

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA YÜKSEKLİKTEKİ HASAR GÖRMÜŞ BETONARME
BİNALARIN HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ZEYNEP ÇİFTÇİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA YÜKSEKLİKTEKİ HASAR GÖRMÜŞ
BETONARME BİNALARIN
HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

ZEYNEP ÇİFTÇİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. YASİN M. FAHJAN

GEBZE
2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.01.2014 tarih ve 2014/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/02/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan ZEYNEP ÇİFTÇİ'nin tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Erkan AKPINAR

ÜYE

: Doç. Dr. Gülüm TANIRCAN

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremler, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi konusunu gündeme getirmiştir. Türkiye'nin mevcut yapı stoğunun çoğu, daha önce meydana gelmiş bir depremden etkilenmiş, fakat hala kullanımına devam edilmekte olan, orta katlı, betonarme binalardan oluşmaktadır. Bu binaların, ikinci bir depreme maruz kaldıklarında oluşacak hasar olasılıkları belirlenerek, yapılarda meydana gelme ihtimali yüksek olan hasar durumlarının, sosyo-ekonomik kayıpların ve kentsel hasar tahminlerinin yapılması çalışmaları önem kazanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; gerçekte var olan bir yapı modelinin, depremden hasar görmeden önceki ve depremden hasar gördükten sonraki durumlarının, performansa dayalı yaklaşım çerçevesinde elde edilmiş olan hasar olasılıklarını değerlendirmektir.

Çalışmada, 19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen Kütahya-Simav depreminden etkilenmiş, fakat hala kullanımına devam edilmekte olan, betonarme, orta katlı bir konut binası incelenmiştir. Yapı modeli, binanın gerçek projelerindeki veri değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Analizi yapılan birinci model, yapının depremden etkilenmeden önceki durumunu temsil etmektedir. Bu model, doğrusal olmayan artımsal statik itme analizine tabi tutulmuş, spektral yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir. Görelî kat ötelemelerinden hareketle, yapının hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiş ve hasar görme olasılıkları tahmin edilmiştir. Analizi yapılan ikinci model, aynı yapının depremden etkilendikten sonraki durumunu temsil etmektedir. İkinci yapı modeline, hasar gördüğü kuvvetli yer hareketi ivmesi etki ettirilerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal statik itme analizi uygulanmıştır. Bu durumda yapının depremden etkilenmiş durumunun spektral yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Hasarı, Hasargörebilirlik Eğrileri, Pushover (İtme) Analiz, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Orta Yükseklikteki Betonarme Binalar.

SUMMARY

The devastating earthquakes in recent years in Turkey have brought up the issue which is the determination of earthquake safety of existing structures. Most of the existing building stock in Turkey are consisted of the buildings which are affected by the earthquake previously occurred, but they are still being continued in use regardless of their damages from previous earthquakes. The studies on these buildings comprising determining probabilities of collapse of the damaged building when exposed to a second earthquake.

The purpose of this study is to evaluate the damage vulnerability which has been obtained within the framework of seismic performance approach, actually existing structure of the model, damaged by the earthquake without any damage before and after the earthquake situation.

In this study, a medium-rise reinforced concrete residential building affected by Kütahya-Simav earthquake occurred in 19th of May, 2011 and still being continued in use has been investigated. Building model was created by using data in real projects of the building. The first analyzed model represents the state of the building affected before the earthquake. The model was subjected to non-linear incremental pushover analysis; spectral displacements and the relative floor drift are obtained. The possibility on the fragility of the building was obtained and the probability of damages has been estimated by mean of maximum translational drift of the building floors. The second analysis model represents the state of the same structure affected before the earthquake. The incremental pushover analysis has been applied on the second model. In this case, this structure of the spectral displacement being affected by the earthquake, translational drifts and fragility curves are obtained.

Key Words: Earthquake Damage, Fragility Curves, Pushover Analysis, Non-Linear Analysis Time History Analysis, Mid-Rise Concrete Buildings.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans öğretimim boyunca, engin bilgi birikimi ile bana yol gösteren, önceliği her zaman öğretmek olan, değerli zamanını hiç düşünmeden benim için harcayan, hem öğretim hem meslek hayatımda karşılaşılabileceğim güçlüklerle karşı bana rehberlik eden değerli hocam, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a minnet, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğretimime başladığım zamanlarda, inşaat mühendisliğinde ilk adımın yapı davranışını tasavvur etmek olduğunu öğreten, derin tecrübesi ile mühendislik eğitimi yanında mühendislik ahlakını da bana aşıl原因an değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Tevfik BAYER'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, SAP2000 programıyla ilk defa tanışmama vesile olan ve teorik bilgilerimi kullanarak bu program vasıtasıyla mühendislik çözümlmelerini nasıl yapacağımı bana öğreten saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Fatih YALÇIN'a teşekkür ederim. İsmi sayamadığım ve üzerimde emeği olan bütün öğretmenlerime saygılarımı sunuyorum.

Yüksek lisans öğretimim boyunca, derslerimi aksatmamam için bana anlayış gösteren, işverenlerim ve meslektaşlarım olan Sayın İnş. Müh. Fatih CANBAZOĞLU'na ve Sayın İnş. Müh. Atilla DEMİRTAŞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim ve iş hayatım boyunca her konuda bana destek veren, yanımda olmaya çalışan ve tüm sıkıntılarımı paylaşan sevgili nişanlım Mert MUMCUOĞLU'na teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca her konuda, her zaman destekçim olan, yıllarca yaptıkları tüm fedakârlıkları ve şefkatleriyle beni destekleyen, borçlarını asla ödeyemeyeceğim aileme minnetlerimi sunuyor ve bu çalışmamı onlara armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE’DE BETONARME BİNALAR HAKKINDA YAPILMIŞ DEPREM HASAR TAHMİNİ ÇALIŞMALARI	2
3. ÜLKEMİZDE SON ONBEŞ YIL İÇİNDE MEYDANA GELMİŞ AĞIR HASARLI DEPREMLER, HASAR GÖREN BİNALAR ve HASAR NEDENLERİ	5
3.1. 17 Ağustos Kocaeli-Gölcük ve 12 Kasım Düzce Depremleri, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	6
3.2. 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	12
3.3. 2 Temmuz 2004 Ağrı-Doğubayazıt Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	14
3.4. 8 Mart 2010 Elazığ (Başyurt–Karakoçan) Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	16
4. HERHANGİ BİR DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ BİNALARIN İKİNCİ DEPREMDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELEMNESİ	22
4.1. 23 Ekim 2011 Van Depremi ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	22
4.2. 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri	29
5. BETONARME BİNALAR İÇİN PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI	33

5.1. Deprem Mühendisliğinde Performansa Dayalı Tasarım Kavramının Tarihi Gelişimi	34
5.2. Mevcut Betonarme Binalar İçin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Prosedürü	37
5.2.1. Bilgi Düzeyi Katsayısı, Etkin Yer İvmesi Katsayısı, Tasarım Depremi, Performans Hedefi ve Performans Düzeyi Kavramları	39
5.2.2. Süneklik, Gevreklik, Elastik Davranış ve Plastik Davranış Kavramları	43
5.2.3. Betonarme Kesitlerin Moment-Eğrilik İlişkisi, Eğilme Rijitliği ve Plastik Mafsal Hipotezi	47
5.2.4. Yerdeğiştirmeye Dayalı Tasarım Kabulü	51
5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	58
5.3.1. Sönüm Oranının Belirlenmesi	58
5.3.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi	60
6. HASARGÖREBİLİRLİK KAVRAMI ve HASARGÖREBİLİRLİK OLASILIK EĞRİLERİNİN ÇIKARILMASI	63
6.1. Afet, Risk, Tehlike ve Zarar Görebilirlik Kavramları	63
6.2. Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması	65
6.2.1. Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması	65
6.2.2. Hasargörebilirlik Analizleri İçin Yapı Modellerinin Sınıflandırılması	69
7. SAYISAL ANALİZLER	78
7.1. İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli	78
7.2. Analizler İçin Oluşturulan Taşıyıcı Sistem Modeli	83
7.3. Depremden Hasar Görmemiş Yapı Modelinin, Doğrusal Elastik Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemi ile Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması	84
7.4. Depremden Hasar Görmüş Yapı Modelinin Zaman Tanım Alanında ve Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemleri ile Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması	91
8. SONUÇ	102
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
A_0	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
$A(T)$: Spektral İvme Katsayısı
a_1	: Birinci (hakim) moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
$[C]$: Sönüm Matrisi
c	: Sönüm Katsayısı
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d_1	: Birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme
d_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi
f_s	: Eşdeğer deprem yükü, toplam yatay kuvvet
H	: Yapının toplam yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
k	: Rijitlik Katsayısı
$[K]$: Rijitlik Matrisi
K_s	: Düşey Yatak Katsayısı
L_p	: Plastik mafsal boyu
M	: Kütle
$[M]$: Kütle Matrisi
M_{cr}	: Betonun Çatlamış Kesit Mukavemeti
M_t	: Toplam Eğilme Momenti
M_u	: Kopma Mukavemeti
M_y	: Akma Mukavemeti
I_o	: Depremin şiddeti
P	: Hasar Parametresi
q_a	: Zemin emniyet gerilmesi
R_y	: Dayanım Azaltma Katsayısı
$S(T)$: Spektrum Katsayısı
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
S_{de}	: Elastik spektral yerdeğiştirme

$\hat{S}_{d,ds}$:	Spektral deplasmanın bina hasarının d_s eşik değerine ulaştığı andaki medyan değeri
T	:	Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	:	Spektrum karakteristik periyotları
T_1	:	Binanın birinci doğal titreşim periyodu
u_y	:	Akma yerdeğiştirmesini
u_p	:	Kopma yerdeğiştirmesini
u	:	Toplam plastik yerdeğiştirme
α ve β	:	Rayleigh sönüm modelinde istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları.
β_{ds}	:	Spektral deplasmanın d_s hasar sınırındaki lognormal standart sapma değeri
ξ	:	Sönüm Oranı
χ	:	Eğrilik
χ_y	:	Akma eğriliği
χ_u	:	Kopma Eğriliği
Θ_p	:	Plastik dönme
ω	:	Doğal açısal titreşim frekansı
Φ	:	Standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu
γ_n	:	Zemin doğal birim hacim ağırlığı
HK	:	Hemen Kullanım Performans Düzeyi
CG	:	Can Güvenliği Performans Düzeyi
ÇSD	:	Çok Serbestlik Dereceli Sistem
GÖ	:	Göçme Öncesi Performans Düzeyi
TSD	:	Tek Serbestlik Dereceli Sistem

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa:</u>
2.1: Türkiye diri fay hatları haritası.	2
3.1: 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük Depremi'nin merkezüssü haritası.	6
3.2: 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nin merkezüssü haritası.	7
3.3: 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük Depremi'nin etki alanı haritası.	7
3.4: Çekiçleme etkisiyle devrilmeye maruz kalmış yapı örneği.	8
3.5: Boyuna donatılarında burkulma ve betonda ezilme meydana gelmiş kolonlar.	9
3.6: Yetersiz sargı donatısından kaynaklanan kayma hasarı örneği. Kısa kolon etkisi ile kayma hasarının etkisi artmıştır.	10
3.7: Yumuşak kat etkisi ile yıkılmış bina örneği.	11
3.8: Yetersiz dilatasyon derzinin yapılması sebebiyle yapıda meydana gelmiş çekiçleme etkisi ile oluşmuş çökme örneği.	11
3.9: Standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı ve işçilik kusurları nedeni ile meydana gelmiş hasar örneği.	12
3.10: 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi'nin merkezüssü haritası.	13
3.11: Taşıyıcı duvarda meydana gelmiş kesme çatlakları örneği.	13
3.12: Kolonlarda meydana gelmiş kesme hasarı örneği.	14
3.13: 2 Temmuz 2004 Doğubayazıt (Ağrı) Depremi'nin merkezüssü haritası.	15
3.14: a) Köşe duvarlarda oluşmuş kesme çatlakları, b) Duvar köşelerinden hasar alarak yıkılmış yapı örneği görülmektedir.	16
3.15: 8 Mart 2010 Elazığ Depremi'nin merkezüssü ve faylanma şekli haritası.	17
3.16: İki katlı kerpiç evde döşemelerde mesnetlenme hatası sonucu meydana gelmiş hasar örneği.	17
3.17: Büyük bölümü yıkılmış iki katlı kerpiç ev örneği.	18
3.18: Karma taşıyıcı sistemi olan iki katlı ev örneği.	18
3.19: Karma taşıyıcı sistemi olan iki katlı ev örneği.	19
3.20: Yumuşak kat mekanizması oluşmuş yapı örneği.	19
3.21: a) Tek katlı binada duvarın düzlem dışı yıkılması örneği, sol yan görünüş, b) Düzlem dışı göçme ön görünüş.	20

3.22:	a) Rijit diyafram sağlanamamasından oluşmuş düzlem dışı göçme örneği, sol yan görünüş, b) Düzlem dışı göçme ön görünüş.	20
3.23:	Bir yapının temelinde farklı oturmalar sonucu oluşmuş çatlak örneği.	21
4.1:	23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerinin basitleştirilmiş jeolojik haritası.	23
4.2:	Van il merkezinde incelenen binalarda oluşmuş yapısal hasarın bina sayısına oranla dağılımını gösteren grafik.	24
4.3:	Van il merkezinde incelenen binalarda oluşmuş dolgu duvar hasarının bina sayısına oranla dağılımını gösteren grafik.	24
4.4:	23 Ekim 2011 Van Depremi, tamamen göçmüş bina örnekleri.	25
4.5:	a) 23 Ekim 2011 Van Depremi, katların üst üste yığılması sonucu yıkılmış 3 katlı bina, b) Katların üst üste yığılması sonucu yıkılmış 4 katlı bina.	26
4.6:	a) 23 Ekim 2011 Van Depremi, yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 3 katlı bina, b) Yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 5 katlı bina.	26
4.7:	a) 23 Ekim 2011 Van Depremi, yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 3 katlı bina, b) Yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 2 katlı bina.	27
4.8:	23 Ekim-9 Kasım 2011 Van-Edremit depremleri, bina hasar örneği.	27
4.9:	23 Ekim-9 Kasım 2011 Van-Edremit depremleri, bina hasar örneği.	28
4.10:	Bina hasarı, 23 Ekim-9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi.	28
4.11:	Depremi etkili olduğu alan.	29
4.12:	Depremden sonra yıkılmış, bitişik nizam bir bina örneği.	30
4.13:	a) Yıkılan binanın güneydoğu yönündeki köşe kolonundaki hasar, b) Yıkılan binanın zemin kat güneybatı yönündeki köşe kolonlarındaki hasar.	31
4.14:	a) Yıkılan binanın kuzeybatı köşe kolonu, b) Yıkılan binanın zemin kat kuzeybatı köşe kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasar.	31
4.15:	a) 3 katlı binada meydana gelmiş dolgu duvar hasarı örneği, b) 7 katlı binada meydana gelmiş dolgu duvar hasarı örneği.	32
4.16:	Ağır yapısal hasar örneği; kısa kolon oluşmuş, dolgu duvarı olarak delikli tuğla kullanılmış.	32

5.1:	Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.	41
5.2:	Mevcut binalar için tanımlanan deprem performans düzeyleri.	42
5.3:	Sünek ve gevrek davranış, dayanım-şekil değiştirme grafiği.	43
5.4:	Tipik taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi.	45
5.5:	a)Yeni ve mevcut yapıların hesap ve değerlendirmesine ait beton Malzemesi grafiği, b) Çelik malzemesi gerilme-şekildeğiştirme grafiği.	46
5.6:	Betonarme kesitte Moment-Eğrilik ilişkisi.	48
5.7:	Eğilme rijitliği-eğilme momenti eğrisi.	49
5.8:	a) Betonarme çerçeve türü bir yapıda olması gereken mafsallaşma durumu, b) Betonarme çerçeve türü bir yapıda olmaması gereken mafsallaşma durumu.	51
5.9:	Tek serbestlik dereceli sistem.	52
5.10:	a) BLHM, b) RAHM, c) DAHM grafikleri.	53
5.11:	Tipik bir betonarme elemanda dayanım-yerdeğiştirme ilişkisi.	54
5.12:	Örnek itme eğrisi grafiği.	54
5.13:	Örnek modal kapasite diyagramı.	55
5.14:	$T_1 > T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirme hesabı.	56
5.15:	$T_1 < T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirme hesabı.	56
5.16:	Eşit Yerdeğiştirme Kuralı'na göre modal ölçeklendirme.	57
5.17:	TSD bir sistemin sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altında deplasman-zaman ilişkisi.	58
5.18:	TSD bir sistemde farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütme oranı.	59
5.19:	Rayleigh Sönüm Modeli için sönüm oranı-periyot ilişkisi.	60
6.1:	Afet riski oluşma süreci.	64
6.2:	Hasargörebilirlik hesaplama sırası şeması; a) Kapasite Eğrisi, b) Hasargörebilirlik Eğrisi, c) Hasar Olasılıkları Grafiği.	67
6.3:	Talep spektrumu-kapasite eğrisi kesiştirilmesi.	68
6.4:	Hasargörebilirlik olasılık eğrileri seviyeleri.	68
6.5:	Hasargörebilirlik eğrileri.	69
7.1:	Taşıyıcı sistem modeline ait fotoğraf.	79
7.2:	Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.	79
7.3:	Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.	80

7.4:	Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.	80
7.5:	Binadan alınmış karot numunelerini gösteren fotoğraflar.	80
7.6:	Örnek kat planı.	82
7.7:	Probina Orion programında oluşturulmuş 3D bina modeli görünümü.	83
7.8:	Sap2000 V15 programında oluşturulmuş 3D bina modeli görünümü.	84
7.9:	(+X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	86
7.10:	(-X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	86
7.11:	(+Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	87
7.12:	(-Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	87
7.13:	(+X) yönü itme analizi sonucu Görelî Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.	88
7.14:	(+Y) yönü itme analizi sonucu Görelî Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.	88
7.15:	(+X) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.	90
7.16:	(+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.	90
7.17:	(+X) ve (+Y) yönündeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.	91
7.18:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydeden istasyonlar.	92
7.19:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydetmeyen en yakın istasyon.	92
7.20:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaybeden ve ivme kayıtları dikkate alınan istasyon.	93
7.21:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydeden 4304 numaralı istasyon bilgileri.	93
7.22:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi kuzey-güney doğrultulu yer ivmesi kaydı grafiği.	94
7.23:	19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi doğu-batı doğrultulu yer ivmesi kaydı grafiği.	94
7.24:	Rayleigh Sönüm Modeli'ne göre tanımlanmış % 5'lik sönüm grafiği.	95
7.25:	Deprem etkisiyle plastikleşen ve mafsalları tanımlanan kesitler.	96
7.26:	(+X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	97
7.27:	(+Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.	97
7.28:	(+X) yönü itme analizi sonucu Görelî Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.	98

7.29: (+Y) yönü itme analizi sonucu Görelî Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.	98
7.30: (+X) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilîrlik eğrisi.	99
7.31: (+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilîrlik eğrisi.	99
7.32: (+X) ve (+Y) yönündeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilîrlik eğrisi.	100

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa:</u>
5.1: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.	39
5.2: Etkin yer ivmesi katsayısı.	40
5.3: Tasarım depremleri.	41
6.1: HAZUS-MH MR3'e göre, betonarme yapı tipleri.	70
6.2: Mühendislik hizmeti görmemiş (Pre Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.	71
6.3: Az mühendislik hizmeti görmüş (Low Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.	72
6.4: Orta seviyede mühendislik hizmeti görmüş (Moderate Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.	72
6.5: İyi seviyede mühendislik hizmeti görmüş (High Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.	73
6.6: Mühendislik hizmeti görmemiş (Pre Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.	74
6.7: Az mühendislik hizmeti görmüş (Low Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.	75
6.8: Orta seviyede mühendislik hizmeti görmüş (Moderate Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.	75
6.9: İyi seviyede mühendislik hizmeti görmüş (High Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.	76
7.1: Bina modeli hakkındaki bilgiler.	81
7.2: Bina modeline ait karot deney sonuçları.	81
7.3: Çatlamış kesit rijitlikleri atanmadan önceki analiz sonucu modal değerler.	85
7.4: Çatlamış kesit rijitlikleri atandıktan sonraki analiz sonucu modal değerler.	85
7.5: C1M, Low Code yapıya ait HAZUS görelî kat ötelemesi sınır değerleri.	89
7.6: CIM, Low Code yapıya ait HAZUS hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.	89

7.7:	CIM, Low Code yapıya ait HAZUS hasargörebilirlik kapasite eğrisi parametreleri.	89
7.8:	Depremden hasar görmemiş yapı modelinin kümülatif hasargörebilirlik olasılık eğrileri sonuçları.	101
7.9:	Depremden hasar görmüş yapı modelinin kümülatif hasargörebilirlik olasılık eğrileri sonuçları.	101
8.1:	Yapının (+X) deprem yönünde çıkarılmış kümülatif hasargörebilme ihtimalleri tablosu.	103
8.2:	Yapının (+Y) deprem yönünde çıkarılmış kümülatif hasargörebilme ihtimalleri tablosu.	103

1. GİRİŞ

Türkiye, aktif fay hatlarının bulunduğu deprem kuşağı üzerinde konumlanmış bir ülkedir. Depremlerin ne zaman, nasıl ve nerede olacağı kesin olarak bilinmemekle birlikte, bilimsel verilerle bu konuda araştırmalar ve tahminler yapılarak önceden önlem alınabilmektedir. Bu noktada, deprem ön hasar tahmini konusu gündeme gelmiştir. Hasargörebilirlik çalışmaları da, hasar tahmin çalışmalarının ilk aşamasını oluşturmaktadır.

Hasargörebilirlik analizleri, göz önüne alınan bölge için, yapılarda oluşacak hasar durumları ve can kayıpları tahmini hakkında önceden bilgi edinilmesini sağlar. Bu amaçla, son dönemde ülkemizde, gelecekte olma ihtimali yüksek depremler için, hasargörebilirlik olasılık eğrileri kullanılarak, kentsel hasar ve can kaybı tahmini çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Bir bölge, bir kent, hatta tek bir yapı için hasargörebilirlik analizleri yapılabilir.

Bu çalışmada, daha önce olmuş bir depremde hasar görmüş betonarme yapıların, ikinci bir depremde nasıl davranacağını ve hasar düzeyinin ne olacağını tahminin yapılması amaçlanmıştır. Daha önce bir depremde hasar görmüş, betonarme, orta katlı bir yapıya ait hasargörebilirlik eğrilerinin nasıl elde edildiği ve sonuçlarının nasıl değerlendirileceği konuları ele alınmıştır.

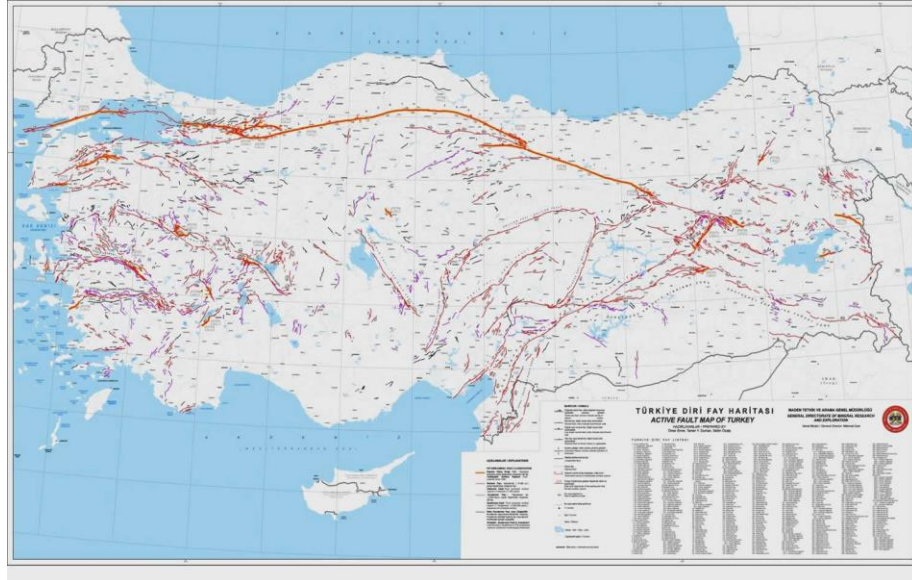
Çalışmada, 19 Mayıs 2011 tarihli Kütahya–Simav depreminde hasar görmüş, hakkında güçlendirme projesi yapılması istenmiş ve kullanımına devam edilmesi kararı verilmiş, orta katlı (4 katlı) bir bina örneği kullanılmıştır. Yapı modeli SAP2000 (2013) programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model oluşturulurken yapının gerçek projelerinde ve raporlarında yer alan malzeme özellikleri, taşıyıcı eleman özellikleri, yük kombinasyonları verileri dikkate alınmıştır.

Oluşturulan birinci modelde, hasar görmemiş yapı modeli itme analizine tabi tutulmuş, spektral yerdeğiştirmeleri hesap edilmiş, görelî kat ötelemeleri dikkate alınarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Oluşturulan ikinci modelde ise, yapıya deprem kuvveti etki ettirilerek hasar görmüş bina modeli elde edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılarak, tekrar itme analizine tabi tutulmuş ve depremden hasar görmüş binanın spektral yerdeğiştirmeleri hesap edilmiş, görelî kat ötelemeleri dikkate alınarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE BETONARME BİNALAR HAKKINDA YAPILMIŞ DEPREM HASAR TAHMİNİ ÇALIŞMALARI

Türkiye, yeryüzünün en aktif deprem kuşaklarından birisi olan, Akdeniz, Alp, Himalaya deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Alp sıradağları, Asya ile Avrupa kıtalarının birbirlerine göre göreceli hareketlerinin oluşturduğu sıkıştırıcı kuvvetlerin etkisiyle meydana gelmiştir. Benzer şekilde Himalayalar, Hindistan ile Asya kıtasının birleşmesi sonucunda oluşmuştur. Türkiye ise; Avrupa, Asya ve Afrika tektonik plakaları ile Ege ve Anadolu plakaları arasında yer almaktadır [Web 10, 2013]. Hazırlanmış son Türkiye diri fay hatları haritası Şekil 2.1'de gösterilmiştir [Web 1, 2013].

Son yıllarda meydana gelen büyük depremler, yapılarda çok şiddetli hasarlar meydana getirmiştir. Dolayısıyla kentsel hasar tahmini çalışmaları, kayıp tahminleri ve yapılarda güçlendirme konuları büyük önem kazanmıştır. Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması çalışmaları da, bu konuların en önemli aşamalarından biridir.



Şekil 2.1: Türkiye diri fay hatları haritası.

Literatürde yapılmış çalışmaların çoğu hasar tahmini çalışmalarıdır. Hasar tahmini çalışmalarının yapılabilmesi için, analizlerle elde edilmiş hasargörebilirlik eğrileri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların bir kısmı, hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması için gerekli ön bilgileri verme konusunda faydalıdır. Diğer kısmı ise, yapı veya yapılara ait hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak, hasar düzeyi belirleme çalışmalarıdır. Çoğu çalışmada, yapıya ait hasargörebilirlik eğrilerinin nasıl elde edildiği, yapı ikinci bir depreme maruz kalırsa nasıl davranacağı ve bu duruma göre elde edilecek hasargörebilirlik eğrilerinin nasıl kullanılacağı konuları ele alınmamıştır.

Hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması konusu ile alakalı çalışmalardan biri, 2005 yılında Kırçıl tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Artımsal Dinamik Analiz Yöntemi ile orta yükseklikteki betonarme binaların hasar olasılık eğrileri elde edilmiş ve performans seviyelerinin sınır değerleri tahmin edilmiştir. Çalışmada; 1975 tarihli deprem yönetmeliğine göre temsili, farklı kat sayıları için tasarlanmış binalar veri seti olarak kullanılmış ve İstanbul, Zeytinburnu ilçesi için üretilmiş suni deprem kayıtlarından yararlanılmıştır. Analizlerde, Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi kullanılmıştır [Kırçıl, 2005]. Bir diğer çalışma ise, 2007 yılında Tüzün ve Aydınoglu tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Bolu kent merkezinde bulunan ve 17 Kasım 1999 Düzce depreminde hasar görmemiş konut tipi betonarme binalardan oluşan, gerçek ve mevcut binalardan oluşan, bir veri seti kullanılmıştır. Seçilen yer hareketleri belirli bir ivme spektrumuna uyacak şekilde ölçeklendirilmiş, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz RUAUMOKO programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve binaların hakim periyotlarına karşılık gelen spektral ivme değerlerine göre spektrum eğrileri ve hasargörebilirlik ilişkileri elde edilmiştir. Park&Ang hasar indislerinden yararlanılarak hasar sınırları tanımlanmıştır [Tüzün ve Aydınoglu, 2007].

Hasar tahmini üzerine yapılan çalışmalar ise daha çoktur. Deprem hasargörebilirlik riskinin gözleme dayalı çalışmalarına bir örnek, Akbulut ve Aytuğ tarafından 2005 yılında yapılmıştır. Çalışmada değinildiği üzere, afet riskinin söz konusu olabilmesi için risk unsuru, tehlike ve hasargörebilirlik öğelerinin bir araya gelmesi şarttır. Bu çalışmaya göre, hasargörebilirliğin daha hızlı belirlenmesine yönelik gözlemsel çalışmalar, hasargörebilirlik çalışmalarının birinci aşamasını oluşturur. Değerlendirme yöntemi; ülkemizdeki yönetmelikler, standartlar ve mevcut

betonarme yapı stoğu göz önüne alınarak geliştirilmiştir. ‘*I. Kademe Değerlendirme*’ olarak isimlendirilmiş bu yöntem, hem basit hesaplamalar içermekte hem de kapsamlı, deneysel ve analitik incelemeye gerek duyulması durumunda, ikinci aşamaya yönelik olarak, mevcut yapı hakkında bilgiler (yapı kimlik bilgileri, taşıyıcı sistem özellikleri, yerleşim yeri özellikleri, korunma düzeyi vb.) aktarmaya yöneliktir [Akbulut ve Aytuğ, 2005]. Bir diğer çalışma ise; Şenel vd. tarafından 2007’de yapılmıştır. Bu çalışmada, Denizli’de 1975 yılından sonra inşa edilmiş ve 3-5 katlı betonarme binalardan oluşan veri tabanı kullanılmıştır. Kapasite Spektrumu [ATC, 1996] yöntemi ile binaların performansları belirlenmiş ve betonarme bina envanteri çıkarılarak hasar tahmini çalışması yapılmıştır [Şenel vd., 2007]. 2011 yılında Genes vd. tarafından yapılmış çalışmada ise, Antakya kent merkezinde 1997 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş, betonarme çerçeveli yapılar kullanılmıştır. Statik İtme Analizi Yöntemi ile bina performans seviyeleri tanımlanmış ve ileride yürütülecek çalışmalar için herhangi bir senaryo depreme göre elde edilecek hasar dağılım haritalarının hazırlanması için veri tabanı oluşturulmuştur [Genes vd., 2011].

3. ÜLKEMİZDE SON ONBEŞ YIL İÇİNDE MEYDANA GELMİŞ AĞIR HASARLI DEPREMLER, HASAR GÖREN BİNALAR ve HASAR NEDENLERİ

Son onbeş yıl içinde ülkemizde yaşanan depremler, yapılarda ağır hasarlar meydana getirmiştir. Bu hasarların sebepleri çeşitlidir. Taşıyıcı sistemlerin yanlış kurulması, zemin–yapı etkileşiminin dikkate alınmaması, yönetmeliklerdeki konstrüktif kurallara uyulmaması, taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim bölgelerindeki tasarım ve uygulama hataları, işçilik kalitesizliğinden kaynaklanan hatalar, malzeme kalitesizliğinden kaynaklanan hatalar, gerekli denetimlerin yapılmaması vb. başlıca hasar nedenleri olarak sayılabilir. Her yapıda meydana gelen hasar, farklı bölgelerde ve farklı nedenlerden dolayı ortaya çıkmaktadır.

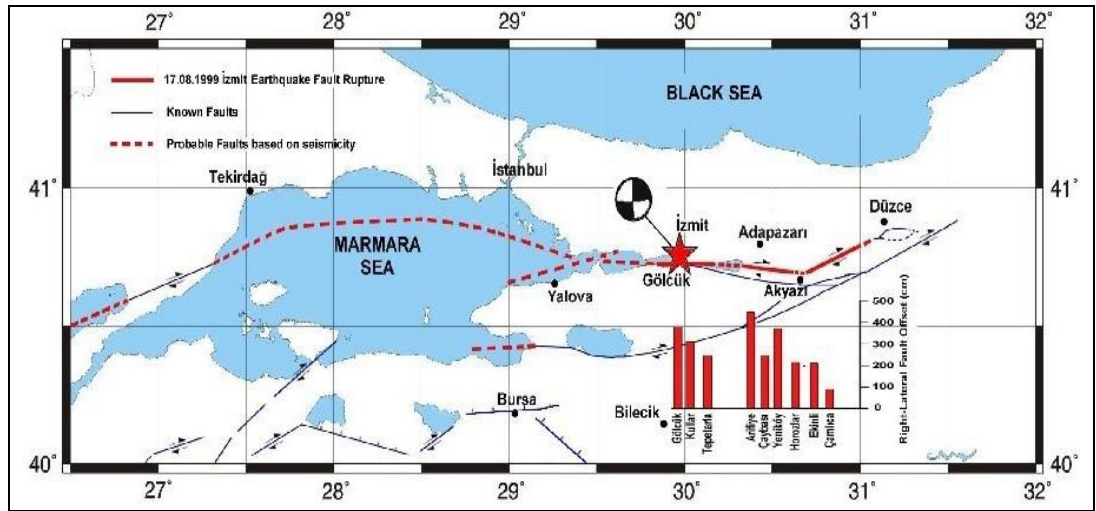
Yakın tarihte yaşanan; 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük Depremi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi, 2 Temmuz 2004 Doğubayazıt (Ağrı) Depremi, 8 Mart 2010 Elazığ (Başyurt–Karakoçan) Depremi, 23 Ekim 2011 Van Depremi, 19 Kasım 2011 Van–Edremit Depremi ve 19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi, ülkemizdeki yapılarda ağır hasarlara, birçok insanın da can ve mal kaybına sebebiyet vermiş afetlerdir. Bu durum ülkemizi sosyo-ekonomik bir çıkmaza sokmuştur.

Depremlerden sonra yapılmış olan hasar tespit çalışmalarının sonucunda, daha önce belirtilen hasar nedenlerinin hemen hemen hepsinin bu bölgelerdeki yapılarda mevcut olduğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, bu depremler ve yapılarda gözlemlenmiş hasar nedenleri teker teker ele alınmıştır.

3.1. 17 Ağustos Kocaeli-Gölcük ve 12 Kasım Düzce Depremleri, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

17 Ağustos 1999 tarihinde Gölcük'te, $M_w=7.4$ büyüklüğünde meydana gelen deprem Marmara Bölgesi başta olmak üzere, Ankara ve İzmir'e kadar uzanan bir bölgede, Türkiye'nin geniş bir alanında hissedilmiştir. Ancak Kocaeli, Adapazarı, Gölcük, Yalova ve çevrelerinde büyük çapta can kaybı ve hasara neden olmuştur. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde Gölcük-Sapanca, Sapanca-Akyazı, Akyazı-Gölkaya segmentleri kırılmıştır.

12 Kasım 1999 tarihinde Düzce'de, $M_w=7.1$ büyüklüğünde ikinci bir deprem olmuştur. Bu deprem, Marmara Depremi'nin kırılan segmentinin doğu ucundaki Düzce Fayı olarak bilinen, daha doğuda devam eden segmentini tetiklemesi sonucu, yani Düzce Fayı'nın yeniden kırılması sonucu oluşmuştur [Web 5, 2013]. Şekil 3.1'de 17 Ağustos Düzce Depremi'nin ve Şekil 3.2'de 12 Kasım Gölcük Depremi'nin merkezüssü haritaları, Şekil 3.3'te de 17 Ağustos Düzce Depremi'nin etki alanı haritası verilmiştir [Web 3, 2013 ve Web 4, 2013].



Şekil 3.1: 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük Depremi'nin merkezüssü haritası.

- Betonarme taşıyıcı sistemlerin düzensiz olması,
- Betonarme elemanların tasarımında konstrüktif kurallara uyulmaması,
- Kalitesiz yapı malzemesi seçimi ve imalat hataları,
- Taşıyıcı eleman birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmaması, hatta bazı birleşimlerde hiç etriye kullanılmaması,
- Donatı kenetlenme boylarının yeterli olmaması,
- Sağlam olmayan zeminlerde yapılaşma,
- Zemine uygun, yapıyı taşıyacak temellerin doğru olarak tasarlanmaması,
- Bilinçsiz kişilerce, sonradan, binalar içinde yapılan tadilatlar.

Deprem sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarında tespit edilmiş hasar nedenleri, çekilmiş fotoğraflarla daha açık ve net bir şekilde aşağıdaki bölümlerde ifade edilmeye çalışılmıştır [Web 2, 2013].

Şekil 3.4'teki fotoğrafta görülen yapı, bitişik nizam bloklardan oluşan bir sırada, blok başında bulunmaktadır. Binanın bodrum katı bulunmamaktadır. Cephesi çok dar ve yüksekliği ise çok fazla olduğundan, çekiçleme etkisi ile devrilmeye maruz kalmıştır.



Şekil 3.4: Çekiçleme etkisiyle devrilmeye maruz kalmış yapı örneği.

Şekil 3.5'teki fotoğrafta görüldüğü üzere; kolonların uç birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmaları yapılmamış, yönetmeliklerdeki kurallara göre kıvrılmayarak betona gömülmemiş, etriyeler açılarak dağılmış ve betonda ezilme meydana gelmiştir. Kolon boyuna donatıları deprem kuvvetlerini, basınç bölgesinde taşıma gücü sınırına ulaşarak karşılamış, etriye sıklaştırılmaması nedeniyle, kolonlar büyük kesme kuvvetlerini karşılamış ve donatılarda burkulma meydana gelmiştir.



Şekil 3.5: Boyuna donatılarında burkulma ve betonda ezilme meydana gelmiş kolonlar.

Aşağıdaki Şekil 3.6'daki fotoğraflarda ise; asma kat hizasında yapılmış olan yatay konstrüktif kirişin oluşturduğu kısa kolon etkisi görülmektedir. Kolon kesitleri zaten zayıf tasarlanmışken, alt ve üst birleşim bölgelerinde de etriye sıklaştırmaları yapılmamış, dolayısıyla donatılar akarak burkulmuştur.



Şekil 3.6: Yetersiz sargı donatısından kaynaklanan kayma hasarı örneği. Kısa kolon etkisi ile kayma hasarının etkisi artmıştır.

Şekil 3.7’de, yumuşak kat etkisiyle o katta meydana gelmiş olan göçme görülmektedir. Zemin katları dükkan, üst katları ise konut olarak inşa edilmiş olan yapılarda daha çok rastlanan bu durumda, zemindeki yumuşak kat etkisi ile deprem kuvvetlerinden doğan enerji, bu katta sönümlenir. Dolayısıyla, zemin kattaki kolonların karşıladığı kesme kuvveti çok büyük olur, kolon uçlarında büyük dönmeler meydana gelir, sonunda da o kat veya bina göçer.



Şekil 3.7: Yumuşak kat etkisi ile yıkılmış bina örneği.

Şekil 3.8'deki örnekte; bitişik nizam olarak inşa edilen yapılarda bırakılması gereken dilatasyon derzinin bırakılmaması sonucu, yapıda meydana gelen çekiçleme etkisinden doğan hasar görülmektedir. Ayrıca zemin kattaki kolonlar aynı yönlü seçilerek tasarlanmış, dolayısıyla zayıf kat oluşmuş ve zemin katta göçme meydana gelmiştir.



Şekil 3.8: Yetersiz dilatasyon derzinin yapılması sebebiyle yapıda meydana gelmiş çekiçleme etkisi ile oluşmuş çökme örneği.

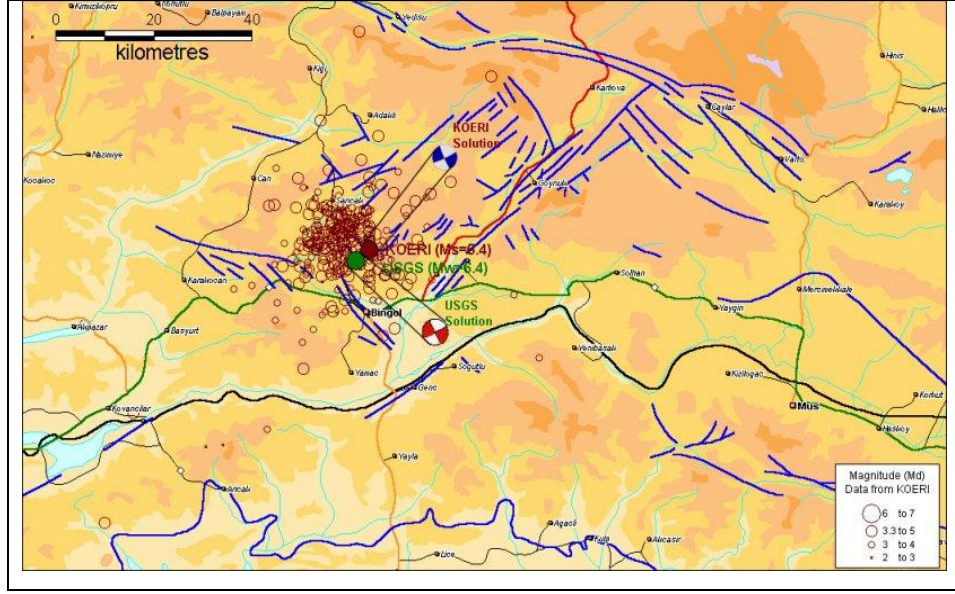
Şekil 3.9’da; beton kalitesinin düşüklüğü, standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı ve işçilik kusurları nedeni ile oluşmuş hasar örneği mevcuttur.



Şekil 3.9: Standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı ve işçilik kusurları nedeni ile meydana gelmiş hasar örneği.

3.2. 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

1 Mayıs 2003 tarihinde Bingöl’de, $M_w=6.4$ büyüklüğünde meydana gelen deprem çok ağır hasarlara neden olmuştur. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü’nün verilerine göre deprem, Bingöl ilinin kuzey–kuzeybatısında yaklaşık 14 km uzaklıkta gerçekleşmiştir. Şekil 3.10’da depremin merkezüstü haritası verilmiştir [Web 6, 2013]. Deprem, 176 can kaybına ve 521 kişinin yaralanmasına sebebiyet vermiştir. 570 konut tamamen yıkılmış ve yaklaşık 6000 konut ağır hasara uğramıştır.



Şekil 3.10: 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi'nin merkezüssü haritası.

Deprem sonrası yapılmış hasar tespit çalışmalarının gösterdiği gibi, bu depremden sonra yapılan çalışmalar da göstermiştir ki; bölgede yapılan inşaatların tasarımında ve imalatında deprem bölgelerinde yapılacak yapıların sağlaması gereken konstrüktif kurallara uyulmamış, kötü zemin koşullarında, kalitesiz ve eksik malzeme kullanılarak imalatlar yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.11 ve 3.12'de bu hasarlara örnekler mevcuttur [Kalafat vd., 2003].



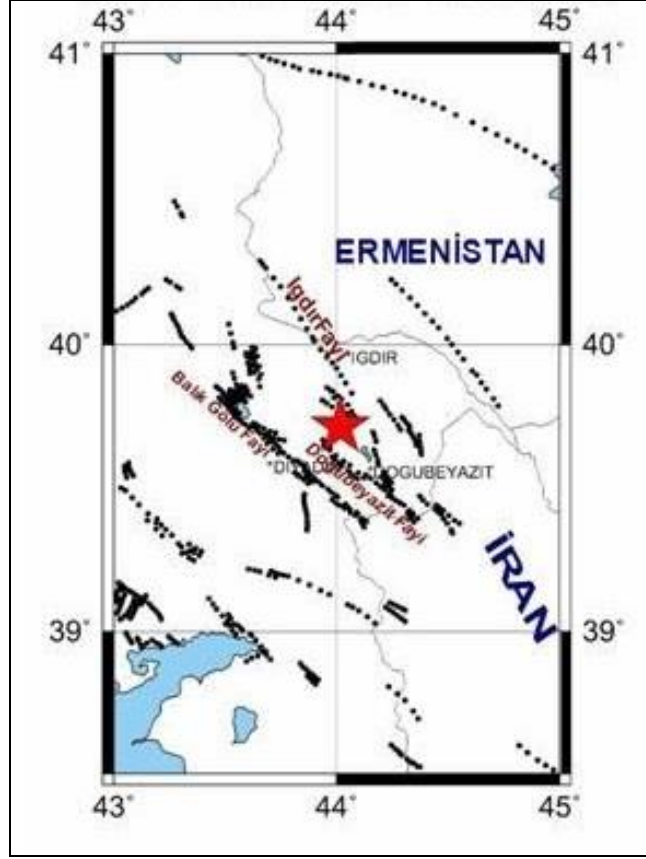
Şekil 3.11: Taşıyıcı duvarda meydana gelmiş kesme çatlakları örneği.



Şekil 3.12: Kolonda meydana gelmiş kesme hasarı örneği.

3.3. 2 Temmuz 2004 Ağrı-Doğubayazıt Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

2 Temmuz 2004 tarihinde, Doğubayazıt (Ağrı)'da meydana gelen deprem, $M_w=5.0$ büyüklüğünde bir depremdir. Depremin dış merkezi Doğubayazıt-Iğdır arasındadır. En yakın yerleşim birimleri Bozyayla, Bardaklı, Karabulak ve Sazoba'dır. Şekil 3.13'te depremin merkezüstü haritası gösterilmiştir [Web 7, 2013]. Deprem sonrası, kesin olmamakla birlikte, 18 kişi ölmüş, 32 kişi yaralanmıştır. Yaklaşık 1000 bina hasar görmüştür.



Şekil 3.13: 2 Temmuz 2004 Doğubayazıt (Ağrı) Depremi'nin merkezüssü haritası.

Binaların $M_w=5.0$ büyüklüğünde bir depremde ağır hasar görmesinin ve bazılarının yıkılmasının bilinen nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Zeminin hakim titreşim periyodu ile yapıların birinci titreşim periyotları çakışmıştır.
- Taşıyıcı duvar yapımında kullanılan doğal taşlar, yönetmelik standartlarına uygun değildir. Dolu beton briket yerine boşluklu cürüflü briket kullanılmıştır.
- Taşıyıcı duvarlarda bağlayıcı yapı malzemesi olarak çamur harcı ve çimento harcı kullanılmıştır. Bu da olması gereken mukavemeti sağlamamıştır.
- Taşlarla örülü yığma yapıların temelleri, yönetmelik esaslarına uygun taşıyıcı duvar altında bulunması gereken betonarme sürekli temel olarak yapılmamıştır.
- İmalat sırasında depreme dayanıklı yapıların yapım kurallarına uyulmamıştır.

Şekil 3.14'te, bu depremden hasar görmüş bina örnekleri mevcuttur[Tapan vd., 2005].

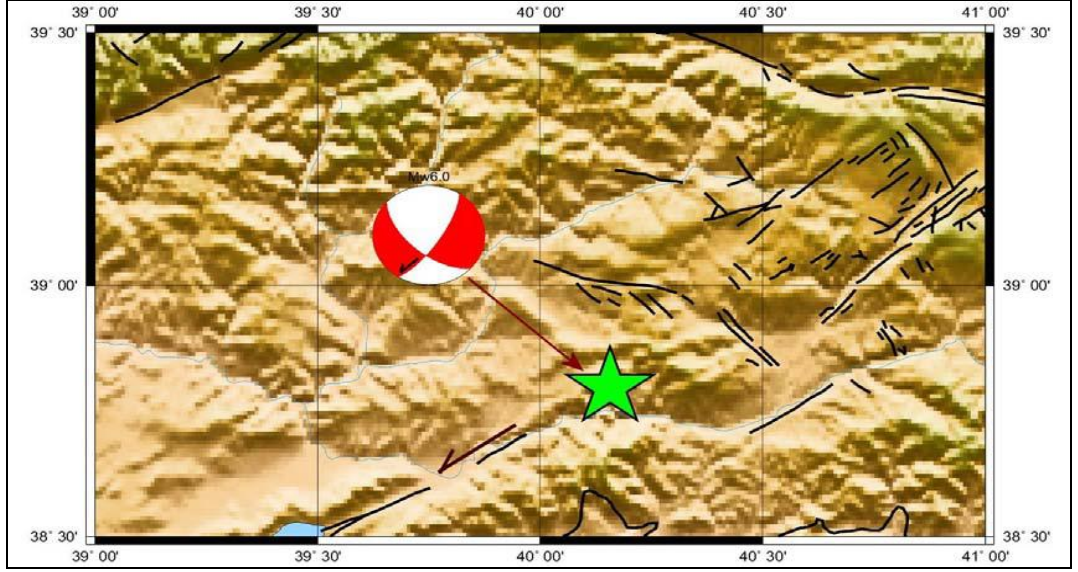


Şekil 3.14: a) Köşe duvarlarda oluşmuş kesme çatlakları, b) Duvar köşelerinden hasar alarak yıkılmış yapı örneği görülmektedir.

3.4. 8 Mart 2010 Elazığ (Başyurt–Karakoçan) Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

8 Mart 2010 tarihinde Elazığ (Başyurt–Karakoçan)’da, $M_f=6.0$ büyüklüğünde ve $I_0=VII$ şiddetinde olan bir deprem meydana gelmiştir. Deprem 5 km derinlikte olduğundan, sığ odaklı bir depremdir. Kuvvetlice hissedilen bölgeler; Kovancılar–Başyurt-Karakoçan-Gökdere’de ve Elazığ’dır. Diyarbakır ve civarında da hafif şiddette hissedilmiştir. Şekil 3.15’teki haritada faylanma şekli ve depremin merkezüstü gösterilmiştir [Kalafat vd., 2010].

Deprem; 42 kişinin ölümüyle, 137 kişinin yaralanmasıyla sonuçlanmıştır. 3854 konut az hasar, 1561 konut orta derecede hasar, 3007 konut ağır hasar görmüştür. 485 işyeri az hasar, 158 işyeri orta derecede hasar, 234 işyeri ise ağır hasar görmüştür. Ayrıca 4814 ahır hasar görmüş, bir çok hayvan telef olmuştur [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.15: 8 Mart 2010 Elazığ Depremi'nin merkezüssü ve faylanma şekli haritası.

Bölgedeki yapı stoğu incelendiğinde, binaların büyük kısmının kerpiçten imal edildiği tespit edilmiştir. Şekil 3.16 ve 3.17'de, genellikle tüm yapılarda mevcut olan bir kusur görülmektedir. Kat döşemelerinin inşası mesnet bölgelerinde gerektiği gibi yapılmadığından, döşemeler birleşim bölgelerinde kayıcı mesnet gibi davranmış ve rijit diyafram oluşturmayarak yatay kuvvetleri taşıyıcı elemanlara iletememiştir [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.16: İki katlı kerpiç evde döşemelerde mesnetlenme hatası sonucu meydana gelmiş hasar örneği.

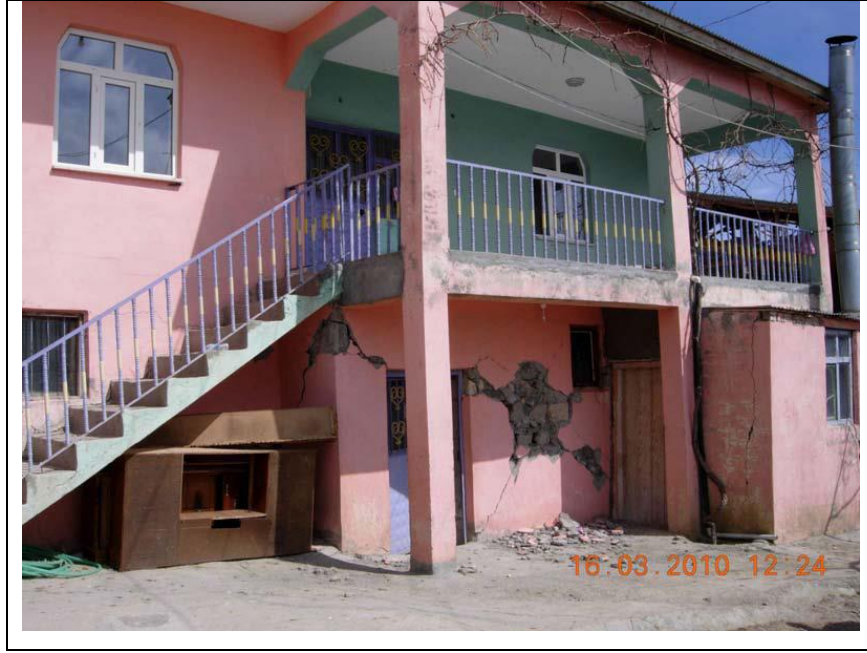


Şekil 3.17: Büyük bölümü yıkılmış iki katlı kerpiç ev örneği.

Daha yakın tarihlerde yapılmış binalar karma taşıyıcı sisteme sahiptir. Şekil 3.18 ve 3.19'daki fotoğraflarda görüldüğü gibi; boşluklu tuğla duvarlar üstüne mesnetlenmiş betonarme kiriş ve döşemelerden oluşan taşıyıcı sistemler inşa edilmiştir [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.18: Karma taşıyıcı sistemi olan iki katlı ev örneği.



Şekil 3.19: Karma taşıyıcı sistemi olan iki katlı ev örneği.

Alt katları üst katlara göre daha alçak olan ve hayvan barınağı olarak kullanılan 2-3 katlı evlerde, zemin katta yumuşak kat mekanizması oluşmuş ve bu katta göçme hasarı meydana gelmiştir. Şekil 3.20’de buna bir örnek görülmektedir [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.20: Yumuşak kat mekanizması oluşmuş yapı örneği.

Yapılan binalarda; duvar boyunun çok uzun olması, iç ve dış duvarlarda farklı malzeme kullanılması, döşemelerdeki mesnetlenme hataları yüzünden rijit diyafram oluşturulmaması, duvar imalatlarında yuvarlak taşlar kullanılarak kenetlenmenin tam sağlanamaması sebeplerinden dolayı, duvarlarda düzlem dışı yıkılmalar görülmüştür. Şekil 3.21 ve 3.22’de, düzlem dışı davranan taş duvarların yıkılmış olduğu bina örnekleri mevcuttur [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.21: a) Tek katlı binada duvarın düzlem dışı yıkılması örneği, sol yan görünüş, b) Düzlem dışı göçme ön görünüş.



Şekil 3.22: a) Rijit diyafram sağlanamamasından oluşmuş düzlem dışı göçme örneği, sol yan görünüş, b) Düzlem dışı göçme ön görünüş.

2003 Bingöl Depremi’nden sonra, bölgede az sayıda betonarme bina yapılmıştır. Bu binaların bir kısmı afet konutu, diğerleri şahsi konut olarak kullanılmaktadır. Bu konutların birçoğunda hasar oluşmamıştır. Fakat suya dolgun

zemin üzerine inşa edilmiş olan yapılarda, zeminde farklı oturmalar sonucu oluşmuş çatlaklar gözlenmiştir. Şekil 3.23 buna bir örnektir [Kalafat vd., 2010].



Şekil 3.23: Bir yapının temelinde farklı oturmalar sonucu oluşmuş çatlak örneği.

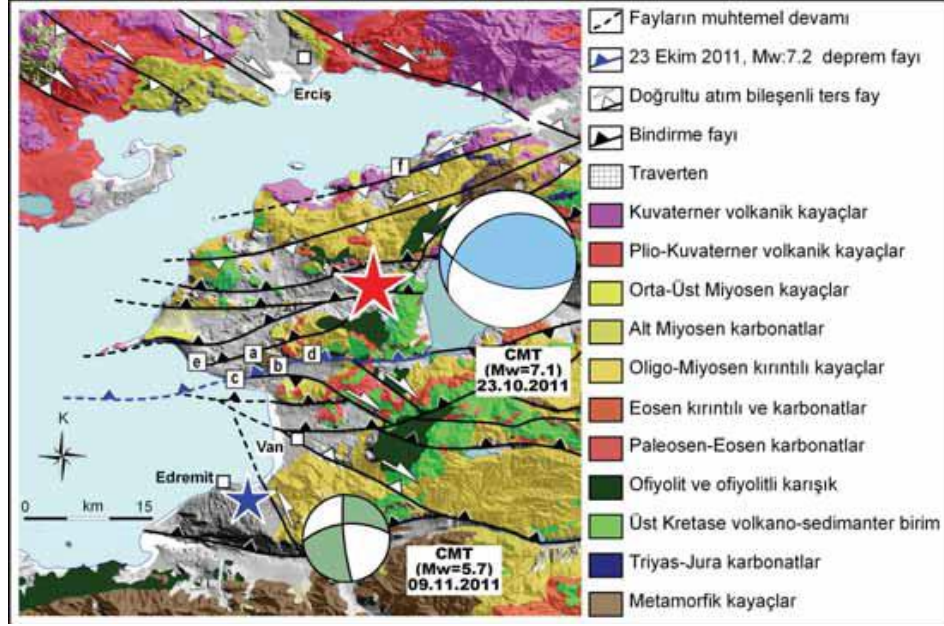
4. HERHANGİ BİR DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ BİNALARIN İKİNCİ BİR DEPREMDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ülkemizde, 2011 yılında ard arda ve aynı bölgede yaşanan depremler mühendislik açısından yeni bir kavramı doğurmuştur. Herhangi bir depreme maruz kalmış, fakat çok ağır hasarlar almamış ve deprem sonrası kullanımına devam edilebilen yapıların ikinci bir depreme maruz kaldıklarında hasar seviyelerinin ne duruma geleceği sorusu gündeme gelmiştir. Hasar tahmini çalışmaları önem kazanmış ve bu konuda araştırmalara başlanmıştır.

23 Ekim 2011 Van Depremi bölgesi ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi bölgesi bilim adamlarına doğal bir araştırma ve gözlem laboratuvarı ortamı oluşturmuştur. Aşağıdaki bölümde, ard arda ve aynı bölgede meydana gelen bu depremlerin yapılarda sebep olduğu hasarlara ve nedenlerine değinilmiştir.

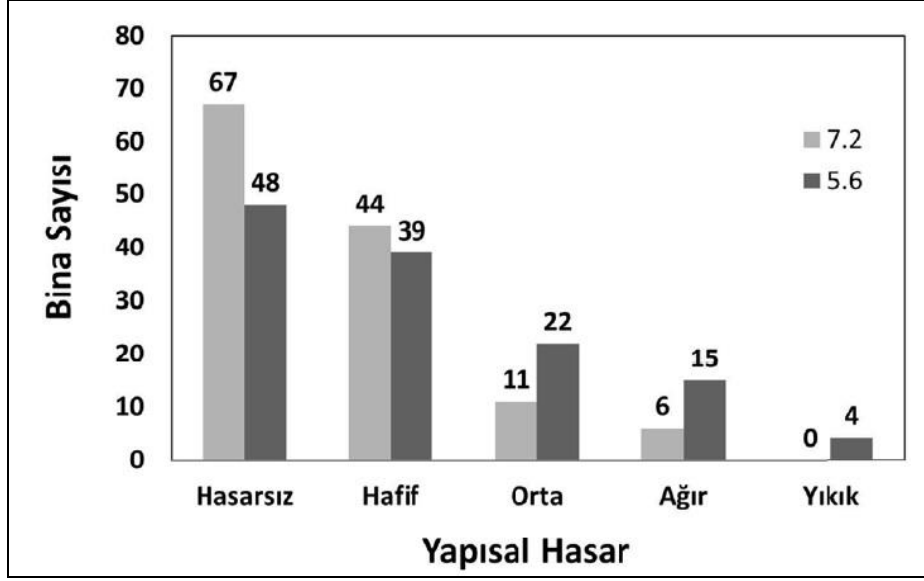
4.1. 23 Ekim 2011 Van Depremi ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen Van Depremi'nin büyüklüğü, $M_w=7.2$ 'dir. Ülkemizde gerçekleşen büyük depremler arasındadır ve Van il merkezi ile özellikle Erciş ve civar köylerdeki yapılarda ağır hasarlara yol açmıştır. 9 Kasım 2011'de ise Van-Edremit'te, büyüklüğü $M_w=5.6$ olan başka bir deprem meydana gelmiştir. Bu depreme sebebiyet veren fay mekanizması, 23 Ekim 2011 Van Depremi'ni doğuran faydan farklı bir fay mekanizmasıdır. 23 Ekim'deki ana şok ve onun artçı şoklarından tamamen farklı olan, ana şok tarafından tetiklendiği düşünülen bir depremdir. 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi, büyük can ve mal kayıplarına sebebiyet vermiştir. Şekil 4.1'de depremlerin merkezüssü haritaları gösterilmiştir. Şekilde, Van Depremi merkezüssü kırmızı yıldız ile, Van-Edremit Depremi merkezüssü ise mavi yıldız ile gösterilmiştir [Özacar vd., 2011].

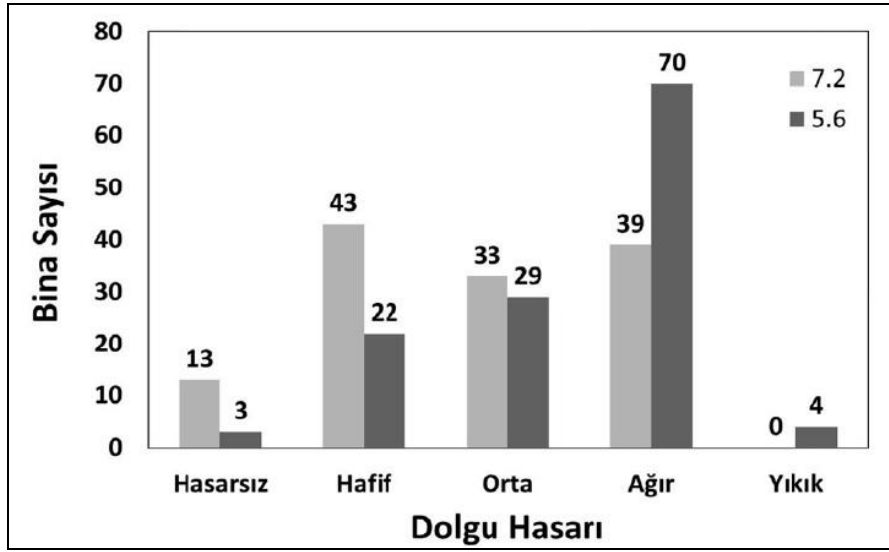


Şekil 4.1: 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van–Edremit depremlerinin basitleştirilmiş jeolojik haritası.

Çok yakın bir zaman aralığında ard arda meydana gelen birbirinden farklı bu iki deprem, yapılar üzerinde birikimli etkiler yapmıştır. Dolayısıyla ilk depremde az hasar görmüş olan yapılar, ikinci deprem sonrası ağır hasar görmüşlerdir. Binaların birçoğu 1999 Deprem Yönetmeliği'nden önce inşa edilmiş olmasına rağmen, daha sonra inşa edilen yapılarda da ağır hasarlar görülmüştür. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin raporuna göre incelenen 128 binaya ait hasar dağılım grafikleri Şekil 4.2 ve 4.3'te verilmiştir [Akkar vd., 2011].



Şekil 4.2: Van il merkezinde incelenen binalarda oluşmuş yapısal hasarın bina sayısına oranla dağılımını gösteren grafik.



Şekil 4.3: Van il merkezinde incelenen binalarda oluşmuş dolgu duvar hasarının bina sayısına oranla dağılımını gösteren grafik.

Yapılan incelemeler sonucu tespit edilen bazı hasar nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yapıların büyük bir çoğunluğu 1999 Deprem Yönetmeliği'nden önce inşa edilmiştir.
- Taşıyıcı sistemler yanlış kurulmuştur.

- Tasarım aşamasında ve imalatta zemin–yapı etkileşimi dikkate alınmamıştır.
- Yönetmeliklerde uyulması gereken konstrüktif kurallara uyulmamıştır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim bölgelerinde tasarım ve uygulama hataları yapılmıştır, detaylandırmalar yetersizdir.
- İşçilik hataları söz konusudur.
- Kalitesiz malzeme kullanılmıştır.
- Gerekli denetimler yapılmamıştır.
- Yumuşak kat mekanizması oluşturulmuştur.
- Zayıf kat mekanizması oluşturulmuştur.
- Kısa kolon mekanizması oluşturulmuştur.
- Zayıf kolon–güçlü kiriş sistemi yapılmıştır.
- Binalarda ağır çıkmalar yapılmıştır.
- Yapılarda yanal rijitlikler zayıftır.
- Dolgu duvar hasarları oluşmuştur.

Şekil 4.4’te görüldüğü üzere; genellikle orta katlı (4-7) inşa edilmiş, kalitesiz beton ve donatı çeliği kullanılmış, yeterli etriye sıklaştırması yapılmamış, taşıyıcı elemanların inşaat bitiminden sonra kesildiği, üst katların kaçak inşa edildiği yapılar tamamen göçmüştür [Özacar vd., 2011].



Şekil 4.4: 23 Ekim 2011 Van Depremi, tamamen göçmüş bina örnekleri.

Taşıyıcı sistemde yanal rijitliği sağlayacak perdelerin olmaması, kirişlerin kolonlardan daha güçlü olması ve dolayısıyla plastik mafsalların kolonlarda oluşması sebebi ile yanal ötelenme istemi karşılanamamış, yumuşak kat mekanizması oluşmuş ve binalar üst üste yığılarak göçmüştür. Şekil 4.5 bu duruma bir örnektir [Özacar vd., 2011].



Şekil 4.5: a) 23 Ekim 2011 Van Depremi, katların üst üste yığılması sonucu yıkılmış 3 katlı bina, b) Katların üst üste yığılması sonucu yıkılmış 4 katlı bina

Binaların zemin katlarının diğer katlara göre daha yüksek inşa edilmesi ve üst katlarda kaçak katlar imalatı yapılmış olmasından dolayı yapılarda yumuşak kat mekanizması oluşturulmuştur. Şekil 4.6 ve 4.7’de bu duruma örnek hasar fotoğrafları görülmektedir [Özacar vd., 2011].



Şekil 4.6: a)) 23 Ekim 2011 Van Depremi, yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 3 katlı bina, b) Yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 5 katlı bina.



Şekil 4.7: a) 23 Ekim 2011 Van Depremi, yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 3 katlı bina, b) Yumuşak kat düzensizliği nedeniyle yıkılmış 2 katlı bina.

Aşağıdaki şekillerde hem 23 Ekim 2011 hem de 19 Kasım 2011 tarihlerindeki depremler sonrası, her iki depremden de hasar görmüş binalara ait gözlem fotoğrafları mevcuttur; Şekil 4.8, 4.9, 4.10 [Akkar vd., 2011].

Yapısal Dolgu Duvar	Hasar Durumu	
	23 Ekim 2011 sonrası	9 Kasım 2011 sonrası
	Ağır	Yıkık
Ağır	Yıkık	
Bina Fotoğrafı	Hasar Fotoğrafları	
		
		

Şekil 4.8: 23 Ekim–9 Kasım 2011 Van-Edremit depremleri, bina hasar örneği.

Yapısal Dolgu Duvar	Hasar Durumu	
	23 Ekim 2011 sonrası	9 Kasım 2011 sonrası
	Orta	Yıkık
	Ağır	Yıkık
Bina Fotoğrafı	Hasar Fotoğrafları	
		
		

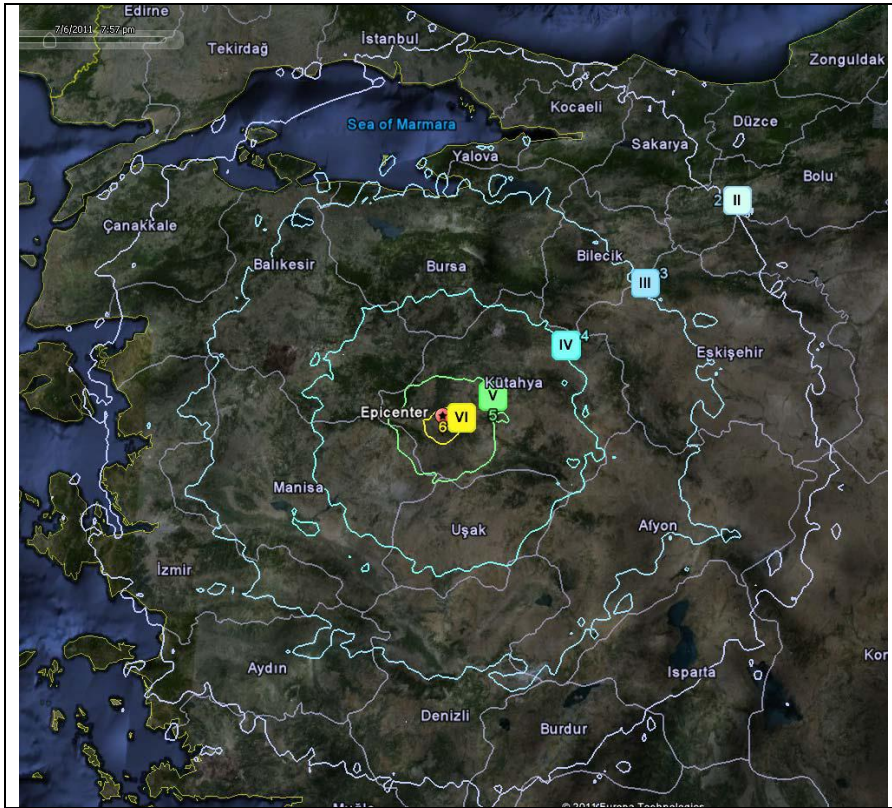
Şekil 4.9: 23 Ekim–9 Kasım 2011 Van-Edremit depremleri, bina hasar örneği.

Yapısal Dolgu Duvar	Hasar Durumu	
	23 Ekim 2011 sonrası	9 Kasım 2011 sonrası
	Ağır	Ağır
	Hafif	Ağır
Bina Fotoğrafı	Hasar Fotoğrafları	
		
		

Şekil 4.10: Bina hasarı, 23 Ekim–9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi.

4.2. 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi, Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar ve Hasar Nedenleri

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya-Simav’da, büyüklüğü $M_w=5.7$, şiddeti $I_0=VI-VII$, derinliği ise 8.0 km olarak belirlenen bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Ege ve Marmara bölgelerinde hissedilmiştir. Depremin etkili olduğu alana ait harita Şekil 4.11’de verilmiştir [Zülfikar vd., 2011].



Şekil 4.11: Depremin etkili olduğu alan.

Deprem sonrası kesin olmamakla birlikte; 2 kişi hayatını kaybetmiş, 122 kişi de yaralanmıştır. Toplamda 272 bina (bina, konut, işyeri, depo) yıkılmış, 3745 bina ağır hasar görmüş, 2100 bina orta hasar görmüş, 15065 bina az hasar görmüş ve 18114 bina da depremi hasarsız atlattır. Bunun yanında birçok ahır ve samanlık da zarara uğramıştır.

Simav’daki yapıların birçoğu 1970–1990 yılları arasında, depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına uyulmadan inşa edilmiş, orta katlı binalardan oluşmaktadır. Birçok yapıda kalitesiz malzeme kullanımı ve kalitesiz işçilik, sonradan ilave edilmiş

çatı katları, zemin kat yüksekliği artırılarak neden olunmuş yumuşak kat mekanizması, konsol olarak çalışan geniş balkon döşemeleri imalatı, farklı taşıyıcı sisteme sahip ve kat hizaları farklı olan bitişik nizam inşalar söz konusudur. Bölgede az sayıda da olsa 2000 yılından sonra inşa edilmiş yeni yapılar mevcuttur. Bunların yanı sıra yığma binalar da çok sayıda inşa edilmiştir.

Depremden sonra orta katlı (4–7) binaların yarısından fazlası hafif ve orta derecede yapısal hasara uğramıştır. Özellikle dolgu duvarlarda kılcal veya geniş çatlaklar, bölgesel yıkımlar oluşmuştur. Birçok yapıda, özellikle betonarme taşıyıcı elemanlarda çatlaklar oluşmuş, paspayları dökülmüş, donatılar burkulmuştur. Kolon–kiriş birleşim yerlerinde gerekli detaylandırma yapılmamış, etriye sıklaştırması ve imalatı gerektiği şekilde uygulanmamış, dolayısıyla depremden sonra betonda sıyrılma olduğu gözlemlenmiştir. Betonarme taşıyıcı elemanların kesitleri ve donatıları yetersizdir. Beton kalitesi ise çok düşüktür. Zeminde ise yeraltı suyu seviyesi yüksektir ve zemin taşıma kapasitesi düşüktür.

Aşağıdaki şekillerde gözlemlenen hasarlara ait örnek bina fotoğrafları mevcuttur, Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 [Zülfikar vd., 2011].



Şekil 4.12: Depremden sonra yıkılmış bitişik nizam bir bina örneği.



a)

b)

Şekil 4.13: a) Yıkılan binanın güneydoğu yönündeki köşe kolonundaki hasar, b) Yıkılan binanın zemin kat güneybatı yönündeki köşe kolonlarındaki hasar.



a)

b)

Şekil 4.14: a) Yıkılan binanın kuzeybatı köşe kolonu, b) Yıkılan binanın zemin kat kuzeybatı köşe kolon–kiriş birleşim bölgesindeki hasar.



a)

b)

Şekil 4.15: a) 3 katlı binada meydana gelmiş dolgu duvar hasarı örneği, b) 7 katlı binada meydana gelmiş dolgu duvar hasarı örneği.



Şekil 4.16: Ağır yapısal hasar örneği; kısa kolon oluşmuş, dolgu duvarı olarak delikli tuğla kullanılmış.

5.BETONARME BİNALAR İÇİN PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI

Geçmiş yıllarda meydana gelen depremler büyük can ve mal kayıplarının yaşanmasına sebep olmuştur. Birçok yapıda ağır hasar ve göçme meydana gelmesinin en önemli sebeplerinden biri; binaların çok eski yıllarda yapılmış olmasının yanında, hangi yılda yapılmış olursa olsun deprem etkilerinin dikkate alınmadan tasarlanmış ve imalatlarının da özensiz yapılmış olmasıdır. Dolayısıyla mevcut binaların hemen hemen hepsi deprem açısından yeterli dayanıma sahip değildir. Bu yüzden diğer ülkelerle birlikte ülkemizde de, Deprem Mühendisliği'nde yeni gelişmeler olmuş, yeni kavramlar türemiş, '*Performansa Dayalı Tasarım*' kavramı geliştirilmiş, '*Mevcut Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi*' konusu gündeme gelmiş ve bu kavramları içeren, tasarım ve imalatta da uygulanması zorunlu olan yönetmelikler yayımlanmıştır. Performansa Dayalı Tasarım yöntemi, öncelikli olarak mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiş, daha sonra yeni binaların tasarımında da kullanılması için düzenlenmiştir.

Yeni yapılacak binalar için ve mevcut binalar için yapılacak olan performans analizi, doğrusal olan ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapılabilmektedir. Bu yöntemler şu şekildedir [DBYBHY, 2007]:

- Doğrusal olan hesap yöntemleri:

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi

- Doğrusal olmayan hesap yöntemleri:

- Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi Prosedürü
- Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi Prosedürü
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Performansa Dayalı Tasarım yönteminde, hem yeni yapılacak olan yapıların tasarımında farklı performans seviyelerinin dikkate alınması hem de mevcut binaların

depremlere karşı güvenilirliklerinin tespit edilmesi, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

5.1. Deprem Mühendisliğinde Performansa Dayalı Tasarım Kavramının Tarihi Gelişimi

Bilim dünyasında Deprem Mühendisliği alanındaki tasarım felsefeleri her geçen gün geliştirilmiş, kullanılan yönetmelikler yıldan yıla yeni gelişmeler ışığında değiştirilmiştir. Son dönemde '*Performansa Dayalı Tasarım İlkeleri*' konusu gündeme gelmiştir.

Performans kelimesi, dilimize Fransızca'dan geçmiş, aslı '*Performance*' olarak kullanılan, isim soylu bir kelimedir. Dilimizde; başarganlık, herhangi bir işi yapmada gösterilen başarı, güç, ortaya konulan en iyi sonuç manalarında kullanılmaktadır. Deprem Mühendisliği literatüründe ise performans; belirli bir deprem etkisi altında, yapıda oluşabilecek hasarların düzeyine ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu olarak tanımlanabilir [Sucuoğlu, 2006].

Yapı mühendisliğinin tarihi gelişimine, ilk defa 1908 tarihinde İtalya'da meydana gelen Messina Depremi sonucu yapılarda meydana gelen hasarlar ve can kayıpları ön ayak olmuştur. Depremden sonra İtalya hükümeti tarafından kurulan komitenin yazdığı raporda, ilk defa bina tasarımında deprem yüklerinden bahsedilmiştir [Web 8, 2013]. Raporda, deprem yüklerinin yapı ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanması ilkesi ortaya atılmıştır. Bu metot, '*Eşdeğer Statik Yük Yöntemi*' olarak geliştirilmiştir ve günümüzde halen uygulanmaktadır.

İlk resmî deprem şartnamesi, 1923 Büyük Kanto Depremi'nden sonra Japonya'da yürürlüğe girmiştir. 1933 Long Beach (Los Angeles-Kaliforniya) Depremi'nden sonra ise, ABD'de yapılan çalışmalar sonucu '*Sünek Davranış*' ve '*Enerji Yutma Kapasitesi*' terimleri literatüre girmiştir. 1908 Messina (İtalya), 1923 Kanto (Japonya) , 1933 Long Beach (Kaliforniya) depremlerinden sonra incelenen yapılar ışığında yapılan çalışmalar sonucu, rüzgar yüklerine karşı dayanıklı olarak inşa edilen yapıların, deprem performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yeni deprem şartnamelerinde, yapıların yatay atalet kuvvetlerine karşı tasarlanmalarına yer verilmiştir [Web 8, 2013]. 1950'li yıllarda '*Yapı Dinamiği*' ve '*Davranış Spektrumu*' konuları üzerinde çalışmalara yoğunlaşmıştır. 1951 yılında,

Anderson tarafından ilk defa eşdeğer deprem kuvvetlerinin yapının serbest titreşim periyodunun bir fonksiyonu olduğu belirlenmiştir [Web 8, 2013]. 1960'larda ise, yapı sistemlerinin depremlerde, kendi kapasitelerinin çok üzerinde gelen deprem atalet kuvvetlerine karşı ayakta kalabildikleri tespit edilmiştir. 'Süneklik' ve 'Dayanım Azaltma Faktörü' gibi eşdeğer deprem yükü yönteminde kullanılan terimler ortaya çıkmış, depreme dayanıklı yapı tasarımında deplasman bilgilerinin önemi anlaşılmıştır.

1961 yılında John Blume, Nathan Newmark ve Leo Corning tarafından Nevada Çölü'nde yapılan deneylerde, elastik ötesi sismik tasarım hesabı için elde edilen 'Yanal Yük-Yapı Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi Diyagramı (Statik İtme Eğrisi)' ilk defa ortaya konulmuştur. İkinci Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda tek serbestlik dereceli yapı sisteminin elastik ötesi deplasmanının, benzer başlangıç periyodu ve sönüme sahip elastik sistemin deplasmanından çok farklı olmadığı yazılmış ve sunulmuştur [Web 8, 2013]. Bu, günümüzde nonlineer statik prosedürlerin teorik dayanağı olan 'Eşdeğer Yerdeğiştirme Kuralı' dır. 1974 yılında Gülkan ve Sözen, betonarme TSD (Tek Serbestlik Dereceli) sistemlerin deprem simülatorü deneylerine dayanarak, yapı sistemlerinin elastik ötesi davranışının azaltılmış direngenlik ve arttırılmış sönümlü TSD yapı sistemleri ile tanımlanabileceğini bulmuşlardır [Web 8, 2013]. Daha sonra, Shibata ve Sözen bu yöntemi ÇSD (Çok Serbestlik Dereceli) sistemler için 'Yerine Koyma Yöntemi' ismiyle geliştirmişlerdir [Shibata ve Sözen, 1987]. Bu yöntem, betonarme yapılarda tasarım spektrumu ile verilen deprem hareketine ait tasarım kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu çalışmalar sonucunda 'Kapasite Spektrumu Yöntemi' geliştirilmiştir. 1981 yılında, Saiidi ve Sözen tarafından önerilen 'Q-Model' de ilk kez yapı elemanlarının 'Moment-Eğrilik İlişkileri' kullanılmış, TSD sistemin 'Kuvvet-Yerdeğiştirme' karakteristiklerini elde etmek amacıyla 'Moment Eğrilik Eğrisi' iki doğrulu olarak idealleştirilmiştir. Daha sonra Fajfar ve Fischinger, Q-Model'den esinlenerek geliştirdikleri 'N2 Metod' unu geliştirmişlerdir [Web 8, 2013].

Deprem ve yapı mühendisleri 1995 yılından itibaren 'Performansa Göre Tasarım İlkeleri' konusu üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Yapı sistemlerinin performanslarının belirlenmesi ile ilgili yayınlanan ilk çıktı ise 'Vision 2000 Raporu' dur [Web 8, 2013]. 2007 yılında ise, Priestley tarafından

‘Yerdeğiştirmeye Göre Doğrudan Tasarım Yöntemi’ geliştirilmiştir [Priestley et al., 2007].

Amerika Birleşik Devletleri’nde meydana gelen büyük hasarlı depremlerden sonra, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi konusu gündeme gelmiştir. Buna bağlı olarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi belirlenmesi ve gerekli yapılarda güçlendirme çalışmaları yapılması için konuyla alakalı bazı raporlar yayımlanmıştır. Bu raporlar yayımlanma tarihi sırasına göre aşağıda verilmiştir;

- 1996; ATC-40
- 1997; FEMA-273
- 2000; FEMA-356
- 2004; ATC-55
- 2005; FEMA-440

Ülkemizde; 26 Aralık 1939 tarihinde meydana gelen Erzincan Depremi sonrası İtalya tarafından 1937 yılından itibaren uygulanmaya başlanan ‘Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi’ Türkçe’ye çevrilmiş ve Nafia Vekaleti tarafından yayımlanmıştır. Bu yönetmelikten yararlanarak 1940 yılında ‘Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi’ hazırlanarak yurt genelinde uygulanmaya başlanmıştır. 20 Aralık 1942 Nıksar-Erbaa, 20 Haziran 1943 Adapazarı-Hendek, 26 Kasım 1943 Tosya-Ladik ve 1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depremlerinin sık aralıklarla meydana gelmesi ve büyük can ve mal kayıplarına neden olması sonucunda, 22 Temmuz 1944 tarih ve 4623 sayılı ‘Yersarsıntısından Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun’ çıkarılmıştır. Bu kanun, Türkiye’de deprem tehlikesi ve riskinin belirlenmesi ve deprem zararlarının azaltılması konusunda merkezi ve yerel düzeylerde nasıl örgütlenileceğini, yerleşme ve yapılaşmaların nasıl denetleneceğini belirleyen ilk yasal düzenlemedir. 1999 yılında yaşanan Kocaeli-Düzce depremlerinden sonra yaşanan büyük can kayıpları, yapılardaki göçmeler ve oluşan büyük hasarlar yönetmeliklerimizin yeniden düzenlenmesi konusunu gündeme getirmiş ve 1998 yılında ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ içeriği yeniden düzenlenmiş, ‘Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi’ bölümü

eklenmiştir. Bu bölümün eklenmesi, diğer bölümlerin de güncelleştirilmesini mutlak kılmış, 2007 yılında ‘*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*’ adında yeni bir deprem yönetmeliği yayımlanmıştır [DBYBHY, 2007]. Ülkemizde Performansa Dayalı Tasarım hakkında birçok çalışma yapılmıştır Örneğin; Pakdamar (2001), Aydınoğlu (2003 ve 2007), Polat (2003), İrtem (2004), Celep (2004), Özer (2004).

Türkiye’de, günümüze kadar yayımlanmış deprem yönetmelikleri, aşağıda yayımlanma tarihine göre sıralanmıştır:

- 1940; Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944; Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949; Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953; Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1968; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1975; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1998; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 2007; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- 2008; Kıyı Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaat Yapılarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmelik
- 2008; İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
- 2012; Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar

5.2. Mevcut Betonarme Binalar İçin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Prosedürü

Betonarme yapıların, deprem kuvvetleri etkisindeki (yatay yükler etkisinde) davranışlarının ve performanslarının belirlenmesi için, sisteme uygulanan yanal yüklerin adım adım arttırılarak rijitlik ile dayanım değişiminin hesaplandığı ve bu hesap sonuçlarının belli performans kriterleri için değerlendirildiği analiz yöntemine ‘*İtme Analizi*’ denmektedir. İtme analizi, plastik mafsal oluşumunun kümülatif bir değerlendirmesi olarak da tanımlanabilir [Web 9, 2013].

İtme analizi, *Tek Modlu Statik İtme Analizi* ve *Çok Modlu Statik İtme Analizi* olarak iki şekilde yapılır. Tek Modlu Statik İtme Analizi, doğrusal elastik sistemlerde, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabildiği yapılarda kullanılır. Bu yöntemle göre, hakim titreşim mod şekli (sabit tek modlu) ile orantılı bir şekilde depremin istem sınırına kadar monolitik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yükleri etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılır.

Son yıllarda Çok Modlu Statik İtme Analizi Yöntemi için birkaç metot önerilmiştir. Bu yöntemlerden biri Mod Birleştirme Yöntemi'dir. Aydınöglü'nun önerdiği Çok Modlu Statik İtme Analizi Yöntemi'nde, her modda adım adım doğrusal itme analizi yapılır. Bir önceki adımda oluşan plastik mafsalların etkisi, bir sonraki itme adımında oluşacak plastik mafsalların etkisinde dikkate alınarak itme yapılır. Son itme adımına kadar hesaplamalara devam edilir ve artımsal kümülatif modal yerdeğiştirmeler hesaplanır. Yöntem, ÇSD sistemlerin TSD sistemlere eşdeğer olarak dönüştürülmesi kabulüne dayanır. Yöntemin yer aldığı bazı çalışmalar Aydınöglü (2012) ve Chopra (1995)'dir.

İtme analizi, deplasman kontrollü veya yük kontrollü analiz olarak iki şekilde yapılabilmektedir. Deplasman kontrollü analiz yönteminde; yapı tepe noktasının ağırlık merkezi, hedef deplasman seviyesine gelinceye kadar yatay yük ile itilir. Daha sonra yapıda oluşan şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler hesaplanarak yapı performans seviyesi belirlenir. Kuvvet kontrollü yöntemde ise; yapı belli bir yatay yük kapasitesine, yönetmeliklerde öngörülen seviyeye, ulaşımaya kadar yatay yükleme yapılır. Artan yükler altında yapılan itme analizi sonucu yapının şekildeğiştirmeleri ve iç kuvvetleri hesaplanarak performans seviyesi belirlenir. Performans hesabında izlenecek adımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Adım 1: Talebin belirlenmesi:

- Yapının hedef performansı belirlenir.
- Hedef performansa göre deprem etkisi belirlenir.

- Adım 2: Kapasitenin belirlenmesi;

- Bina bilgi düzeyi belirlenir.

- Malzeme dayanımları belirlenir.
- Yapı elemanlarının plastik mafsallık özellikleri belirlenir.
- Kapasite hesabı için bina modeli oluşturulur.
- Doğrusal olmayan yöntemlerden biri ile bina analizi yapılarak kapasite diyagramı elde edilir.

- Adım 3: Kapasite ile Talebin karşılaştırılması:

- Taşıyıcı sistem elemanlarının toplam eğrilikleri belirlenir.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hasar sınırları belirlenir.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumları belirlenir.

- Adım 4: Performans değerlendirmesi yapılır.

5.2.1. Bilgi Düzeyi Katsayısı, Etkin Yer İvmesi Katsayısı, Tasarım Depremi, Performans Hedefi ve Performans Düzeyi Kavramları

Mevcut binalarda yapılacak durum saptaması sonucu elde edilecek bilgiler, bina modelinin oluşturulmasında ve bina performans seviyelerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bunun için mevcut bina üzerinde deneysel çalışmalar, gözlem ve ölçümler yapılır, taşıyıcı sisteme ait projeler ve raporlar elde edilir. Taşıyıcı sisteme ait elde edilecek verilerin kapsam seviyesine göre bilgi düzeyi katsayısı belirlenir. Belirlenen bilgi düzeyi katsayısı ile mevcut malzeme dayanımları çarpılarak eleman kapasitelerinin hesabında kullanılacak malzeme dayanımları belirlenir. DBYBHY (2007) Bölüm 7.2.'de bu konuyla alakalı detaylı bilgiler mevcut olmakla birlikte, aşağıdaki Tablo 5.1'de binalar için bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.1: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Performans analizlerinde dikkate alınması gereken bir diğer faktör ise, elastik deprem yüklerinin tanımlanmasında kullanılan *Spektral İvme Katsayısı*, $A(T)$ 'dir. Spektral ivme katsayısı hesabı aşağıdaki Denklem 5.1 ve 5.2'de verilmiştir. Bu hesaplamalar için *Etkin Yer İvmesi Katsayısı* A_0 'a, *Bina Önem Katsayısı* I 'ya, *Tasarım Spektrumu Eğrisi* $S(T)$ 'ye ve *Spektral İvme Katsayısı*, S_{ae} 'ye ihtiyaç vardır. Türkiye deprem bölgeleri haritasında belirtilen birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, deprem parametresi olarak göz önüne alınacak A_0 değerleri DBYBHY (2007) Bölüm 2'de verilmiştir. Aşağıdaki Tablo 5.2'de, yönetmelikteki göz önüne alınacak değerler görülmektedir.

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (5.1)$$

$$S_{ae} = A(T) \times g \quad (5.2)$$

Tablo 5.2: Etkin Yer İvmesi Katsayısı.

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Performans Hedefi, belirli bir deprem hareketi altında bina için öngörülen yapısal performanstır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *Çok Seviyeli Performans Hedefi* denir. Bu yüzden öncelikli olarak, yapının hangi deprem etkisinde, hangi performans kriterine göre değerlendirileceğinin belirlenmesi gerekir. DBYBHY (2007) Bölüm 7'de, göz önüne alınacak *Tasarım Depremleri* tanımlanmıştır. Aşağıdaki Tablo 5.3'te tanımlanmış tasarım depremleri, bağlı oldukları parametreler ile birlikte verilmiştir.

Tablo 5.3: Tasarım Depremleri.

Deprem Düzeyi	Aşılma Olasılığı	Zaman Aralığı	Ort. Dönüş Periyodu	Şiddeti	Olma ihtimali
D1 (Servis Depremi)	%50	50 yıl	72 yıl	Az–Orta Şiddetli	Fazla
D2 (Tasarım Depremi)	%10	50 yıl	475 yıl	Şiddetli	Seyrek
D3 (Maksimum Deprem)	%2	50 yıl	2475 yıl	Çok Şiddetli	Çok Seyrek

Ayrıca DBYBHY (2007) Bölüm 7’de, yapının kullanım amacı ve türüne göre farklı deprem düzeyleri altında performans hedefleri belirlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.1’deki şekilde bu tablo mevcuttur.

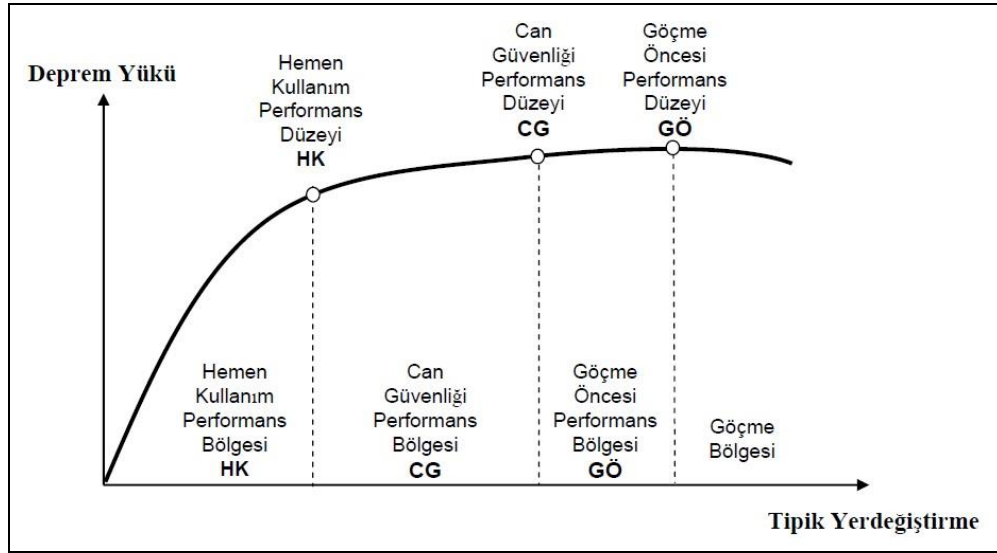
<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Depremin Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

Şekil 5.1: Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.

Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının *Performans Seviyeleri* ile tanımlanmaktadır. Performans seviyeleri, yapıda göz önüne alınan bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Yapısal performans seviyesi belirlenirken, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşimi dikkate alınır. Ayrıca bu hasarın can güvenliği sınır durumu, depremden sonra kullanılabilirlik durumu, hasarın neden

olduğu ekonomik kayıplar da dikkate alınarak performans seviyeleri belirlenir [Özer, 2009].

DBYBHY (2007), Bölüm 7’de mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için üç ayrı performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar *Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK)*, *Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG)* ve *Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ)*’ dir. HK performans düzeyinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlar hemen hemen hiç hasar görmezler veya oluşabilecek hasar çok sınırlıdır ve hemen onarılabilecek düzeydedir. Yapı depremden sonra kullanılabilir, kararı verilir. CG performans düzeyinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasar, can güvenliğini tehlikeye atmayacak ölçüde sınırlı ve onarılabılır düzeydedir. Gerekli onarımlar veya güçlendirmeler yapıldıktan sonra yapı kullanılabilir, kararı verilir. GÖ performans düzeyinde ise, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda ileri derecede hasar meydana gelmiştir, yapı göçme düzeyine çok yaklaşmıştır, fakat henüz göçmemiştir. Can güvenliği açısından sakıncalıdır ve genellikle yıkım kararı verilir. Aşağıdaki Şekil 5.2’de, DBYBHY (2007)’de yer alan performans düzeyleri eğrisi görülmektedir.

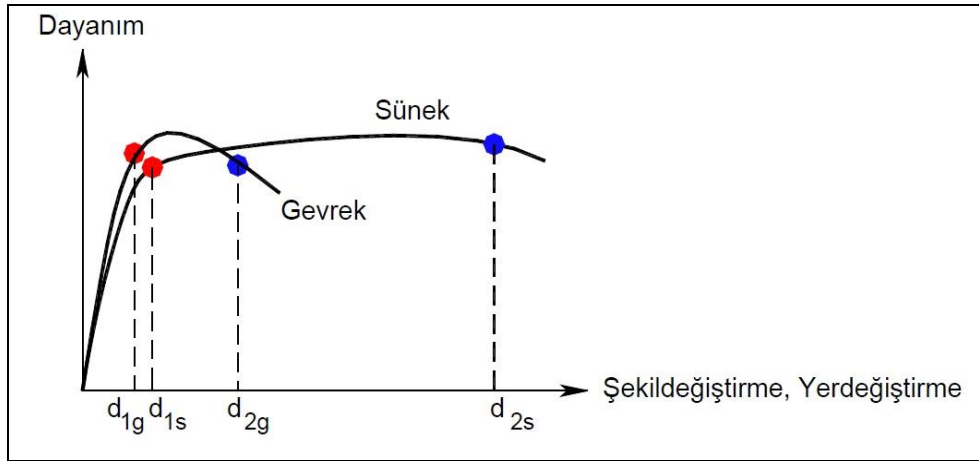


Şekil 5.2: Mevcut binalar için tanımlanan deprem performans düzeyleri.

5.2.2. Süneklik, Gevreklik, Elastik Davranış ve Plastik Davranış Kavramları

Deprem hasarları taşıyıcı sistem elemanlarında ve bu elemanların birleşim bölgelerinde meydana gelir. Eleman hasarlarının değerlendirilebilmesi için ilk önce taşıyıcı sistem elemanının ‘Sünek’ ya da ‘Gevrek’ davranışa sahip olduğu belirlenmelidir.

Süneklik, dayanımda belirgin bir hasar olmadan şekil değiştirebilme veya yerdeğiştirebilme (deplasman yapabilme) kabiliyetidir. Diğer bir deyişle; en büyük yerdeğiştirmenin, elastik yerdeğiştirmeye oranıdır. *Gevreklik* ise, dayanımın aniden kaybedilmesidir. Bu iki kavram Şekil 5.3’te verilmiş olan gerilme–şekil değiştirme eğrisi ile anlatılabilir [Darılmaz, 2011]. Grafikte; kırmızı nokta ile gösterilen değer, kesitin akma kapasitesine ulaştığı ve elastik şekil değiştirmesinin sonlandığı, plastik şekil değiştirmeye geçtiği andaki değerdir. Mavi nokta ile gösterilen değer ise, kesitin plastik şekil değiştirmesinin sonlandığı ve dayanımın tükendiği, kesitin koptuğu andaki değerdir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, kesit eğilmeye başladıktan (akmaya başladıktan) sonra, çok az bir kuvvet artışı deplasmanı artırmaya yetmektedir. Bu da demek oluyor ki, dayanım–şekildeğiştirme eğrisi, sistemin yapabileceği maksimum yerdeğiştirme kapasitesini gösterir.



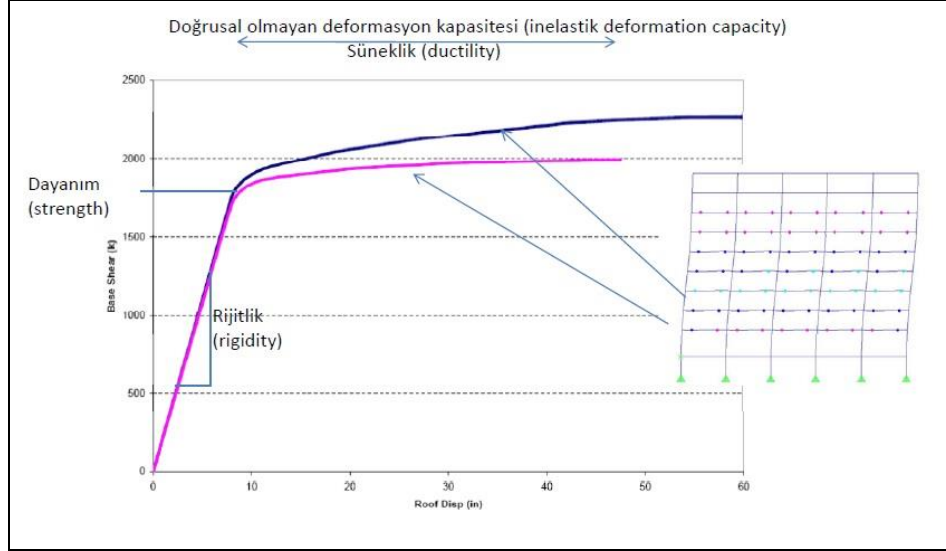
Şekil 5.3: Sünek ve gevrek davranış, dayanım–şekildeğiştirme grafiği.

Elastik Şekil Değişiklikler, geri dönen ve kalıcı olmayan şekil değişikliklerdir. *Plastik Şekil Değişiklikler* ise, geri dönmeyen ve kalıcı olan şekil değişikliklerdir. Depremlerde yapıya aktarılan enerji, sünek elemanların enerji yutma kapasiteleri ile karşılanır. Sünek davranış gösteren elemanlar, deprem etkisi altında, elastik gerilme sınırına geldiklerinde dayanımlarında önemli bir azalma olmadan gerilmeye direnç göstererek plastik şekil değiştirebilirler. Belli bir sınıra kadar akarlar, daha sonra uzayarak kopma sınırına ulaşırlar. Yani plastik şekil değiştirme söz konusu olduğu zaman, kesit kapasitesi sonuna kadar kullanılır ve diğer kesitlerin sisteme daha fazla katkı sağlamasına yardımcı olunur. Gevrek elemanlar ise, elastik gerilme sınırına geldikten sonra artan gerilmelere karşı bu direnci çok fazla gösteremezler, plastik şekil değiştiremezler, akamazlar, uzayamazlar ve aniden koparlar. Bu yüzden ki, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranış gösterebilecekleri şekilde tasarlanması gerekmektedir. Böylece aniden gelecek deprem kuvvetleri karşısında zamanla dirençlerini kaybederek şekil değiştirebilme kapasitelerini sonuna kadar kullanırlar.

Betonarme yapılarda deprem etkisi altındaki bina performansı; kesitlerin davranışına, dolayısıyla taşıyıcı sistem elemanların davranışına ve taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşiminin sonucu doğan sistem davranışına bağlıdır. Birbirine bağlı olan ve birbirinin davranışını etkileyen bu sistem aşağıdaki eşitlik (5.3) ve (5.4)'teki gibi ifade edilebilir. Şekil 5.4'te de çok katlı bir yapıya ait tipik taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi gösterilmiştir. Bu şekilde sünekliğin, doğrusal olmayan deformasyon kapasitesine etkisi görülmektedir [Akbaş, 2011].

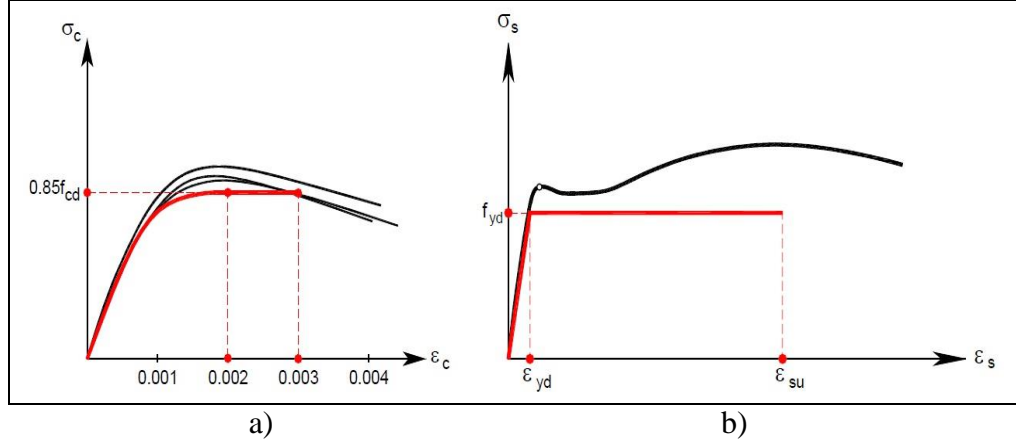
$$\text{Kesit Davranışı} \rightarrow \text{Taşıyıcı Eleman Davranışı} \rightarrow \text{Sistem Davranışı} \quad (5.3)$$

$$\text{Kesit Sünekliği} \rightarrow \text{Taşıyıcı Eleman Sünekliği} \rightarrow \text{Sistem Sünekliği} \quad (5.4)$$



Şekil 5.4: Tipik taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi.

Yeni yapılacak binalar ile mevcut binalar karşılaştırıldığında, süneklik düzeylerinin farklı olduğu görülür. Yeni yapılacak bir binada tüm elemanların süneklik düzeylerinin istenilen seviyede tasarlanabilmesi şansı varken, mevcut bir binada bu mümkün değildir ve her taşıyıcı sistem elemanının süneklik düzeyleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu yüzden mevcut bina performans hesaplamalarında, yapıda tespit edilen süneklik düzeyi dikkate alınmalıdır. Şekil 5.5'teki grafiklerde; 1. grafik beton malzemesine, 2. grafik donatı çeliği malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleridir. Siyah eğriler, mevcut yapıların değerlendirilmesinde ve özel durumlarda dikkate alınacak olan gerilme-şekil değerştirme eğrilerini temsil etmektedir. Kırmızı eğriler ise, yeni yapılacak olan yapıların hesaplamalarında dikkate alınacak olan gerilme-şekil değerştirme eğrileridir [Darılmaz, 2011].



Şekil 5.5: a)Yeni ve mevcut yapıların hesap ve değerlendirmesine ait beton malzemesi grafiği, b) Çelik malzemesi gerilme–şekildeğiştirme grafiği.

Eğilme, kesitte donatı çeliğinin akması ve betonun sargı donatısı sayesinde basınç dayanımının artmasıyla sağlanan bir davranış şeklidir. Betonarme bir kesite gelen ve kesitte *Eğilme Etkisi* yaratan deformasyonlar şu şekildedir; normal kuvvetler aksel deformasyona, eğilme momenti uzama ve dönme deformasyonlarına, kesme kuvveti kayma deformasyonuna ve burulma momenti de aksel dönme deformasyonuna sebep olurlar. Betonarme elemanda bu deformasyonların oluşmasının sebebi ise kesite gelen kuvvetlerin fazlalığı değil, kesit deformasyon kapasitesinin aşılmasıdır. Bu yüzden yeni binaların tasarımında amaç; kesit deformasyon kapasitelerini artırmak, istenilen seviyeye getirmek, mevcut binaların değerlendirmesinde ise kesit kapasitelerini belirleyerek oluşmuş olan deformasyona göre performans seviyelerini belirlemek olmalıdır.

Plastikleşen kesitlerde plastik dönme kapasitesinin artması için sargı donatısı şarttır. *Sargı donatısı*, taşıyıcı elemandaki enine donatıya (etriye, fret vb.) verilen isimdir. Kesme etkisi altında sünek davranışı sağlamak için sistemde sargı donatısının varlığına ve doğru uygulanmasına dikkat edilmelidir. Sargı donatısının etkisinin artması için enine donatı; beton–donatı çeliği arasındaki aderansı sağlayacak şekilde, sık aralıklarla, deprem yönetmeliğinde öngörüldüğü şekilde uygulanmalıdır. Deprem yönetmeliğinde verilen sargılı ve sargısız, beton ve donatı çeliği malzeme modelleri için DBYBHY (2007) Madde 7B.1 ve 7B.2'ye, özel deprem etriye ve çirozlarının uygulama koşulları için de DBYBHY (2007) Madde 3.2.8'e bakılabilir.

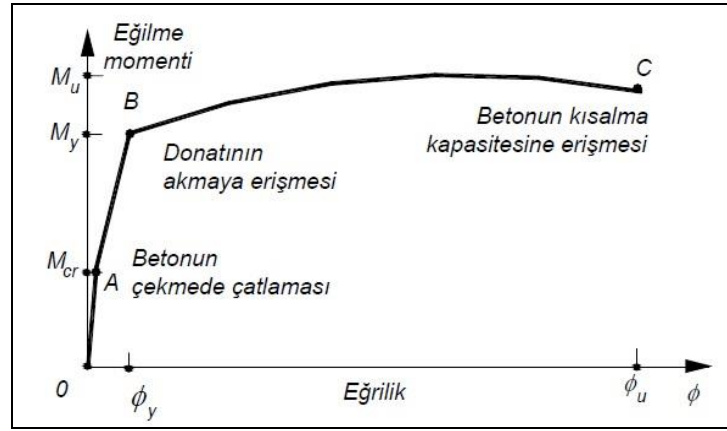
Betonarme yapılarda sünek davranış; kirişlerde basit eğilme etkisi altında, kolon ve perdelerde ise eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında gerçekleşir. Kirişlerde, kolonlara oranla daha az normal kuvvet etkisi söz konusudur. Bu yüzden plastik dönme kapasiteleri daha yüksek olduğundan, yani kolonlardan daha sünek olduklarından, mafsallaşmanın ilk önce kirişlerde olması tercih edilmelidir. Tasarım bu kabule göre ilk hasarın, eğilme etkisiyle sünek davranış göstererek kirişlerde oluşmasını sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca taşıyıcı sistemde güçlü kolon–zayıf kiriş prensibi sağlanmalıdır. DBYBHY (2007) Madde 3.3.5.’de *Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu* verilmiştir. Ayrıca kolon ve kirişlerin, ayrı ayrı, süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmaları, kesme güvenliklerinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunlarla ilgili kurallar yönetmelikte mevcuttur. *Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler* için verilen enine donatı koşulları için DBYBHY (2007) Madde 3.4.4.’e; *Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar* için verilen enine donatı koşulları için DBYBHY (2007) Madde 3.3.4.’e; *Kolonların Kesme Güvenliği Kontrolü* için DBYBHY (2007) Madde 3.3.7.’ye; *Kirişlerin Kesme Güvenliği Kontrolü* için DBYBHY (2007) Madde 3.3.7.’ye bakılabilir.

5.2.3. Betonarme Kesitlerin Moment-Eğrilik İlişkisi, Eğilme Rijitliği ve Plastik Mafsal Hipotezi

Bir kesitte meydana gelen birim boydaki dönmeye *Eğrilik* denir. Nonlineer davranışın ilk anahtarı *Moment–Eğrilik İlişkisi*’dir. Şekil 5.6’da basit eğilme altındaki betonarme dikdörtgen bir kesitin moment–eğrilik ilişkisi gösterilmiştir [Celep, 2007].

Doğrusal olmayan statik itme analizi ile taşıyıcı sistem elemanlarının toplam eğrilik istemleri hesaplanır. Toplam eğrilikler kullanılarak her bir eleman kesitindeki beton ve çelik malzemesinin birim şekil değiştirmeleri bulunur. Bu birim şekil değiştirmeler, Bölüm 5.2’de bahsedilen sınır değerler dikkate alınarak, elemanların kesitlerindeki hasar durumlarının belirlenmesinde kullanılır. Her bir yapı elemanında, ($\pm X$) ve ($\pm Y$) yönlerinde etkiyen deprem kuvvetleri altında, kirişlerin sağ ve sol kesitlerinde, kolonların alt ve üst kesitlerinde oluşan en elverişsiz hasar durumları dikkate alınarak o elemanın hasar durumuna, sistemdeki tüm elemanların

hasar durumlarının yüzdelere göre de sistemin hasar durumuna ve performans düzeyine karar verilir.

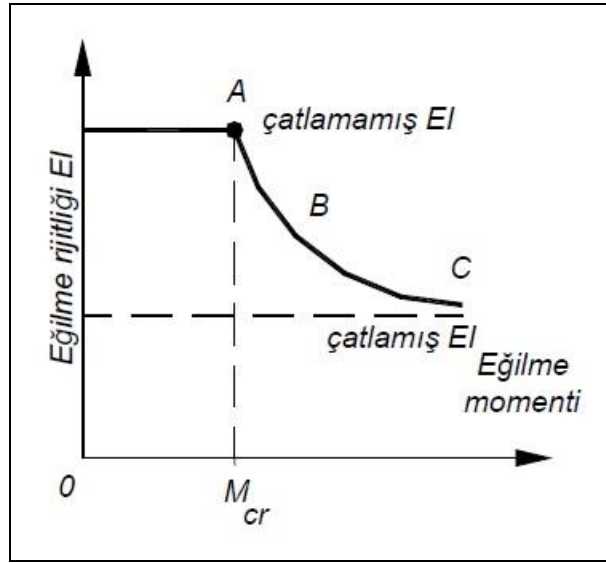


Şekil 5.6: Betonarme kesitte Moment–Eğrilik İlişkisi.

Yukarıdaki grafiğe göre moment-eğrilik ilişkisi açıklanırsa, moment arttıkça kesitin davranışı lineerlikten çıkarak doğrusal olmayan bir hal alır. Momentin küçük değerlerinde beton elastik davranır. Bu demek oluyor ki, kesitin davranışını birincil olarak beton belirler, ilk başta kesit davranışında donatının katkısı sınırlı olmaktadır. Dolayısıyla kesitin eğilme rijitliğini belirleyen etken, betonun eğilme rijitliğidir. Moment artışı devam ederken beton çekme bölgesinde elastiklik sınırına gelir ve çatlar. Bu durum, lineer davranıştan ayrılmanın ilk adımıdır. Eğilme momentinin artışı, betonun basınç gerilmeleri altında daha fazla lineer davranmasını tamamen tüketir ve beton akma momentine (M_y) ulaşır. Daha sonra kesitte plastik davranış başlar ve bu aşamada donatı devreye girer, artan eğilme momentleri altında donatı uzamaya başlar. Dolayısıyla, bir kesitin sünek davranma kapasitesi çekme donatısının miktarına bağlıdır. Çekme donatısı ne kadar fazla ise, donatı o kadar uzar, eğrilik o kadar artar. Fakat dikkat edilmesi gereken bir husus var ki, kesitin çekme donatısı miktarı dengeli donatı miktarını aşmamalıdır. Bu durumda donatı akmaya ulaşmadan beton çatlar ve kesit güç tükenmesine erişir. Bu gevrek davranış demektir ve bu durumda moment–eğrilik ilişkisinden söz edilemez.

Yukarıdaki paragrafta değinildiği üzere; başlangıçta eğilme momentinin küçük olduğu değerlerde kesitin eğilme rijitliğini etkileyen faktörler, çatlamamış kesitin atalet momenti ve betonun elastiklik modülüdür. Şekil 5.7’de basit eğilme altındaki betonarme dikdörtgen bir kesitin *Eğilme Rijitliği* eğrisi görülmektedir. Buna göre;

momentin artması ile çekme bölgesindeki beton çatlak ve eğilme rijitliği azalmaya başlar. Bu aşamadan sonra eğilme rijitliğine çekme donatısının katkısı başlar. Fakat çatlak kesit sayısı gittikçe artacağından, eğilme rijitliği de gittikçe asimptotik olarak düşer ve çatlak kesit eğilme rijitliğine ulaşır [Celep, 2007]. Bundan sebeptir ki, mevcut binaların performans değerlendirmeleri hesabında çatlak kesit eğilme rijitliği dikkate alınır. DBYBHY (2007) Madde 7.4.13.'te çatlak kesit eğilme rijitliklerinin hesabı belirtilmiştir.



Şekil 5.7: Eğilme Rijitliği-Eğilme Momenti Eğrisi.

İtme analizi, *Plastik Mafsal Hipotezi* varsayımına dayanan bir hesap yöntemidir. Çünkü bu hipoteze göre, yapıda herhangi bir itme adımında, herhangi bir elemanın, herhangi bir kesiti plastikleştiği zaman, bir sonraki adımda plastikleşen kesit artık çalışmaz kabul edilir ve sistem analize doğrusal olarak devam eder. Yani iki plastik mafsal oluşumu arasında sistem lineer davranır. Taşıyıcı sistem elemanında eğilme etkisi ile meydana gelen plastik deformasyonların sınırlı bir uzunluk boyunca toplandığının kabul edildiği bölgeye *Plastik Mafsal Bölgesi* denmektedir. Kesitte plastik mafsal oluşabilmesi için, kesitin plastik eğrilik kapasitesine sahip olması gerekir. Plastik mafsallar taşıyıcı sistem elemanların uç bölgelerinde oluşurlar. Betonarme kirişler eğilme momenti altında, kolonlar ise hem eğilme momenti hem de normal kuvvet etkisi altında sünek davranırlar, yani artan eğilme momenti altında gittikçe plastikleşirler. Betonarme taşıyıcı elemanların plastikleşen kesitlerinde şekil değiştirmelerin belirlenebilmesi için plastik mafsal

boyu (L_p) bilinmelidir. Plastik mafsal bölgesinin boyu; moment-eğrilik değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlı olarak hesaplanır. DBYBHY (2007) Madde 7.6.4.'te gerekli kabuller yapılmış ve nasıl hesaplanacağı belirtilmiştir.

Plastik mafsal boyu hesaplanarak plastik dönmeler ve plastik dönmeler kullanılarak da hesap edilecek maksimum yerdeğiştirmeler elde edilebilir. Aşağıdaki Denklem (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9)'da verilen eşitlikler yardımıyla, bir sistemin tüm kesitlerinde itme analizi sonucu elde edilen akma eğriliğı ve plastik eğrilikler yardımıyla o sistemde meydana gelen plastik dönmeler, akma momenti, akma ve kopma yerdeğiştirmeleri, buradan hareketle de sistemdeki toplam yerdeğiştirme istemi hesaplanabilmektedir. Denklemlerde; M_y , akma mukavemetini (akma anındaki eğilme momenti); χ , eğriliğı; χ_y , akma eğriliğini; χ_u , kopma eğriliğini; Θ_p , plastik dönmeyi; L_p , plastik mafsal boyunu; f_s , sisteme etkiyen toplam yatay kuvveti; H , yapının toplam yüksekliğini; u_y , akma yerdeğiştirmesini, u_p , kopma yerdeğiştirmesini; u , sistemin toplam plastik yerdeğiştirme istemini temsil etmektedir.

$$\Theta_p = \chi_p \times L_p \quad (5.5)$$

$$M_y = f_s \times H \quad (5.6)$$

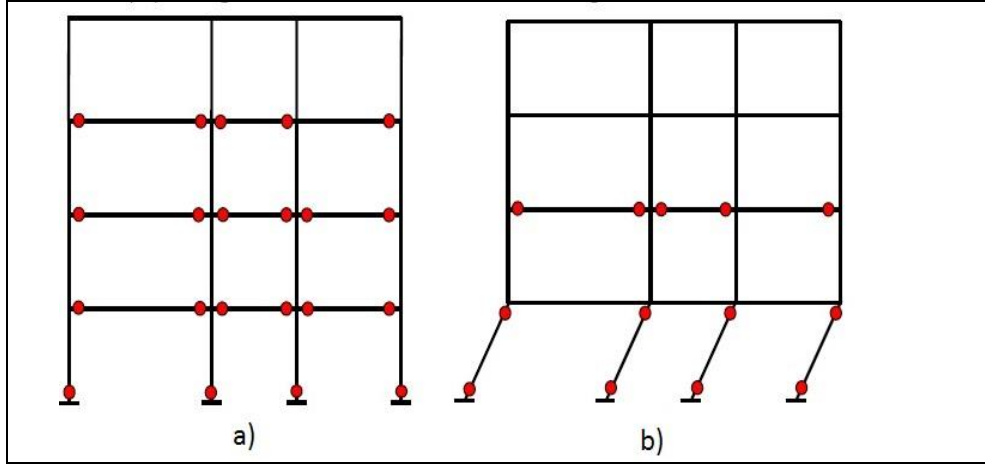
$$u_y = (\chi_y \times H^2) / 3 \quad (5.7)$$

$$u_p = \chi_p \times H \quad (5.8)$$

$$u = u_y + u_p \quad (5.9)$$

Betonarme yapı sistemlerinin tasarımında süneklik kapasitesinin sağlanabilmesi için plastik mafsalların nerede oluşacağını doğru seçilmesi gerekmektedir. Bilindiğı üzere; kirişlerde aksenal kuvvet az olduğundan süneklik kapasiteleri yüksektir, kolonlarda aksenal kuvvet söz konusu olduğundan süneklik kapasiteleri daha düşüktür. Ayrıca plastik mafsalların elemanların uç bölgelerinde oluştuğı hatırlanırsa, kolonların hem alt hem de üst uç bölgelerinde plastik mafsal

oluşumu kat mekanizması durumunun oluşmasına, dolayısıyla göçmeye neden olur. Bu sebeplerden ötürü plastik mafsalların birincil olarak kiriş uçlarında oluşmasını sağlayacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Şekil 5.8 (a)'da olması gereken ve Şekil 5.8 (b)'de de olmaması gereken plastik mafsal oluşumu örnekleri gösterilmiştir [Aydınoglu, 2012].



Şekil 5.8: a) Betonarme çerçeve türü bir yapıda olması gereken mafsallaşma durumu, b) Betonarme çerçeve türü bir yapıda olmaması gereken mafsallaşma durumu.

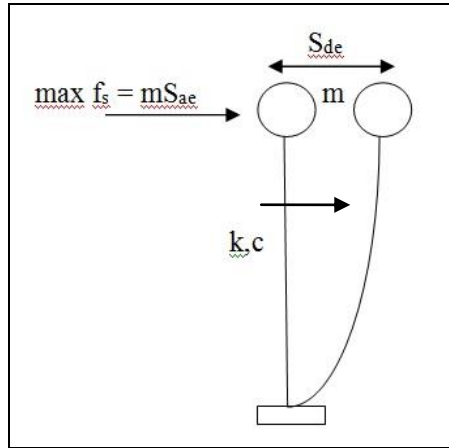
5.2.4. Yerdeğiştirmeye Dayalı Tasarım Kabulü

Yerdeğiştirmeye dayalı tasarımda; betonun birim kısalması, donatı çeliğinin birim uzaması ve kısalması, kesit dönmesi, katların ve yapının yatay yerdeğiştirme büyüklükleri dikkate alınır. Betonarme kesitlerdeki değişim değerleri, yönetmeliklerde kabul edilen sınır değerlerle kıyaslanır ve buna göre performans düzeyi belirlenir.

Herhangi bir yapının performans düzeyini belirleyebilmek için o yapının davranış spektrumuna ihtiyaç duyulur. *Davranış Spektrumu*, doğal titreşim periyodu T olan lineer elastik tek serbestlik dereceli bir sistemde, göz önüne alınan bir deprem etkisi altında, meydana gelen yapısal yerdeğiştirmelerin veya toplam ivme büyüklüğünün periyoda bağlı olarak ifade edildiği bir fonksiyondur ve elastik deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılır. İstatistiksel çalışmalar sonucu yönetmeliklerde, birtakım parametrelere bağlı olarak standardize edilmiş spektrum eğrileri mevcuttur. Spektrum eğrisi deprem hareketine, yerel zemin koşullarına bağlı

olarak tanımlanmış *Spektrum Karakteristik Periyotlarına*, T_A ve T_B , göre değişir. DBYBHY (2007) Bölüm 2.4.3. ve 2.4.4.'te *Spektrum Katsayısı*, $S(T)$, ve *Özel Tasarım İvme Spektrumu* verilmiştir.

İvme Spektrumu, doğal titreşim periyodu T olan lineer elastik tek serbestlik dereceli bir sistemde, göz önüne alınan bir deprem etkisi altında belirli bir sönüm oranı dikkate alınarak tanımlanan, ordinatını *Spektral İvmenin*, $S_{ae}(T)$, absisini de değişken periyotların (T), oluşturduğu grafikdir. Aynı mantıkla elde edilen ve bu sefer grafiğin ordinatını *Spektral Yerdeğiştirme*, $S_{de}(T)$, büyüklüklerinin oluşturduğu grafik ise *Yerdeğiştirme Spektrumu*'dur. Bu iki spektrum eğrisi, aynı periyot ve sönüm değerlerinde elde edildiklerinden spektral ivmenin spektral deplasmana oranı, bize *İvme–Yerdeğiştirme Davranış Spektrumu*'nu verir. Aşağıdaki Şekil 5.9'da ve Denklem (5.10), (5.11), (5.12) ve (5.13)'te bu dönüşümün denklemleri mevcuttur [Aydınöglü, 2012].



Şekil 5.9: Tek serbestlik dereceli sistem.

$$S_{de}(\xi, T) = \max u(t) \quad (5.10)$$

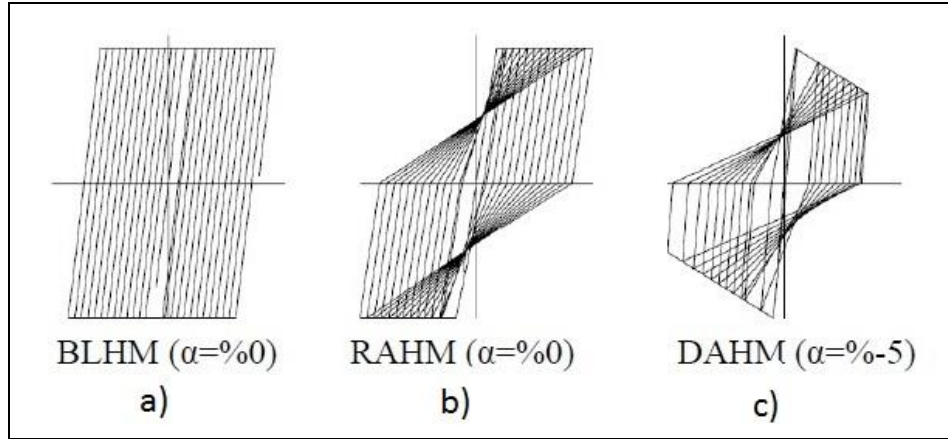
$$S_{ae}(\xi, T) = \max a_s(t) \quad (5.11)$$

$$a_s(t) = \omega^2 u(t) \quad (5.12)$$

$$S_{ae}(\xi, T) = \omega^2 S_{de}(\xi, T) \quad (5.13)$$

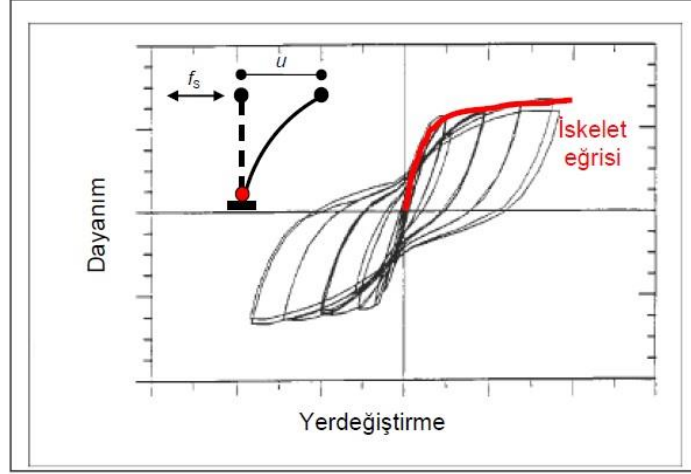
Yukarıdaki şekilde ve denklemlerde; m , sistemin toplam kütesini; k , sistemin rijitlik katsayısını; c , sistemin sönüm katsayısını; f_s , sisteme etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünü; S_{de} , spektral yerdeğiştirmeyi; S_{ae} , spektral ivmeyi; T , doğal titreşim periyodunu; ω , doğrusal açısal frekansı; ζ , sönüm oranını; $a_s(t)$, zamana bağlı ivme değerini ve $u(t)$, zamana bağlı yerdeğiştirme değerini temsil etmektedir.

Aşağıdaki Şekil 5.10'da, TSD bir sistemde statik çevrimsel yükleme deneyi sonucu elde edilmiş doğrusal olmayan dayanım–yerdeğiştirme ilişkisi gösterilmiştir. Bu grafikler, sistemin *Histeresis Eğrileri* olarak tanımlanır. Histeresis eğrileri FEMA (2005)'da üç tip davranış modeli olarak tanımlanmıştır. Bu davranış şekilleri elastik ötesi davranışın rijitlik oranı olarak tanımlanırlar. Şekil 5.10'da gösterilen histeresis davranış tiplerinde; a) BLHM, Bilineer Histeretik Model; b) RAHM, Rijitlik Azalmalı Histeretik Model; c) DAHM, Dayanım Azalmalı Histeretik Model şekilleridir.



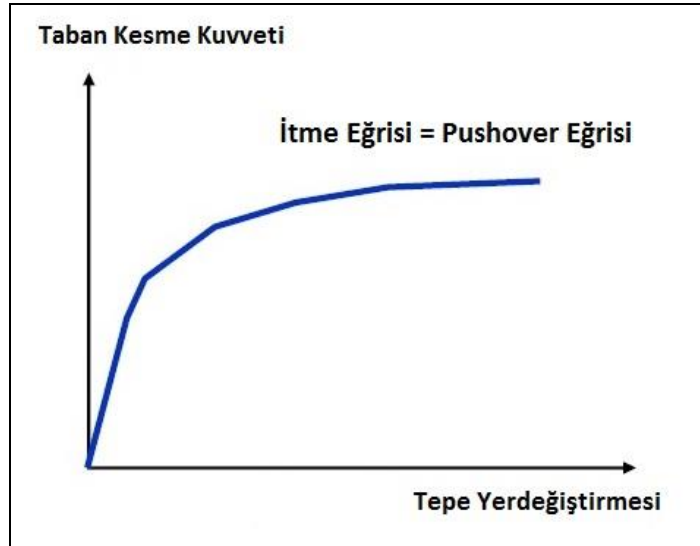
Şekil 5.10: a) BLHM, b) RAHM, c) DAHM grafikleri.

Histeresis eğrilerinin tepe noktalarının birleştirilmesi ile oluşan zarf eğrisi, *İskelet Eğrisi* olarak isimlendirilir. Tek serbestlik dereceli konsol bir sistemin tabanına dinamik bir deprem yer hareketi etkimesi durumunda histeresis eğrileri de dinamik olarak meydana gelir. Şekil 5.11'deki f_s kuvveti, sisteme etkiyen maksimum eşdeğer deprem yükü olarak kabul edilirse, bu yük deprem yer hareketinin büyüklüğünden bağımsız olarak, taşıyıcı sistemin dayanımına eşit olur. Bu da demek oluyor ki, nonlinear sistemlerde eşdeğer deprem yükü, depremin büyüklüğü ile değil, tasarımcının sisteme sağladığı dayanım ile ilişkilidir [Aydınöğlü, 2012].

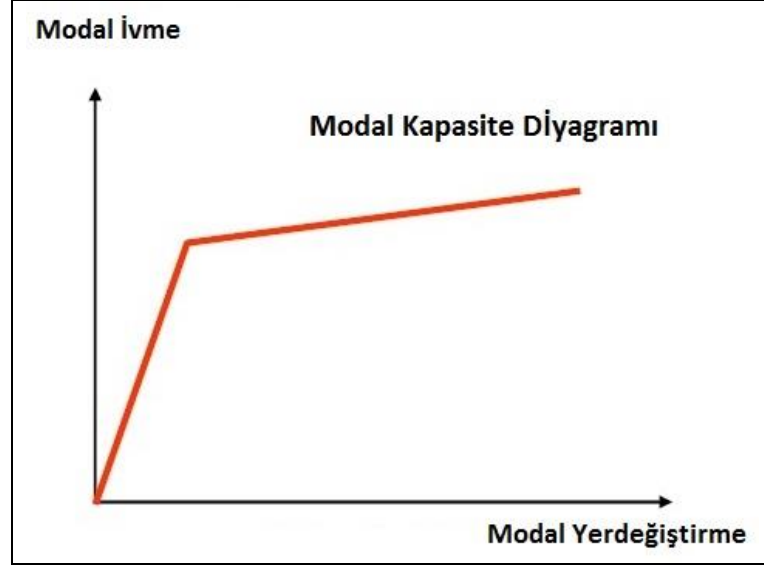


Şekil 5.11: Tipik bir betonarme elemanda dayanım–yerdeğiştirme ilişkisi.

İtme analizinde dayanım–yerdeğiştirme (iskelet) eğrisi, her adımda hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe noktası deplasmanı değerleri dikkate alınarak çizdirilir. Ortaya çıkan iskelet eğrisi, *İtme Eğrisi* olarak isimlendirilir. Elde edilen itme eğrisi eksen değerleri, hareket denklemleri yardımları ile modal ivme ve modal yerdeğiştirme eksenlerine çevrilir [Chopra, 1995]. Böylece *Modal Kapasite Diyagramı* elde edilir. Şekil 5.12 ve 5.13'te itme eğrisi ve modal kapasite diyagramı örnekleri gösterilmiştir [FEMA, 2006].



Şekil 5.12: Örnek itme eğrisi grafiği.



Şekil 5.13: Örnek modal kapasite diyagramı.

Elde edilen modal kapasite diyagramı bilineer hale getirilerek yönetmelikteki tasarım spektrumu ile birleştirilir ve sistemin *Modal Yerdeğiştirme İstemi* belirlenir. Bu işlemlerdeki amaç, birleştirilmiş kapasite diyagramı ve tasarım spektrumu yardımı ile sistemin yaptığı maksimum modal deplasmanı bulmaktır. Bu aşamada, *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı* gündeme gelir.

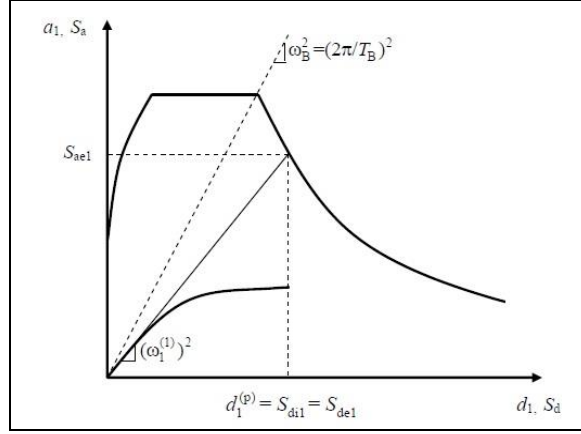
Eşit Yerdeğiştirme Kuralı, çok sayıda deprem kaydı göz önüne alınarak tek serbestlik dereceli nonlinear sistemler ve eşlenik lineer sistemler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu kabul edilmiş bir kuraldır. Buna göre;

- Başlangıç rijitliği çok büyük olmayan, yani doğal titreşim periyodu belli bir sınır değerden daha uzun olan, göreceli esnek sistemlerin nonlinear maksimum yer değiştirmesi ile eşlenik lineer sistemin maksimum yer değiştirmesi birbirine yaklaşık eşit olmaktadır. Denklem (5.14), (5.15), (5.16) ve Şekil 5.14'te; DBYBHY (2007)'ye göre, $T_I > T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirmenin nasıl bulunacağı gösterilmiştir [Aydinoğlu, 2012].

$$S_{di} = C_R \times S_{dei} \quad (5.14)$$

$$C_R = 1 \quad (5.15)$$

$$S_{dei} = (S_{aei} / \omega^2) = [S_{aei} / (2\pi/T)^2] \quad (5.16)$$



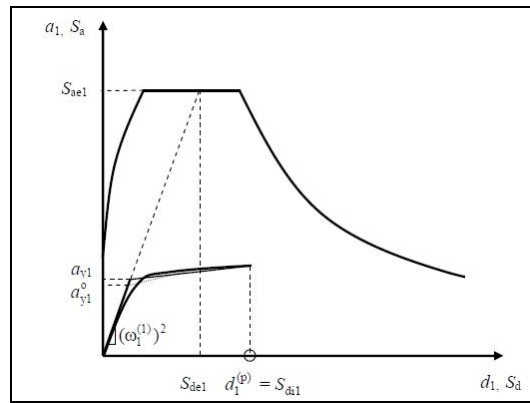
Şekil 5.14: $T_1 > T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirme hesabı.

- Başlangıç rijitliği çok büyük olan, yani doğal titreşim periyodu belli bir sınır değerden kısa olan, görelî esnek sistemlerin nonlinear maksimum yerdeğiştirmesi, eşlenik lineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesinden daha büyük olmaktadır. Bu durumda da gündeme *Dayanım Azaltma Katsayısı*, R_y , gelir. . Denklem (5.17), (5.18), (5.19) ve Şekil 5.15'te; DBYBHY (2007)'ye göre, $T_1 < T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirmenin nasıl bulunacağı gösterilmiştir [Aydınöğlü, 2012].

$$S_{di} = C_R \times S_{dei} \quad (5.17)$$

$$R_y = S_{aei} / a_{yi} \quad (5.18)$$

$$C_R = [1 + (R_y - 1)T_B/T] / R_y \geq 1 \quad (5.19)$$

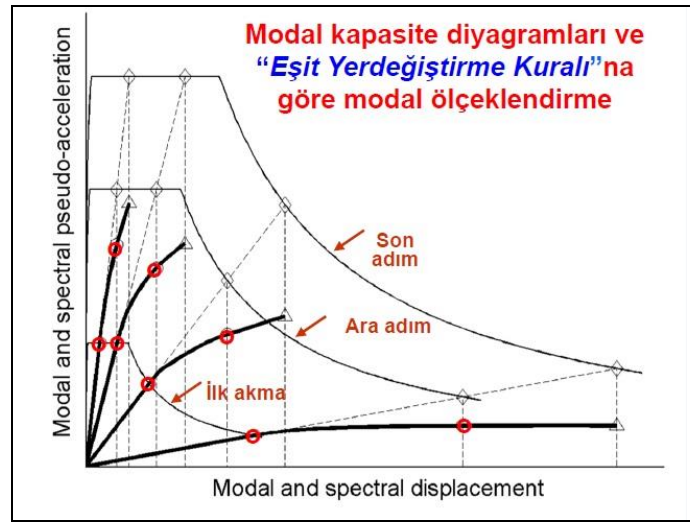


Şekil 5.15: $T_1 < T_B$ olması durumunda spektral yerdeğiştirme hesabı.

Yukarıdaki şekil ve denklemlerde; C_R , spektral yerdeğiştirme oranını; T_B , spektrumundaki karakteristik periyodu; S_{aei} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivmeyi; S_{dei} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeyi; T , başlangıçtaki ($i=1$) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodunu; R_Y , dayanım azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Belirtmek gerekir ki, Eşit Yerdeğiştirme Kuralı yakın saha depremleri söz konusu olduğu zaman geçerli değildir. Çünkü yakın saha depremlerinin yapıdan istediği süneklik talebi daha fazladır.

Aşağıdaki Şekil 5.16’da, her bir itme adımında modal yerdeğiştirme değerlerinin Eşit Yerdeğiştirme Kuralı’na göre yapılan modal ölçeklendirmesine bir örnek gösterilmiştir [Önem ve Aydınoglu, 2007].



Şekil 5.16: Eşit Yerdeğiştirme Kuralı’na göre modal ölçeklendirme.

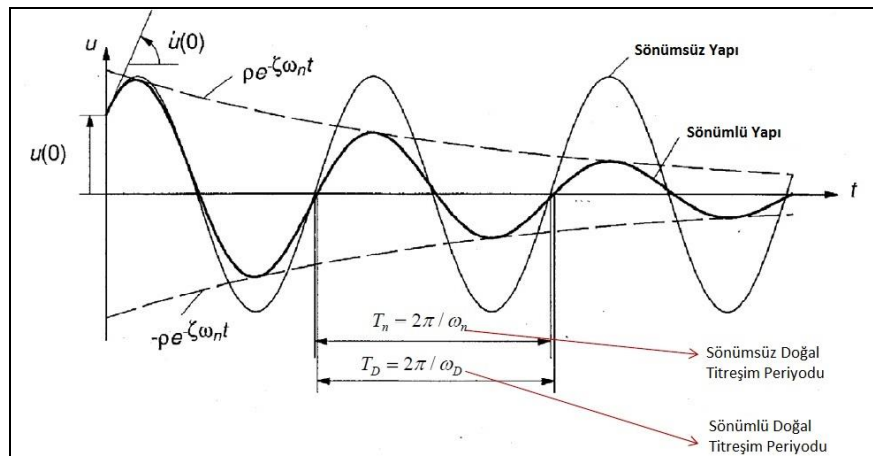
Bu işlemlerin sonunda, sistemden istenen maksimum deplasman talebi bulunmuş olur. Bir diğer aşamada, bulunan bu talep deplasmanı altında taşıyıcı elemanların yapacağı maksimum yerdeğiştirmeler hesaplanır, kesitlerin hasar durumları belirlenir, elemanların hasar durumu belirlenir ve son olarak sistemin hasar durumu belirlenerek performans seviyesi tespit edilir.

5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Doğrusal olmayan çözümlene yöntemlerinden biri olan *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*, artımsal dinamik çözümlene sağlar. Bu yöntemde, yer hareketi ivme kaydından hareketle zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır ve yapıya deprem yükü etki ettirilir. Sistemin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak hareket denklemleri adım adım entegre edilir. Her bir hesap adımında ortaya çıkan yerdeğiştirmelerin, plastik şekil değiştirmelerin ve kesitlerdeki iç kuvvetlerin deprem istemine karşılık maksimum değerleri hesaplanır [DBYBHY, 2007].

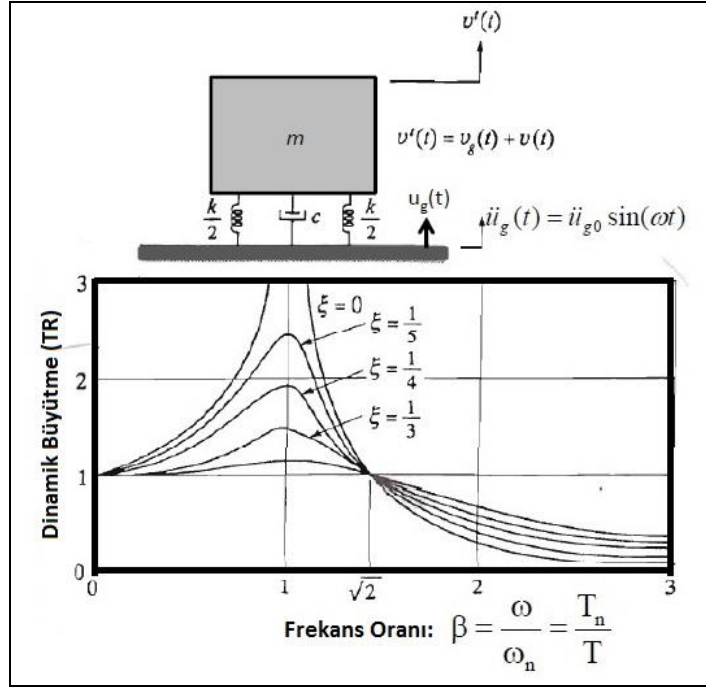
5.3.1. Sönüm Oranının Belirlenmesi

Sönüm, serbest titreşim halindeki yapıların, titreşim düzeylerini azaltan bir etkendir. Sönüm oranı yükseldikçe, yapıda ortaya çıkacak deplasmanlar azalır, sönüm oranı ne kadar düşük olursa yapı o kadar fazla deplasman yapar. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde, yerdeğiştirme değerlerinin gerçeğe daha yakın olması için, sisteme etki ettirilecek yükler belli bir sönüm oranı dikkate alınarak hesaplanır. Şekil 5.17’de, TSD bir sistemde sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altındaki deplasman-zaman ilişkisi görülmektedir [Chopra, 1995].



Şekil 5.17: TSD bir sistemin sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altında deplasman-zaman ilişkisi.

Bu konuda yapılan çalışmalar sonucu, %3-%10 arasında bir sönüm oranı yeterli kabul edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.18’de, TSD bir sistemde, farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütmenin frekansla olan ilişkisi görülmektedir [Fahjan, 2011]



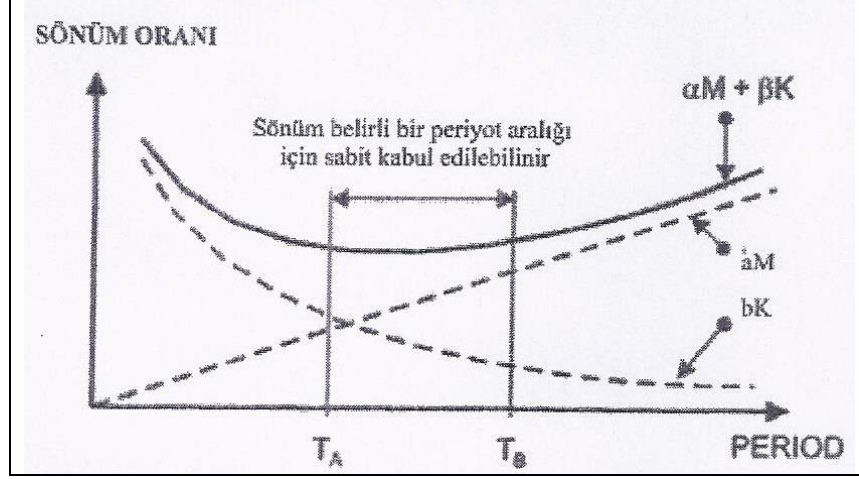
Şekil 5.18: TSD bir sistemde farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütme oranı.

Ragleigh Sönüm Modeli, analizde kullanılacak sistem için belirlenmesi gereken sönüm oranının en basit yolla elde edilmesini sağlar. Bu modele göre sönüm oranı, periyot ile ilişkilendirilir ve tanımlanan periyot aralığında sistemin sönüm oranı sabit kabul edilir. Rayleigh Sönüm Modeli sönüm matrisini, kütle ve rijitlik matrisine bağlı olarak α ve β katsayıları ile orantılı olarak tanımlar. Denklem (5.20)’de Rayleigh Sönüm Modeli’ne ait sönüm matrisi verilmiştir.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5.20)$$

Denklemde; $[C]$, sisteme ait sönüm matrisini; $[M]$, sisteme ait kütle matrisini; $[K]$, sisteme ait rijitlik matrisini, α ve β katsayıları Rayleigh sönüm modelinde

istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları temsil etmektedir. Şekil 5.19'da da, Rayleigh Sönüm Modeli için elde edilmiş sönüm oranı-periyot ilişkisi gösterilmiştir [Fahjan, 2011].



Şekil 5.19: Rayleigh Sönüm Modeli için sönüm oranı-periyot ilişkisi.

5.3.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik çözümleme yönteminde süreleri ve frekans içerikleri aynı, ivme değerleri farklı olan en az üç veya yedi tane yer hareketi ivme kaydı kullanılır. Tasarımda üç yer hareketinin kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, yedi ve daha fazla yer hareketi dikkate alınması durumunda ise sonuçların ortalaması dikkate alınır. Sisteme etki ettirilecek deprem kayıtları 3 farklı yöntemle elde edilebilir. Bu yöntemler şu şekildedir;

- Gerçek deprem kayıtları kullanmak.
- Yapay deprem kayıtları üretmek.
- Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) deprem kayıtları kullanmak.

Gerçek deprem kayıtları iki türlü seçilebilir. Bunlardan ilki, yer hareketinin özelliklerine göre tasarım spektrumuna dayandırılarak seçmektir. İkincisi ise, yer hareketinin büyüklüğü, mesafesi ve zemin sınıfı parametrelerine bağlı olarak tasarlanan deprem senaryosuna göre seçmektir. Bu yöntemlerden ilkinin kullanmak,

yani tepki spektrumuna uygun deprem kaydı seçmek, hem sismik tehlike analizi sonucu ortaya çıkacak tepki spektrumu ile uyuşmayı sağlar hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlar. Deprem büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini etkilediği için uygun büyüklüğe göre seçim yapmak önemli bir kriterdir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin hedef deprem büyüklüğünün ± 0.25 yaklaşıklıkta olması yeterlidir. Faya yakın olan bölgelerde seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olmasına dikkat edilmelidir [Özdemir ve Fahjan, 2007].

Gerçek deprem kayıtları göz önüne alınan tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilir. Zaman tanım alanında ölçeklemede, yer hareketi kaydı sabit bir katsayı ile çarpılarak istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna göre eşleştirilir. Bu işlem, yer hareketi kaydının frekans içeriğini değiştirmez. Frekans tanım alanında ölçeklemede ise, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Bu işlem de deprem kaydının frekans özelliklerini değiştirmez. Bu yöntem kullanıldığında tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde edilebilir [Özdemir ve Fahjan, 2007].

Yer hareketi seçilirken tek bir deprem kaydı da göz önüne alınabilir, birden çok deprem kaydı da seçilebilir. Tek bir deprem kaydı seçilmesi yöntemi; en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Birden çok deprem kaydı kullanılması durumunda, bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak deprem kayıtlarının ortalaması tasarım ivme spektrumuna eşleştirilir [Özdemir ve Fahjan, 2007].

Gerçek ivme kayıtları uygun şekilde kullanılamayacak ise, bunun yerine yapay ivme kayıtları kullanılabilir. Üretilen yapay ivme kayıtları için deprem ivmesi kaydı seçerken maksimum frekans aralığının, yapının hakim periyodu ile örtüşen kayıtlar seçilmesine dikkat edilmelidir. Yapay ivme kayıtları elde etmenin en yaygın şekli, tepki spektrumu (yönetmeliğe göre belirlenmiş spektrum) dikkate alınarak buna yakın ses dalgası üretmektir. Fakat yapay ivme kayıtları aynı spektruma sahip olmalarına rağmen faz dağılımları ve kayıt süreleri farklı olabilmektedir. İvme kaydının süresi, yapının doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur da, üretilen kaydın sıfır periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerinin ortalaması, A_{0g} 'den küçük

olmamalıdır. Yapay olarak elde edilen ivme kaydı %5 sönüm oranına göre yeni spektral ivme değerlerinin ortalaması olarak elde edilir ve gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim periyoda göre $0.2T_1-2T_1$ arasındaki periyotlar için yönetmelikte belirtilen elastik spektral ivmelerin %90'ından az olmayacak şekilde yeni bir spektral ivme-periyot grafiği elde edilir. Bu konuda dikkate alınacak azaltılmış spektral ivme değerleri DBYBHY (2007) Denklem (2.13)' te verilmiştir.

Eğer bu yöntemi kullanmak da mümkün değil ise spektrum benzeştirmesi yapılabilir. Bunun için bölgenin yerel zemin koşullarına uygun bir ivme kaydı seçilir. İvme kaydının tepki spektrumu ile hedef spektrumunun birbirine yakın olmasına dikkat edilmelidir. Zaman tanım alanında iteratif yöntem kullanılarak ve yapay ivme kayıtları elde edilirken dikkat edilmesi gereken hususlara uyularak ivme kaydı elde edilir. Elde edilen ivme kaydının değerleri kullanılarak Spektral İvme-Periyot ($S_{ac}-T$) grafiği elde edilir ve analizlerde bu spektrum değerleri kullanılır [DBYBHY, 2007].

6. HASARGÖREBİLİRLİK KAVRAMI ve HASARGÖREBİLİRLİK OLASILIK EĞRİLERİNİN ÇIKARILMASI

Hasargörebilirlik, belirli bir bölgedeki yapı stokunun hasar durumunun sınıflandırılmasında kullanılan bir kavramdır. Hasargörebilirlik analizleri, yapılarda oluşacak hasar durumları ve can kayıpları tahmini hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Son dönemlerde ülkemizde, gelecekte olması ihtimali yüksek depremler için hasargörebilirlik olasılık eğrileri kullanılarak kentsel hasar tahmini ve can kaybı tahmini çalışmaları yapılmaya başlamıştır. Bir kent, bir bölge için yapılabilen bu çalışmalar, tek bir yapı için de yapılabilir. Bu çalışmada tek bir yapı göz önüne alınarak hasargörebilirlik olasılık eğrileri çıkarılmıştır. Hasargörebilirlik olasılık eğrilerinin nasıl elde edileceği konusundan önce, bilinmesi gereken bazı kavramlar açıklanmıştır.

6.1. Afet, Risk, Tehlike ve Zarar Görebilirlik Kavramları

Afet kelimesi; fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, insanların normal yaşantısını ve eylemlerini durduracak veya kesintiye uğratacak, imkanların yetersiz kaldığı, doğal veya insan kökenli olaylar olarak tanımlanabilir. Afetin büyüklüğü; meydana getirdiği can kayıplarının, yaralanmaların, yapısal hasarların, yol açtığı sosyal, ekonomik ve çevresel kayıpların toplamı olarak ölçülür. Denilebilir ki; afetin büyüklüğü, afetin verdiği zarar görebilirliğin bir ölçüsüdür.

Zarar Görebilirlik; tehlikeye maruz olan bir unsurun ya da unsurlar grubunun (insan, yapı, yerleşme birimi, kent, çevre, sosyo-ekonomik düzen vb.), tehlikenin meydana gelmesi halinde görebileceği fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel kayıp ve zararların bir ölçüsüdür.

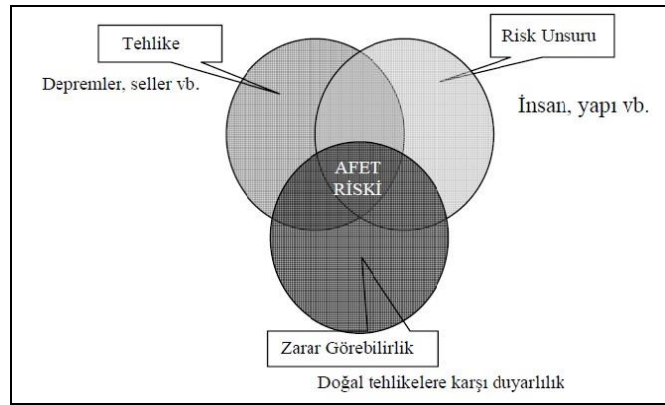
Risk ise; doğal bir olay veya tehlikenin, insan yerleşmeleri üzerinde var olan fiziksel, sosyal, ekonomik, çevresel, politik ve kültürel süreçlere bağlı olarak yol açabileceği kayıplar olarak tanımlanabilir. Riskten, diğer bir deyişle kayıp olasılığından bahsedebilmek için, belirli bir yerde, belirli bir büyüklükte bir olay veya tehlikenin var olması ve olay olmadan önce mevcut değerlerin bu tehlikeden

etkilenme oranlarının veya zarar görebilirliklerinin belirlenmesi veya tahmin edilebilmesi gerekmektedir. O halde; insanlar, yerleşim bölgeleri, yapılar vb. birer risk unsurlarıdır, sonucu çıkarılabilir.

Bilinmesi gereken bir diğer kavram ise tehlikenin ne olduğudur. Tehlike; insan toplulukları için olumsuz etkiler doğurması mümkün olan doğal, teknolojik ve insan kökenli olayların tümü olarak tanımlanabilir. Tehlike; bulunulan konuma, bölgeye, ülkeye göre ve hatta aynı tehlikenin büyüklüğü, tekrarlanma süresi ve olası etkileri de bu konumlara göre değişiklik arz eder [Web 10, 2013]. Burada önemli olan, doğal kaynakların, deprem mühendisliği alanında depremlerin, oluşturduğu tehliktir. Deprem Tehlikesi, herhangi bir yerde meydana gelen bir depremin göz önüne alınan belirli bir zaman diliminde, herhangi bir parametresinin (söz konusu depremi tanımlayan herhangi bir parametre) belirli bir büyüklüğe ulaşma olasılığıdır [Aydınoglu, 2012]. Depremlerin hepsi birer afet olayıdır, denemez. Depremin, bir afet olayına dönüşmesi için tehlike oluşturması gerekmektedir. O halde; depremler birer tehlike unsurudur, denilebilir.

Tüm tanımlardan yola çıkılarak, afet riskinin söz konusu olabilmesi için Tehlike, Risk Unsuru ve Zarar Görebilirlik kavramlarının bir arada olması gerekmektedir, sonucuna varılabilir. Bu tanım bir formülasyonla ifade edilmek istenirse eşitlik (6.1) yazılabilir. Şekil 6.1'deki şemada afet riskinin oluşabilmesi için bir araya gelmesi gereken unsurlar şematik olarak ifade edilmiştir [Özkul ve Karaman, 2005].

$$\text{Afet riski} = \text{Tehlike} \times \text{Risk} \times \text{Zarar Görebilirlik} \quad (6.1)$$



Şekil 6.1: Afet riski oluşma süreci.

6.2. Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması

Hasargörebilirlik olasılık eğrileri, söz konusu olan yapı veya yapı stokunun belirli bir deprem etkisi altında oluşacak hasar düzeylerinin, yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere ulaşması veya bu sınır değerleri aşması olasılığını belirlememizi sağlar. Hasargörebilirlik olasılık eğrileri, deprem riskini lognormal birikimli dağılım fonksiyonu olarak ifade etmektir [Aydınöğlu, 2007]. Hasargörebilirlik olasılık eğrilerini etkileyen birçok etken vardır. Taşıyıcı sistemin yapısal parametreleri, taşıyıcı sistem elemanlarının özellikleri, taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının özellikleri, yapının veya yapı grubunun bulunduğu konum, zemin özellikleri, depremin büyüklüğü, maksimum yer ivmesi ve hızı vb. hasargörebilirlik olasılık eğrilerini etkileyen faktörlerden bazılarıdır.

Deprem hasargörebilirlik hesabı için iki genel yöntem vardır. Bunlar;

- Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlik Analiz Yöntemi
- Şiddet Esaslı Hasargörebilirlik Analiz Yöntemi

Bu çalışmada Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlik Analiz Yöntemi kullanılarak hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiştir.

6.2.1. Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması

Hasargörebilirlik olasılık eğrilerinin tanımlanması için ihtiyacımız olan parametreler en genel ifadeyle şu şekildedir:

- Yapı modelinin yüksekliğine bağlı sınıflandırması,
- Yapı modelinin sismik tasarım seviyesinin belirlenmesi,
- Yapının bulunduğu konuma göre zemin değerlerinin dikkate alınarak elde edilen maksimum deplasmanına ait spektrum grafiğinin elde edilmesi,

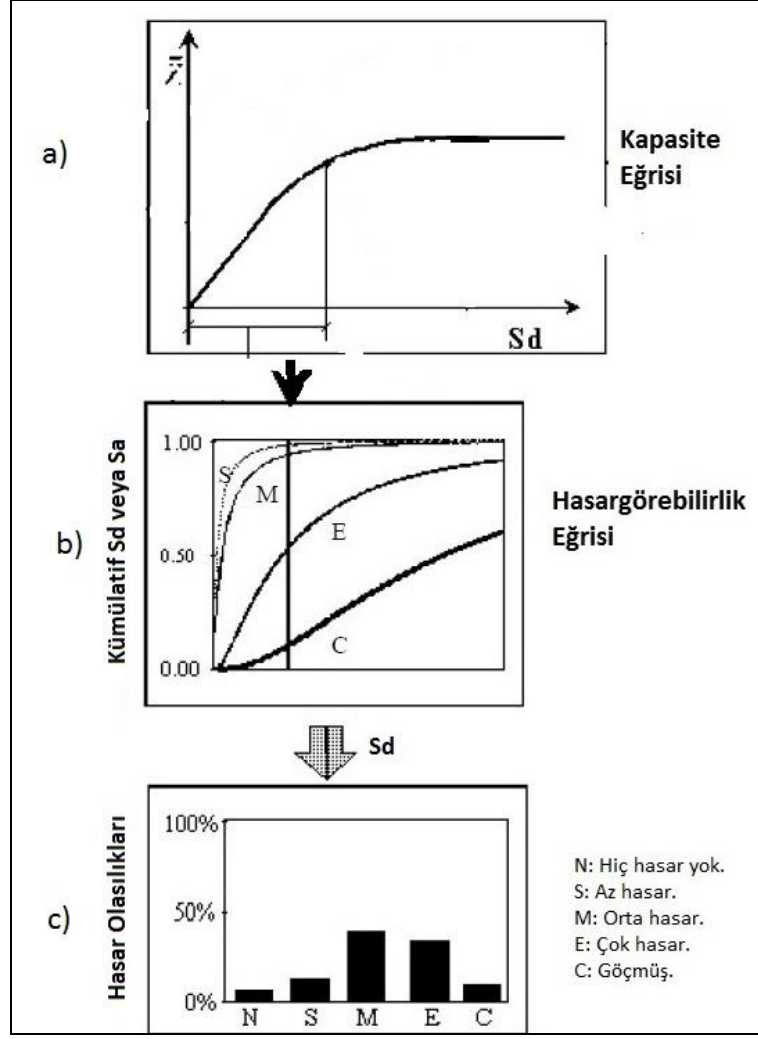
gerekmektedir [HAZUS-MR3, 2003].

Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlık Analiz Yöntemi'ne göre çözüm yapılırken, yapının maksimum görelı kat ötelemesi oranları dikkate alınır. Her yapı sınıfı için belirli hasar durumlarında oluşan maksimum görelı kat ötelemeleri için bir eşık değeri belirlenir. Bu eşık değere ulaşılması veya eşık değerin aşılması olasılığına göre hasargörebilirlık olasılık eğrileri çizdirilir ve yapıda oluşacak hasar tahmin edilir.

Yerdeğiştirme esaslı hasargörebilirlık yönteminde sırasıyla şu işlemler yapılır:

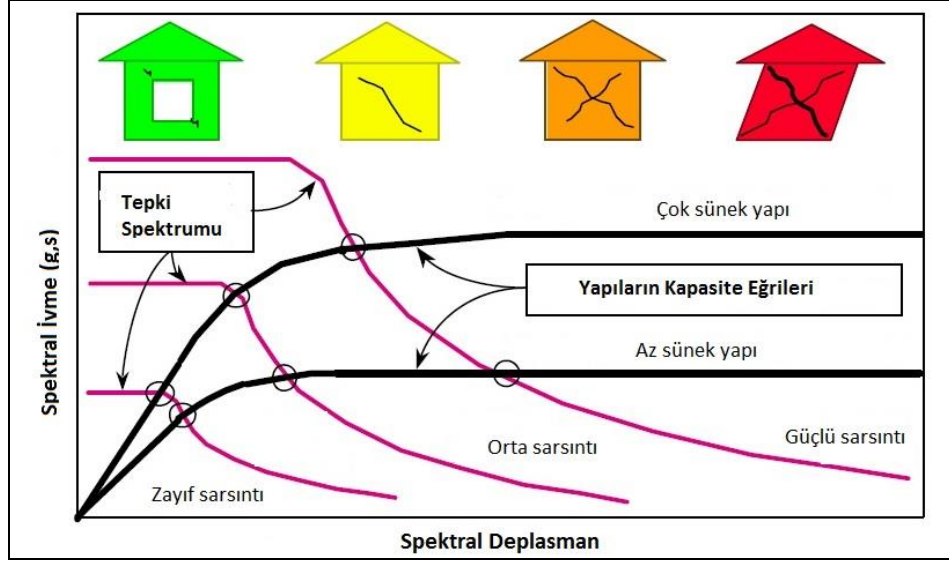
- İncelenen yapıya ait doğrusal olmayan itme analizi (veya doğrusal olmayan herhangi bir analiz yöntemi) yapılır ve modal kapasite diyagramı elde edilir.
- Yapıya ait bina türü sınıfı için geçerli medyan kapasite diyagramı elde edilir ve medyan modal kapasite diyagramına dönüştürülür.
- Medyan modal kapasite diyagramı ile medyan davranış spektrumu bir arada çizdirilerek doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeler elde edilir.
- Belirlenen spektral yerdeğiştirmeler kullanılarak hasar olasılığı eğrileri elde edilir.
- Bu eğriler yardımı ile yapıda oluşan hasar tahmin edilir.

Şekil 6.2'deki şema, bu işlemleri sırasıyla göstermektedir [HAZUS-MR3, 2003].

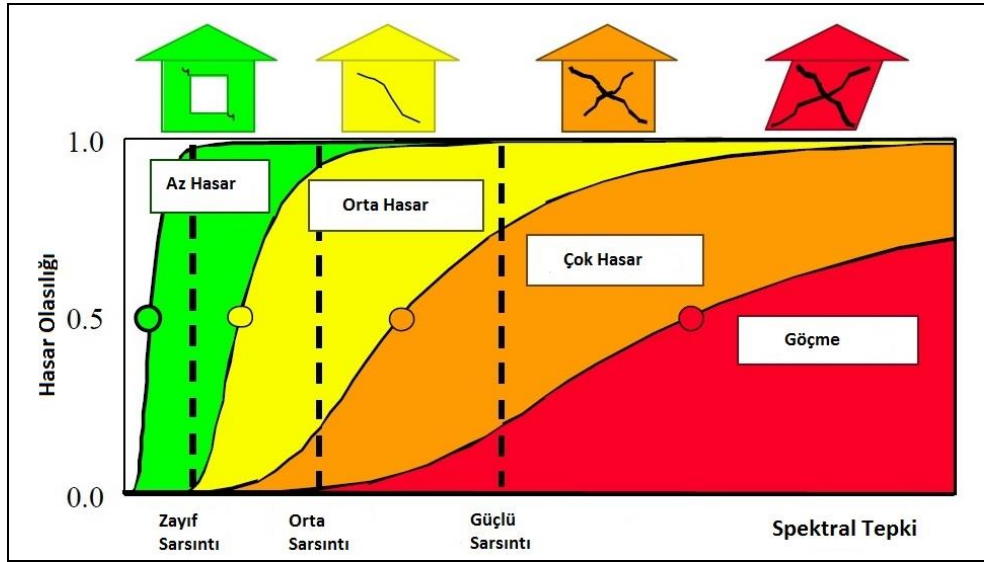


Şekil 6.2: Hasargörebilirlik hesaplama sırası şeması; a) Kapasite Eğrisi, b) Hasargörebilirlik Eğrisi, c) Hasar Olasılıkları Grafiği.

HAZUS-MR1 (2003) ve HAZUS-MR3 (2003)'e göre, yerdeğiştirme esaslı hasargörebilirlik olasılık eğrileri, yapıda oluşabilecek hasarın olasılıksal dağılımının lognormal kümülatif (birikimli) olasılık yoğunluk fonksiyonlarıyla ifade edilmesidir. Hasar olasılığı eğrisindeki yatay eksen spektral yerdeğiştirme istemini, düşey eksen ise yapısal hasarın belirli bir eşik değerine ulaşması yada aşmasının kümülatif olasılığını göstermektedir. Şekil 6.3'te, herhangi iki yapıya ait talep spektrumları ve kapasite eğrilerinin kesişimini gösteren diyagram örneği verilmiştir. Bu yapıların biri az sünek diğeri ise çok sünektir. Şekil 6.4'te ise herhangi bir yapıya ait, yer sarsıntısı şiddetine göre elde edilmiş hasargörebilirlik olasılık eğrilerini ve hasar seviyelerini gösteren grafik mevcuttur.



Şekil 6.3: Talep Spektrumu–Kapasite Eğrisi kesiştirilmesi.

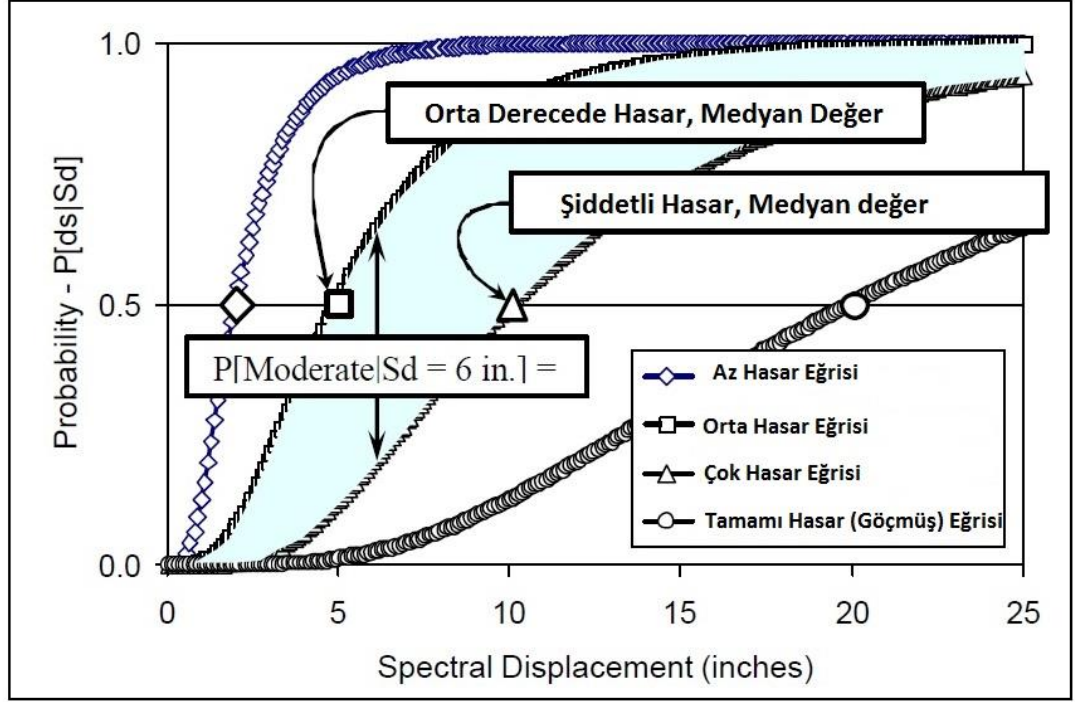


Şekil 6.4: Hasargörebilirlik olasılık eğrileri seviyeleri.

Yerdeğiştirme esaslı hasargörebilirlik olasılık eğrileri aşağıdaki denklemle tarif edilir:

$$P [ds | Sd] = \Phi [(1 / \beta ds) \ln (Sd / \hat{S}d, ds)] \quad (6.2)$$

Yukarıdaki denklemde; $\hat{S}_{d,ds}$, spektral deplasmanın bina hasarının d_s eşik değerine ulaştığı andaki medyan değerini; β_{ds} , spektral deplasmanın d_s hasar sınırındaki lognormal standart sapma değerini; Φ , standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu; P , hasar parametresini ifade etmektedir. Denklem (6.2) uygulanarak Şekil 6.5'teki gibi hasargörebilirlik olasılıkları eğrileri elde edilir [HAZUS-MR3, 2003].



Şekil 6.5: Hasargörebilirlik eğrileri.

6.2.2. Hasargörebilirlik Analizleri İçin Yapı Modellerinin Sınıflandırılması

Yapıların hasar durumlarının tanımlanabilmesi için, yapıların bazı parametreler açısından sınıflandırılmalarına gerek vardır. Bu amaçla HAZUS-MR1 (2003) ve HAZUS-MR3 (2003) şartnamelerinde yapıların ahşap, çelik, betonarme, prefabrik, yığma, perdeli veya perdesiz, taşıyıcı duvarlı veya taşıyıcı duvarsız, diyafram döşemeli veya döşemesiz tasarlanmış olmaları özelliklerine göre sınıflandırmaları yapılmıştır. Yapıların statik taşıyıcı sistem özelliklerine ve zemin özelliklerine göre yapılmış sınıflandırma tabloları da mevcuttur. Yapısal olmayan bileşenlerin (mimari,

mekanik, elektrik ve diğer) etkileri de sınıflandırmalarda ve hasar seviyelerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Tablo 6.1’de HAZUS (2003)’tan alınmış, sadece betonarme yapı sınıflandırmalarını kapsayan, betonarme yapı tipleri tablosu mevcuttur.

Tablo 6.1: HAZUS-MH MR3’e göre, betonarme yapı tipleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Yükseklik		
		Tanım	Kat	Metre
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	Az katlı	1 - 3	6
	C1M	Orta katlı	4 - 7	15
	C1H	Çok katlı	8+	37
Betonarme Perdeli	C2L	Az katlı	1 - 3	6
	C2M	Orta katlı	4 - 7	15
	C2H	Çok katlı	8+	37
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	Az katlı	1 - 3	6
	C3M	Orta katlı	4 - 7	15
	C3H	Çok katlı	8+	37
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	-	Tamamı	5
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	Az katlı	1 - 3	6
	PC2M	Orta katlı	4 - 7	15
	PC2H	Çok katlı	8+	37
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	Az katlı	1 - 3	7
	S4M	Orta katlı	4 - 7	18
	S4H	Çok katlı	8+	48

Hasargörebilirlik analizleri için bilinmesi gereken sınıflandırma parametrelerinden bir diğeri ise, yapıların gördüğü mühendislik kalitesidir. Yapıya ait kapasite diyagramı sonuçlarına göre, yapının gördüğü mühendislik hizmetinin kalitesi hakkında bilgi sahibi olunur.

Tüm parametrelere göre ayrı ayrı yapılmış sınıflandırma tabloları HAZUS’ta mevcuttur. HAZUS (2003)’a göre sınıflandırma seviyeleri şu şekildedir:

- Pre Code: Başlangıç sismik tasarım parametrelerine sahip, mühendislik hizmeti görmediği varsayılan yapılara ait sınıflandırma kodudur.
- Low Code: Düşük sismik tasarım parametrelerine sahip, az mühendislik hizmeti gördüğü varsayılan yapılara ait sınıflandırma kodudur.
- Moderate Code: Orta dereceli sismik tasarım parametrelerine sahip, orta seviyeli mühendislik hizmeti gördüğü varsayılan yapılara ait sınıflandırma kodudur.

- High Code: Yüksek dereceli sismik tasarım parametrelerine sahip, çok iyi seviyede mühendislik hizmeti gördüğü varsayılan yapılara ait sınıflandırma kodudur.

Aşağıda verilmiş Tablo 6.2, 6.3, 6.4, 6.5'te, hasar seviyeleri dikkate alınarak sınıflandırılmış betonarme yapıların modal kapasite diyagramlarının sahip olması gereken alt ve üst sınırlarına ait *Kapasite Eğrisi Parametreleri* değerleri mevcuttur. Tablolarda; D_y , akma anındaki maksimum yerdeğiştirme değerini (cm); A_y , akma anındaki maksimum ivme değerini (g,s); D_u , kopma anındaki maksimum yerdeğiştirme değerini (cm); A_u , kopma anındaki maksimum ivme değerini (g) ifade etmektedir [HAZUS-MR3, 2003].

Tablo 6.2: Mühendislik hizmeti görmemiş (Pre Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Kapasite Eğrisi Parametreleri			
		D_y	A_y	D_u	A_u
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.0025	0.6082	0.0447	1.8345
	C1M	0.0074	0.5101	0.0879	1.5304
	C1H	0.0127	0.2354	0.1148	0.7161
Betonarme Perdeli	C2L	0.003	0.981	0.0457	2.4525
	C2M	0.0066	0.8142	0.0066	2.0405
	C2H	0.0188	0.618	0.14	1.5598
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	0.003	0.981	0.0343	2.2073
	C3M	0.0066	0.8142	0.0495	1.8443
	C3H	0.0188	0.618	0.1049	1.4028
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.0046	1.4715	0.0549	2.943
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.003	0.981	0.0366	1.962
	PC2M	0.0066	0.8142	0.0528	1.6383
	PC2H	0.0188	0.618	0.112	1.2459
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.0025	0.7848	0.033	1.7658
	S4M	0.0069	0.6573	0.0625	1.4715
	S4H	0.0221	0.5003	0.1494	1.1183

Tablo 6.3: Az mühendislik hizmeti görmüş (Low Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Kapasite Eğrisi Parametreleri			
		D _y	A _y	D _u	A _u
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.0025	0.6082	0.0447	1.8345
	C1M	0.0074	0.5101	0.0879	1.5304
	C1H	0.0127	0.2354	0.1148	0.7161
Betonarme Perdeli	C2L	0.003	0.981	0.0457	2.4525
	C2M	0.0066	0.8142	0.0066	2.0405
	C2H	0.01880	0.618	0.14	1.5598
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	0.003	0.981	0.0343	2.2073
	C3M	0.0066	0.8142	0.0495	1.8443
	C3H	0.0188	0.618	0.1049	1.4028
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.0046	1.4715	0.1549	2.94
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.003	0.981	0.0366	1.962
	PC2M	0.0066	0.8142	0.0528	1.6383
	PC2H	0.0188	0.618	0.112	1.2459
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.0025	0.7848	0.0274	1.7658
	S4M	0.0069	0.6867	0.0521	1.4715
	S4H	0.0221	0.4905	0.1245	1.0791

Tablo 6.4: Orta seviyede mühendislik hizmeti görmüş (Moderate Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Kapasite Eğrisi Parametreleri			
		D _y	A _y	D _u	A _u
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.0051	1.1772	0.0894	3.7278
	C1M	0.0147	0.981	0.1755	3.0411
	C1H	0.0254	0.4905	0.2299	1.4715
Betonarme Perdeli	C2L	0.0061	1.962	0.0914	4.905
	C2M	0.0132	1.6677	0.1318	4.1202
	C2H	0.0373	1.2753	0.2799	3.1392
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	-	-	-	-
	C3M	-	-	-	-
	C3H	-	-	-	-
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.0091	2.943	0.1097	5.886
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.0061	1.962	0.0732	3.924
	PC2M	0.0132	1.6677	0.1054	3.2373
	PC2H	0.0373	1.2753	0.224	2.4525
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.0048	1.5696	0.0658	3.5316
	S4M	0.014	1.2753	0.1247	2.943
	S4H	0.0442	0.981	0.2987	2.2563

Tablo 6.5: İyi seviyede mühendislik hizmeti görmüş (High Code) betonarme binaların kapasite eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Kapasite Eğrisi Parametreleri			
		D_y	A_y	D_u	A_u
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.0099	2.4525	0.2385	7.3575
	C1M	0.0292	2.0601	0.4684	6.0822
	C1H	0.0511	0.981	0.6129	2.8449
Betonarme Perdeli	C2L	0.0122	3.924	0.2436	9.81
	C2M	0.0264	3.2373	0.3515	8.1423
	C2H	0.0747	2.4525	0.7465	6.2784
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	-	-	-	-
	C3M	-	-	-	-
	C3H	-	-	-	-
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.0183	5.886	0.2924	11.772
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.0122	3.924	0.1948	7.848
	PC2M	0.0264	3.2373	0.2812	6.5727
	PC2H	0.0747	2.4525	0.5974	5.0031
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.0097	3.1392	0.1755	7.0632
	S4M	0.0277	2.6487	0.3327	5.886
	S4H	0.0886	1.962	0.7968	4.5126

Aşağıda verilmiş Tablo 6.6, 6.7, 6.8, 6.9’da, hasar seviyelerine göre sınıflandırılmış betonarme yapıların, *Yerdeğiştirme Esaslı Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri* değerleri mevcuttur. Tablolarda; \hat{S}_{dx} , spektral deplasmanın bina hasarının d_x eşik değerine ulaştığı andaki medyan değerini (cm), β_{ds} , spektral deplasmanın d_x hasar sınırındaki lognormal standart sapma değerini ifade etmektedir [HAZUS-MR3, 2003].

Tablo 6.6: Mühendislik hizmeti görmemiş (Pre Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri							
		Hafif (Slight)		Orta (Moderate)		Ağır (Extensive)		Tam (Complete)	
		S_{ds}	β_s	S_{dm}	β_m	S_{de}	β_e	S_{dc}	β_c
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.0183	0.98	0.0292	0.94	0.0732	0.90	0.1829	0.97
	C1M	0.0305	0.73	0.0488	0.77	0.1219	0.83	0.3048	0.98
	C1H	0.0439	0.71	0.0701	0.80	0.1755	0.94	0.4389	1.01
Betonarme Perdeli	C2L	0.0147	1.11	0.0279	1.09	0.0721	1.07	0.1829	0.93
	C2M	0.0244	0.86	0.0465	0.83	0.1204	0.80	0.3048	0.98
	C2H	0.0351	0.73	0.0671	0.75	0.1732	0.92	0.4389	0.97
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	0.0109	1.19	0.0218	1.15	0.0549	1.15	0.1280	0.92
	C3M	0.0183	0.90	0.0366	0.86	0.0914	0.90	0.2134	0.96
	C3H	0.0264	0.73	0.0526	0.75	0.1316	0.90	0.3073	0.95
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.0109	1.14	0.0175	1.14	0.0439	1.17	0.1201	0.98
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.0147	1.14	0.0234	1.10	0.0587	1.10	0.1600	0.93
	PC2M	0.0244	0.87	0.0391	0.83	0.0978	0.91	0.2667	1.00
	PC2H	0.0351	0.74	0.0561	0.75	0.1410	0.91	0.3840	0.96
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.0175	1.11	0.0282	1.03	0.0704	0.99	0.1920	0.98
	S4M	0.0292	0.81	0.0470	0.80	0.1173	0.94	0.3200	1.00
	S4H	0.0457	0.73	0.0732	0.75	0.1831	0.90	0.4994	0.97

Tablo 6.7: Az mühendislik hizmeti görmüş (Low Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri							
		Hafif (Slight)		Orta (Moderate)		Ağır (Extensive)		Tam (Complete)	
		S_{ds}	β_s	S_{dm}	β_m	S_{de}	β_e	S_{dc}	β_c
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.02286	0.95	0.03658	0.91	0.09144	0.85	0.2286	0.97
	C1M	0.0381	0.7	0.06096	0.74	0.1524	0.86	0.381	0.98
	C1H	0.05486	0.7	0.08788	0.81	0.21946	0.89	0.54864	0.98
Betonarme Perdeli	C2L	0.01829	1.04	0.0348	1.02	0.09017	0.99	0.2286	0.95
	C2M	0.03048	0.82	0.05817	0.81	0.15037	0.81	0.381	0.99
	C2H	0.04394	0.68	0.08382	0.73	0.21666	0.84	0.54864	0.95
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	0.01372	1.09	0.02743	1.07	0.06858	1.08	0.16002	0.91
	C3M	0.02286	0.85	0.04572	0.83	0.1143	0.79	0.2667	0.98
	C3H	0.03302	0.71	0.06579	0.74	0.16459	0.9	0.38405	0.97
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.01372	1	0.0221	1.05	0.05512	1.12	0.15011	0.89
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.01829	1.08	0.02921	1.03	0.07341	0.98	0.20015	0.96
	PC2M	0.03048	0.81	0.04877	0.79	0.12217	0.84	0.33325	0.99
	PC2H	0.04394	0.71	0.07036	0.75	0.17602	0.89	0.48006	0.98
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.02184	1.05	0.03505	0.98	0.08814	0.89	0.24003	0.98
	S4M	0.03658	0.76	0.05867	0.78	0.14681	0.9	0.40005	0.99
	S4H	0.05715	0.7	0.09144	0.75	0.22885	0.9	0.62408	0.98

Tablo 6.8: Orta seviyede mühendislik hizmeti görmüş (Moderate Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri							
		Hafif (Slight)		Orta (Moderate)		Ağır (Extensive)		Tam (Complete)	
		S_{ds}	β_s	S_{dm}	β_m	S_{de}	β_e	S_{dc}	β_c
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.02286	0.89	0.03962	0.9	0.10668	0.9	0.27432	0.89
	C1M	0.0381	0.7	0.06604	0.7	0.1778	0.7	0.4572	0.89
	C1H	0.05486	0.66	0.095	0.66	0.25603	0.76	0.65837	0.91
Betonarme Perdeli	C2L	0.01829	0.91	0.03861	0.97	0.10592	1.03	0.27432	0.87
	C2M	0.03048	0.81	0.06426	0.77	0.17653	0.73	0.4572	0.91
	C2H	0.04394	0.66	0.09246	0.68	0.254	0.7	0.65837	0.87
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	-	-	-		-		-	
	C3M	-		-		-		-	
	C3H	-		-		-		-	
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.01372	0.89	0.02388	0.92	0.06401	0.97	0.18009	1.04
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.01829	0.96	0.03175	1	0.0856	1.03	0.24003	0.88
	PC2M	0.03048	0.82	0.05283	0.79	0.14249	0.75	0.40005	0.93
	PC2H	0.04394	0.68	0.0762	0.69	0.20523	0.77	0.57607	0.89
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.02184	0.96	0.0381	1	0.10262	1.03	0.28804	0.92
	S4M	0.03658	0.75	0.0635	0.72	0.17094	0.72	0.48006	0.94
	S4H	0.05715	0.66	0.09906	0.67	0.2667	0.7	0.74879	0.9

Tablo 6.9: İyi seviyede mühendislik hizmeti görmüş (High Code) betonarme binaların hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

Yapı Sınıflandırması	İsim	Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri							
		Hafif (Slight)		Orta (Moderate)		Ağır (Extensive)		Tam (Complete)	
		S_{ds}	β_s	S_{dm}	β_m	S_{de}	β_e	S_{dc}	β_c
Betonarme Moment Çerçevesi	C1L	0.02286	0.81	0.04572	0.84	0.13716	0.86	0.36576	0.81
	C1M	0.0381	0.68	0.0762	0.67	0.2286	0.68	0.6096	0.81
	C1H	0.05486	0.66	0.10973	0.64	0.32918	0.67	0.87782	0.78
Betonarme Perdeli	C2L	0.01829	0.81	0.04572	0.84	0.13716	0.93	0.36576	0.92
	C2M	0.03048	0.74	0.0762	0.77	0.2286	0.68	0.6096	0.77
	C2H	0.04394	0.68	0.10973	0.65	0.32918	0.66	0.87782	0.75
Dolgu duvarlı Betonarme Çerçeve	C3L	-	-	-	-	-	-	-	-
	C3M	-	-	-	-	-	-	-	-
	C3H	-	-	-	-	-	-	-	-
Prekast Betonarme Duvarlı	PC1	0.01372	0.76	0.02743	0.86	0.0823	0.88	0.24003	0.99
Perdeli Prekast Betonarme Çerçevesi	PC2L	0.01829	0.84	0.03658	0.88	0.10973	0.98	0.32004	0.94
	PC2M	0.03048	0.77	0.06096	0.81	0.18288	0.7	0.5334	0.82
	PC2H	0.04394	0.64	0.08788	0.66	0.2634	0.68	0.7681	0.81
Yerinde Dökmeli Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve	S4L	0.02184	0.89	0.04394	0.89	0.13157	0.98	0.38405	0.87
	S4M	0.03658	0.77	0.07315	0.72	0.21946	0.7	0.64008	0.89
	S4H	0.05715	0.64	0.11405	0.66	0.34239	0.69	0.99847	0.77

Bu çalışmada göz önüne alınan yapı modeli, HAZUS (2003) sınıflandırmalarına göre C1M isimli yapı sınıflandırmasına girmektedir. Hasargörebilirlik olasılık eğrilerinin çıkarılmasında, HAZUS (2003) tablolarındaki C1M için olan sınır değerler kullanılmıştır. HAZUS (2003)'a göre C1M sınıfı, orta katlı betonarme moment çerçevesi taşıyıcı sisteme sahip yapıları teşkil etmektedir. C1M sınıfı, betonarme çerçeve olmaları dışında, çelik moment çerçevelere benzer. Çerçeve sistemlerinde büyük bir çeşitlilik vardır. Eski beton çerçeveler deprem etkisi ile gevrek kırılmaya uğrayabilirler. Bazı çerçevelerin bir kısmı, bazılarının ise tamamı göçebilir. Yüksek depremsellik bölgelerinde orantılı ve sünek davranan çerçeveler, deprem sırasında göçmeye uğramadan büyük deformasyonlar alabilirler.

C1M sınıfı yapı sistemlerinde meydana gelecek yapısal hasar sınırı seviyeleri şu şekildedir:

- Hafif Yapısal Hasar (Slight): Eğilme veya kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde kesme tipi kılcal çatlaklar görülür.
- Orta Yapısal Hasar (Moderate): Çoğu kiriş ve kolonda kılcal çatlaklar görülür. Sünek çerçeveler içindeki bazı çerçeve elemanları akma kapasitelerine ulaşır. Taşıyıcı elemanlarda büyük eğilme çatlakları ve betonda kabarak dökülmeler görülür. Sünek olmayan elemanlarda ise büyük kesme çatlakları ve betonda ezilme meydana gelir.
- Kapsamlı Yapısal Hasar (Extensive): Çerçeve elemanlarının bazıları kopma kapasitesine ulaşır. Bu elemanlarda büyük eğilme çatlakları, betonda ezilme meydana gelir. Gevrek olan çerçeve elemanları ise, çoktan kesme göçmesine uğradıkları için kısmi görmelere neden olabilirler.
- Tam Yapısal Hasar (Complete): Gevrek olmayan çerçeve elemanları dayanımlarının tamamını yitirdiklerinden dolayı yapıda yaşanan stabilite kaybıyla göçme tehlikesi içinde olduğu söylenir. Buna göre C1 türü binalarda; alçak katlı yapılarda toplam alanın yaklaşık %13'ü, orta katlı yapılarda toplam alanın yaklaşık %10'u, yüksek katlı yapılarda toplam alanın yaklaşık %5'i komple hasar sınırında olduğunda yapının göçmesi beklenir.

7. SAYISAL ANALİZLER

Bu bölümde; çalışmada kullanılan bina modeli, kullanılan veriler ve yapılan analizler anlatılmıştır.

Taşıyıcı sistem, Probina Orion (2013) programında modellenmiş, Doğrusal Elastik Analiz yapılmıştır. Daha sonra model Sap2000 (2013) programına aktarılmış, Doğrusal Elastik Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak analiz tekrar edilmiş ve taşıyıcı sistem modeli kontrol edilmiştir. Analizlere Sap2000 (2013) programı kullanılarak devam edilmiştir.

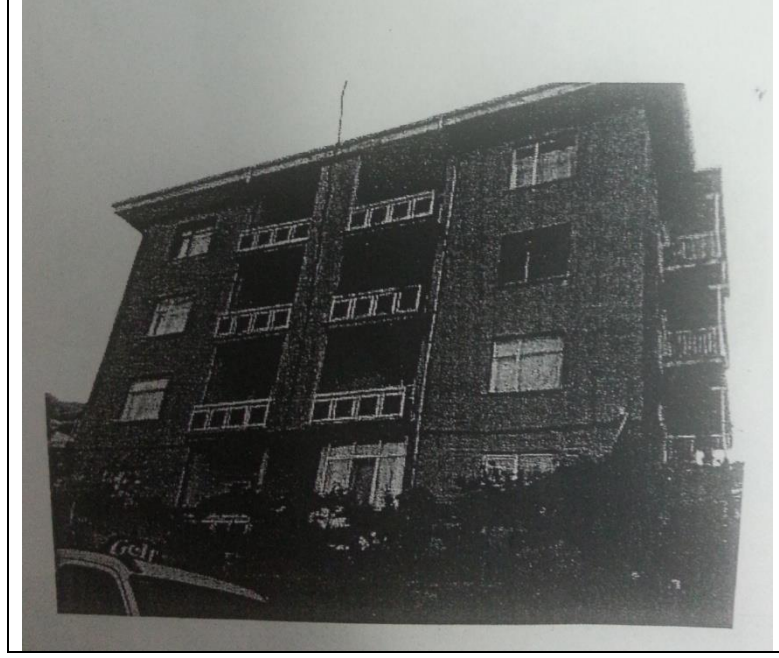
Taşıyıcı sistem, iki model olarak tasarlanmıştır. Her iki model de birbirinin aynısıdır, fakat yapılacak işlemler farklıdır. İlk modelde, elde edilen veriler ışığında oluşturulan taşıyıcı sistem Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak Statik İtme Analizine tabi tutulmuş ve yapıya ait kapasite diyagramları elde edilmiştir. Kapasite diyagramları yardımı ile maksimum görelî kat ötelemeleri bulunmuş ve bu değerler kullanılarak yapı modelinin hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. İkinci modelde, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi kullanılarak taşıyıcı sistem deprem kuvvetleri etkisiyle analiz edilmiştir. Depremden hasar görmüş binanın maksimum görelî kat ötelemelerine göre hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Sonuç kısmında, hasar görmemiş ve deprem etkisiyle hasar görmüş yapının hasargörebilirlik eğrileri karşılaştırılmıştır.

7.1. İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli

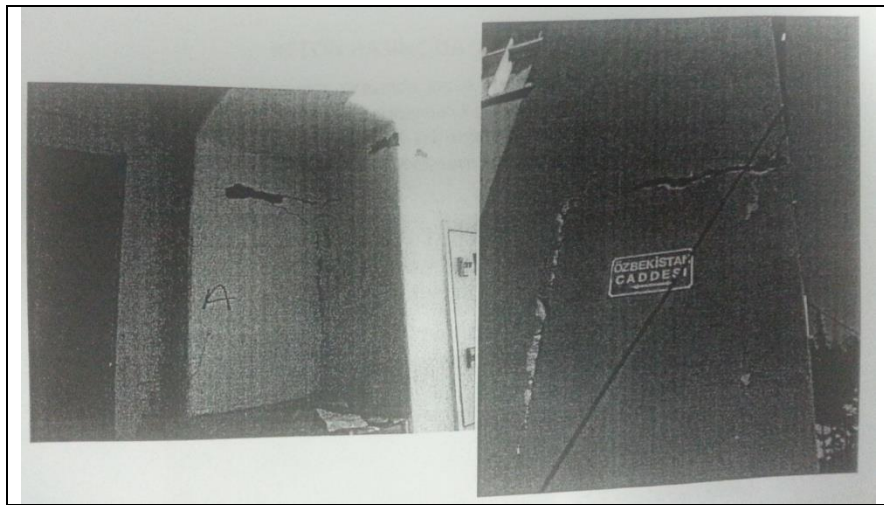
Araştırma için seçilen yapı; Kütahya ili, Simav ilçesi, Merkez’de bulunan, 19 Mayıs 2011 tarihinde gerçekleşen Kütahya–Simav depreminde hasar görmüş, AFAD tarafından inceleme yapılmış, hakkında rapor yazılmış, bunun üzerine güçlendirme projesi yapılması istenmiş, konut tipi olarak kullanılan, orta katlı betonarme bir binadır. *Bina Önem Katsayısı*, DBYBHY (2007) Bölüm 2, Madde 2.4.2’ye göre; $I=1$ olarak dikkate alınmıştır.

Taşıyıcı sistem modeli oluşturulmadan önce, binaya ait gerçek mimari ve statik projeler, zemin etüd raporları, AFAD raporu elde edilmiş ve bu bilgiler ışığında model oluşturulmuştur [İMO, 2013]. Dolayısıyla analizlerde, *Bilgi Düzeyi Katsayısı*

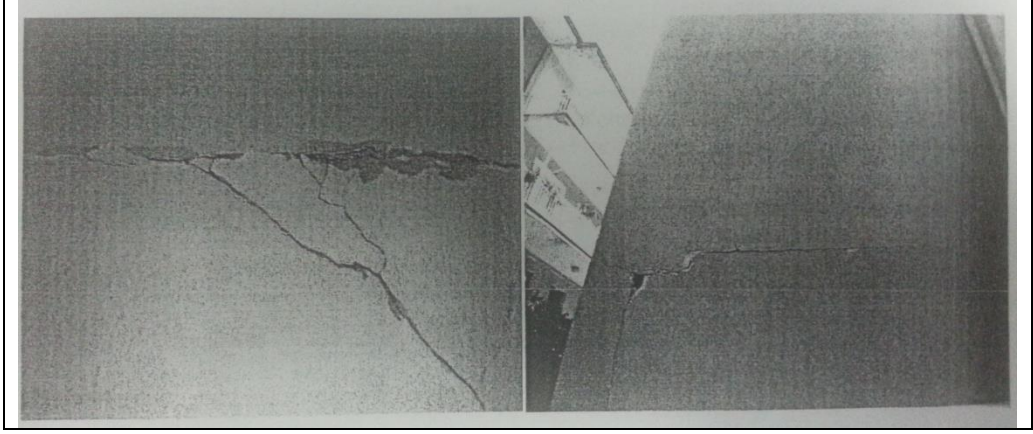
DBYBHY (2007) Bölüm 7, Madde 7.2.16.'ya göre *Kapsamlı* (1) olarak dikkate alınmıştır. Şekil 7.1'de bina modelinin gerçek fotoğrafı, Şekil 7.2, 7.3, 7.4'te, binadaki hasar fotoğrafları mevcuttur. Tablo 7.1'de ise bina hakkındaki bilgiler verilmiştir. Binadan alınmış karot numune fotoğrafları Şekil 7.5'te, Tablo 7.2'de de karot numuneleri sonucu elde edilmiş beton basınç dayanımları ve donatı bilgileri mevcuttur [AFAD, 2012].



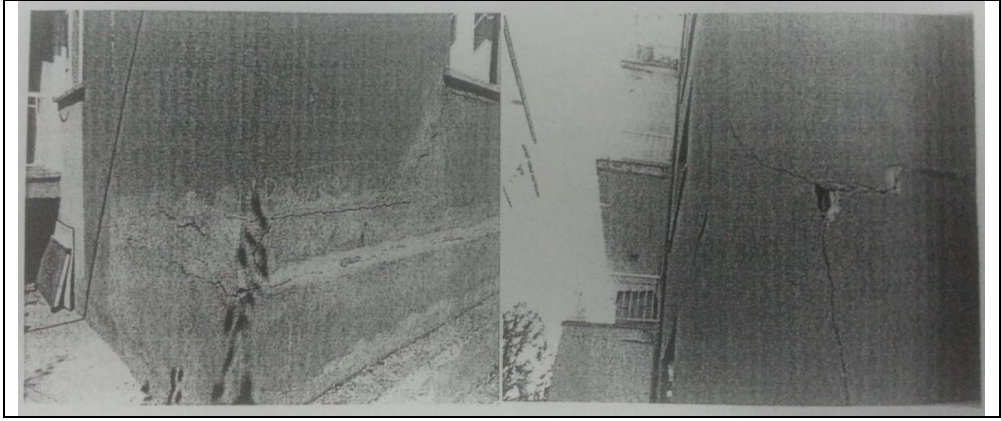
Şekil 7.1: Taşıyıcı sistem modeline ait fotoğraf.



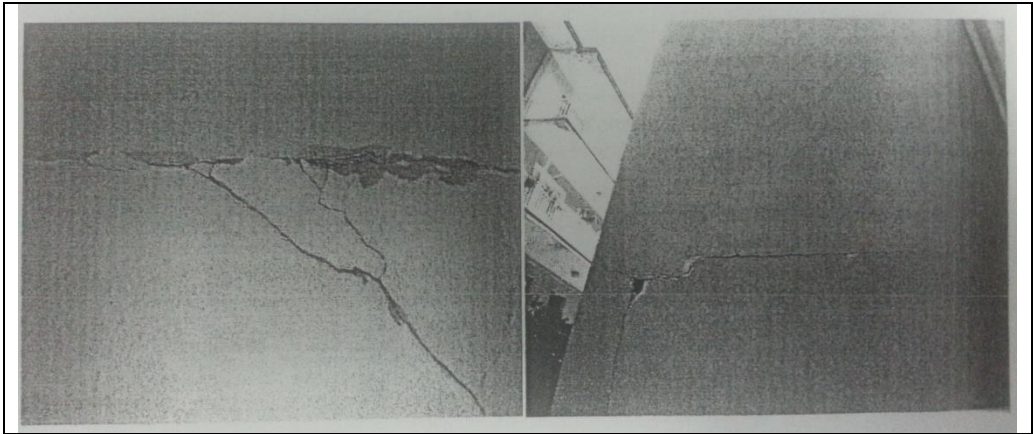
Şekil 7.2: Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.



Şekil 7.3: Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.



Şekil 7.4: Binadaki dolgu duvar hasarlarına ait fotoğraflar.



Şekil 7.5: Binadan alınmış karot numunelerini gösteren fotoğraflar.

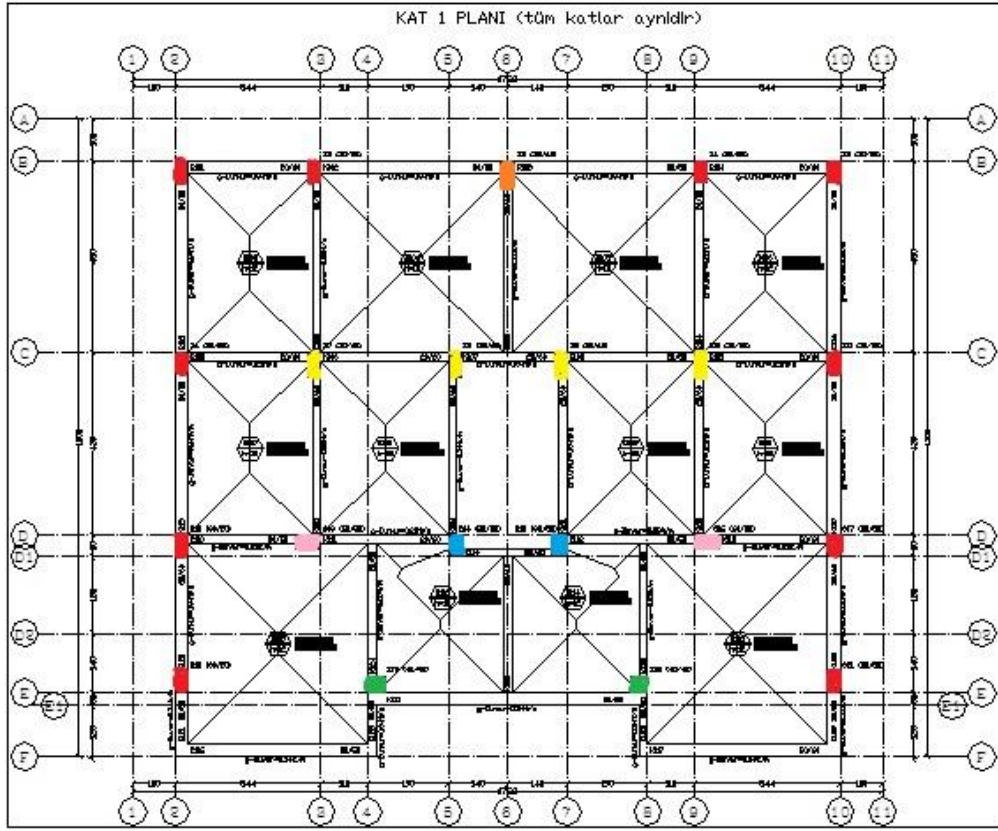
Tablo 7.1: Bina modeli hakkındaki bilgiler.

BİNA BİLGİLERİ	
İl / İlçe / Mahalle	Kütahya/Simav/ Çavdır
Parsel Yüzölçümü	1126 m ²
İnşaat Taban Alanı	238 m ²
İmar Planındaki Tahsis Amacı	Konut
Yapı Nizamı	Bitişik
Yapı Yüksekliği	12.20 m
Kat Yüksekliği (Her katta aynı)	2.80 m
Deprem Bölgesi	1.Derece
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A ₀)	0.40 g
Bina Önem Katsayısı (I)	1.0
Zemin Grubu	B
Yerel Zemin Sınıfı	Z2
Spektrum Karakteristik Periyotları	T _A = 0.15 s / T _B = 0.40 s
En Düşük Kottan Kazı Derinliği	1.00 m
Zemin Emniyet Gerilmesi (q _a)	2.00 kgf/cm ²
Düşey Yatak Katsayısı (K _s)	4000 ton/m ³
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T ₀)	0.40 s
Zemin Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ _n)	2.30 ton/m ³

Tablo 7.2: Bina modeline ait karot deney sonuçları.

KAROT DENEY SONUÇLARI		
Zemin Bilgileri:	Zemin Sınıfı: Z2	Zemin Kayma Dalgası Hızı (V _s , m/s): 225
Beton Bilgileri:	Beton Basınç Dayanımı (MPa): 8.5	
Donatı Bilgileri:	Donatı Sınıfı: BÇI	Kolon Etriye Bilgisi: Ø8/25/20

Yapının tüm katlarında kat planları aynıdır ve Şekil 7.6'da örnek kat planı gösterilmiştir.



Şekil 7.6: Örnek kat planı.

X doğrultusundaki aks aralıkları 1 askından 11 aksına doğru sırasıyla; 100, 344, 110, 190, 140, 140, 190, 110, 344, 100 cm'dir. Y doğrultusundaki aks aralıkları F aksından A aksına doğru sırasıyla; 125, 30, 140, 180, 50, 430, 450, 100 cm'dir.

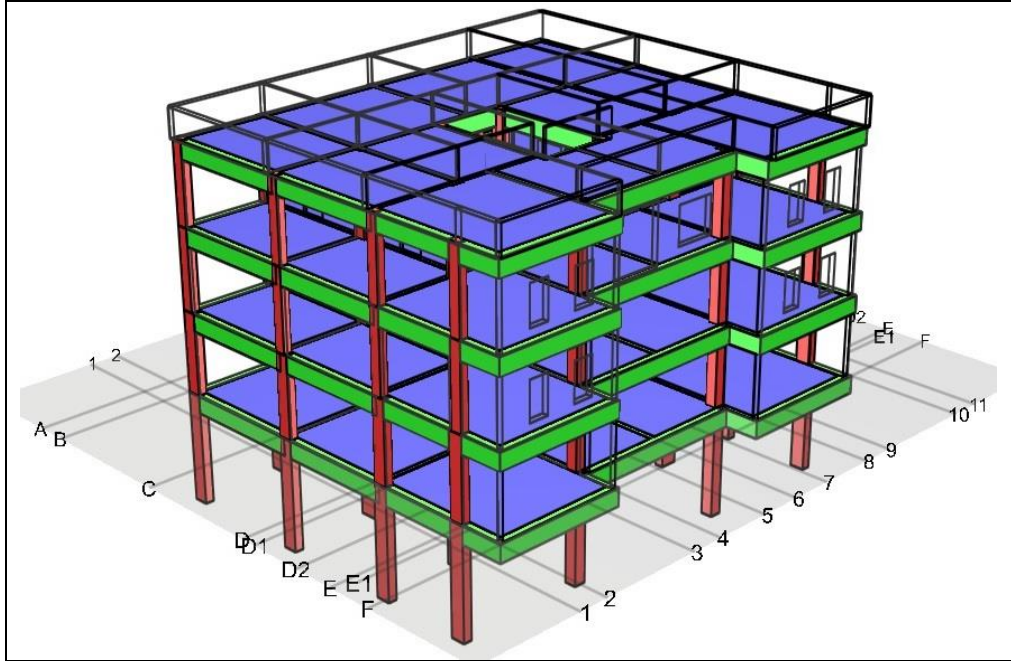
1. ve 2. katlar aynı kesit ve donatıya sahip kolon ve kirişlerle tasarlanmıştır, 3. ve 4. katlarda ise bazı kolon kesitleri küçülmüştür ve her iki katta da aynıdır.

- 1.ve 2. katlarda 30/50 cm boyutlarındaki kolonlar, 3. ve 4. katlarda 30/40 cm'e küçülmüştür.
- 1. ve 2. katlarda 60/30 cm boyutlarındaki kolonlar, 3. ve 4. katlarda 50/30 cm'e küçülmüştür.
- 1. ve 2. katlarda 30/60 cm boyutlarındaki kolonlar, 3. ve 4. katlarda 30/50 cm'e küçülmüştür.

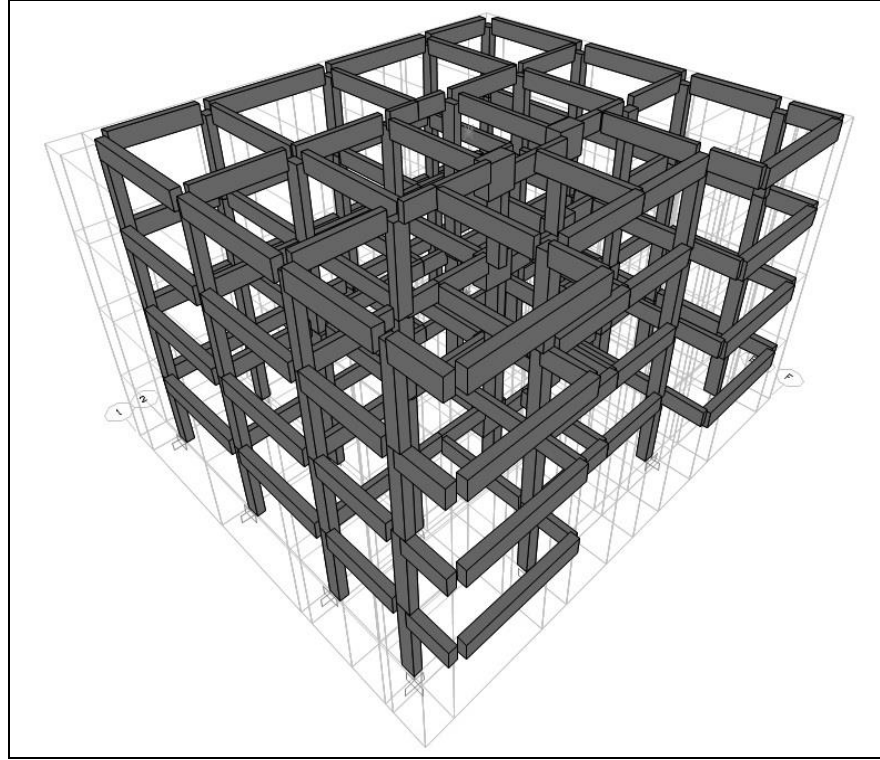
Bütün döşemeler 12 cm kalınlığındadır ve döşeme ölü yükü; $g=0.5 \text{ t/m}^2$, döşeme hareketli yükü; $q=0.35 \text{ t/m}^2$ 'dir. Kiriş duvar yükleri mimari projeye göre tanımlanmış, 10 cm kalınlığındaki tuğla duvar yükleri; $g=0.23 \text{ t/m}$, 20 cm kalınlığındaki tuğla duvar yükleri; $g=0.34 \text{ t/m}$ 'dir.

7.2. Analizler İçin Oluşturulan Taşıyıcı Sistem Modeli

Bina modeli oluşturulurken, yapıya ait statik ve mimari projelerdeki taşıyıcı sistem ve eleman özellikleri, yapılan deney ve inceleme sonuçları elde edilmiş veriler kullanılmıştır. İlk model Probina Orion (2013) programında oluşturulmuştur, model fotoğrafı Şekil 7.7'de görülmektedir. Daha sonra model Sap2000 (2013) programına aktarılmış, taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan beton ve donatı çeliği malzeme özellikleri, kesit özellikleri, donatı bilgileri sistemde tanımlanmıştır. Sap2000 (2013) programında tanımlanmış model fotoğrafı ise Şekil 7.8'de görülmektedir.



Şekil 7.7: Probina Orion programında oluşturulmuş 3D bina modeli görünümü.



Şekil 7.8: Sap2000 programında oluşturulmuş 3D bina modeli görünümü.

7.3. Depremden Hasar Görmemiş Yapı Modelinin, Doğrusal Elastik Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemi ile Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması

Analizler için tanımlanmış olan birinci model, depremden hasar görmemiş yapı modelini temsil etmektedir.

Prokina Orion (2013) programında oluşturulan yapı modeli, Doğrusal Elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analize tabi tutulmuştur. Analiz sonucu; X doğrultusundaki hakim titreşim periyodu, $T_{1X}=0.493$ s ve Y doğrultusundaki hakim titreşim periyodu, $T_{1Y}=0.439$ s olarak elde edilmiştir. Yapı modeli SAP2000 (2013) programına aktarılmış ve daha sonraki işlemlere bu program kullanılarak devam edilmiştir. (G+nQ) yüklemesi altında Doğrusal Statik Modal Analiz yapılmıştır. Taşıyıcı elemanların çatlama kesit rijitlikleri, DBYBHY (2007) Madde 7.4.13.'e göre hesaplanmış ve kesitlere atanmıştır. Buna göre çatlama kesit rijitlikleri tüm kirişlerde $0.4EI$, tüm kolonlarda $0.65EI$ olarak değiştirilmiştir. Çatlama kesit rijitlikleri bu şekilde atandıktan sonra model tekrar analiz edilmiştir. İki analiz

sonuçları karşılaştırıldığında hakim periyot ve modal kütle katılım oranlarının değiştiği görülmüştür. Çatlamış kesit rijitliklerinin atanmasından önce ve sonra yapılan Doğrusal Statik Modal Analiz sonucu elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.3: Çatlamış kesit rijitlikleri atanmadan önceki analiz sonucu modal değerler.

Modal Kütle Katılım Oranları			
Mod Sayısı	Period	U _x	U _y
Mod 1	0.49304	0.74827	3.3E-09
Mod 2	0.43894	4.7E-08	0.81874
Mod 3	0.42406	0.09506	2.3E-07
Mod 4	0.16651	0.10519	2.1E-10
Mod 5	0.14725	0.00706	2E-07

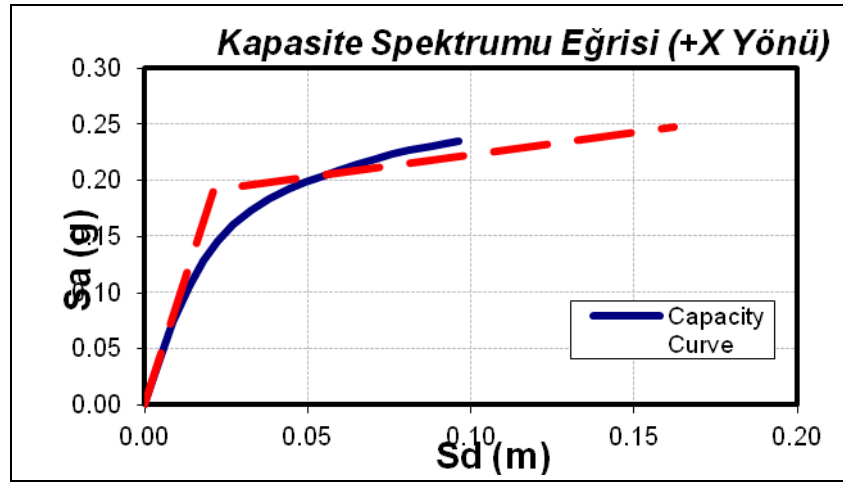
Tablo 7.4: Çatlamış kesit rijitlikleri atandıktan sonraki analiz sonucu modal değerler.

Modal Kütle Katılım Oranları			
Mod Sayısı	Period	U _x	U _y
Mod 1	0.666065	0.71109	6.771E-09
Mod 2	0.607468	3.015E-08	0.81298
Mod 3	0.569816	0.12783	5.932E-08
Mod 4	0.219887	0.10149	4.23E-10
Mod 5	0.195348	5.346E-08	0.12424

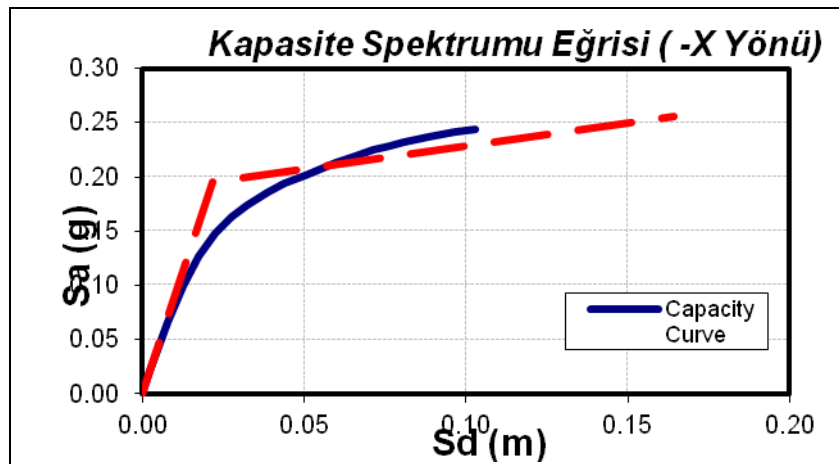
İtme analizi yapılabilmesi için FEMA (2000) yönetmeliğine göre, taşıyıcı sistem elemanlarının mafsallık özellikleri belirlenmiş ve kesitlere atanmıştır. Kolonlarda, doğrusal olmayan statik (G+nQ) modal yüklemesi altında, donatı sıklaştırması olmadan, aksenal kuvvet, M22 ve M33 yönlerinde taşıyıcı sistem elemanının alt ve üst uç bölgelerine 5 cm uzaklıkta plastik mafsallar tanımlanmıştır. Kirişlerde ise, yine aynı yüklemesi altında, M22 ve M33 yönlerinde, donatı sıklaştırması olmadan, taşıyıcı sistem elemanının sağ ve sol uç bölgelerine 5 cm uzaklıkta plastik mafsallar tanımlanmıştır. Daha sonra itme analizi için (+) ve (-) yönlerde, (X) ve (Y) doğrultularında yüklemesi kombinasyonları oluşturulmuştur. (G+nQ) (taşıyıcı sistem yükleri) kombinasyonlu doğrusal olmayan statik yüklemesi kombinasyonu (PG), (+X) yönünde taşıyıcı sistem yükleri altında itme analizi

kombinasyonu ($PX+$), (+Y) yönünde taşıyıcı sistem yükleri altında itme analizi kombinasyonu ($PY+$), (-X) yönünde taşıyıcı sistem yükleri altında itme analizi kombinasyonu ($PX-$), (-Y) yönünde taşıyıcı sistem yükleri altında itme analizi kombinasyonu ($PY-$) yüklemeleri oluşturulmuştur.

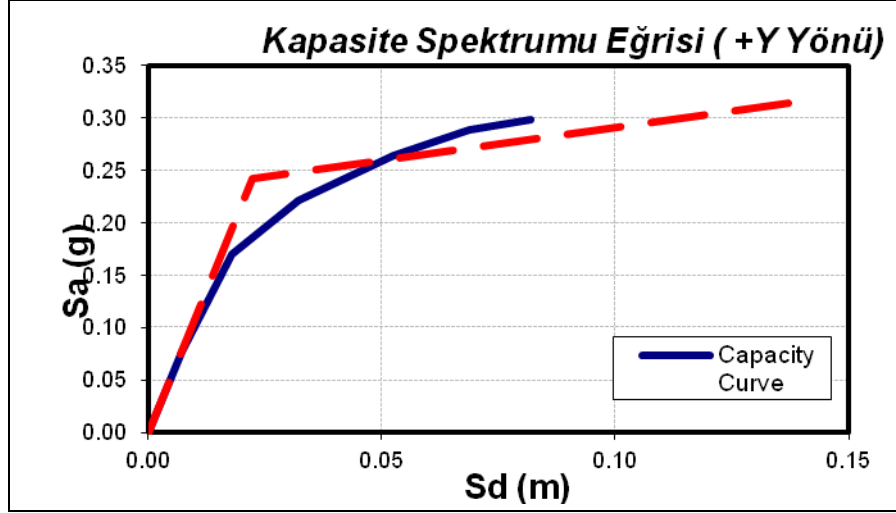
İtme analizi sonucu her doğrultuda elde edilen spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme değerleri kullanılarak Kapasite Spektrumu Eğrileri ($S_{ae}-S_d$) çizdirilmiştir ve bilineer hale dönüştürülmüş. Depremden hasar görmemiş yapı modelinin ($PX+$), ($PX-$), ($PY+$), ($PY-$) yönlerine ait Kapasite Spektrumu Eğrileri sırasıyla aşağıdaki Şekil 7.9, 7.10, 7.11 ve 7.12’de verilmiştir. Grafiklerde kırmızı renkli olan eğri, bilineer hale dönüştürülmüş Kapasite Spektrumu eğrisidir.



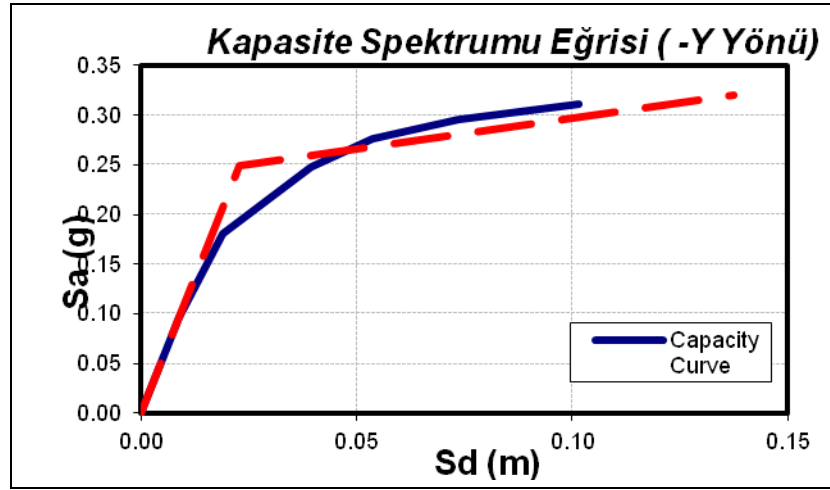
Şekil 7.9: (+X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.



Şekil 7.10: (-X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.

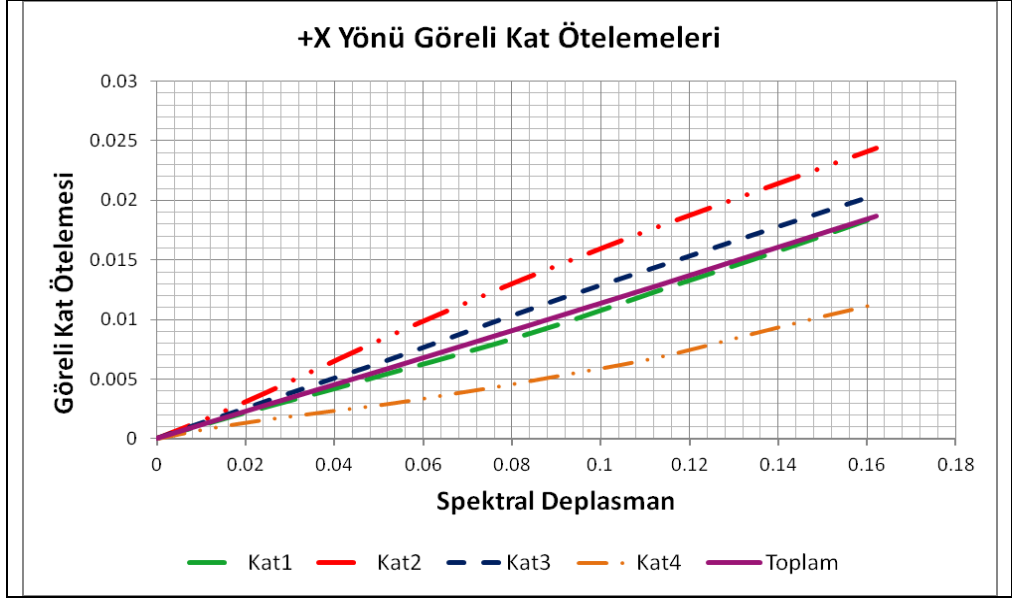


Şekil 7.11: (+Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.

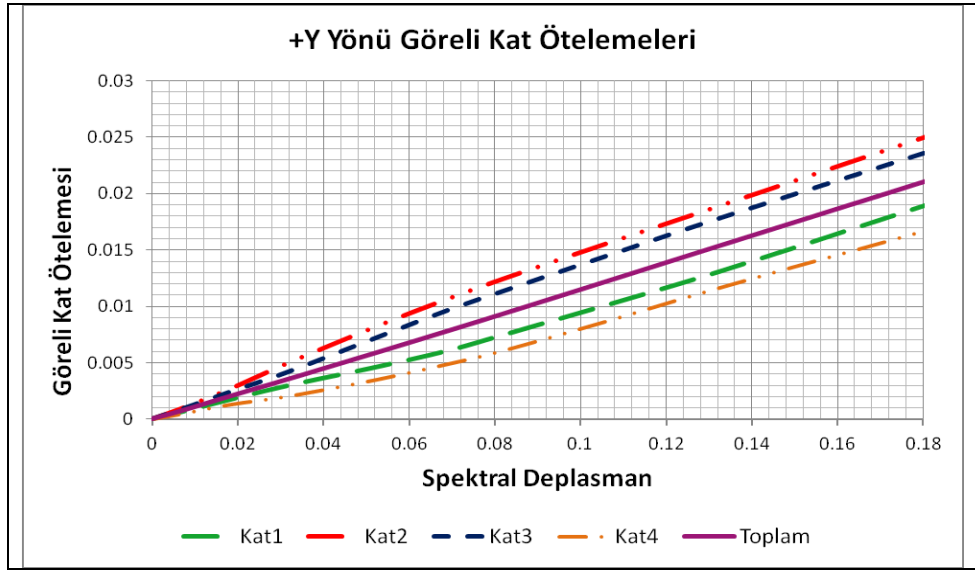


Şekil 7.12: (-Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.

Yapıya ait hasargörebilirlik eğrilerini elde edebilmek için, itme analizi sonucu sistemde oluşmuş görelî kat ötelemelerine ihtiyaç vardır. Görelî kat ötelemeleri, SAP2000 (2013) programında her katın ağırlık merkezi noktasında tanımlanmıştır. (PX+) ve (PY+) yükleme kombinasyonları ile yapılan itme analizleri sonucu elde edilen spektral deplasmanlar ile maksimum görelî kat ötelemelerinin ilişkisini veren grafikler aşağıdaki Şekil 7.13 ve 7.14'te verilmiştir.



Şekil 7.13: (+X) yönü itme analizi sonucu Göreli Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.



Şekil 7.14: (+Y) yönü itme analizi sonucu Göreli Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.

Analizde dikkate alınan taşıyıcı sistem, HAZUS (2003) tablolarındaki sınıflandırmalara göre betonarme moment çerçevesi, orta katlı (C1M), az mühendislik hizmeti görmüş (Low Code) bir yapıdır. Hasargörebilirlik olasılığı eğrileri, görelî kat ötelemeleri dikkate alınarak elde edilmiştir. HAZUS (2003)'ta, sistemin görelî kat ötelemeleri sınır değerleri, kapasite spektrumu parametreleri sınır değerleri ve hasargörebilirlik olasılık eğrileri parametreleri sınır değerleri tanımlanmıştır.

Analizi yapılan binaya ait bu sınır değerleri tanımlayan parametreler aşağıdaki Tablo 7.5, 7.6 ve 7.7’de verilmiştir.

Tablo 7.5: C1M, Low Code yapıya ait HAZUS görel kat ötelemesi sınır değerleri.

Orta Katlı, Az Müh. Hizmeti Görmüş Yapı	Az Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Tam Hasar
	0.00267	0.00533	0.01333	0.03333

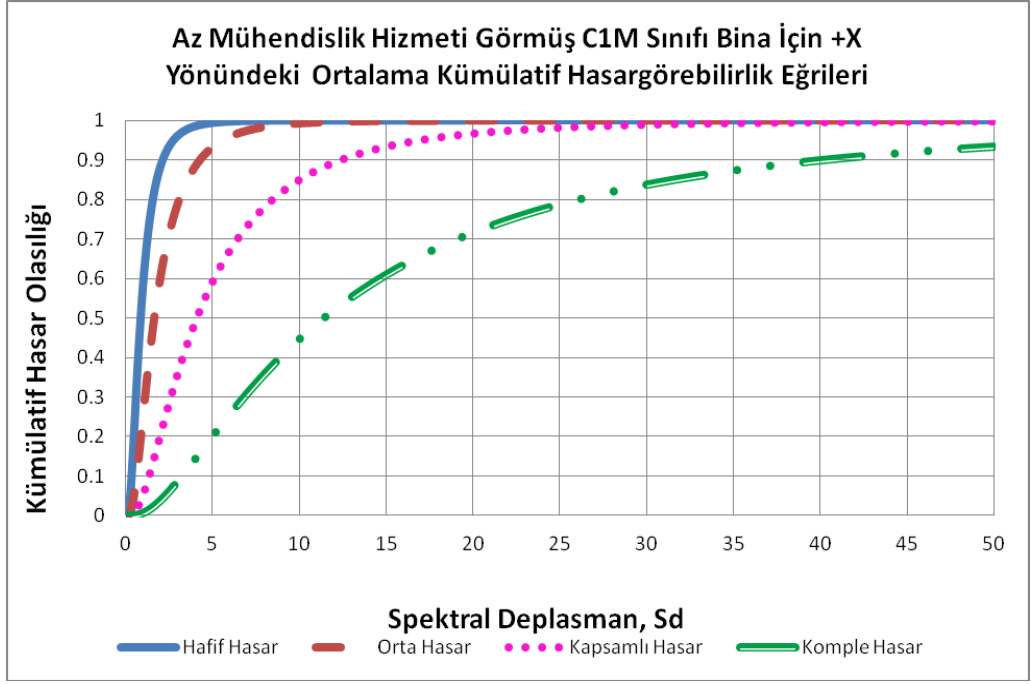
Tablo 7.6: C1M, Low Code yapıya ait HAZUS hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

Hasargörebilirlik Olasılık Eğrisi Parametreleri							
Hafif (Slight)		Orta (Moderate)		Ağır (Extensive)		Tam (Complete)	
S_{ds}	β_s	S_{dm}	β_m	S_{de}	β_e	S_{dc}	β_c
0.0381	0.7	0.06096	0.74	0.1524	0.86	0.381	0.98

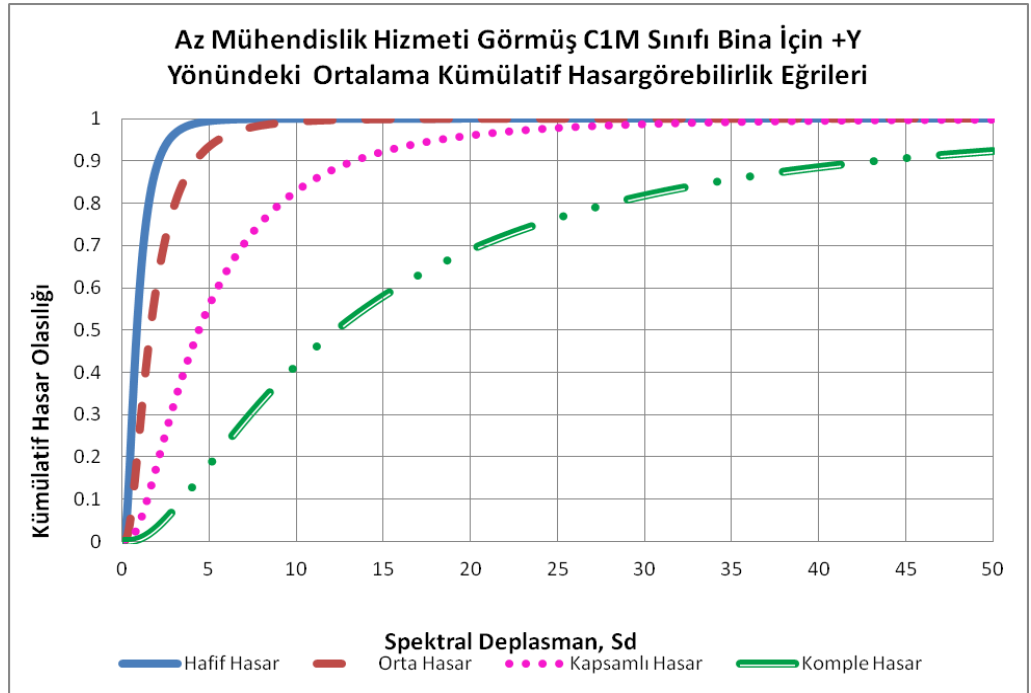
Tablo 7.7: C1M, Low Code yapıya ait HAZUS hasargörebilirlik kapasite eğrisi parametreleri.

Kapasite Eğrisi Parametreleri			
D_y	A_y	D_u	A_u
0.0074	0.5101	0.0879	1.5304

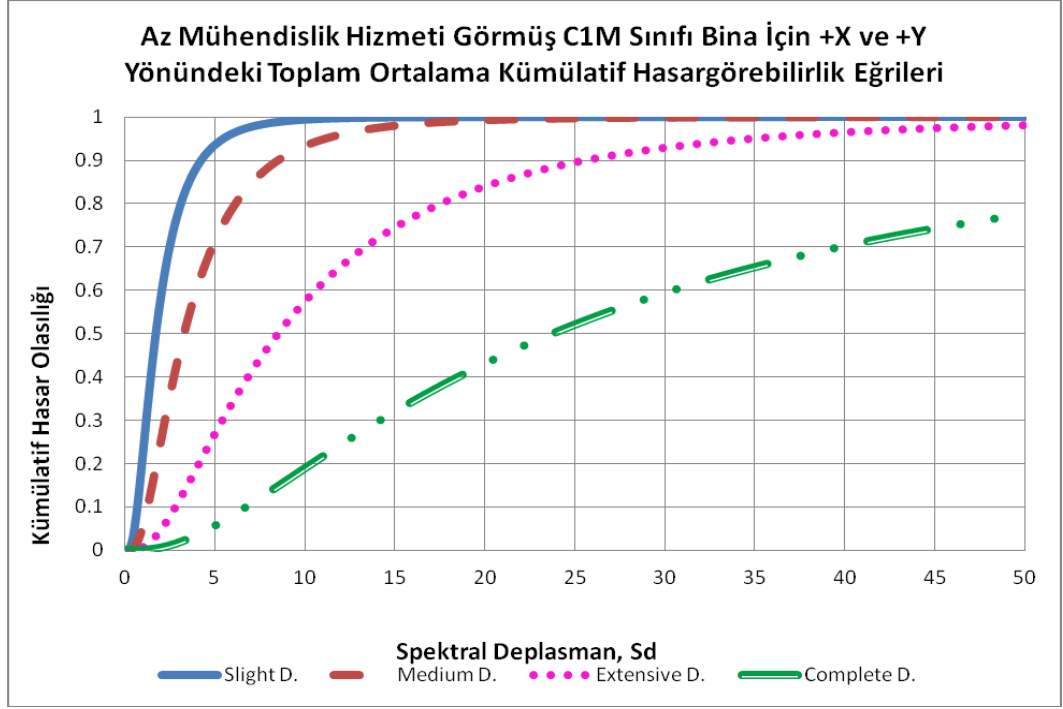
Yapıya ait daha önce elde edilen görel kat ötelemesi-spektral deplasman grafiklerinde Tablo 7.5’teki sınır görel kat ötelemesi sınır değerleri bulunmuş ve bu değerlere karşılık gelen spektral deplasman değerleri elde edilmiştir. Bulunan spektral deplasmanlar ile β değerlerinin kümülatif lognormal dağılımı ile hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilir. (+X) ve (+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrileri aşağıdaki Şekil 7.15 ve 7.16’da gösterilmiştir. Her iki yöndeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi ise Şekil 7.17’dedir.



Şekil 7.15: (+X) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.



Şekil 7.16: (+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.



Şekil 7.17: (+X) ve (+Y) yönündeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.

7.4. Depremden Hasar Görmüş Yapı Modelinin Zaman Tanım Alanında ve Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemleri ile Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması

Analizler için tanımlanmış olan ikinci model, depremden hasar görmüş yapı modelini temsil etmektedir. Depremden hasar görmemiş birinci yapı modeli için, itme analizi prosedürüne kadar olan işlemlerin aynısını yapılarak ikinci model oluşturulmuştur. Yapıya Zaman Tanım Alanında deprem kuvveti etki ettirilmiş, az hasar görmüş ve bazı taşıyıcı elemanlarında plastik mafsallar oluşmuş model elde edilmiştir. Daha sonra Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi yapılmış ve depremden hasar görmüş yapı modelinin hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiştir.

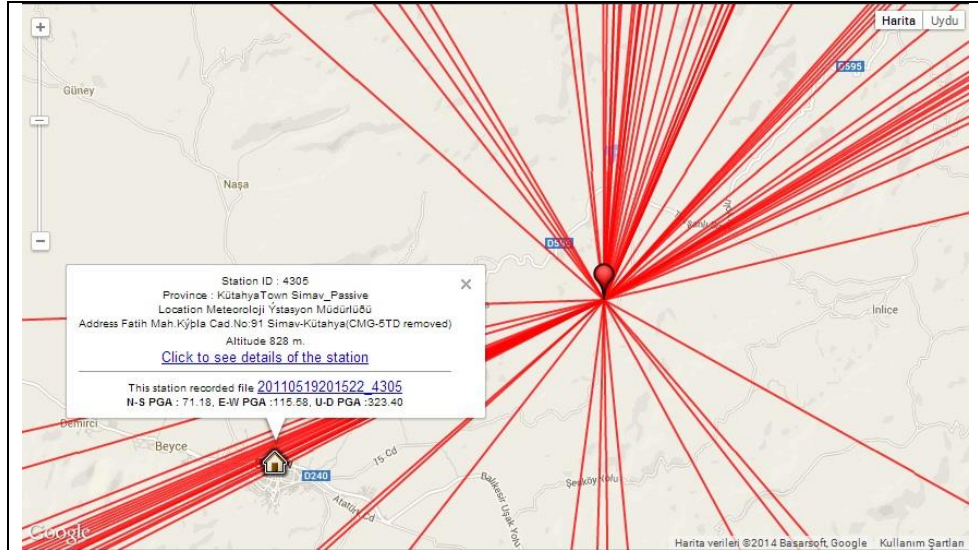
Göz önüne alınan yapı modeli, 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depreminde hasar görmüş bir konut projesidir. Sisteme etki ettirilecek kuvvetli yer hareketi, yapının gerçekte hasar gördüğü deprem ivmesi kaydı olarak seçilmiştir.

Yapıya etki ettirilecek deprem ivmesi kaydı, AFAD'ın kuvvetli yer hareketi kayıtları kataloğundan elde edilmiştir. Deprem büyüklüğü ve oluş tarihi bilgilerine

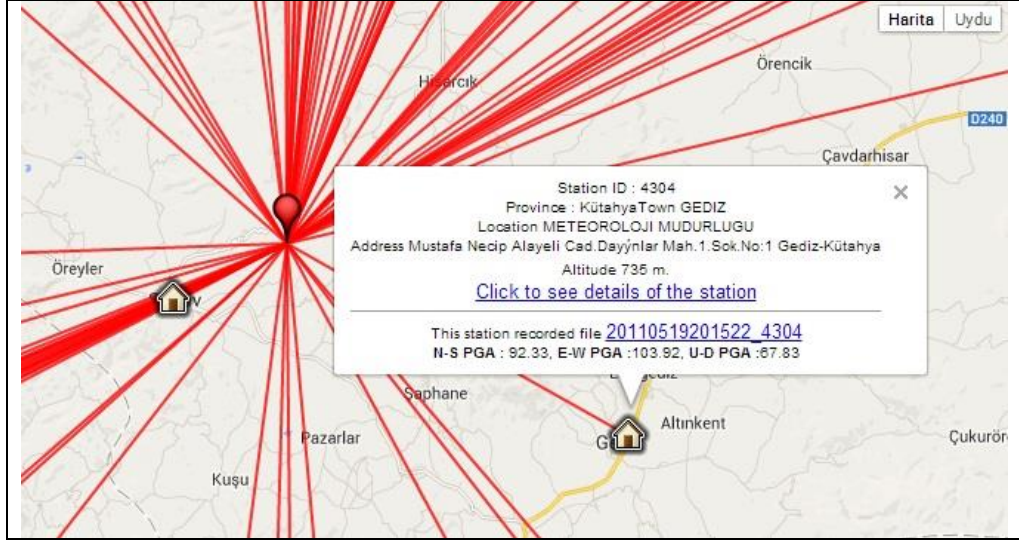
göre sistemde, bölgedeki deprem ivmesi kaydı yapmış olan istasyonlar taranmıştır. Depremin merkezüssüne en yakın olan istasyon 4305 numaralı istasyondur; fakat bu istasyonda deprem kayıt edilmemiş olduğundan merkezüssüne diğer yakın olan ve deprem kaydını yapmış olan 4304 numaralı istasyon kaydı dikkate alınmıştır [Web 11, 2013]. Aşağıdaki Şekil 7.18, 7.19 ve 7.20’de depremi kaydeden istasyonlar ve ivme kaydı alınan istasyon fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 7.18: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydeden istasyonlar.



Şekil 7.19: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydetmeyen en yakın istasyon.

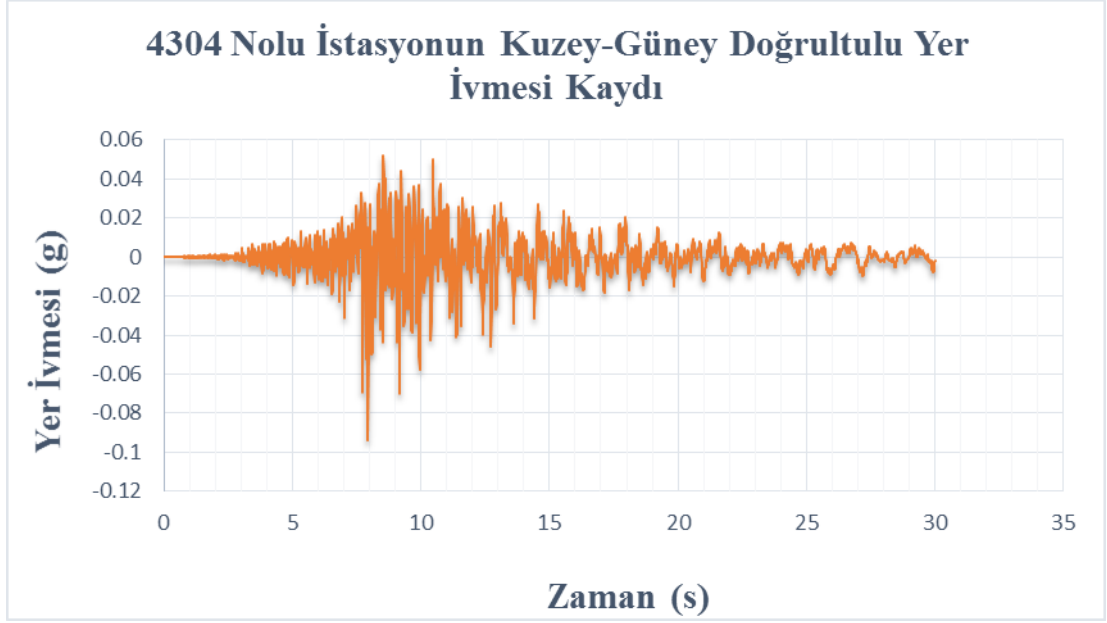


Şekil 7.20: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydeden ve ivme kayıtları dikkate alınan istasyon.

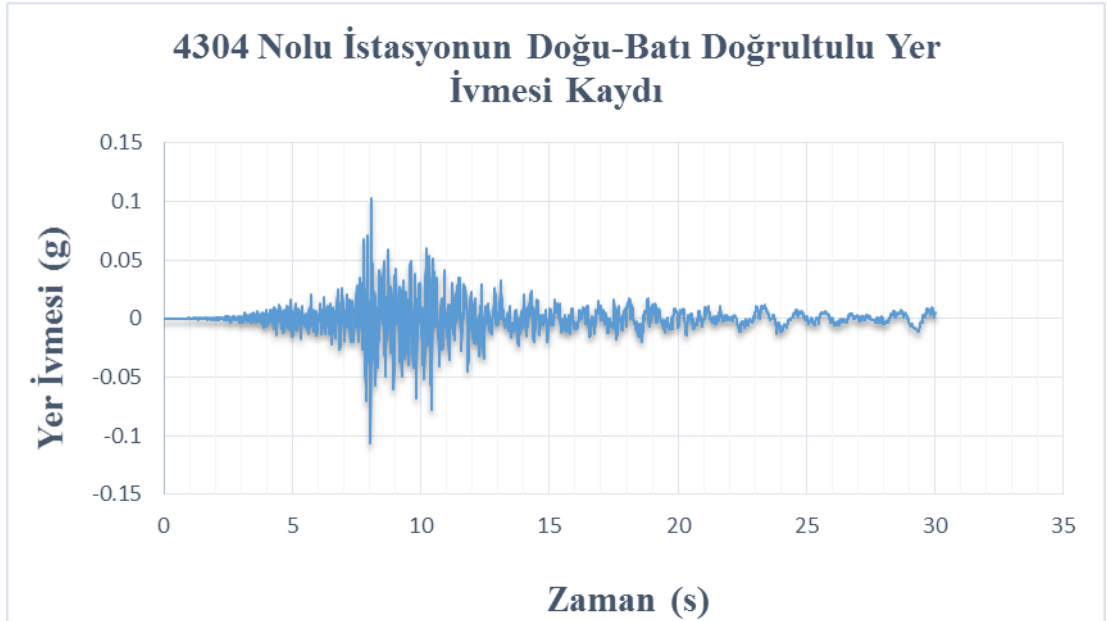
4304 numaralı istasyona ait bilgiler ve alınan kuvvetli yer hareketi ivme kayıtlarına ait grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE	
PLACE	: KÜTAHYA GEDİZ METEOROLOJİ MUDURLUGU
EARTHQUAKE DATE	: 2011/05/19 20:15:22.79 (GMT)
EPICENTER COORDINATES	: 39.13280N-29.08200E
EARTHQUAKE DEPTH (km)	: 24.46
EARTHQUAKE MAGNITUDE	: 5.7 ML
STATION ID	: 4304
STATION COORDINATES	: 38.99478N-29.40040E
STATION ALTITUDE (m)	: 735
RECORDER TYPE	: Georlp cmg5td
RECORDER SERIAL NO	: 5B02
RECORD TIME	: 19/05/2011 20:15:19.000000 (GMT)
NUMBER OF DATA	: 11905
SAMPLING INTERVAL (sec)	: 0.01
RAW PGA VALUES (gal)	: (N-S) 92.328641 (E-W) 103.924203 (U-D) 67.833356
Copyright EARTHQUAKE DEPARTMENT	
DISASTER AND EMERGENCY MANAGEMENT PRESIDENCY	

Şekil 7.21: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremini kaydeden 4304 numaralı istasyon bilgileri.

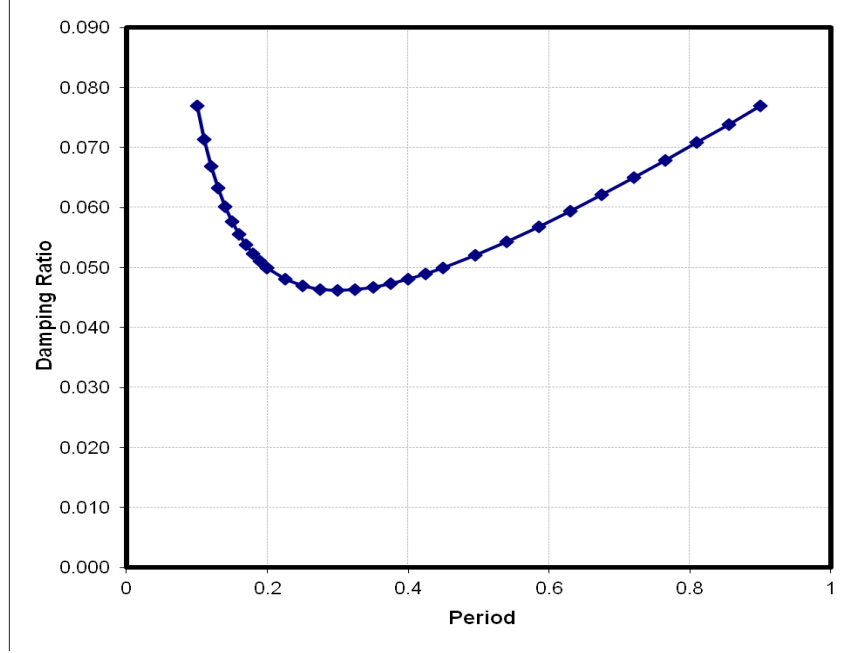


Şekil 7.22: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi kuzey-güney doğrultulu yer ivmesi kaydı grafiği.



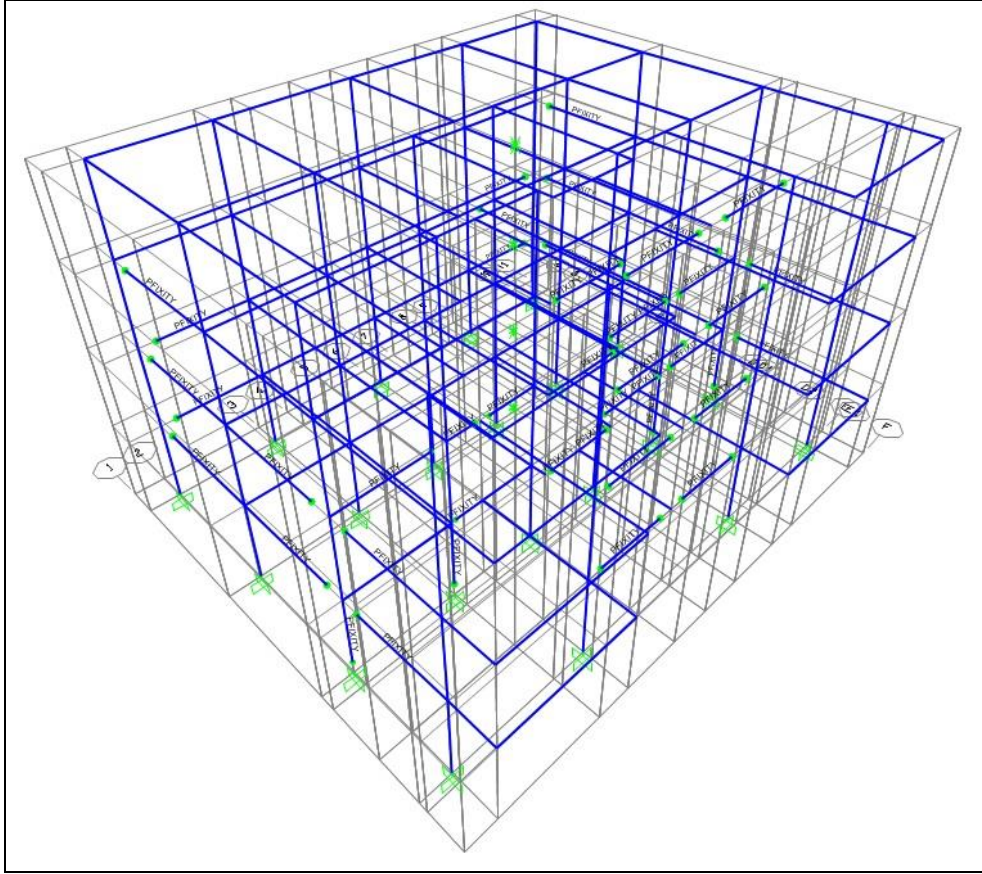
Şekil 7.23: 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi doğu-batı doğrultulu yer ivmesi kaydı grafiği.

Elde edilen ivme kaydı, Sap2000 (2013) programında Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi kullanılarak deprem yükü olarak tanımlanmıştır. Analizde kullanılacak yöntem, *Newmark-Direct İntegration Yöntemi* olarak seçilmiştir. İvme kaydı zaman tanım alanında Rayleigh Sönüm Modeli kullanılarak %5'lik bir sönüm tanımlanmıştır. Sisteme ait Rayleigh Sönüm Modeli grafiği Şekil 7.25'te verilmiştir [Fahjan, 2011].



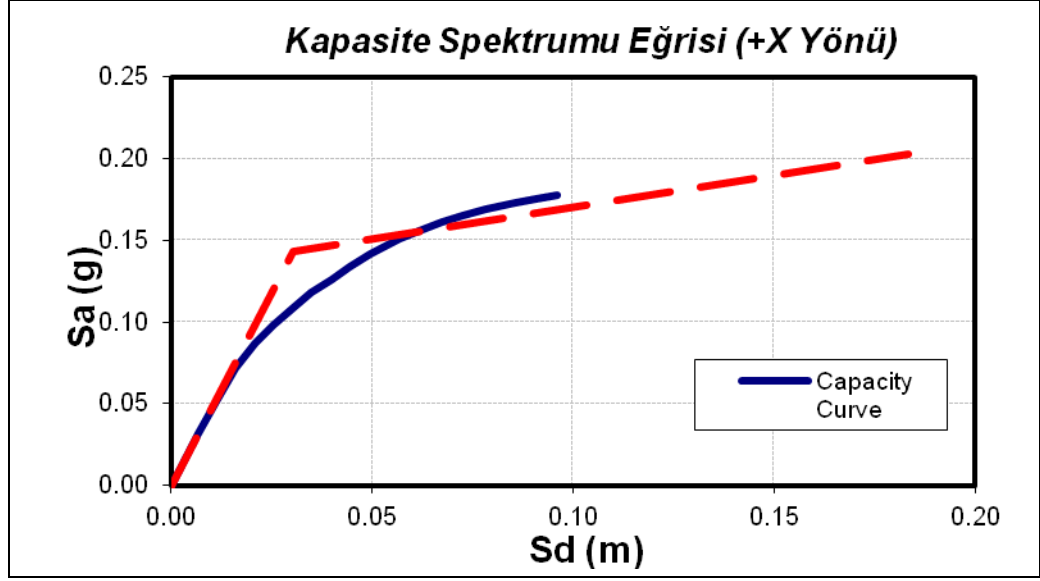
Şekil 7.24: Rayleigh Sönüm Modeli'ne göre tanımlanmış %5'lik sönüm grafiği.

Zaman Tanım Alanında analiz yapılmış ve taşıyıcı elemanlarda oluşan plastik mafsallar kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler, plastik mafsal olduğu gözlenen elemanlarda SAP2000 (2013) programında tanımlanmıştır. Böylece mafsal oluşan kesitlerin taşıma kapasiteleri, hangi seviyede plastikleşme olmuşsa o oranda azaltılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonrası plastikleşen kesitlere tanımlanan mafsallar aşağıdaki Şekil 7.26'da gösterilmiştir.

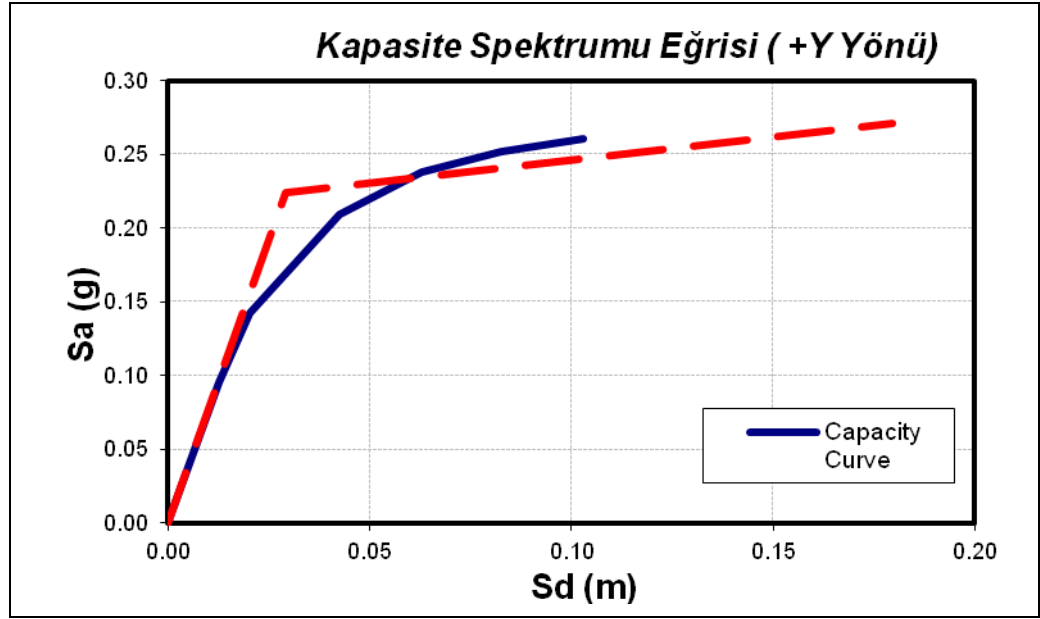


Şekil 7.25: Deprem etkisiyle plastikleşen ve mafsals tanımlanan kesitler.

Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi için (+X) yönünde deprem yükleri altında itme analizi kombinasyonu (PXH+), (+Y) yönünde deprem yükleri altında itme analizi kombinasyonu (PYH+), (-X) yönünde deprem yükleri altında itme analizi kombinasyonu (PXH-), (-Y) yönünde deprem yükleri altında itme analizi kombinasyonu (PYH-) yüklemeleri tanımlanmıştır. İtme analizi sonucu her doğrultuda elde edilen spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme değerleri kullanılarak Kapasite Spektrumu Eğrileri ($S_{ae}-S_d$) çizdirilmiştir ve bilineer hale dönüştürülmüş. Depremden hasar görmüş yapı modelinin (PXH+), (PYH+) yönlerine ait Kapasite Spektrumu Eğrileri sırasıyla aşağıdaki Şekil 7.27 ve 7.28’de verilmiştir. Grafiklerde kırmızı renkli olan eğri, bilineer hale dönüştürülmüş Kapasite Spektrumu eğrisidir.

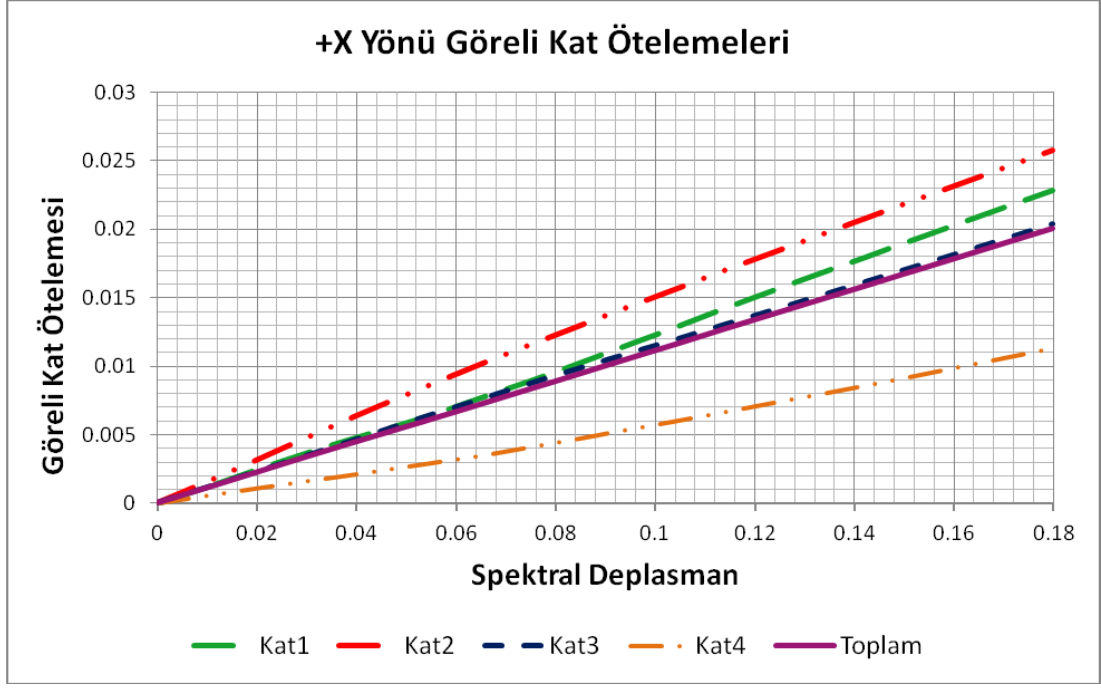


Şekil 7.26: (+X) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.

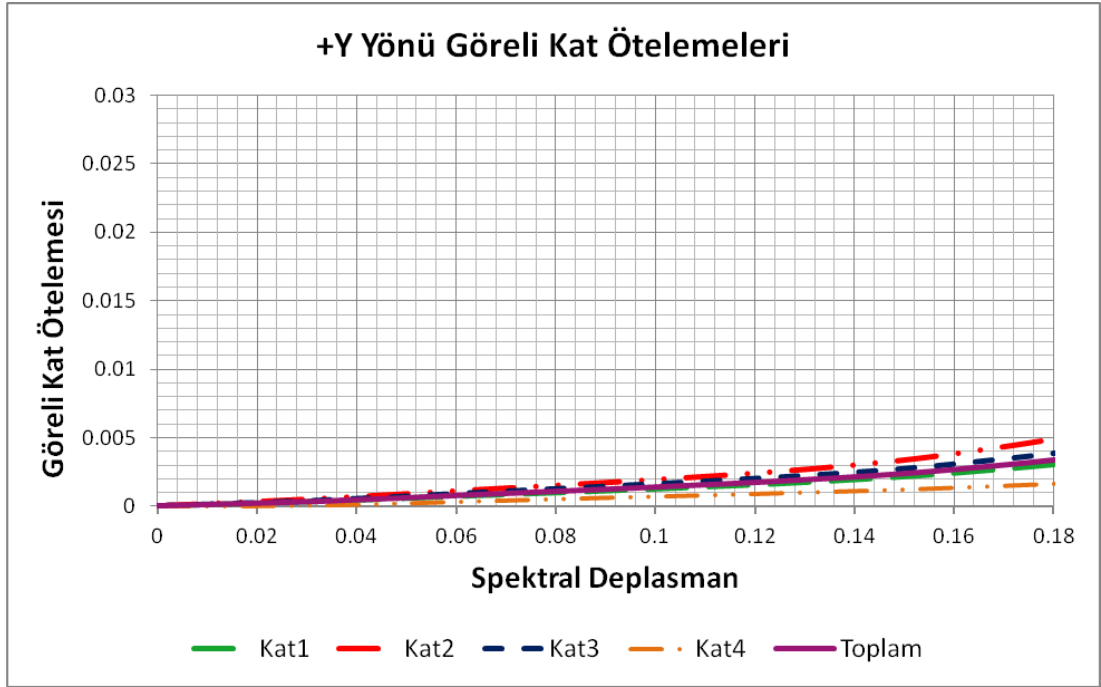


Şekil 7.27: (+Y) yönündeki kapasite spektrumu eğrisi.

İtme analizi sonucu yapıya ait hasargörebilirlik eğrilerini elde edebilmek için, depremden hasar görmüş yapı modelinin görel kat ötelemeleri SAP2000 (2013) programında, her katın ağırlık merkezi noktasında tanımlanmıştır. (PXH+) ve (PYH+) yükleme kombinasyonları sonucu elde edilen spektral deplasmanlar ile maksimum görel kat ötelemelerinin ilişkisini veren grafikler aşağıdaki Şekil 7.29 ve 7.30'da verilmiştir.

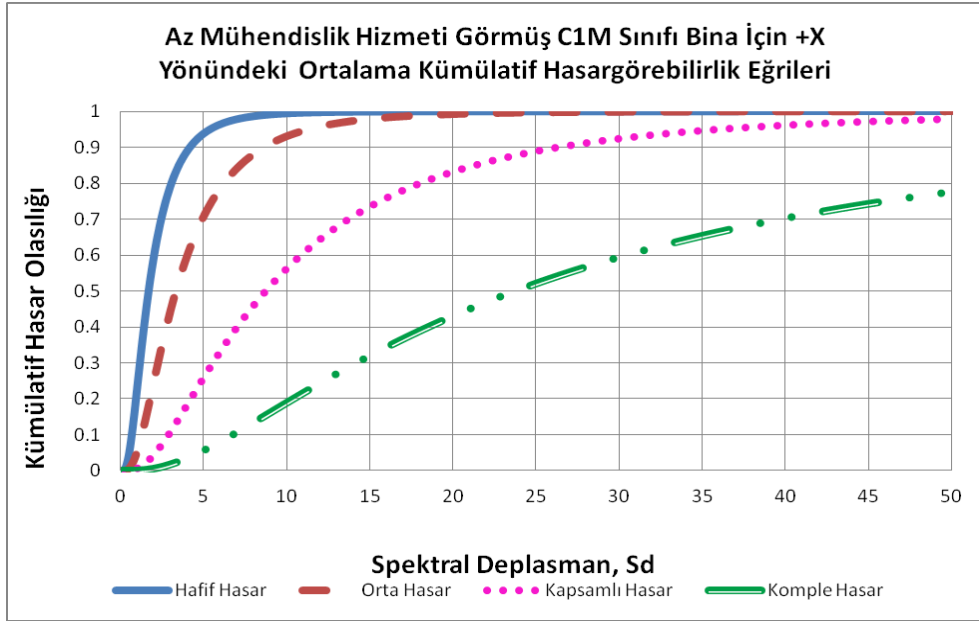


Şekil 7.28: (+X) yönu itme analizi sonucu Görelı Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.

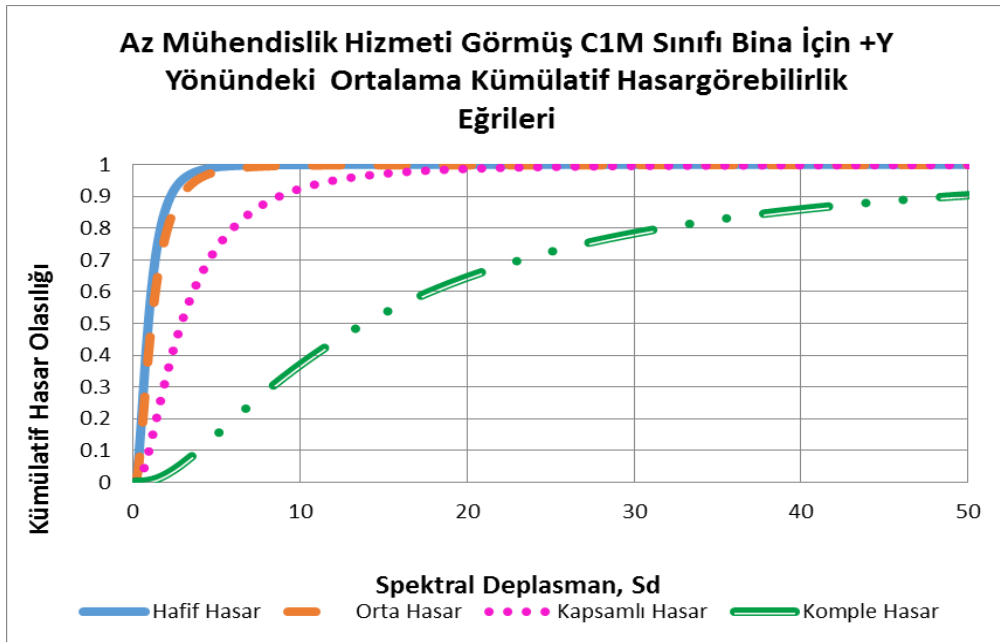


Şekil 7.29: (+Y) yönu itme analizi sonucu Görelı Kat Ötelemeleri-Sd ilişkisi grafiği.

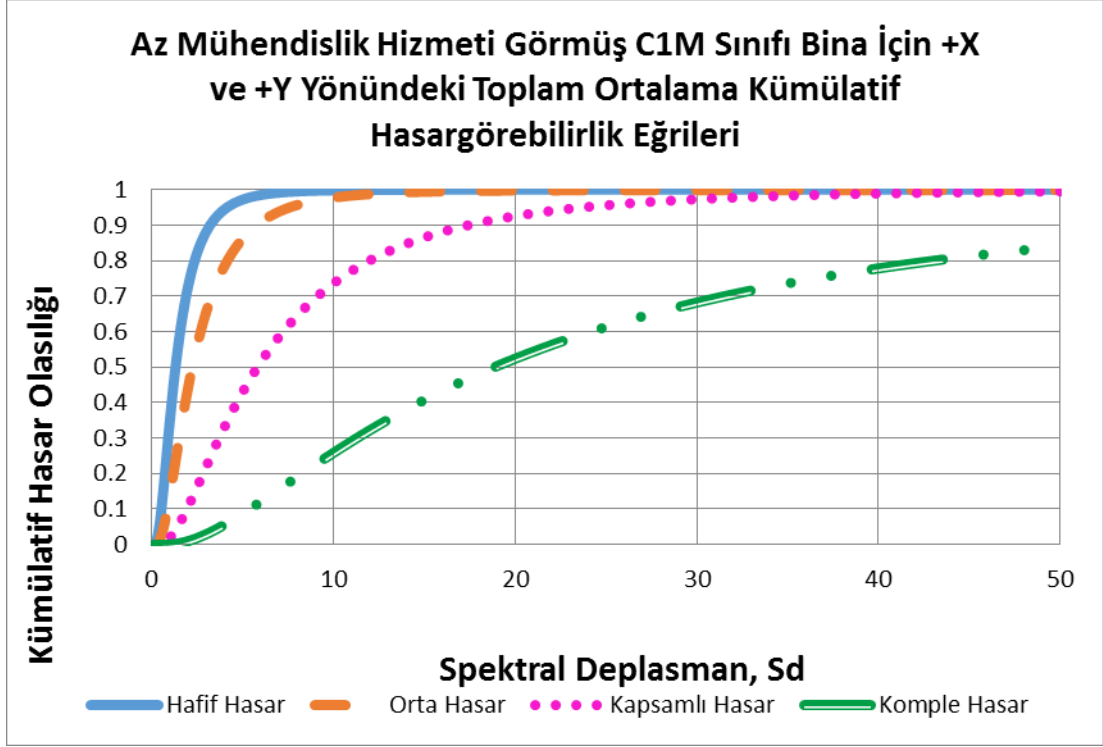
Hasargörebilirlilik olasılık eğrilerinin elde edilebilmesi için, birinci modelde yapılan işlemlerin aynıları bu modelde de yapılmıştır. (+X) ve (+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlilik eğrileri aşağıdaki Şekil 7.31 ve 7.32’de, her iki yöndeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilirlilik eğrisi ise Şekil 7.33’te gösterilmiştir.



Şekil 7.30: (+X) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlilik eğrisi.



Şekil 7.31: (+Y) yönündeki ortalama kümülatif hasargörebilirlilik eğrisi.



Şekil 7.32: (+X) ve (+Y) yönündeki toplam ortalama kümülatif hasargörebilirlik eğrisi.

Depremden hasar görmemiş yapı modelinin (+X) deprem yönünde DBYBHY (2007)'de 1. Bölge, Z2 yerel zemin sınıfına göre verilmiş özel tasarım ivme spektrumuna göre talep edilen spektral deplasman değeri 9 cm, (+Y) yönünde talep edilen spektral deplasman değeri 5 cm olarak hesaplanmıştır.

Depremden hasar görmüş yapı modelinin (+X) deprem yönünde DBYBHY (2007)'de 1. Bölge, Z2 yerel zemin sınıfına göre verilmiş özel tasarım ivme spektrumuna göre talep edilen spektral deplasman değeri 53 cm, (+Y) yönünde talep edilen spektral deplasman değeri 38.5 cm olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar dikkate alınarak yapı modelinin depremden önceki ve depremden hasar gördükten sonraki durumlarına ait hasargörebilirlik olasılıkları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 7.8: Depremden hasar görmemiş yapı modelinin kümülatif hasargörebilirlik olasılık eğrileri sonuçları.

Depremden Hasar Görmemiş Yapı Modelinin Kümülatif Hasargörebilirlik Olasılık Eğrileri Sonuçları				
	Hafif Hasar Sınırı (cm)	Orta Hasar Sınırı (cm)	Kapsamlı Hasar Sınırı (cm)	Tam Hasar Sınırı (cm)
(+X) Yönü	0.9	1.6	4.1	11.3
(+Y) Yönü	0.9	1.6	4.4	12.5
Toplam Ortalama	1.7	3.3	8.5	23.5

Tablo 7.9: Depremden hasar görmüş yapı modelinin kümülatif hasargörebilirlik olasılık eğrileri sonuçları.

Depremden Hasar Görmüş Yapı Modelinin Kümülatif Hasargörebilirlik Olasılık Eğrileri Sonuçları				
	Hafif Hasar Sınırı (cm)	Orta Hasar Sınırı (cm)	Kapsamlı Hasar Sınırı (cm)	Tam Hasar Sınırı (cm)
(+X) Yönü	1.7	3.3	8.7	23.8
(+Y) Yönü	1.1	1.2	2.9	13.8
Toplam Ortalama	1.3	2.2	5.8	18.8

8. SONUÇ

Depremlerin ne zaman, nasıl ve nerede olacağı kesin olarak bilinmemekle birlikte, bilimsel verilerle bu konuda araştırmalar ve tahminler yapılarak önceden önlem alınabilmektedir. Son dönemlerde Deprem ve Yapı Mühendisliği'nde, gelecekte olması ihtimali yüksek depremler için hasargörebilirlik olasılık eğrileri kullanılarak kentsel hasar tahmini ve can kaybı tahmini çalışmalarını önem kazanmıştır. Bu çalışmada, hasar tahmini çalışmalarının en önemli kısmını oluşturan hasargörebilirlik olasılık eğrilerinin performansa dayalı tasarım yaklaşımı çerçevesinde nasıl elde edilebileceği anlatılmıştır.

Çalışmada, 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi'nde hasar görmüş fakat hala kullanımına devam edilmekte olan, orta katlı, betonarme bir konut projesi incelenmiştir. Yapı modeli, proje ve raporlarından temin edilmiş gerçek veriler kullanılarak SAP2000 (2013) programında modellenmiştir. Aynı proje farklı iki analize tabi tutulacağından, aynı özelliklere sahip toplamda iki yapı modeli oluşturulmuştur.

Birinci model, depremden hasar görmemiş yapı modelini temsil etmiştir. Taşıyıcı sistem yükleri altında Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi yapılmıştır. Sisteme ait modal kapasite diyagramları elde edilmiştir. Elde edilen kapasite diyagramlarına göre (+X) ve (+Y) deprem yönlerinde DBYBHY (2007)'de 1. Bölge, Z2 yerel zemin sınıfına göre verilmiş özel tasarım ivme spektrumuna göre talep edilen spektral deplasman değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca aynı yönlerde sistemin görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir ve bu ötelemeler dikkate alınarak yapı modelinin hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiştir.

İkinci model, depremden hasar görmüş yapı modelini temsil etmiştir. Yapı modeli, gerçekte hasar gördüğü kuvvetli yer hareketi yükleri altında Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analize tabi tutulmuştur. Analiz sonrası plastikleşen taşıyıcı elemanların plastikleşen kesit bölgelerine plastikleşmeleri oranında plastik mafsâl tanımlaması yapılmıştır. Böylece mafsâl oluşan elemanların taşıma kapasiteleri, plastikleşmeleri oranında azaltılmış olmuştur. Deprem yükleri etkisiyle taşıma kapasitesi azalan model, taşıyıcı sistem yükleri altında Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizine tabi tutulmuştur. Depremden hasar görmüş yapı modeline ait modal kapasite diyagramları elde edilmiştir. Elde edilen kapasite diyagramlarına

göre (+X) ve (+Y) deprem yönlerinde DBYBHY (2007)'de 1. Bölge, Z2 yerel zemin sınıfına göre verilmiş özel tasarım ivme spektrumuna göre talep edilen spektral deplasman değerleri hesaplanmıştır. Sistemin bu yönlerdeki görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir ve bu ötelemeler dikkate alınarak yapı modelinin hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiş, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Tablo 8.1: Yapının (+X) deprem yönünde çıkarılmış kümülatif hasargörebilme ihtimalleri tablosu.

Yapının (+X) Deprem Yönünde Kümülatif Hasargörebilirlik Olasılık İhtimalleri				
	Hafif Hasar	Orta Hasar	Kapsamlı Hasar	Tam Hasar
Hasar Görmemiş Yapı	% 1	% 6	% 49	% 44
Hasar Görmüş Yapı	% 0	% 2	% 18	% 80

Tablo 8.2: Yapının (+Y) deprem yönünde çıkarılmış kümülatif hasargörebilme ihtimalleri tablosu.

Yapının (+Y) Deprem Yönünde Kümülatif Hasargörebilirlik Olasılık İhtimalleri				
	Hafif Hasar	Orta Hasar	Kapsamlı Hasar	Tam Hasar
Hasar Görmemiş Yapı	% 1	% 44	% 36	% 19
Hasar Görmüş Yapı	% 0	% 0	% 15	% 85

- Yapı modeli DBYBHY (2007)'de 1. Bölge, Z2 yerel zemin sınıfına göre verilmiş özel tasarım ivme spektrumuna uygun ikinci bir depreme maruz kaldığında; (+X) deprem yönündeki spektral deplasmanı yaklaşık 6 kat, (+Y) deprem yönündeki spektral deplasmanı yaklaşık 8 kat artmıştır.
- Depremden hasar görmüş yapı modelinin; (+X) deprem yönünde hasargörebilirlik açısından tam hasar görme ihtimali %36 artmıştır.
- Depremden hasar görmüş yapı modelinin; (+Y) deprem yönünde hasargörebilirlik açısından tam hasar görme ihtimali %66 artmıştır.

KAYNAKLAR

AFAD, (2012), “Simav İlçesi ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binalarda Teknik Açından Güçlendirilebilirlik Tespit Çalışması”, İncelenen Bina No: 108, Simav, Merkez, Pamukkale Üniversitesi.

Akbaş B., (2011), “Earthquake and Wind Engineering: Structural Design Against Dynamic Forces”, Department of Earthquake and Structural Engineering, Gebze Yüksek Teknoloji, Ders Notları.

Akbulut M. T., Aytuğ A., (2005), “Deprem Hasar Görebilirlik Riskinin Gözleme Dayalı Belirlenmesine Yönelik Öneri Değerlendirme Yaklaşımı”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, Cilt 1 (1), 88-98.

Akkar S., Özacar A., Kale Ö., Sandıkkaya M. A., (2012), “9 Kasım 2011 M_w 5.6 Van-Edremit Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Gözlemler”, METU-EERC/İMO 2012-01, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye.

ATC, (1996), “ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Applied Technology Council, ABD.

ATC, (2004), “ATC-55: Evaluation and Improvement of Inelastic Seismic Analysis Procedures”, California Seismic Safety Commission, Applied Technology Council, U.S.

Aydinoğlu M. N., (2012), “Nonlinear Davranış İçin Pratik Hesap Yöntemleri: Tek Modlu ve Çok Modlu İtme Analizleri”, Deprem ve Yapı Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Ders Notları.

Celep Z., (2007), “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 1-14, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

Chopra A. K., (1995), “Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering”, CMS-9812531, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California at Berkeley, ABD.

Darılmaz K., (2011), “Betonarme Sistemlerin Performansını Tasarım Aşamasında Etkileyen Faktörler”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları, 1-122, Karaköy, Beyoğlu, İstanbul, 21 Ocak.

DBYBHY, (2007), “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Fahjan Y., (2011), “Dinamic of Structures”, Department of Earthquake and Structural Engineering, Gebze Yüksek Teknoloji, Ders Notları.

FEMA, (1997), “FEMA-273: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency”, Applied Technology Council, U.S.

FEMA, (2000), “FEMA:356: Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Federal Emergency Management Agency, U.S.

FEMA, (2005), “FEMA:440: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”, Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency, U.S.

FEMA, (2006), “FEMA-451: NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps”, Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency of the Department of Homeland Security, National Institute of Building Sciences, U.S.

Genes M. C., Bikçe M., Kaçın S., Doğanay E., Teköz K., Abrahamczyk L., (2011), “Konut Tipi Çok Katlı Betonarme Yapıların Hasar Görebilirliğinin Aletsel ve Sayısal Dataların Birleştirilmesine ve Statik İtme Analizine Göre Belirlenmesi”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1-8, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim.

HAZUS-MR1, (2003), “HAZUS-MH MR1: Multi-Hazard Loss Estimation Methodoloji Earthquake Model: Advanced Engineering Building Module Technical and User’s Manual”, Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division, U.S.

HAZUS-MR3, (2003), “HAZUS-MH MR3: Multi-Hazard Loss Estimation Methodoloji Earthquake Model: Technical Manual”, Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division, U.S.

İMO, (2013), “Statik Proje ve Raporlar”, İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi.

Kalafat D., Güneş Y., Arpat E., Ölmez Y., Öz G., Horasan G., Kekovalı K., (2003), “1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Ön Raporu”, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Sismoloji Servisi, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.

Kalafat D., Zülfikar C., Vuran E., Kamer Y., (2010), “08 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi”, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.

Kırçıl M. S., (2005), “Betonarme Binalarda Deprem Hasarının Olasılık Hesapları ile Tahmini”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Kutay M.G., (2009), ‘‘Mukavemet Değerleri: Malzemenin Mukavemet Değerleri’’, Mukavemet Dergileri, 05-2, 1-64.

Önem G., Aydınoğlu M. N., (2007), ‘‘Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yönteminin Değerlendirilmesi’’, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 131-142, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

Özacar A., Kaymakçı N., Akkar S., Azari A., Sandıkkaya A., Kale Ö., Ay B. Ö., (2011), ‘‘23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri’’, METU/EERC 2011-04, Earthquake Engineering Research Center, Middle East Technical University, Türkiye.

Özdemir Z., Fahjan Y. M., (2007), ‘‘Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması’’, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 435-446, İstanbul, Türkiye 16-20 Ekim.

Özkul B., Karaman A. E., (2007), ‘‘Doğal Afetler İçin Risk Yönetimi’’, TMMOB Afet Sempozyumu, 251-260, İstanbul, Türkiye, 5-7 Aralık.

Özer E., (2009), ‘‘Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme’’, İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları, 1-14, İstanbul, Türkiye, 9 Nisan.

Priestley M. J. N., Calvi G. M., Kowalsky M. J., (2007), ‘‘Direct Displacement Based Seismic Design of Structures’’, NZSEE Conference, 2-23, Palmerston North, New Zealand.

Probina Orion, (2013), ‘‘Probina Orion, Bina Tasarım Sistemi 2013’’, Öğrenci Sürümü, Prota Yazılım, Ankara, Türkiye.

Sap2000, (2013), ‘‘Structural and Earthquake Engineering Software V15’’, Computers and Structures Inc.(CSI), USA.

Shibata A., Sözen M. A., (1987), ‘‘The Substitute-Structure Method For Earthquake-Resistant Design Of Reinforced Concrete Frames’’, Civil Engineering Studies Structural, UILU-ENG-74-2027, University of Illinois at Urbana Champaign, USA.

Sucuoğlu H., (2006), ‘‘2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi’’, Türkiye Mühendislik Haberleri, 444-445, 24-36.

Şenel Ş. M., İnel M., Toprak S., Manav Y., (2007), ‘‘Depremde Oluşacak Bina Hasarlarının Envanter Bilgilerine Dayalı Tahmini’’, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 245-256, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

Tapan M., Özvan A., Şengül M. A., (2005), ‘‘2 Temmuz 2004 Doğubayazıt Depremi Yer-Yapı İlişkisi ve Yaşanan Kayıplar’’, Deprem Sempozyumu, 1074-1080, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart.

TS-500, (2000), “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Baskı: ICS 91.080.40, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Tüzün C., Aydınoğlu M. N., (2007), “Gerçek Binaların Doğrusal Olmayan Analizlerinden Hasar Görebilirlik İlişkilerinin Elde Edilmesi”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 399-410, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

Web 1, (2013), http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/images/jeoloji_haritalari/dirifay_2.jpg, (Erişim Tarihi: 18/09/2013).

Web 2, (2013), [http://www.kiptas.com.tr/upload/files/Deprem %20ve%20C4%B0n %20C5%9Faat.pdf](http://www.kiptas.com.tr/upload/files/Deprem%20ve%20C4%B0n%20C5%9Faat.pdf), (Erişim Tarihi: 10/09/2013).

Web 3, (2013), http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eski/eqspecials/kocaeli/kocaeli_eq.htm, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Web 4, (2013), <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/19991112DUZCE7.2/wkocaeli-Duzce%20Fay0TR.jpg>, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Web 5, (2013), http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/19991112DUZCE7.2/12_kasim_1999_duzce_depremi.htm, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Web 6, (2013), <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eski/eqspecials/bingol/bingoleq.htm#StructuralPerformancein>, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Web 7, (2013), http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/db_020704.htm, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Web 8, (2013), http://www.kutanis1.sakarya.edu.tr/lectures/pbd/PDF/Doc/DAYK_Kutanis_01.pdf, (Erişim Tarihi: 05/08/2013).

Web 9, (2005), <http://www.2n.com.tr/Narticles/Performans%20Analizi.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2005).

Web 10, (2013), <http://www.afetler.net/Default.aspx>, (Erişim Tarihi: 10/15/2013).

Web 11, (2013), <http://kyh.deprem.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 10/20/2013).

Zülfikar C., Kamer Y., Vuran E., (2011), “19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi”, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep ÇİFTÇİ, 28.02.1986 yılında AĞRI'da doğdu. Lisans öğretimini, 2005-2010 öğretim yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2010-2011 öğretim yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'na kaydını yaptırdı. Mezuniyetinden sonra, birbirinden farklı birkaç özel şirkette proje ve kontrol mühendisliği yaptı. Halen özel bir şirkette proje mühendisi olarak çalışmaktadır.