, U., Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment in: *Urban Building Stocks, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings*, NATO Science Series IV/29, (2003), pp. 97–118.
- TANKUT, T., *Betonarme Yapıların Deprem Dayanımı Bakımından Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi*, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, Ankara, (1999).
- TÜRK STANDARTLARI ENSİTİTİSÜ, TS 498, *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.*, (1997).
- TÜRK STANDARTLARI ENSİTİTİSÜ, TS 500, *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.*, (2000).
- TÜRKİYE CUMHURİYETİ BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.*, (1998).

- UNIFORM BUILDING CODE, International Conference of Building Officials, Whittier, California, (1997).
- VALLES, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., Madan, A., IDARC-2D Version 4.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings, Technical Report NCEER-96-0010, Buffalo, NY, (1996).
- WEN, Y.K., Ellingwood, G. T., Bracci, J., Vulnerability Function Framework for Consequence-based Engineering, Draft Report, Project Title: DS-4, Vulnerability Functions, Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana Champaign, (2003).
- WHITMAN, R.V., Reed J.W., Hong S.-T., Earthquake Damage Probability Matrices, Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, (1974), 2531-2540.
- YAKUT, A., Aydoğan, V., Özcebe, G., ve Yüccemen, M.S. Preliminary Seismic Vulnerability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey – Part II: Inclusion of Site Characteristics, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, NATO Science Series IV/29, (2003), pp. 43–58.

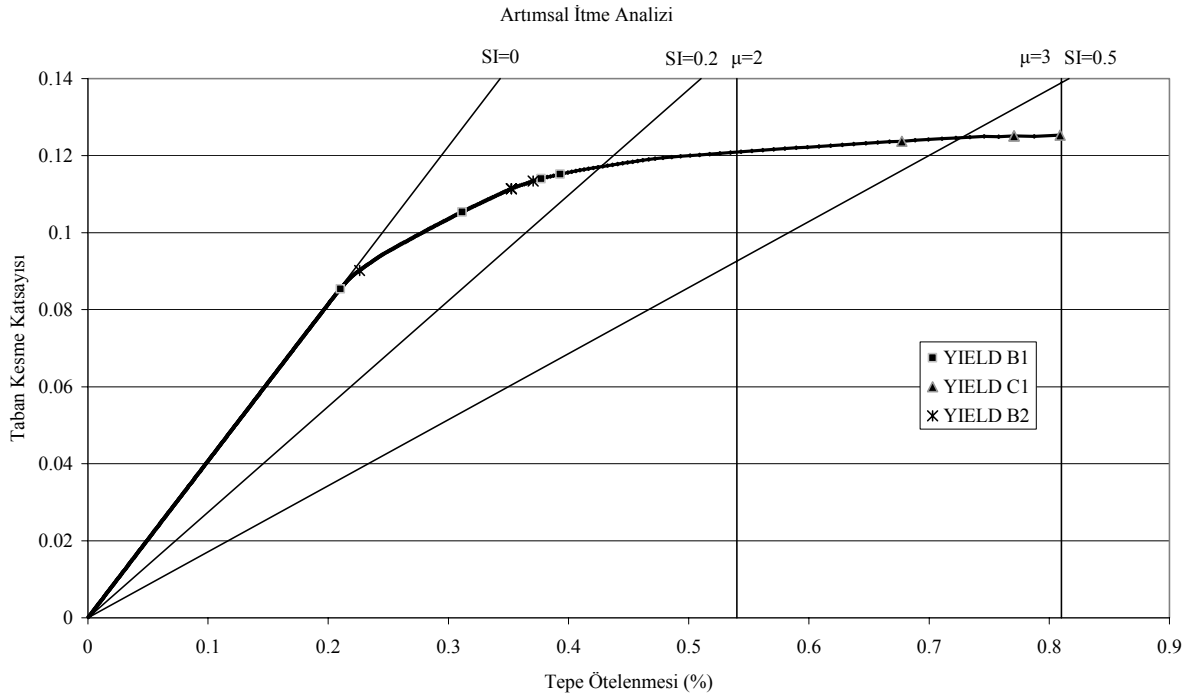
EK A ARTİMSAL İTME ANALİZİ VE HASAR İNDEKSLERİ

Kısaltmalar

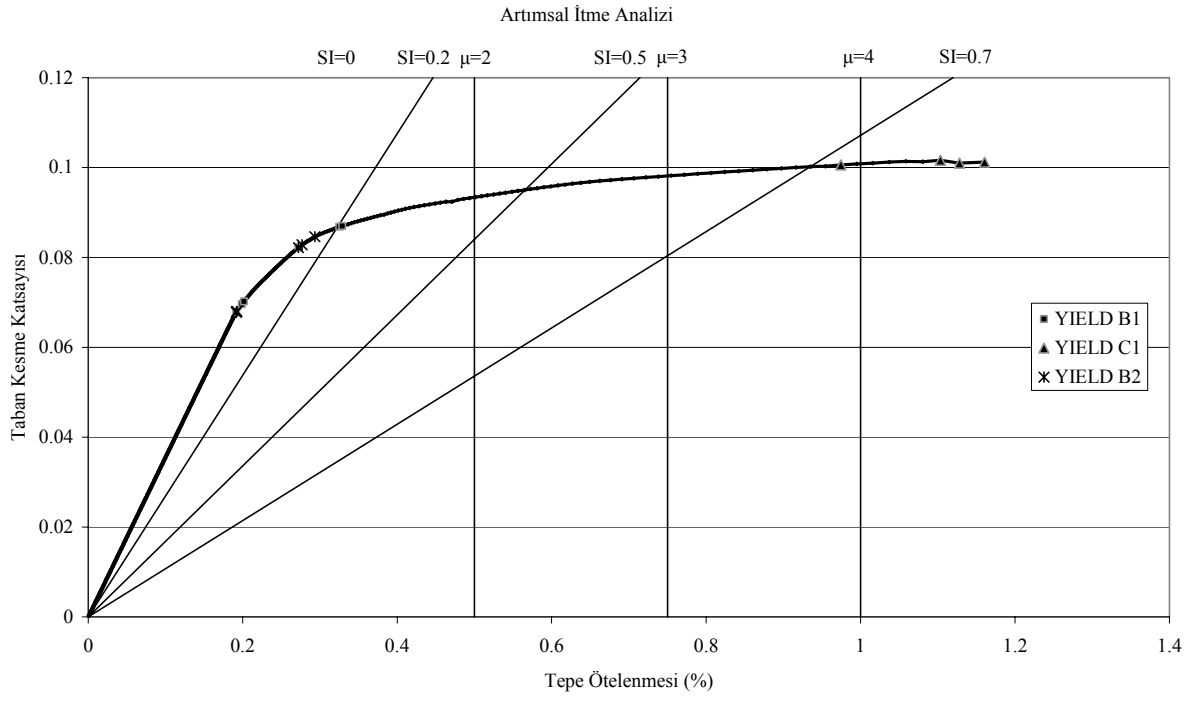
YIELD B1	:	Birinci kat girişinde akma oluşumu (eğilme)
YIELD C1	:	Birinci kat kolonunda akma oluşumu (eğilme)
YIELD B2	:	İkinci kat girişinde akma oluşumu (eğilme)
YIELD C2	:	İkinci kat kolonunda akma oluşumu (eğilme)
YIELD BT	:	En üst kat girişinde akma oluşumu (eğilme)
YIELD CT	:	En üst kat kolonunda akma oluşumu (eğilme)
FAIL B1	:	Birinci kat girişinde göçme oluşumu (eğilme)
FAIL INI	:	Herhangi bir kat (birinci kat hariç) girişinde göçme oluşumu (eğilme)



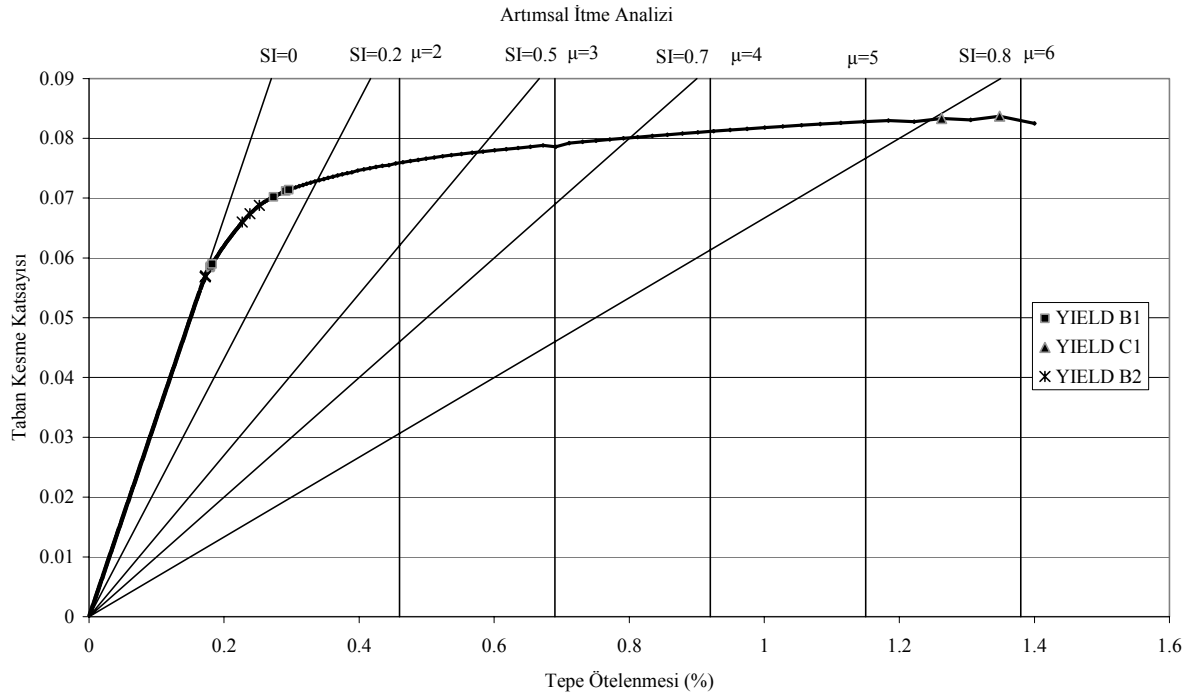
Şekil A1 MRF3-P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



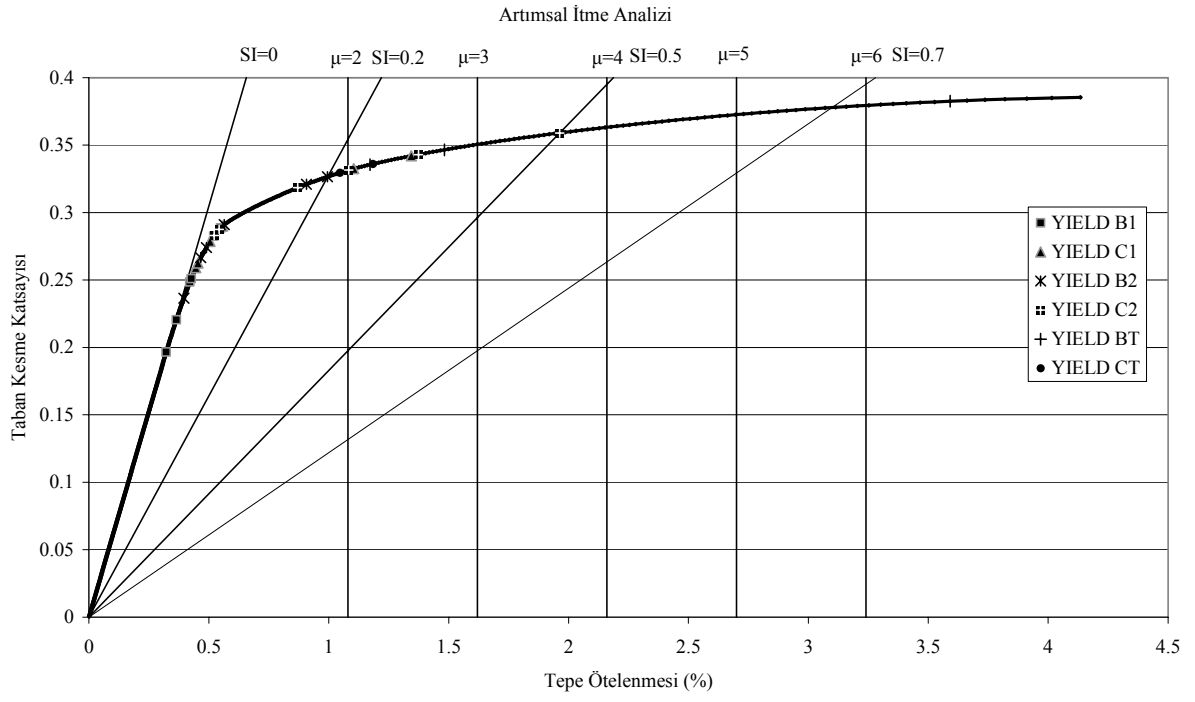
Şekil A2 MRF5-P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



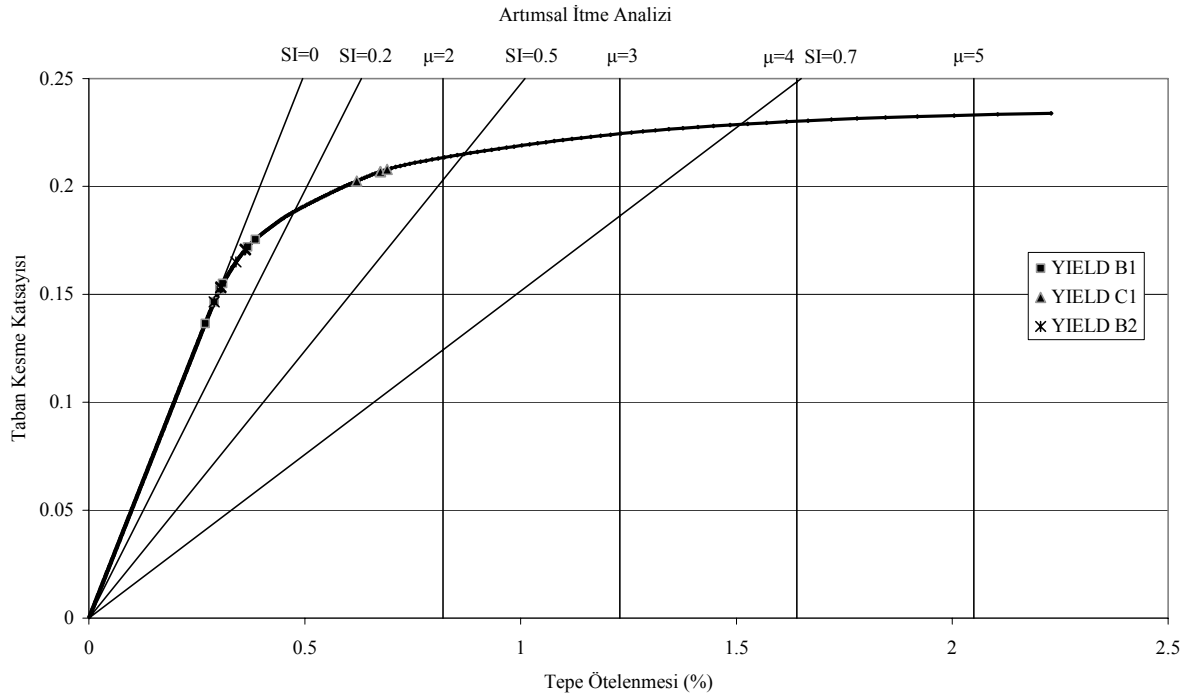
Şekil A3 MRF7-P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



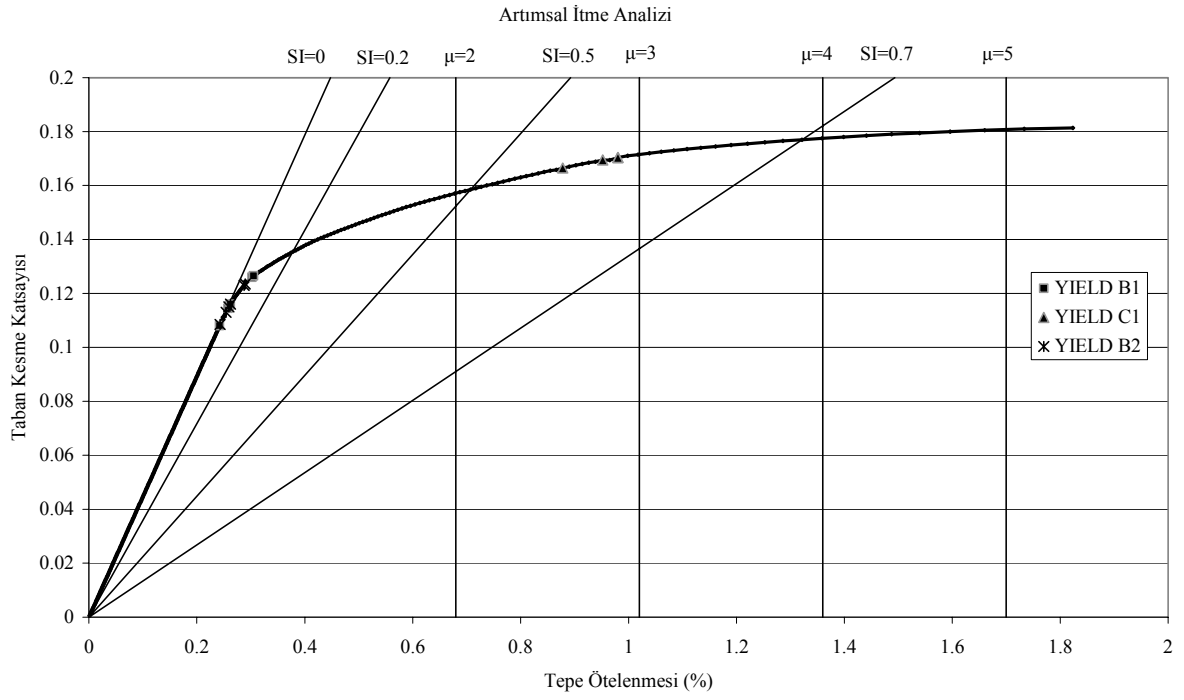
Şekil A4 MRF9-P için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



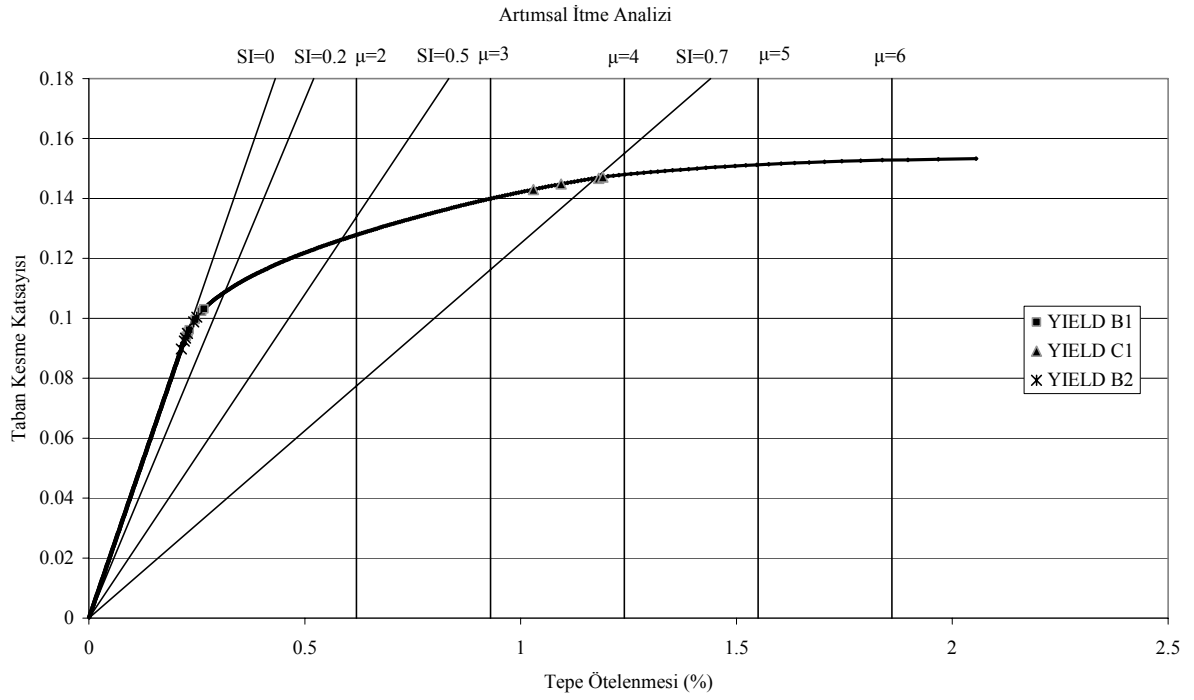
Şekil A5 MRF3-T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



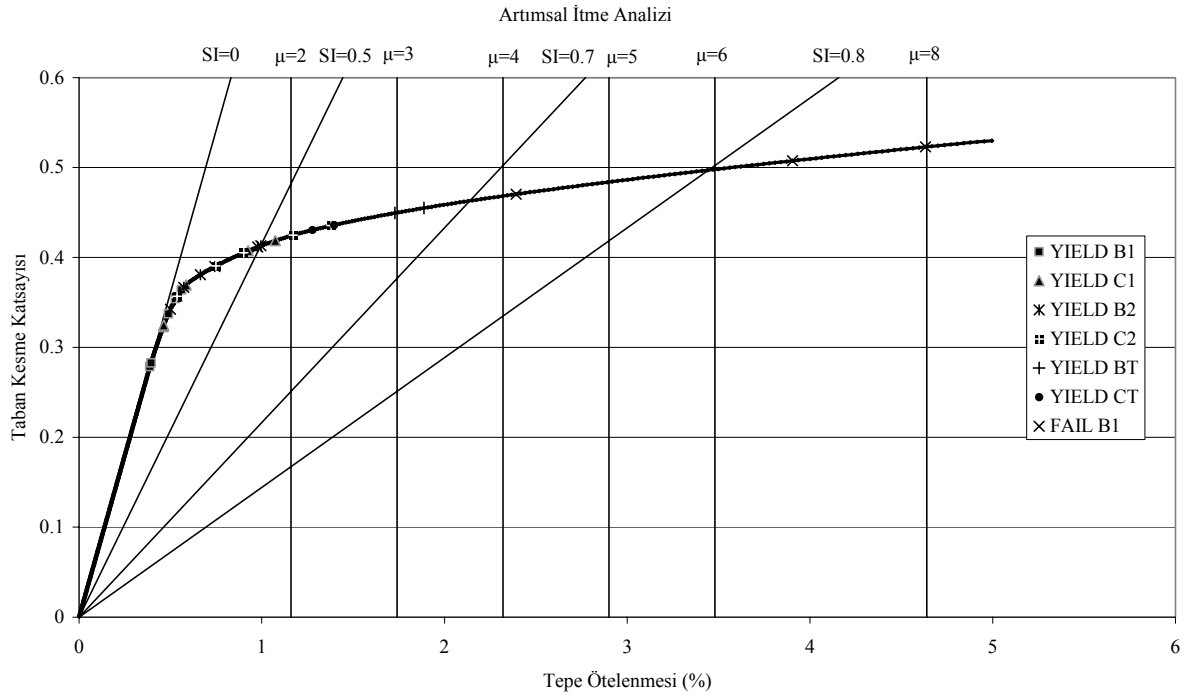
Şekil A6 MRF5-T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



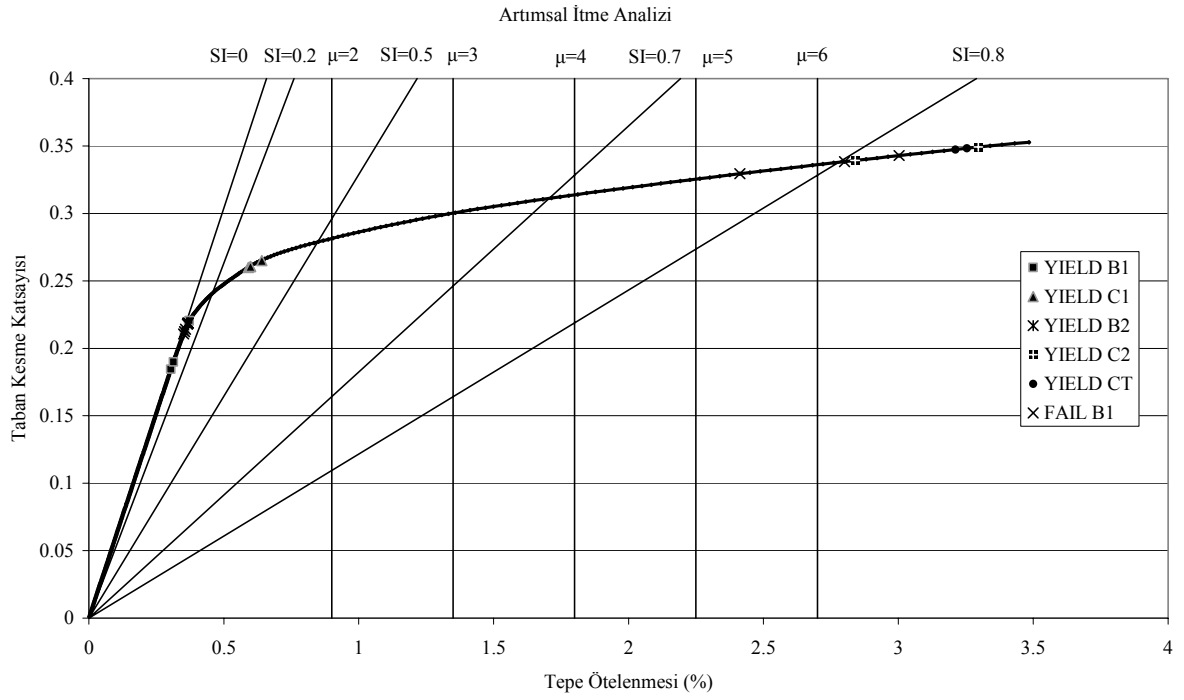
Şekil A7 MRF7-T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



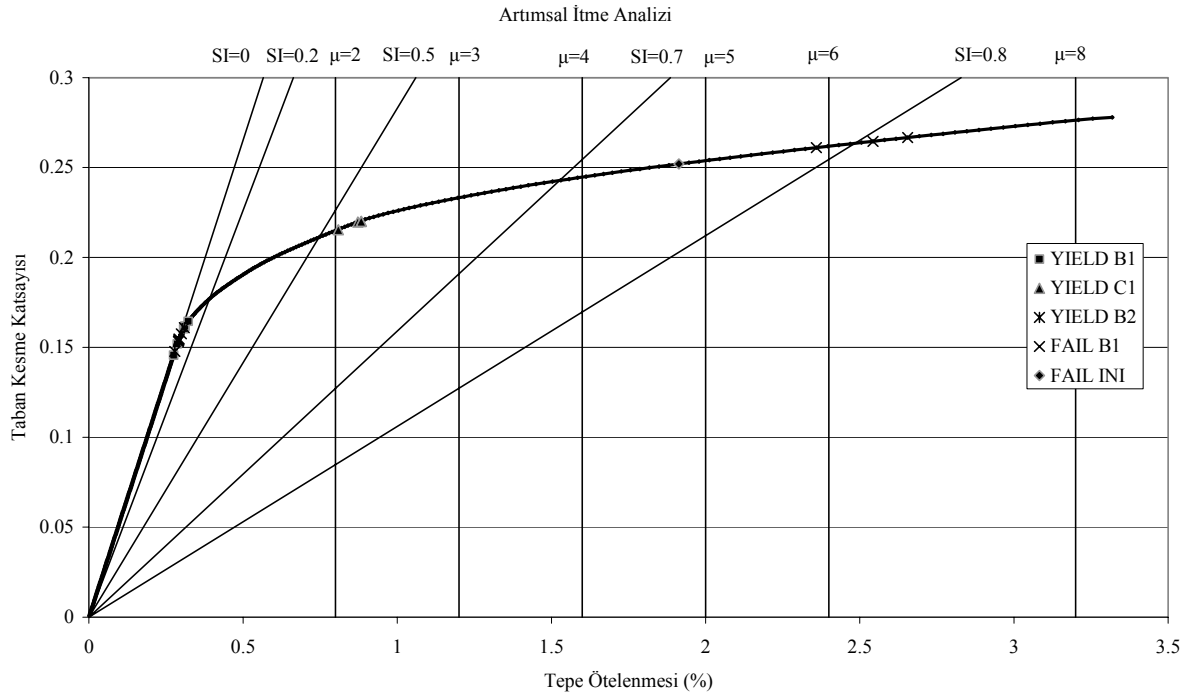
Şekil A8 MRF9-T için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



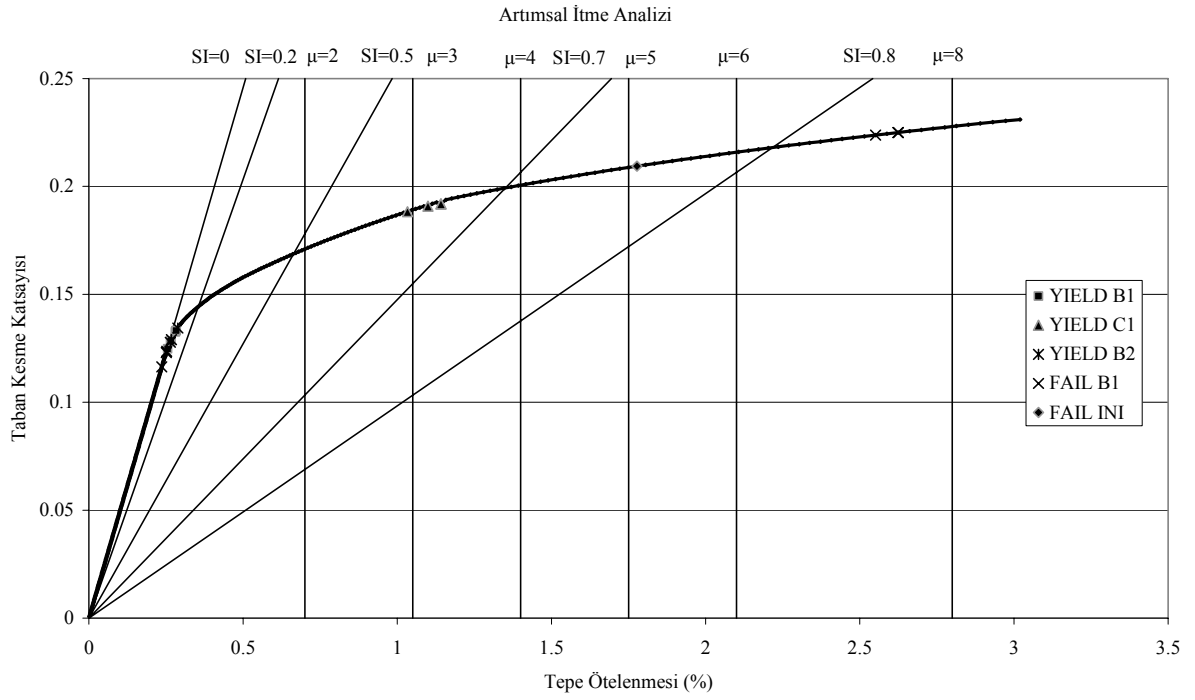
Şekil A9 MRF3-S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.



Şekil A10 MRF5-S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.

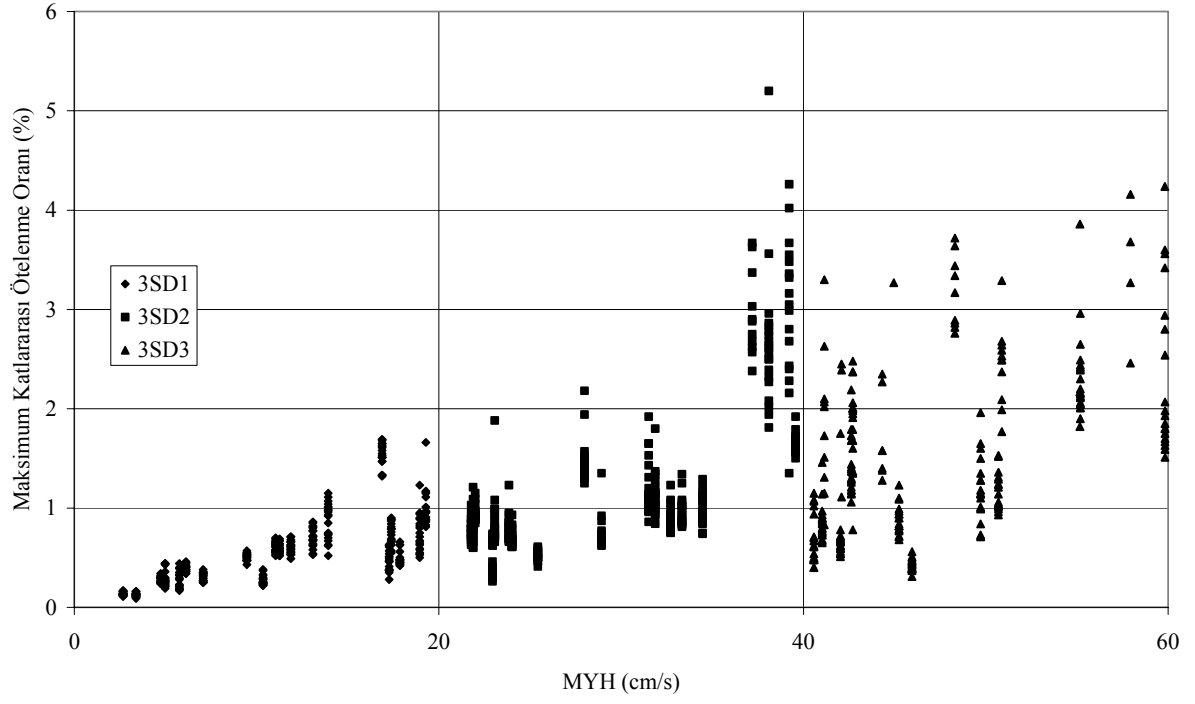


Şekil A11 MRF7-S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.

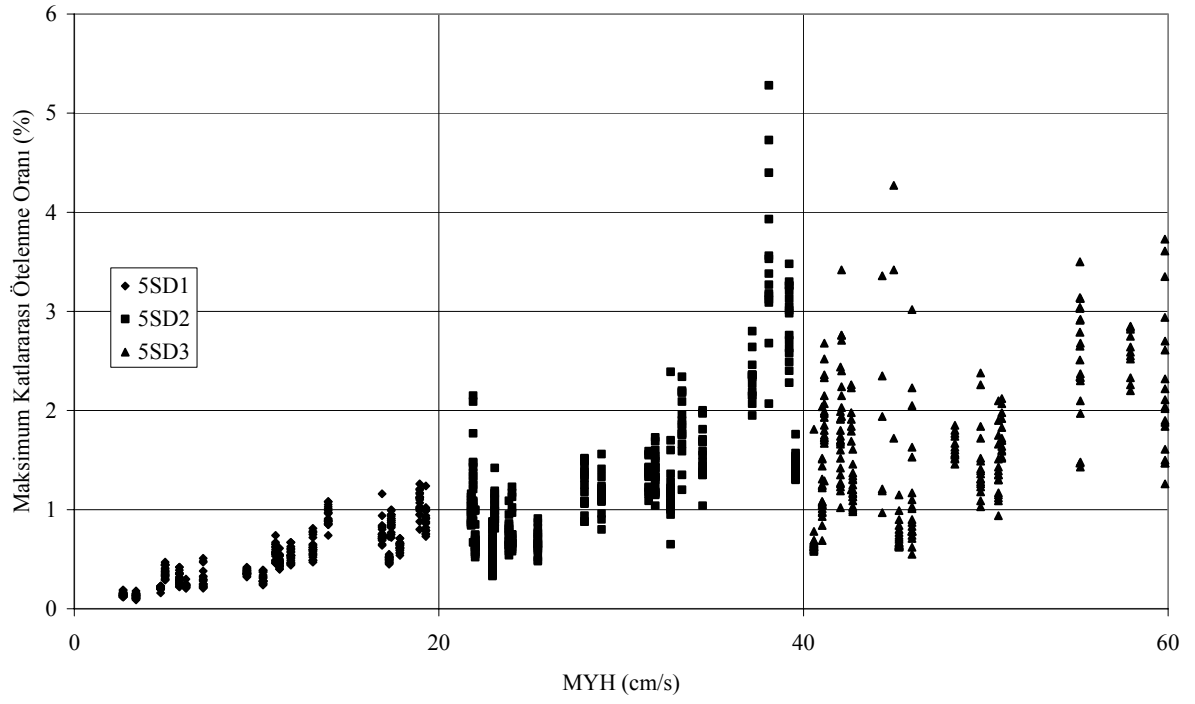


Şekil A12 MRF9-S için artımsal itme analizi ve hasar indeksleri.

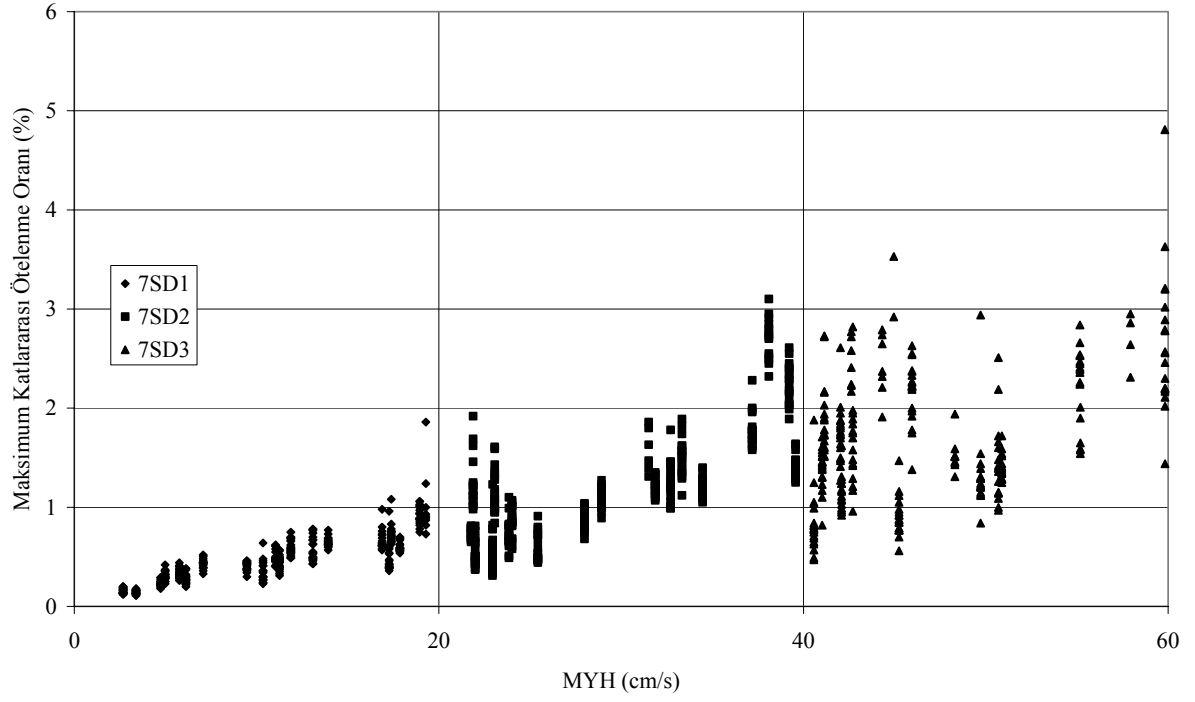
**EK B ZAMAN TANIM ALANI YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN SİSMİK TALEP
SONUÇLARI**



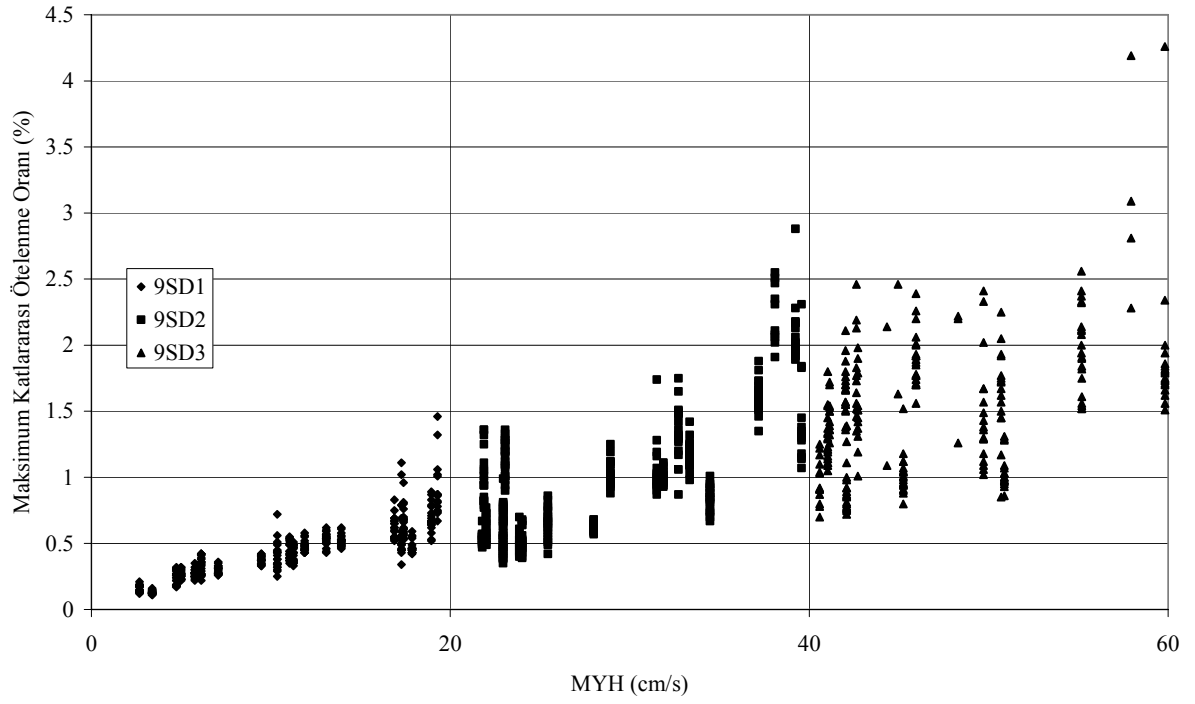
Şekil B1 MRF3-P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



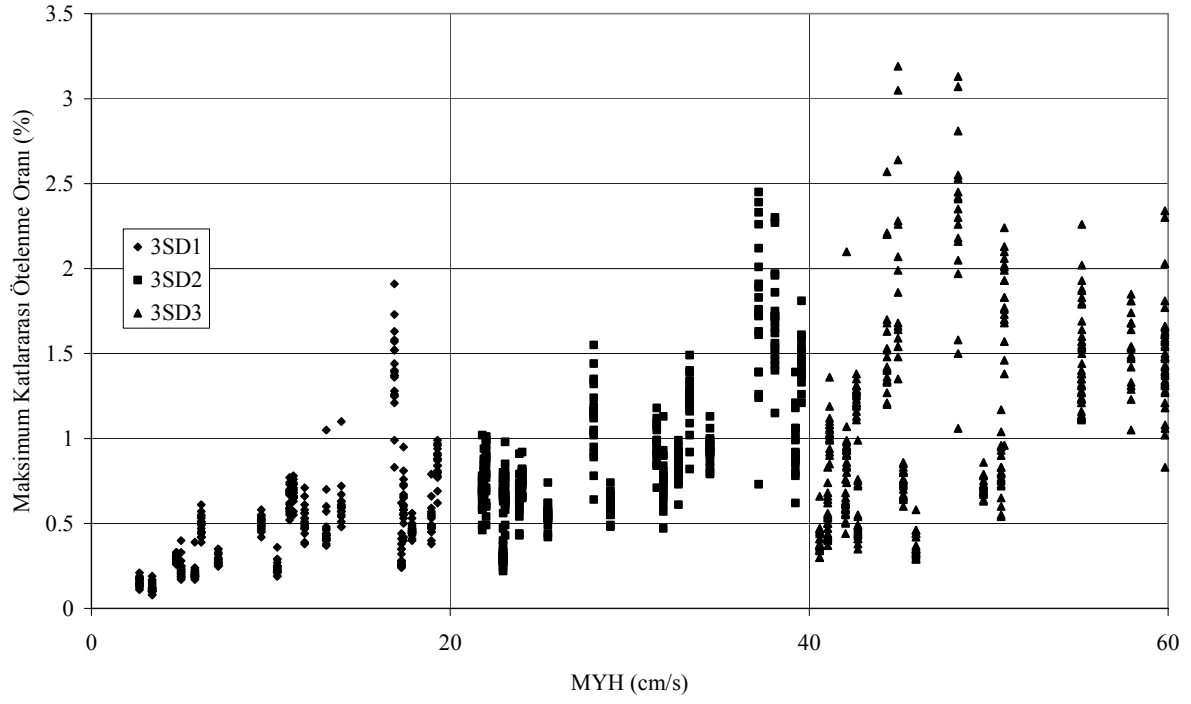
Şekil B2 MRF5-P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



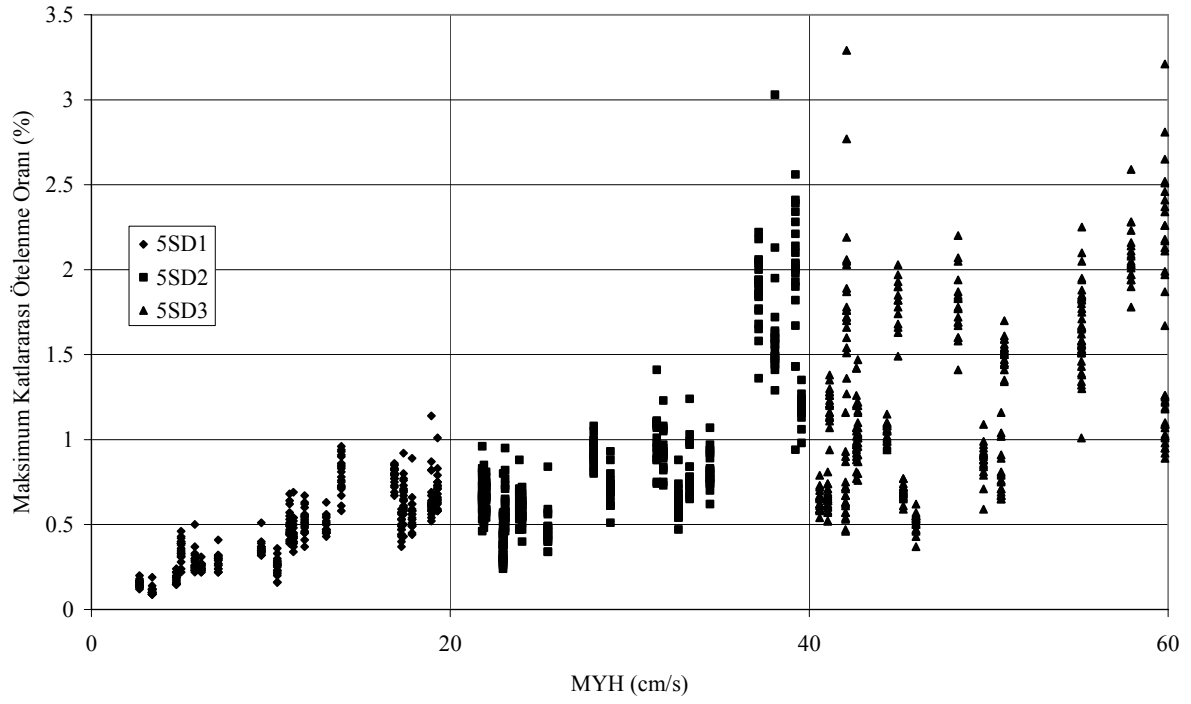
Şekil B3 MRF7-P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



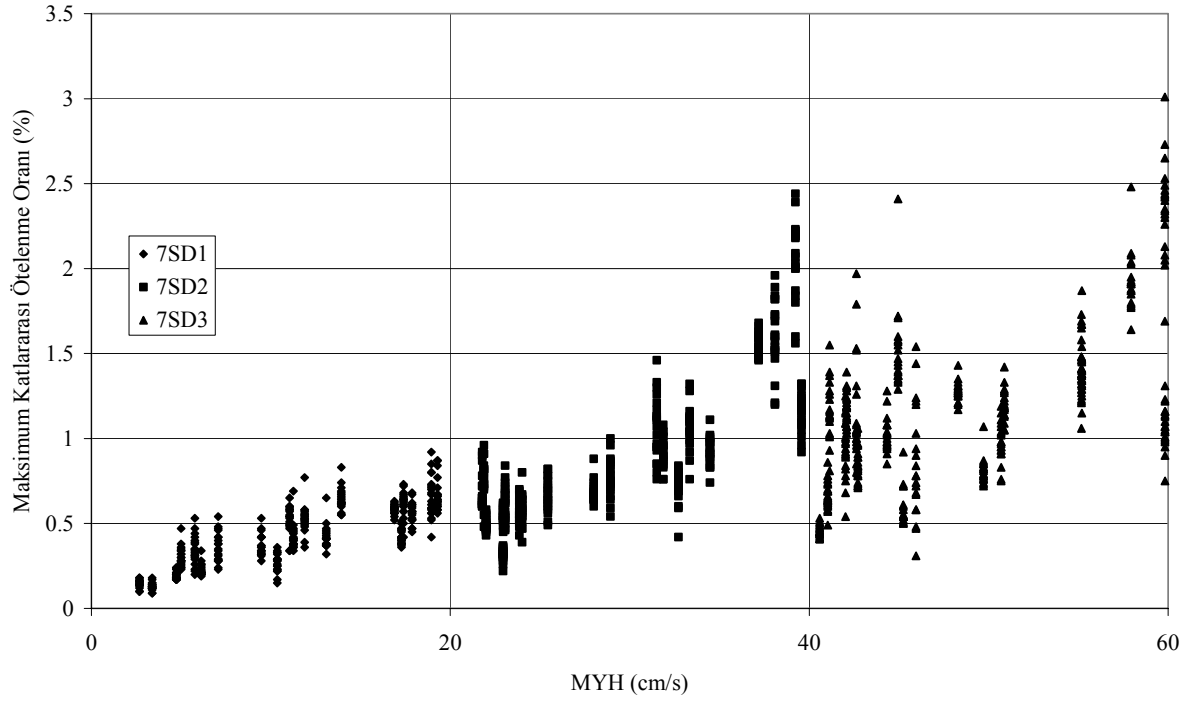
Şekil B4 MRF9-P için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



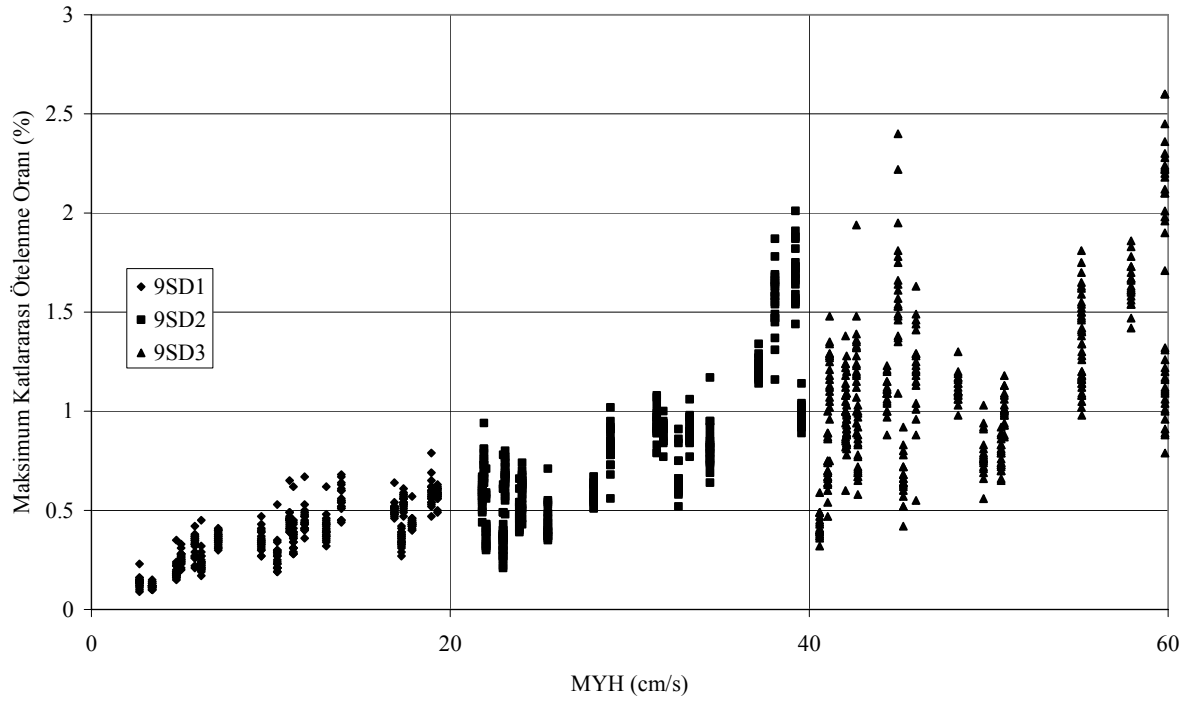
Şekil B5 MRF3-T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



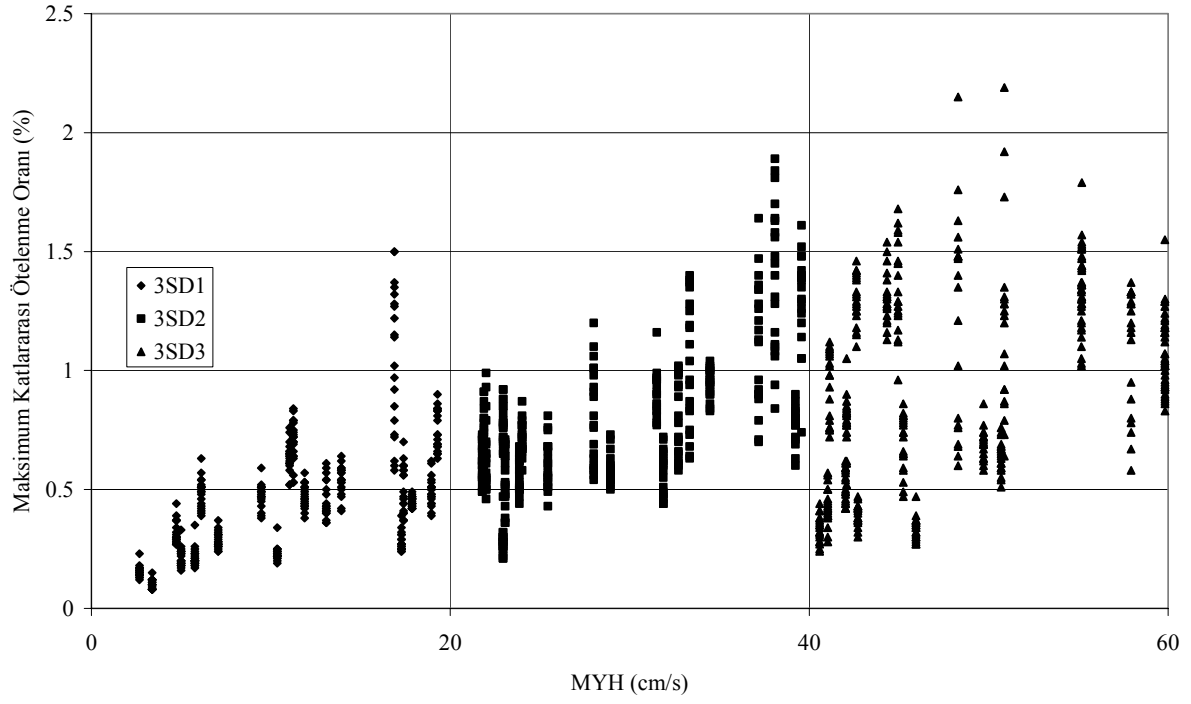
Şekil B6 MRF5-T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



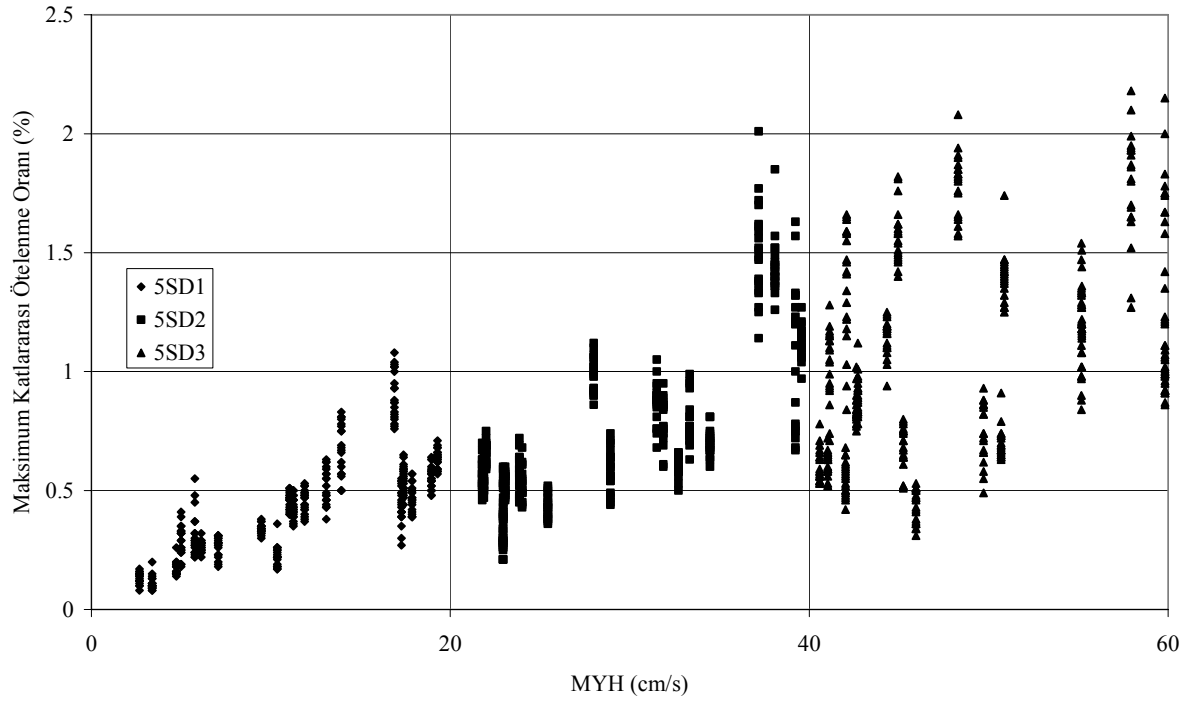
Şekil B7 MRF7-T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



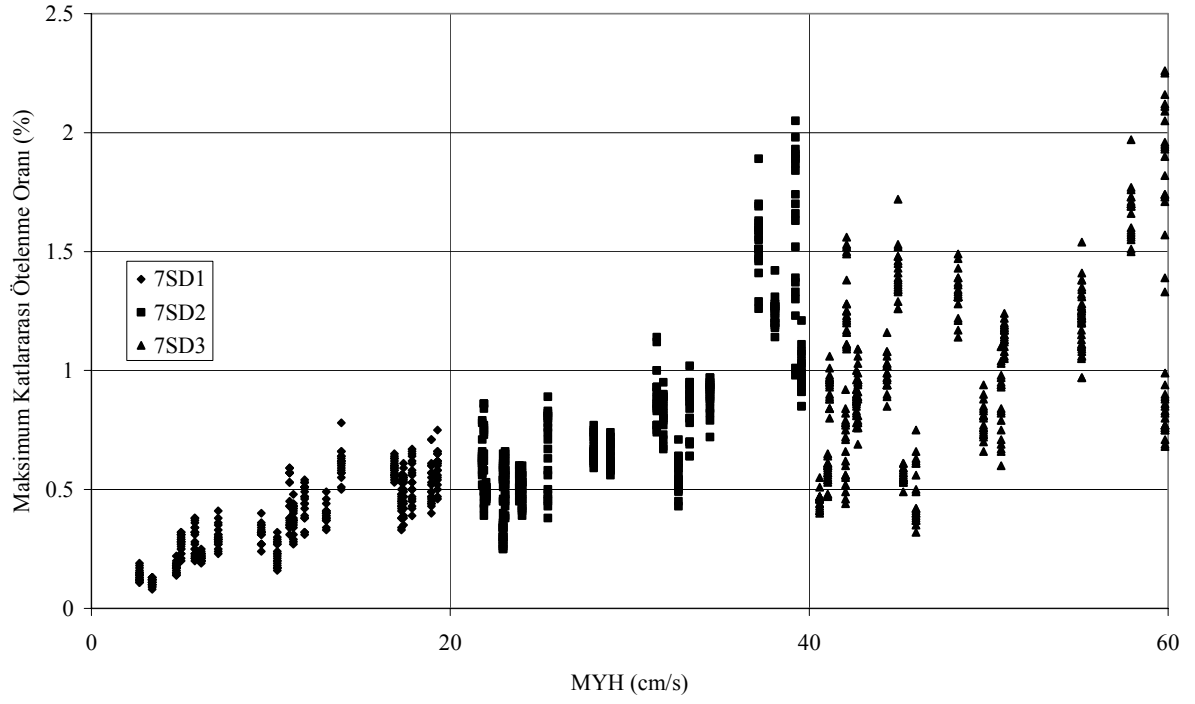
Şekil B8 MRF9-T için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



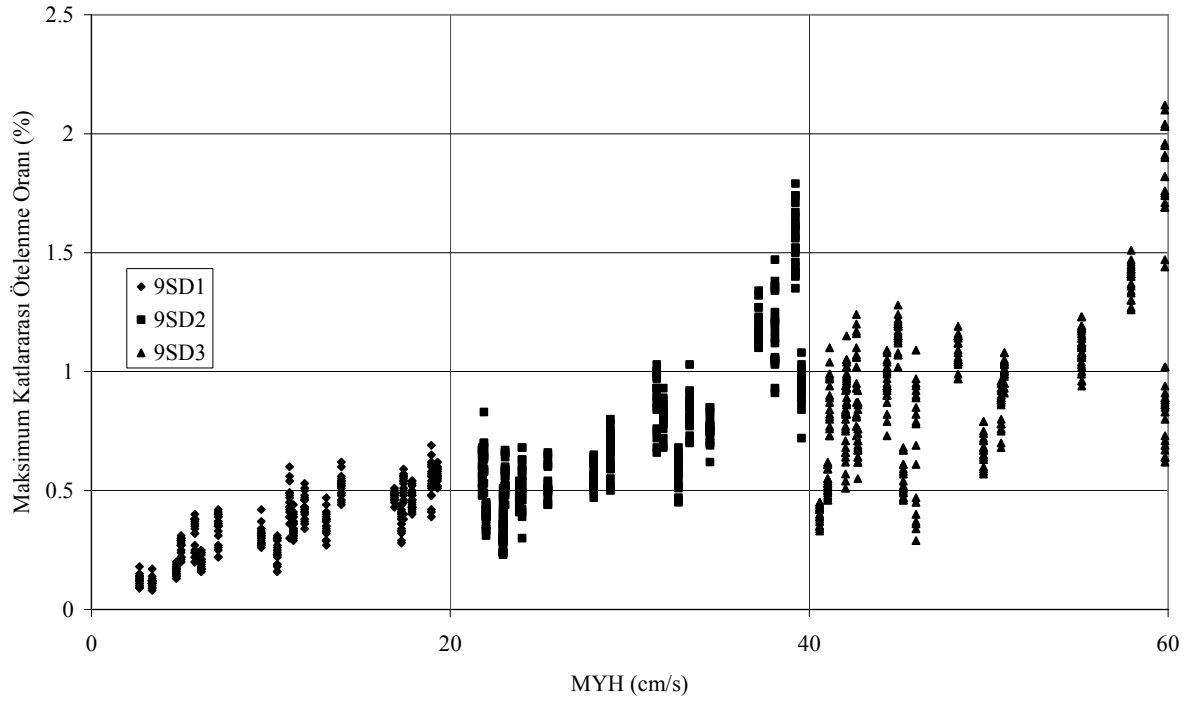
Şekil B9 MRF3-S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



Şekil B10 MRF5-S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



Şekil B11 MRF7-S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.



Şekil B12 MRF9-S için zaman tanım alanı sismik talep sonuçları.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: 104M565
Proje Başlığı: Az ve Orta Katlı Betonarme Yapıların Hasargörebilirliğinin İncelenmesi
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Yrd. Doç. Dr. M. Altuğ Erberik (Yürütücü)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 06531 Balgat Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2005 – 01.11.2006 (4 ay uzatma ile birlikte)
Öz (en çok 70 kelime) : Bu projenin kapsamı, ülkemizdeki yapı stokunun yaklaşık %75'ini oluşturan az ve orta katlı betonarme çerçeve yapı sistemleri ile sınırlıdır. Benimsenen metod sebebiyle 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme çerçeve yapılar için iki boyutlu analitik modeller hazırlanmıştır. Bu modeller ülkemize özgü yapı karakteristikleri ve büyük depremler sonrası elde edilen sismik performans gerçekleri doğrultusunda zayıf, tipik veya iyi kalite olmak üzere sınıflandırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçların ışığında ülkemizdeki az ve orta katlı betonarme çerçeve binaların doğasındaki yapısal zayıflıklar hasar potansiyeli fonksiyonları ile yansıtılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve yapılar, yapısal zayıflıklar, hasargörebilirlik eğrisi sismik talep, malzeme değişkenliği, hasar tahmin analizi.
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: B. Özer Ay, 2006. Türkiye'deki Az ve Orta Katlı Betonarme Çerçeve Binaların Hasargörebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara. B. Özer Ay, M. Altuğ Erberik, D.S. Akkar, 2006. Fragility Based Assessment of the Structural Deficiencies in Turkish RC Frame Structures, Paper No.593, Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.
Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Doçentlik B. Dalı Kodu: 911