



MAFSALLI PREFABRİK YAPILAR İÇİN HASAR VE EKONOMİK KAYIP TAHMİNİ

Ali Haydar KAYHAN

Ekim, 2008
DENİZLİ

**MAFSALLI PREFABRİK YAPILAR İÇİN HASAR VE EKONOMİK
KAYIP TAHMİNİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Ali Haydar KAYHAN

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

**Ekim, 2008
DENİZLİ**

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

Ali Haydar KAYHAN tarafından Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL yönetiminde hazırlanan “Mafsallı Prefabrik Yapılar İçin Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



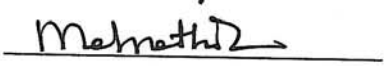
Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL
(DANIŞMAN)



Prof. Dr. Hasan KAPLAN



Yrd. Doç. Dr. Hakan AYGÖREN



Doç. Dr. Mehmet İNEL



Yrd. Doç. Dr. Engin AKTAŞ

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılması esnasında verdiği desteklerden ve dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL'e, çalışma boyunca yapıcı görüş ve önerilerini eksik etmeyen Prof. Dr. Hasan KAPLAN ve Yrd. Doç. Dr Hakan AYGÖREN'e, katkılarından dolayı diğer jüri üyeleri Doç. Dr. Mehmet İNEL ve Yrd. Doç. Dr. Engin AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. K. Armağan KORKMAZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ'a tez ile ilgili araştırma ve çalışmalarım sırasında yaptığı yardımlardan dolayı teşekkür ederim.

Varlıklarından güç aldığım anneme, babama ve kardeşlerime, tezin her aşamasında emeğinin olduğuna inandığım ve hayatım boyunca yanımda olacağını bildiğim eşime ve oyun zamanından ödünç aldığım sevgili oğlum Ozan'a şükranlarımı sunuyorum

Ali Haydar KAYHAN

Denizli - 2008

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :



Öğrenci Adı Soyadı : Ali Haydar KAYHAN

ÖZET

MAFSALLI PREFABRİK YAPILAR İÇİN HASAR VE EKONOMİK KAYIP TAHMİNİ

KAYHAN, Ali Haydar

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Ekim 2008, 173 Sayfa

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut prefabrik sanayi yapıları için analitik olarak hasar görebilirlik eğrileri önerilmiş ve bu yapıların hasar görebilirliği üzerinde yapısal parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla mevcut prefabrik yapı stoğu için yapılan yapı envanter çalışması sonrasında kolon enkesit boyutu, kolon yüksekliği, boyuna donatı oranı ve etriye aralığı parametreleri dikkate alınarak oluşturulan prefabrik sanayi yapılarına ait düzlem çerçevelerinin kapasite eğrileri ve kapasite eğrileri üzerinde hasar seviyelerine ait deplasman limit değerleri belirlenmiştir. Çerçeveleri temsil eden tek serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal ötesi dinamik analiz ile maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir. Talep ile çerçevelere ait kapasite karşılaştırılarak, çerçevelerin performansı değerlendirilmiştir. Yer hareketi parametresi olarak seçilen maksimum yer hızı (PGV) değerine bağlı olarak, çerçevelerin hasar seviyelerine ait hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Hasar görebilirlik eğrilerinin ekonomik kayıp tahmininde kullanılabilmesi amacıyla Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan tek katlı prefabrik sanayi yapıları incelenmiş ve Denizli Organize Sanayi Bölgesi için sanayi yapılarında hasar dağılımları ve hasar dağılımlarına bağlı olarak ekonomik kayıp tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik Sanayi Yapıları; Hasar Görebilirlik Eğrileri; Doğrusal Ötesi Analiz; Hasar Tahmini; Ekonomik Kayıp Tahmini

Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Prof. Dr. Hasan KAPLAN

Yrd. Doç. Dr. Hakan AYGÖREN

Doç. Dr. Mehmet İNEL

Yrd. Doç. Dr. Engin AKTAŞ

ABSTRACT

DAMAGE AND ECONOMIC LOSS ESTIMATION FOR PIN CONNECTED PRECAST BUILDINGS

KAYHAN, Ali Haydar

PhD. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL

October 2008, 173 Pages

In this study, an analytical approach was adopted to construct fragility curves for existing precast industrial buildings in Turkey and to evaluate the effect of structural parameters on fragility of precast industrial buildings. Depending on the parameters such as column section dimension, longitudinal reinforcement ratio, column height and stirrup spacing, 16 typical precast industrial building models were used. For nonlinear time history analysis 360 ground motions of 28 earthquakes were used. As a ground motion parameter, PGV, accepted to have lognormal distribution, was chosen. Lognormal distribution parameters were obtained by applying least squares method. Drift was used as a structural response parameter. In order to use fragility curves for loss estimation, precast industrial buildings in Denizli Organized Industrial Region are examined and damage distribution and economic loss estimation for Denizli Organized Industrial Region are estimated.

Keywords: Precast Industrial Buildings; Fragility Curves; Nonlinear Analysis; Damage Estimation; Economic Loss Estimation.

Assist. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Prof. Dr. Hasan KAPLAN

Assist. Prof. Dr. Hakan AYGÖREN

Assoc. Prof. Dr. Mehmet İNEL

Assist. Prof. Dr. Engin AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ ONAY FORMU.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Kapsam ve Yöntem.....	3
1.4. Tezin Organizasyonu.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Prefabrik Yapılarla İlgili Çalışmalar.....	6
2.3. Hasar Görebilirlik Eğrileri ile İlgili Çalışmalar.....	10
2.4. HAZUS ile Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini.....	14
3. PREFABRİK SANAYİ YAPILARI VE DEPREM.....	17
3.1. Prefabrikasyonun Tanımı.....	17
3.2. Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları.....	18
3.3. Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansı.....	24
4. PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ KAPASİTELERİ.....	28
4.1. Elastik Ötesi Davranış ve Süneklik.....	28
4.2. Plastik Mafsallık Kabulü ve Moment-Eğrilik İlişkisi.....	30
4.3. Performansa Dayalı Tasarım ve Performans Seviyeleri.....	37
4.4. Prefabrik Kolon Kesitlerinde Hasar Limitleri.....	38
4.5. Kolonların ve Çerçevelerin Kapasite Eğrisinin Teşkili.....	40
4.6. Tipik Prefabrik Sanayi Yapısı Modelleri.....	46
4.6.1. Modellerin yapısal parametrelere göre oluşturulması.....	46
4.6.2. Moment-eğrilik analizi sonuçları.....	47
4.6.3. Tipik yapılara ait iç çerçevelerin kapasite eğrileri.....	49
5. PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA DEPLASMAN TALEBİ.....	52
5.1. Doğrusal Analiz Yöntemleri.....	52
5.2. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri.....	55

5.2.1. Kapasite spektrumu yöntemi.....	56
5.2.2. Deplasman katsayıları yöntemi.....	59
5.2.3. Doğrusal ötesi dinamik analiz.....	61
5.3. Doğrusal Ötesi Dinamik Analiz Sonuçları.....	65
5.3.1. İvme kayıtlarının seçimi.....	65
5.3.2. İvme kayıtlarının gruplandırılması.....	68
5.3.3. Tek serbestlik dereceli sistemler.....	70
5.3.4. Tek serbestlik dereceli sistemleri dinamik analiz sonuçları.....	71
5.3.5. Tipik yapılar için dinamik analiz sonuçları.....	77
5.3.6. Tipik yapıların performans seviyesi.....	80
6. HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ.....	88
6.1. Giriş.....	88
6.2. Hasar Görebilirlik Eğrileri.....	89
6.2.1. Yapısal tepki parametresi.....	91
6.2.2. Hasar seviyeleri ve limit deplasmanlar.....	92
6.2.3. Yer hareketi parametresi.....	93
6.3. Tipik Yapılar İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri.....	96
6.3.1. Çerçevelerin hasar seviyelerinin aşılma oranları.....	97
6.3.2. Normal ve lognormal dağılım fonksiyonları.....	100
6.3.3. Hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri.....	102
6.4. Yapısal Parametrelerin Etkisi.....	105
6.4.1. Analiz yönü.....	105
6.4.2. Etriye aralığı.....	106
6.4.3. Boyuna donatı oranı.....	108
6.4.4. Kolon enkesit boyutu.....	109
6.4.5. Kolon yüksekliği.....	111
6.4.6. Yapısal parametrelerin etkisinin karşılaştırılması.....	112
7. DENİZLİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ EKONOMİK KAYIP TAHMİNİ... ..	118
7.1. Giriş.....	118
7.2. Denizli'nin Depremselliği.....	120
7.3. Denizli'nin Genel Ekonomik Görünümü.....	122
7.4. Denizli Organize Sanayi Bölgesi Yapı Stoğu.....	124
7.5. Yapılarda Beklenen Hasarların Dağılımı.....	127
7.6. DOSB'de Beklenen Ekonomik Kayıp.....	128
7.6.1. Ekonomik kayıp tahmininde kullanılan parametreler.....	129
7.6.2. Bina yapım maliyeti olarak ekonomik kayıp.....	129
7.6.3. Yıllık satışlar cinsinden ekonomik kayıp	131
7.6.4. Demirbaş ve teçhizat kaybı	132
7.6.5. İşgünü kaybı.....	134
7.6.6. Beklenen toplam ekonomik kayıp.....	135
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	137
8.1. Giriş.....	137
8.2. Yapısal Parametrelerin Çerçeve Kapasitesine Etkisi.....	137

8.3. Yapısal Parametrelerin Çerçeve Performansına Etkisi	138
8.4. Yapısal Parametrelerin Hasar Görebilirliğe Etkisi	140
8.5. DOSB’de Tek Katlı Prefabrik Yapıların Özellikleri	141
8.6. DOSB’de Hasarın Dağılımı ve Beklenen Ekonomik Kayıp.....	142
8.7. Beklenen Hasarın Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler.....	143
9. KAYNAKLAR.....	146
EKLER.....	153
Ek-1 Tezde kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler.....	154
Ek-2 Ölçeklendirilerek kullanılan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekler.....	160
Ek-3 PGV grupları için deplasman taleplerinin ortalaması ve standart sapması...	162
Ek-4 İncelenen binalarda hasar seviyeleri için lognormal dağılım parametreleri..	168
Ek-5 İncelenen binalarda hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları.....	171
ÖZGEÇMİŞ.....	174

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Tek katlı prefabrik sanayi yapısının üç boyutlu görünüşü.....	19
Şekil 3.2 Tek katlı prefabrik sanayi yapısının üst görünüşü.....	20
Şekil 3.3 Prefabrik kolonlardaki boyuna donatı ve etriye düzenleri.....	21
Şekil 3.4 Tipik tekil temel ve soket özellikleri.....	21
Şekil 3.5 Çatı makası ve oluğun kolon ile birleşim detayları.....	22
Şekil 3.6 Çatı makası, oluk ve aşık montaj görüntüsü.....	22
Şekil 3.7 Çatı düzlemi elemanlarının tipik kesitleri.....	23
Şekil 3.8 Oluk ve aşıkların fabrikada imal edilmiş halleri.....	23
Şekil 3.9 Kolonların ve çatı makaslarının donatı düzenleri örneği.....	24
Şekil 3.10 Çatı düzlemi elemanlarının düştüğü hasar örnekleri.....	25
Şekil 3.11 Kolonlarda yatay ötelenme hasarı.....	25
Şekil 3.12 Kirişlerde yanal ötelenme ve kolonda mafsallaşma.....	26
Şekil 3.13 Pimli bağlantı ve bağlantı noktasından kopan makas.....	26
Şekil 4.1 Yapı elemanının idealize edilmiş elastik ve elastik ötesi davranışı.....	28
Şekil 4.2 Sünek davranış ile tüketilen elastik ve plastik enerji.....	29
Şekil 4.3 İdeal elasto-plastik davranış için moment-eğrilik ilişkisi.....	31
Şekil 4.4 Konsol kolonda plastik mafsal kabulü.....	32
Şekil 4.5 Efektif kesit rijitliğinin yük-deplasman eğrisine etkisi.....	35
Şekil 4.6 Moment-eğrilik ilişkisinin iki doğrulu olarak gösterimi.....	36
Şekil 4.7 DBYYHY’te verilen kesit hasar bölgeleri.....	40
Şekil 4.8 Tipik tek katlı prefabrik sanayi yapısı ve düzlem çerçeveler.....	42
Şekil 4.9 Örnek yapıyı oluşturan dört çerçevenin kapasite eğrileri.....	45
Şekil 4.10 Çerçevelerin tek serbestlik dereceli olarak temsili.....	45
Şekil 5.1 Yapıların doğrusal ötesi davranış kabulleri.....	54
Şekil 5.2 KSY’de performans noktasının belirlenmesi.....	57
Şekil 5.3 Elastik spektrumun Sa-Sd formatına dönüştürülmesi.....	58
Şekil 5.4 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi.....	59
Şekil 5.5 İki doğrulu olarak idealleştirilen kapasite eğrisi.....	60
Şekil 5.6 Tek serbestlik dereceli sistemin titreşiminin matematiksel modeli.....	61
Şekil 5.7 Yer hareketine maruz tek serbestlik dereceli elastik system.....	64
Şekil 5.8 İdeal elastoplastik sistem için çevrimsel davranış.....	64
Şekil 5.9 İvme kayıtlarının zemin sınıfına göre dağılımı.....	67
Şekil 5.10 Seçilen ivme kayıtlarının M-PGV dağılımı.....	68
Şekil 5.11 Seçilen ivme kayıtlarının d-PGV dağılımı.....	69
Şekil 5.12 PGV1 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi.....	71
Şekil 5.13 PGV2 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi.....	73
Şekil 5.14 PGV3 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi.....	74
Şekil 5.15 Sadece periyot dikkate alındığında maksimum deplasman.....	76

Şekil 5.16	X ve Y yönündeki deplasman taleplerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 5.17	Deplasman talebi ile periyot arasındaki ilişki.....	79
Şekil 5.18	Y yönü için belirgin ve ileri hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları.....	86
Şekil 6.1	Hasar Olasılık Matrisi (ATC-13).....	90
Şekil 6.2	Örnek hasar görülebilirlik eğrisi.....	91
Şekil 6.3	DBYYHY’te verilen kesit hasar bölgeleri ve limit değerler.....	93
Şekil 6.4	Köprüler için PGA ve PGV’ye bağlı hasar olasılık eğrileri.....	94
Şekil 6.5	Yığma yapılar için CAV değerine bağlı hasar olasılık eğrileri.....	94
Şekil 6.6	Kirişsiz döşemeli yapılar için Sd değerine bağlı hasar olasılık eğrileri...	95
Şekil 6.7	B35L6S10R1-X-İÇ çerçevesi için aşılma oranları.....	99
Şekil 6.8	Standart normal dağılıma ait yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrisi.....	101
Şekil 6.9	B35L5S10R1-X-İç çerçevesi için hasar olasılık eğrileri.....	103
Şekil 6.10	B35L6S10R1 nolu modelde X yönünde hasar olasılık eğrileri.....	105
Şekil 6.11	B35L6S10R1 nolu modelde Y yönünde hasar olasılık eğrileri.....	106
Şekil 6.12	Etriye aralığının hasar olasılığına etkisi (B45L6R1-X).....	107
Şekil 6.13	Etriye aralığının hasar olasılığına etkisi (B45L6R1-Y).....	107
Şekil 6.14	Boyuna donatı oranının hasar olasılığına etkisi (B35L6S10-X).....	108
Şekil 6.15	Boyuna donatı oranının hasar olasılığına etkisi (B35L6S10-Y).....	109
Şekil 6.16	Kolon boyutunun hasar olasılığına etkisi (L6S20R1-X).....	110
Şekil 6.17	Kolon boyutunun hasar olasılığına etkisi (L6S20R1-Y).....	110
Şekil 6.18	Kolon yüksekliğinin hasar olasılığına etkisi (B35S20R1-X).....	111
Şekil 6.19	Kolon yüksekliğinin hasar olasılığına etkisi (B35S20R1-Y).....	112
Şekil 6.20	Parametrelerin X yönü ve GV hasar seviyesi için karşılaştırılması.....	113
Şekil 6.21	Parametrelerin X yönü ve GÇ hasar seviyesi için karşılaştırılması.....	114
Şekil 6.22	Parametrelerin Y yönü ve GV hasar seviyesi için karşılaştırılması.....	114
Şekil 6.23	Parametrelerin Y yönü ve GÇ hasar seviyesi için karşılaştırılması.....	115
Şekil 7.1	Deprem tehlikesi ve deprem riski.....	118
Şekil 7.2	Denizli-Aydın çevresinde meydana gelen depremler (1900-2003).....	121
Şekil 7.3	PGV için kullanılan azalım ilişkisi (Akkar ve Bommer 2007).....	121
Şekil 7.4	Denizli Organize Sanayi Bölgesi yerleşim planı.....	124
Şekil 7.5	Kolonlarda boyuna donatı oranının dağılımı.....	125
Şekil 7.6	Kolon yüksekliğinin dağılımı.....	126
Şekil 7.7	Kolon kesit boyutunun dağılımı	126

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1	Kolonların moment-eğrilik ilişkisi verileri..... 43
Tablo 4.2	Kolonların kapasite eğrisi verileri ve limit deplasmanlar..... 43
Tablo 4.3	Çerçevelerin kapasite eğrisi üzerinde limit deplasmanlar..... 44
Tablo 4.4	Değişken parametreler ve değerleri..... 46
Tablo 4.5	Dikkate alınan yapı modellerinde kolonların parametre değerleri.... 46
Tablo 4.6a	Tipik sanayi yapısı kolonlarına ait moment-eğrilik analizi sonuçları 48
Tablo 4.6b	Tipik sanayi yapısı kolonlarına ait moment-eğrilik analizi sonuçları 49
Tablo 4.7	Tipik prefabrik yapı çerçevelerinin kapasite eğrileri..... 50
Tablo 5.1	Kullanılan ivme kayıtlarının ait olduğu depremler..... 66
Tablo 5.2	NEHRP'e göre zemin sınıfları..... 67
Tablo 5.3	İvme gruplarına ait PGV sınırları ve kayıt sayısı..... 69
Tablo 5.4	Gruplara ait ivme kayıtlarının PGV değerleri ile ilgili istatistikler... 70
Tablo 5.5	PGV1 grubu için maksimum deplasman talebi (cm)..... 72
Tablo 5.6	PGV2 grubu için maksimum deplasman talebi (cm)..... 74
Tablo 5.7	PGV3 grubu için maksimum deplasman talebi (cm)..... 75
Tablo 5.8	PGV grupları için maksimum deplasman talebi (cm)..... 76
Tablo 5.9a	Tipik modelleri için Y yönünde maksimum deplasman talebi..... 77
Tablo 5.9b	Tipik modeller için X yönünde maksimum deplasman talebi..... 78
Tablo 5.10a	Tipik modeller için Y yönünde deplasman taleplerinin standart sapması..... 80
Tablo 5.10b	Tipik modeller için X yönünde deplasman taleplerinin standart sapması..... 80
Tablo 5.11	Y Yönü çerçevelerinin PGV gruplarına göre performans düzeyleri.. 82
Tablo 5.12	X Yönü çerçevelerinin PGV gruplarına göre performans düzeyleri.. 83
Tablo 5.13	Y Yönündeki çerçeveler için GV hasar seviyesi aşılma olasılığı..... 85
Tablo 5.14	Y Yönündeki çerçeveler için GÇ hasar seviyesi aşılma olasılığı..... 86
Tablo 6.1	PGV3A grubunda B35L6S10R1 modeli hasar seviyelerinin aşılma sayıları..... 98
Tablo 6.2	B35L6S10R1-X-İÇ çerçevesi için aşılma oranları..... 99
Tablo 6.3	B35L6S10R1-X-İÇ modeli için hasar olasılık eğrisinin parametreleri..... 103
Tablo 6.4	Y yönündeki tipik çerçeveler için dağılım parametreleri..... 104
Tablo 6.5	X yönündeki tipik çerçeveler için dağılım parametreleri..... 104
Tablo 6.6	Yapısal parametrelerin hasar görme olasılıklarına etkisi..... 116
Tablo 7.1	Denizli ili tekstil ve konfeksiyon sektörü ile toplam ihracatı 123
Tablo 7.2	Denizli ili 2002-2007 yılları SSK'lı işçi sayısı..... 123
Tablo 7.3	İncelenen yapılarda hasar seviyelerinin aşılma olasılığının dağılımı 127
Tablo 7.4	120 yapı için beklenen toplam <i>BM</i> ve <i>İGK</i> kaybı..... 135
Tablo 7.5	120 yapı için yıllık satış, demirbaş ve vergi kaybı..... 136

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

<i>ATC</i>	: Applied Technology Council
<i>AY75</i>	: Afet Yönetmeliği 1975
<i>AY97</i>	: Afet Yönetmeliği 1998
<i>B</i>	: Kolonun eğilme yönüne dik boyutu
<i>BAO</i>	: Her bir binanın alanına bağlı olarak toplam satışlardan aldığı pay
<i>BM</i>	: Bina maliyeti olarak beklenen ekonomik kayıp
<i>BrM</i>	: Prefabrik yapıların birim inşaat maliyeti
<i>c</i>	: Sönüm oranı
<i>CAV</i>	: Kümülatif mutlak hız
<i>C_{cr}</i>	: Kritik sönüm
<i>d</i>	: Faya olan en yakın mesafe
<i>DOSB</i>	: Denizli Organize Sanayi Bölgesi
<i>DTO</i>	: Denizli Ticaret Odası
<i>DBYYHY</i>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
<i>DYMO</i>	: Demirbaş değeri cinsinden beklenen ekonomik kayıp
<i>EI</i>	: Eğilme rijitliği
<i>EI_{eff}</i>	: Efektif eğilme rijitliği
<i>f_c</i>	: Betonun basınç dayanımı
<i>FEMA</i>	: Federal Emergency Management Agency
<i>f_y</i>	: Donatının akma dayanımı
<i>g</i>	: Yer çekimi ivmesi
<i>H</i>	: Kolonun eğilme yönündeki boyutu
<i>IM</i>	: Hasar seviyesinin aşılma olasılığı için kullanılan yer hareketi parametresi
<i>İGK</i>	: Beklenen işgünü kaybı
<i>K, k</i>	: Yatay deplasman rijitliği
<i>K_{yO}</i>	: Hasar düzeyine bağlı yıllık kayıp oranı
<i>L</i>	: Kolon yüksekliği
<i>L_p</i>	: Plastik mafsalsal boyu
<i>m</i>	: Kütle
<i>M</i>	: Depremin büyüklüğü
<i>M_s</i>	: Boyuna donatının aktığı andaki moment
<i>M_y</i>	: Kolon kesiti akma momenti
<i>N</i>	: Eksenel yük
<i>n</i>	: Tahmin için kullanılan analiz verisi sayısı
<i>NEHRP</i>	: National Earthquake Hazards Reduction Program
<i>OLA</i>	: Hasar seviyelerinin aşılma olasılığı
<i>PF₁</i>	: Birinci mod katılım çarpanı
<i>PGA</i>	: Maksimum yer vimesi

PGV	: Maksimum yer hızı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
RS	: Analiz sonucu hesaplanmış yapısal tepki
S	: Etriye aralığı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral deplasman
SI	: Tepki spektrumu şiddeti
SR_A	: Talep spektrumunun yatay kısmı için indirgeme katsayısı
SR_V	: Talep spektrumunun eğrisel olarak düşen kısmı için indirgeme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_d	: Sönümlü sistemin doğal titreşim periyodu
T_{eff}	: Çerçevelerin efektif titreşim periyodu
TPB	: Türkiye Prefabrik Birliği
$UBC97$: Uniform Building Code 97
V_{el}	: Elastik taşıma gücü
V_y	: Kesitin yatay yük taşıma kapasitesi
V_y/W	: Yatay dayanım oranı
$VYMO$: Beklenen vergi kaybının yıllık satışlara oranı
W	: Çerçevelerin toplam ağırlığı
YMO	: Beklenen yıllık satışlar cinsinden kaybın toplam satışlara oranı
α_1	: Birinci moda ait kütle katılım katsayısı
β_{eq}	: Eşdeğer sönüm
Δ_{el}	: Elastik deplasman
$\Delta_{GÇ}$: İleri hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{GÇ,P}$: İleri hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
Δ_{GV}	: Belirgin hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{GV,P}$: Belirgin hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
Δ_{MN}	: Minimum hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{MN,P}$: Minimum hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
Δ_{pl}	: Plastik deplasman
Δ_u	: Nihai deplasman
Δ_y	: Akma anındaki deplasman
\mathcal{E}_{cu}	: Betonun maksimum birim şekil değiştirmesi
$\mathcal{E}_{cu(GÇ)}$: İleri hasar seviyesi için beton birim şekil değiştirme limiti
$\mathcal{E}_{cu(GV)}$: Belirgin hasar seviyesi için beton birim şekil değiştirme limiti
$\mathcal{E}_{cu(MN)}$: Minimum hasar seviyesi için beton birim şekil değiştirme limiti
$\mathcal{E}_{s(GÇ)}$: Minimum hasar seviyesi için donatı birim şekil değiştirme limiti
$\mathcal{E}_{s(GV)}$: İleri hasar seviyesi için donatı birim şekil değiştirme limiti
$\mathcal{E}_{s(MN)}$: Belirgin hasar seviyesi için donatı birim şekil değiştirme limiti

ε_{su}	: Boyuna donatı maksimum birim şekil değıştirmesi
Φ	: Standart normal dağılım fonksiyonu
ϕ_{etr}	: Etriye donatısı çapı
ϕ_{GC}	: İleri hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{GC,P}$: İleri hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
ϕ_{GV}	: Belirgin hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{GV,P}$: Belirgin hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
ϕ_{MN}	: Minimum hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{MN,P}$: Minimum hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
ϕ_s	: Boyuna donatının aktığı andaki eğrilik
ϕ_u	: Kesit için nihai eğrilik
ϕ_y	: Kesit için akma anındaki eğrilik
μ	: Süneklik
μ_{Δ}	: Deplasman sünekliği
μ_x	: $Y=\ln X$ için x rastgele değışkeninin ortalaması
μ_y	: $Y=\ln X$ için y değışkeninin ortalaması
θ_{pl}	: Plastik dönme
θ_y	: Akma anındaki dönme
ρ_l	: Boyuna donatı oranı
ρ_s	: Sargı donatısı oranı
ρ_{sm}	: DBYYHY'te kolonlar için öngörülen minimum sargı donatısı oranı
σ_x	: $Y=\ln X$ için x rastgele değışkeninin standart sapması
σ_y	: $Y=\ln X$ için y değışkeninin standart sapması
ω	: Dairesel titreşim frekansı
ω_d	: Sönümlü sistemin dairesel titreşim frekansı

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Her yıl dünyada yüzlerce hasar yaratıcı deprem meydana gelmektedir. Bu depremler özellikle kentsel bölgeleri etkilediklerinde çok ciddi kayıplara neden olmaktadır. 1923 Kanto (Japonya) depreminde 140,000 ve 1976 Tangshan (Çin) depreminde 240,000 insan hayatını kaybetmiştir. Depremlerde meydana gelen hasarların önemli bir sonucu da ekonomik kayıplardır. 1995 Kobe (Japonya) depreminde meydana gelen toplam ekonomik kayıp 200 Milyar USD civarında olmuştur. Ülkemizde meydana gelen, 25,000'den fazla kişinin hayatını kaybettiği ve yaklaşık 120,000 aileyi evsiz bırakan 1999 Kocaeli depremindeki toplam kayıpların (fiziksel ve sosyo-ekonomik) 20 Milyar USD civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Deprem mühendisliğinin önemli çalışma konuları arasında olası depremlerde mevcut yapılarda meydana gelebilecek hasarın tahmin edilebilmesi de yer almaktadır. Hasar tahmin çalışmaları genel olarak iki gruba ayrılmaktadır: bölgesel tahmin çalışmaları ve binaya özel tahmin çalışmaları. Bölgesel tahmin çalışmalarında ele alınan bir şehir, bir ülke ya da bir coğrafi bölgede yer alan bina stoğu dikkate alınmaktadır. Binaya özel çalışmalarda ise amaç belirli bir bölgede yer alan herhangi bir bina için hasar tahmini yapmaktır.

Depremler, oluş biçiminden yapıyı etkileyen titreşim karakteristiklerine kadar bir çok belirsizlik içermektedir. Yapının depreme vereceği tepkide de yapısal karakteristiklere bağlı belirsizlikler vardır. Hasar görebilirlik eğrileri, gözönüne alınan depremler için yapılarda değişik seviyelerde hasar meydana gelebilme olasılığını belirten eğrilerdir. Hasar görebilirlik eğrilerinin kullanılması ile deprem riskinin tahmininde bu belirsizlikler hesaba katılmış olmakta ve elde edilen sonuçlar olasılık teorisinin temel ilkeleri kullanılarak değerlendirilmektedir.

Hasar görebilirlik eğrilerin oluşturulmasında, gözönüne alınacak deprem tehlikesi, spektral parametreler (spektral ivme, spektral hız ya da spektral deplasman) ya da

maksimum yer ivmesi (PGA), maksimum yer hızı (PGV), depremin büyüklüğü (M) vb parametreler ile ifade edilmektedir. Yapının depreme verdiği tepki ise deplasman, göreceli deplasman ya da önceden tanımlanmış hasar indeksleri gibi parametreler ile temsil edilmektedir. Bu şekilde gözönüne alınan deprem için yapıların tepkisi belirlenmektedir. Önceden tanımlanmış hasar seviyeleri ile hesaplanan yapısal tepki karşılaştırılmakta ve yapının performansı ya da hasar seviyesi belirlenmiş olmaktadır.

Depremlerin önceden belirlenmesi mümkün olmasa da, deprem hasarlarına karşı alınabilecek önlemlerle, sosyo-ekonomik kayıpların azaltılabilmesi mümkündür. Deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem riskinin değerlendirilmesi, hasarın azaltılabilmesi için gerekli önlemlerin alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, gerekli önlemlerin alınabilmesi için mevcut yapıların hasar riskinin ortaya konması gerekmektedir.

Türkiye’de deprem tehlikesi altındaki kentlerde deprem riski, hızlı nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan plansız arazi kullanımı ya da yanlış yapılaşma gibi nedenlerle daha da artmaktadır. Bu konuda önlem alınmadığı takdirde oluşabilecek kayıplar, belirli bir kaynak ve yatırım potansiyeline sahip ülkemizin ekonomisinde ciddi sıkıntılara yol açacaktır.

Türkiye’nin sanayi üretiminin tamamına yakını, deprem tehlikesinin büyük olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Sanayi yapılarında meydana gelebilecek hasarlar, can kaybının yanında işgücü kaybı, makina ve teçhizat kaybı gibi ekonomik kayıplar doğurabilecektir. Yani Türkiye olası büyük bir depremde can kaybının yanı sıra çok büyük bir ekonomik kayıp riski ile de karşı karşıyadır. Ekonomik kayıp riskinin bu kadar büyük olmasının önemli sebeplerinden birisi, mevcut prefabrik sanayi yapılarının deprem dayanımlarının düşük olmasıdır.

Türkiye’de sanayi yapılarının büyük bir kısmı prefabrikasyon teknolojisi ile inşa edilmektedir. Bu yapılar genellikle tek katlı, büyük açıklıkların, uçlarında moment taşımayan makaslarla geçildiği çerçeve tipi sistemlerden oluşmaktadır. Düşey ve yatay yükler temele ankastre bağlanan kolonlar tarafından taşınmaktadır. 1998 Ceyhan ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde bu yapıların yaygın ve ciddi hasar gördüğü rapor edilmiş ve bu yapıların deprem performansları sorgulanır hale gelmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Tez çalışmasında öncelikle ülkemizdeki sanayi yapılarının büyük çoğunluğunu temsil eden tek katlı prefabrik sanayi yapılarının deprem performansı ve hasar görebilirliği üzerinde yapısal parametrelerin etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, prefabrik sanayi yapılarında meydana gelecek olası hasarları tahmin etmek amacıyla kullanılacak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca prefabrik yapılar için elde edilen hasar görebilirlik eğrileri kullanılarak Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan tek katlı sanayi yapılarında hasar dağılımını ve hasar dağılımına bağlı olarak ortaya çıkabilecek ekonomik kaybı tahmin etmek amaçlanmıştır.

1.3. Kapsam ve Yöntem

Tezin amacı doğrultusunda, analizlerde tek katlı ve mafsallı prefabrik sanayi yapıları dikkate alınmıştır.

Mafsallı ve tek katlı prefabrik yapılardaki deprem hasarları başlıca iki grupta toplanmaktadır: yanal rijitlik yetersizliği sebebiyle meydana gelen hasarlar ve birleşim bölgelerinin yetersizliği sebebiyle çatı düzleminde bulunan elemanların devrilmesi ya da düşmesi. Bu çalışmada, prefabrik yapılarda yanal rijitlik yetersizliği sebebiyle oluşan deprem hasarları dikkate alınmış, çatı düzlemi elemanlarının devrilmesi ya da düşmesi ile ilgili hasarlar kapsam dışı bırakılmıştır.

Mevcut prefabrik yapı stoğunda yer alan yapıların özellikleri dikkate alınmış ve yapısal parametrelerin etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla 16 adet tipik prefabrik sanayi yapısı modeli kullanılmıştır.

Prefabrik yapı modellerinin kolonları için kritik kesitte beton ve çeliğin birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te (DBYYHY 2007) tanımlanan minimum hasar, belirgin hasar ve ileri hasar seviyelerine ait limit değerler dikkate alınmıştır. Limit değerlere bağlı olarak dört hasar bölgesi tanımlanmıştır: minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme hasarı. Kolonların moment-eğrilik analizi yapılarak hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerleri elde edilmiştir. Daha sonra kapasite eğrileri ve kapasite eğrisi üzerinde hasar seviyelerine ait yatay deplasman limitleri belirlenmiştir.

Prefabrik sanayi yapılarında çatı düzlemi bağlantıları mafsallı olduğundan ve yine çatı da elemanların beraber hareket edebilmesine olanak tanıyan rijit diyafram davranışı bulunmadığından yapıyı oluşturan çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla bu tür yapıların analiz ve tasarımı, yapıyı oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır. Tez çalışmasında da prefabrik yapıyı oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Prefabrik sanayi yapılarını temsil eden düzlem çerçeveler için kapasite eğrileri elde edilmiş ve kapasite eğrileri kullanılarak çerçeveler tek serbestlik dereceli olarak temsil edilmiştir. Çerçevelerin kapasite eğrilerinin elde edilmesinde, her bir düzlem çerçevedeki kolonların kapasite eğrilerinden yararlanılmıştır.

Tek serbestlik dereceli olarak temsil edilen çerçevelerin doğrusal ötesi dinamik analiz ile maksimum deplasman talepleri belirlenmiş ve çerçeve kapasiteleri ile maksimum deplasman talepleri karşılaştırılarak, çerçevelerin hangi hasar bölgesinde oldukları belirlenmiştir.

Maksimum yer hızı (*PGV*) değerine bağlı olarak her bir tipik prefabrik yapı modeli ve her bir hasar seviyesi için hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir. Hasar görebilirlik eğrileri kullanılarak hem yapısal parametrelerin hem de yer hareketi parametresi olarak kullanılan *PGV*'nin hasar seviyelerinin aşılma olasılığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren firmalardan 89'una ait 120 adet tek katlı prefabrik sanayi yapısının her birinin yapısal özellikleri proje incelemeleri ve saha çalışmaları sonucu elde edilmiştir. Bu yapılar için gerekli analizler yapılarak hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir. *PGV*'nin 30cm/s, 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s senaryo değerleri için Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan prefabrik yapıların hasar dağılımları elde edilmiştir. Hasar dağılımına bağlı olarak bina yapım maliyeti üzerinden kayıp, yıllık satışlar üzerinden kayıp, demirbaş kaybı ve işgünü kaybı adı altında dört başlıkta ekonomik kayıp tahmini yapılmıştır.

1.4. Tezin Organizasyonu

Tezin amacı doğrultusunda, bu çalışma sekiz ana bölümden oluşacak şekilde organize edilmiştir.

İkinci bölümde, prefabrik yapılar ve mevcut yapıların hasar görebilirliği üzerinde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, prefabrik sanayi yapılarının taşıyıcı sistemleri ve mevcut prefabrik yapılar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca prefabrik sanayi yapılarının Türkiye'deki son depremlerde gördüğü hasarlar hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, seçilen 16 adet tipik sanayi yapısında yer alan kolonların moment-eğrilik analizleri ve kapasite eğrilerinin elde edilmesi için gerekli hesaplama adımları açıklanmıştır. Daha sonra kolon kapasite eğrileri kullanılarak çerçeve kapasite eğrilerinin nasıl elde edildiği ile ilgili olarak bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, kapasite eğrisi elde edilmiş ve tek serbestlik dereceli olarak temsil edilmiş 16 adet tipik sanayi yapısına ait çerçevelerin doğrusal ötesi dinamik analizleri yapılarak, her bir çerçeve için maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir. Talep ve kapasitenin karşılaştırılması ile herhangi bir çerçevenin hasar durumunun belirlenmesi için gerekli hesaplar anlatılmış ve çerçevelerin hasar durumları yani performans seviyeleri tespit edilmiştir.

Altıncı bölümde kapasite ve talep karşılaştırması sonucu hasar durumu belirlenen çerçeveler için yer hareketi parametresi *PGV*'ye bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir. Dikkate alınan yapısal parametrelerin ve yer hareketini temsil eden *PGV*'nin, prefabrik yapıların hasar görebilirliğine etkisi değerlendirilmiştir.

Yedinci bölümde, Bölüm 4, Bölüm 5 ve Bölüm 6'da verilen bilgiler ışığında Denizli Organize Sanayi Bölgesinde yer alan tek katlı prefabrik sanayi yapılarının performans değerlendirmesi yapılmış ve her bir yapı için hasar görebilirlik eğrisi türetilmiştir. Hasar görebilirlik eğrileri kullanılarak, incelenen yapıların öngörülen *PGV* değerlerine bağlı olarak hasar dağılımları tespit edilmiştir. Hasar dağılımları kullanılarak beklenen ekonomik kayıplar bina maliyeti, yıllık satışlar, demirbaş kaybı ve işgünü kaybı başlıkları altında hesaplanmıştır.

Sekizinci bölümde tez çalışması sonucunda elde edilen bulgular ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak prefabrik yapıların deprem performansının artırılabilmesi ve depremlerde meydana gelebilecek kayıpların azaltılabilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölümde prefabrik sanayi yapıları ile ilgili çalışmalar, deprem hasarlarının tahmininde kullanılan hasar görebilirlik eğrileri ile ilgili çalışmalar ve tez çalışmasında kullanılan HAZUS kayıp tahmin yaklaşımı hakkında bilgi verilmiştir.

2.2. Prefabrik Yapılarla İlgili Çalışmalar

Dünyada prefabrik konusunda yapılan en kapsamlı çalışmalardan birisi PRESS programıdır (Priestley 1996). Programın amacı, değişik deprem bölgelerinde yer alan prefabrik/öngerilmeli betonarme yapılar için yönetmeliklerde yer alacak yol gösterici bilgileri geliştirmek şeklindedir. Dünyadaki prefabrik yapı modelleri genellikle birleşimleri moment aktaran sistemler olarak tasarlanmaktadır. Ülkemizde uygulandığı şekli ile, birleşim bölgeleri mafsallı olan prefabrik sanayi yapıları bu programın kapsamı dışındadır.

Ülkemizde prefabrik yapılarla ilgili temel esaslar TS500 (2000), TS9967 (1992) ve DBYYHY (2007) ile tanımlanmıştır. TS500, betonarme yapı sistemlerinin ve elemanlarının kullanım amaç ve süresine uygun güvenlikle tasarlanması ve yapımı ile ilgili kuralları içerirken, TS9967, prefabrik yapı sistemlerinin ve elemanlarının hesap esasları, imalat ve montaj kurallarını içermektedir. DBYYHY ise deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli hesap ve tasarım koşullarını tanımlamaktadır.

Türkiye’de prefabrik yapılarla ilgili çalışmaların Mayıs 1996’dan sonra yoğunlaştığı söylenebilir. 1995 yılında oluşturulan komitenin çalışmaları sonucu, AY97 (1997) Resmi Gazete’de yayınlanmış ve bir yıl boyunca tartışmaya açılmıştır. Bu süreçte yeni yönetmelik hükümleri için eleştiri ve öneriler içeren çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında prefabrik yapılar için yapılan çalışmalar da yer almaktadır.

Ersoy vd (1993) prefabrik elemanların birleşimlerinin performansı ile ilgili deneysel çalışmalarının sonuçlarını yayınlamıştır. Çalışmada, kullanılan birleşim detaylarının yetersizliği ortaya konmuş ve birleşimlerle ilgili öneriler sunulmuştur.

Özden (1997) yeni yönetmelik taslağında prefabrik yapılarla ilgili olarak birleşim malzemeleri, yapıya ve birleşim bölgelerine etkiyecek yatay yük, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve birleşim bölgesi detayı ile ilgili maddeler için görüş ve önerilerini belirtmiştir. Yazar, AY97'nin tasarımı aşamasındaki metninde yer alan kar yükünün tamamının deprem hesabında gözönüne alınması hükmünden vazgeçilmesini önermiştir. Ayrıca tek katlı, birleşimleri moment aktarmayan prefabrik yapılarda kullanılacak taşıyıcı sistem davranış katsayısına ilişkin öneride bulunmuştur (Süneklik düzeyi yüksek ise $R=4$, süneklik düzeyi normal ise $R=1$).

Özmen vd (1997) prefabrik yapıların tasarımına etkileri açısından AY75 (1975) ile AY97 taslağını karşılaştırmış, taslak ile ilgili görüş ve önerilerini sunmuştur.

Ersoy (1997) mafsallı ve moment aktaran prefabrik çerçeveli taşıyıcı sistemlerin deprem davranışını irdelemiş ve özellikle tasarım konusunda yanal ötelenme sorununa dikkat çekmiştir. Ayrıca uygulama aşamasındaki olası hataların yol açacağı yetersizlikleri vurgulamıştır.

Özmen ve Zorbozan (1998) AY97'nin yürürlüğe girdiği hali ile prefabrik yapılara uygulanmasına örnek olarak iki adet prefabrik yapının tasarımını içeren bir kitap hazırlamış, kitapta AY97'nin prefabrik yapıların tasarımında uygulanması ile ilgili ayrıntılar üzerinde durmuştur.

Kahraman vd (1999) yaptıkları çalışmada AY97'nin prefabrik yapılara etkisini göstermek amacı ile İzmir-Çiğli'de yapılması düşünülen bir mafsallı sanayi yapısını hem AY75 hem de AY97'ye göre çözümlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, tasarımda kullanılacak taban kesme kuvvetinde %100'e varan oranda artış ve gerekli kolon kesit alanlarında buna paralel olarak büyüme olduğu vurgulanmıştır.

1998'de yürürlüğe giren AY97 tam olarak uygulanma imkanı bulamadan 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli ve Düzce gibi prefabrik sanayi yapılarının yoğun olduğu merkezlerde meydana gelen depremler, bu yapıların da büyük hasar görmelerine ve dikkatlerin prefabrik yapılara çevrilmesine sebep olmuştur. Bu depremlerden sonra

prefabrik yapıların deprem davranışları, bu yapılarda görülen hasarlar ve bunların nedenleri konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, taşıyıcı sistem ve detaylandırma koşulları ile ilgili yeni öneriler ortaya atılmış, AY97’de yer alan prefabrik yapılarla ilgili kısımların iyileştirilmesine ve bazı özel koşulların eklenmesine yönelik fikirler ileri sürülmüştür.

1999’da meydana gelen depremler sonrasında Türkiye Prefabrik Birliği adına yapılan çalışmada, birliğe üye kuruluşların Adapazarı’nda yapmış oldukları 98 sanayi tesisinin 16’sında toptan göçme 8’inde ise kısmi göçme belirlenmiştir (Ataköy 1999). Aynı çalışmada birlik üyesi kuruluşların İzmit yöresindeki üretiminin %3’ünün depremden dolayı ağır ya da orta derecede hasar gördüğü belirtilmektedir.

Posada ve Wood (2002) tek katlı prefabrik sanayi yapılarındaki deprem hasarlarını ve bunların sebeplerini incelemiştir. Çalışmada özellikle kolon rijitliğinin prefabrik yapıların deprem performansı üzerinde çok etkili olduğu belirtilmiştir. Yazarlar, sadece kolon enkesit boyutlarını arttırmanın bile ileride oluşabilecek hasarların azalmasına sebep olacağını ileri sürmüştür.

1998 Ceyhan depreminden sonra yapılan bir incelemede, tek katlı prefabrik yapılarda ortaya çıkan hasarların genelde birleşim bölgelerindeki projelendirme ve detaylandırma yetersizliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Zorbozan vd 1998). Yazarlar birleşim hesaplarının çerçeveye dik doğrultuda atalet kuvvetlerinden doğan devrilme momenti ve kesme kuvvetlerinin de dikkate alınarak yapılmasını önermiştir. Çubuk ankraj boylarının kiriş mesnet yüksekliğinden büyük olması durumunda bağlantının bulonlarla desteklenmesi ve bağlantı çubuğu ile kiriş arasındaki aderansı sağlayacak dolgu harcının yerleştirilmesi konusunda özen gösterilmesinin gerekliliği belirtilmiştir.

Akçaözoğlu (2003) yüksek lisans tezinde 1998 Ceyhan depreminde gözlenen prefabrik yapı hasarları ile değerlendirmesinde özellikle birleşim noktalarının düzenlenmesi ile ilgili konulara dikkat çekmiştir. Çalışmada çatı düzleminde rijit diyafram olmaması bu sistemin en zayıf tarafı olarak belirtilmiştir.

Çolakoğlu (2001) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında AY97, Amerikan Deprem Yönetmeliği (UBC97 1997) ve Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliği’nde (EUROCODE8 1998) prefabrik binalar için yer alan şartlar gözden

geçirilmiş ve tasarım deprem yükleri, görelî kat ötelenmesi ve bağlantı noktalarına gelen deprem yükleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) prefabrik tek katlı yapılar için 2 alınması önerilmiştir. Ayrıca birleşim bölgelerine geleceği hesaplanan yatay kuvvetin UBC97 ve EUROCODE8'e göre hesaplanan değerlere göre çok düşük olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2004) yüksek lisans tezi çalışmasında, AY97'ye göre tasarlanmış tek katlı prefabrik sanayi yapılarının makas birleşimine gelen kuvvetleri ve yatay ötelenme açısından bu yapıların davranışını incelemiştir. Analizler için doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar açısından AY97'nin prefabrik yapılar ile ilgili koşulları değerlendirilmiştir (Yılmaz vd 2007).

Kayhan (2004) yüksek lisans tezinde prefabrik sanayi yapılarının yatay ötelenme açısından davranışında kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı, beton dayanımı, çatı makası uzunluğu, kolon yüksekliği, zemin sınıfı parametrelerinin etkisini, doğrusal ötesi statik itme analizi yöntemini kullanarak incelemiştir. Aynı çalışmada AY97'de tanımlanmış zemin sınıflarına bağlı olarak, tek katlı mafsallı prefabrik sanayi yapılarının maksimum kat ötelenmesinin hızlı bir şekilde tahmini için üstel denklemler önerilmiştir.

Arslan vd (2005) Marmara depremlerinde prefabrik yapılarda meydana gelen hasarlar ve sebeplerini değerlendirmiş, sanayi yapılarında gözlenen yetersizliklerin giderilmesi amacıyla kolonlar ve birleşim bölgeleri ile ilgili güçlendirme önerilerini sunmuştur.

Kaplan vd (2005) Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan prefabrik yapılarda beklenen hasar dağılımı ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada, AY97 tarafından öngörülen tasarım eşdeğer deprem yükü etkisi altında hesaplanan görelî ötelenme değerini hasar parametresi olarak kullanmışlardır. Görelî ötelenme değerine bağlı olarak yedi hasar bölgesi tanımlanmış ve incelenen yapıların hangi hasar bölgesinde olduğuna hesap sonucu elde edilen görelî deplasman değerleri dikkate alınarak karar verilmiştir. Çalışmada tasarım depreminin oluşması durumunda DOSB'de bulunan yapıların %67'sinin göçme riski ile karşı karşıya bulunduğu belirtilmiştir.

Sezen ve Whittaker (2006) yaptıkları çalışmada, Marmara bölgesindeki depremlerden etkilenen betonarme ve çelik taşıyıcı sisteme sahip sanayi yapılarında yapısal ve yapısal olmayan hasarlar ve hasarların sebeplerini değerlendirmişlerdir.

Prefabrik sanayi yapılarının deprem davranışlarının deneysel olarak araştırılması ve gözlenen yetersizliklerin giderilmesi amacıyla çerçevelerin dış perde duvarlar ile desteklenmesi konularında, Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda BAP-08-11-DPT.2004K120760 kodlu proje (Atımtay 2007) kapsamında yürütülmüş iki doktora çalışması yapılmıştır (Çetinkaya 2007, Nohutçu 2007). Çetinkaya, üç boyutlu ve tek katlı prefabrik sanayi yapısının deprem davranışını deneysel olarak incelemiştir. Nohutçu ise, dış perde duvar uygulaması ile prefabrik yapı çerçevelerinin takviye edildiği durumu dikkate alarak deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmada tek kolon eleman, düzlem çerçeve ve üç boyutlu sistem için deneyler tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmanın sonucu olarak, takviye uygulamasının prefabrik çerçevelerin performansını olumlu olarak etkilediği ve mevcut prefabrik yapıların takviye edilmesi amacıyla kullanılabilmesi vurgulanmıştır.

Kaplan vd (2009) yapılan deneysel çalışmaların bir sonucu olarak mafsallı prefabrik yapıların dış perde duvarlar ile desteklenmesi ve çatı düzleminde rijit diyafram oluşturulması amacıyla kullanılacak yöntemler ve uygulama detayları ile ilgili öneriler sunmuştur.

2.3. Hasar Görebilirlik Eğrileri ile İlgili Çalışmalar

Deprem kayıp tahminleri, gelecek depremlerden doğabilecek zararların, insan kayıplarının ve ekonomik etkilerin tahminleridir. Hasar ve kayıpların tahmini için yapılan çalışmalar beş başlıkta toplanmaktadır: deprem tehlikesinin tanımlanması, bina verilerinin elde edilmesi, yapı davranışının analizlerle değerlendirilmesi, hasar görülebilirliğin belirlenmesi ve risk tahmini.

Deprem riskinin belirlenmesinde deterministik ve olasılıksal iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Deterministik yaklaşımda, oluşmalarına dair olasılığın kesin olarak belli olmadığı senaryolar tehlike modeli olarak referans alınmakta ve bu senaryolar altında hasar ve kayıplar değerlendirilmektedir. Olasılıksal yaklaşımda, ilgili bölgeye etki eden birçok olay ve etmen ile ilişkili tüm olasılıklar dikkate alınarak tehlike modelleri

oluşturulmakta ve yüzlerce ya da binlerce senaryonun simülasyonları baz alınmaktadır (McGuire 2001).

Olasılıksal yaklaşımın aracı olarak hasar görebilirlik eğrileri, yapılarda değişik seviyelerde hasar meydana gelebilme olasılığını belirten eğrilerdir ve olası hasarı ifade etmede yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Eğrilerin, deprem riski tahmininde kullanılabilmesi için yapıya etkileyen depremin ve bu deprem etkisi altında yapının tepkisinin ifade edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hasar görebilirlik eğrileri genel olarak ampirik ya da analitik olarak oluşturulabilmektedir. Ampirik eğrilerin oluşturulmasında, geçmiş depremlerde gözlenen yapısal hasarlar ya da deneyler sonucunda elde edilmiş veriler kullanılmaktadır. Analitik eğriler ise doğrusal ötesi analizler sonucu elde edilen yapısal tepki dikkate alınarak oluşturulmaktadır.

Ampirik yaklaşımın kullanıldığı çalışmalarda köprüler (Basoz ve Kiremidjian 1997, Yamazaki vd 2000, Shinozuka vd 2000a) ve betonarme binalar (Kircher vd 1997, Rossetto ve Elnashai 2003) ele alınmıştır.

Tez çalışmasında prefabrik yapılar için hasar görebilirlik eğrileri analitik olarak elde edilmiştir. Bu sebeple analitik yaklaşım ile ilgili çalışmalara daha geniş şekilde yer verilmiştir. Çalışmalarda analizlerde kullanılan yöntem, dikkate alınan yapı stoğu, yer hareketi parametresi, hasar parametresi gibi bilgiler özetlenmeye çalışılmıştır.

Karim ve Yamazaki (2001) analitik yaklaşımla, otoyol köprüleri için hasar görebilirlik eğrisi önermiştir. Hasar parametreleri zaman tanım alanında doğrusal ötesi analiz ile belirlenmiştir. Hasar parametresi olarak Park-Ang (1985) modeli kullanılmıştır. Hasar parametresine bağlı olarak dört hasar seviyesi tarif edilmiştir: az hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme. Kullanılan 50 ivme kaydının *PGA* ve *PGV* değerleri, öngörülen sayısal değerler için ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir (10 grup, her grup için 50 analiz). Yer hareketi parametrelerinin dağılımı lognormal kabul edilmiş ve dağılımın ortalama ve standart sapma parametreleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Karim ve Yamazaki (2003) bir önceki çalışmanın devamı sayılabilecek çalışmalarında ivme kaydını 250'ye çıkarmış ve dört farklı tipte köprü için hasar

görebilirlik eğrilerini elde etmiştir. Yer hareketi parametresi olarak *PGA* ve *PGV*'nin yanında spektral yoğunluk (*SI*) dikkate alınmıştır. Lognormal dağılımın parametreleri, doğrusal regresyon kullanılarak yapı özellikleri cinsinden, basitleştirilmiş olarak ifade edilmiştir. Bu şekilde analitik ve ampirik olarak elde edilen hasar görebilirlik eğrileri karşılaştırılmıştır. Aynı yazarlar, başka bir çalışmalarında, izolatörlerin köprülerin hasar görebilirliği üzerindeki etkisini de incelemiştir (Karim ve Yamazaki 2007).

Köprüler ile ilgili olarak iki farklı analitik yaklaşımla, doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz ve doğrusal ötesi statik analiz yaklaşımıyla hasar görebilirlik eğrilerinin türetildiği başka bir çalışma Shinozuka vd (2000b) tarafından yapılmıştır. 10 farklı köprü modeli ve 80 ivme kaydı kullanılarak yapılan çalışmada, yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen *PGA* kullanılmıştır. Lognormal dağılımın parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi ile belirlenmiştir.

Karimi ve Bakhshi (2006) yığma yapılar için hasar görebilirlik eğrileri önermiştir. Çalışmada yer hareketi parametresi olarak kümülatif mutlak hız (*CAV*) kullanılmıştır. Hasar parametresi olarak Park-Ang modeli kullanılmış, hasar parametresine bağlı olarak beş hasar seviyesi tanımlanmıştır. Doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz için 12 ivme kaydı seçilmiştir. Yapısal parametrelerdeki belirsizliğin dikkate alınmasında Monte Carlo Simülasyon tekniği (Rubinstein 1981) kullanılmıştır.

Kim ve Shinozuka (2004) köprü kolonlarında çelik manto ile güçlendirmenin etkisini değerlendirmek amacıyla hasar görebilirlik eğrileri önermiştir. 60 ivme kaydı ile doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak yapı tepkileri elde edilmiştir. Yer hareketi parametresi olarak kullanılan *PGA*'nın lognormal dağıldığı kabul edilmiş, dağılımın parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Hasar parametresi olarak görelî ötelenme değeri kullanılmış, hasar seviyelerinin limit değerleri için Dutta ve Mander (1999) tarafından önerilen değerler kullanılmıştır.

Köprüler için önerilen ampirik ve analitik hasar görebilirlik eğrilerinin istatistiksel analizini konu alan çalışma Shinozuka vd (2000a) tarafından yapılmıştır. Ampirik eğriler için Kobe depremi sonrası elde edilen hasar verileri kullanılmıştır. Analitik eğriler için doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmıştır. Yer

hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen *PGA* kullanılmış, dağılımın parametrelerinin tahmininde maksimum olasılık yöntemi seçilmiştir.

Kirişsiz döşeme sistemine sahip orta yükseklikteki yapılar konu alınarak geliştirilen hasar görebilirlik eğrileri için beş katlı bir düzlem çerçeve kullanılmıştır (Erberik ve Elnashai 2004). Yapı modelinde dolgu duvarlar da dikkate alınmıştır. Hasar parametresi olarak görel kat ötelenmesi değeri kullanılmış, dört farklı hasar seviyesi tanımlanmıştır. Beton ve çelik malzemelerin dayanımına ait belirsizliklerin hesaba katılabilmesi için “Latin Hypercube Sampling Method” (McKay vd 1979) kullanılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağılıma uyduğu varsayılan spektral deplasman (S_d) değeri kullanılmıştır. Kiriş-kolon çerçeve sistemine ait hasar görebilirlik eğrilerinin literatürde yer alan çalışmalar ile (Hwang ve Huo 1997, Singhal ve Kiremidjian 1997) karşılaştırılabilmesi için hasar görebilirlik eğrileri spektral ivme (S_a) değerine bağlı olarak da türetilmiştir.

Türkiye’de de özellikle mevcut betonarme binalar ile ilgili olarak hasar görebilirlik eğrilerinin türetildiği çalışmalar mevcuttur.

Kırçıl ve Polat (2006) İstanbul’daki orta yükseklikteki binalar için hasar görebilirlik eğrileri önermişlerdir. Mevcut yapıları temsil etmek üzere AY75’e göre tasarlanmış 3, 5 ve 7 katlı betonarme binalar, hasar seviyesi olarak akma ve göçme durumları dikkate alınmıştır. 12 adet yapay ivme kaydı kullanılarak Artımsal Dinamik Analiz (Vamvatsikos ve Cornell 2002) ile yapısal performans değerleri elde edilmiştir. Dikkate alınan kat sayıları için, lognormal dağıldığı kabul edilen *PGA*, S_a ve S_d parametrelerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Lognormal dağılımın ortalama ve standart sapma parametreleri regresyon analizi ile kat sayısına bağlı olarak ifade edilmiş ve hasar görebilirlik eğrileri kat sayısına bağlı olarak da türetilmiştir.

Betonarme binalardaki yetersizliklerin hasar görebilirlik eğrileri ile ifade edildiği çalışmalardan birisi Ay vd (2006) tarafından yapılmıştır. Çalışmada AY97’ye göre tasarlanmış 3, 5, 7 ve 9 katlı düzlem çerçeve modelleri kullanılmıştır. Yapı modellerinin analizinde dolgu duvarlar dikkate alınmıştır. Yer hareketi parametresi olarak kullanılan *PGV*’ye göre gruplanmış 60 ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal ötesi analiz ile talep istatistikleri elde edilmiştir. Hasar parametresi olarak görel kat

ötelenmesi kullanılmıştır. Beton ve çelik malzemelerin dayanımına ait belirsizliklerin hesaba katılabilmesi için “Latin Hybercube Sampling Method” kullanılmıştır.

Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için hasar görebilirlik eğrilerinin önerildiği başka bir çalışma Akkar vd (2005) tarafından yapılmıştır. Çalışmada bina kapasiteleri 2 ila 5 katlı binalara ait saha verileri kullanılarak elde edilmiştir. Yapıların depremlerde gösterdiği tepki 82 ivme kaydı ile doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz yapılarak belirlenmiştir. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen *PGV* kullanılmıştır. Hasar parametresi olarak görelî ötelenme değeri seçilmiştir.

Erberik (2007) Türkiye’deki betonarme binalar için hasar görebilirlik eğrileri önermiştir. Çalışmada, 1999 Marmara depremi sonrasında yapılan gözlem çalışması sonucu elde edilen bina ve hasar verileri kullanılmış ve önerilen hasar görebilirlik eğrileri ile hasar verileri karşılaştırılmıştır. 100 ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal ötesi analiz ile görelî ötelenmeye bağlı hasar durumları belirlenmiştir. Yer hareketi parametresi olarak *PGV* kullanılmıştır.

2.4. HAZUS ile Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini

Dünyanın deprem tehdidi altındaki her bölgesinde deprem tehlikesi hemen hemen değişmemekte ancak deprem riski sürekli olarak artmaktadır. Bunun sebebi özellikle kentsel bölgelerde nüfus artışı, hasar görebilir yapı stoğunun artması ve ekonomik gelişim sonucu, depremden dolayı oluşabilecek sosyo-ekonomik kaybın artmasıdır.

Deprem hasarlarının ve buna bağlı sosyo-ekonomik kayıpların tahmini için kullanılan yöntemlerin en yaygını HAZUS (2002) programıdır. Program ilk olarak Amerika’da, 1992 yılında Ulusal Deprem Hasarlarını Azaltma Programı (National Earthquake Hazards Reduction Program) çerçevesinde, Ulusal Bilim Kurumu’nun (National Science Foundation) 1989 yılında yaptığı bir çalışmayı takiben başlatılmıştır. 1997 yılında ilk kez yayınlanmış, 1999 ve 2002’de revize edilmiştir. Programın amacı, afet yönetimi, risk azaltma, planlama, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme konularındaki ulusal programlara destek olmak amacıyla, etraflıca risk-tabanlı zarar analizi yaparak can ve mal kaybını azaltmak, insanları ve kurumları doğal afetlerden korumak olarak belirlenmiştir.

HAZUS deprem hasarları tahmini yöntemi kayıpların tahmini için, bina stoğu, yerel jeoloji, potansiyel depremlerin konumu ve büyüklüğü ve ekonomik veri ile ilgili bilgileri kullanan bir yaklaşımdır. Bu verilerin konumsal gösterimi için (yer sarsıntısı, bina hasar modeli ve nüfus bilgisi) coğrafi bilgi sistemleri yardımcı araç olarak kullanılabilir. HAZUS yaklaşımının en önemli bileşenlerinden birisidir.

Olası depremin konumu ve büyüklüğü ile mevcut bina stoğu ya da bölgesel sosyo-ekonomik veriler ışığında, HAZUS yaklaşımı ile yer hareketi bileşeni, hasarlı binaların sayısı, hasarın ekonomik karşılığı, ulaşım, elektrik ve su iletim sistemlerindeki hasarların dağılımı bilgileri tahmin edilebilmektedir. Deprem tehlikesi ile ilgili bilgiler; sismik kaynaklar, deprem yineleme ilişkileri, azalım ilişkileri ile tanımlanırken, bölgesel envanter bilgileri; yapıların konumu, yapıların taşıyıcı sistem özellikleri, değeri, inşa yılı, kullanım sınıfı, yerel zemin özellikleri gibi bilgileri içermektedir. Hasarın tahmini için bina kapasite eğrileri ve bunlara bağlı hasar görebilirlik eğrileri elde edilmekte, hasar görebilirlik eğrilerinden faydalanarak hem doğrudan fiziksel zararlar, hem de beklenen dolaylı ya da doğrudan ekonomik kayıplar tahmin edilebilmektedir. Hasar görebilirlik eğrileri HAZUS yaklaşımının en önemli bileşenlerinden birisidir.

Deprem tehlikesi ve mevcut yapı stoğu ile ilgili bilgiler inceleme konusu bölge için elde edilmek koşulu ile HAZUS yaklaşımı tüm dünyada uygulanabilmektedir.

Martinez (2001) yüksek lisans çalışmasında Porto Riko'da mevcut betonarme ve çelik yapılarda hasar dağılım tahmini yapmıştır. Bu amaçla öncelikle Porto Riko'da mevcut yapıları temsil eden kapasite eğrileri elde edilmiş ve HAZUS'ta bina tipleri için verilen kapasite eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra öngörülen tepki spektrumu kullanılarak HAZUS yöntemine göre hasar görebilirlik eğrileri ve hasar dağılımları belirlenmiştir.

Areizaga (2006) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde de Porto Riko'daki mevcut çelik yapı stoğunun hasar görebilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, sigorta firmalarının çelik yapılarda deprem dolayısıyla meydana gelebilecek hasarı kolay ve pratik bir şekilde tahmin edebilmesi için gerekli bilgileri ortaya koymak olarak belirtilmiştir. Bu amaçla mevcut çelik yapılar için HAZUS yaklaşımı ile *PGA*'ya bağlı

hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir. Sonrasında dikkate alınan hasar seviyeleri için binaların alanına bağlı olarak beklenen hasar maliyetleri hesaplanmıştır.

Ehab (2003) doktora tezi çalışmasında değişik tasarım ve onarım stratejilerinin fayda/maliyet analizlerinin karşılaştırılması ve en uygun stratejinin belirlenmesi amacıyla yeni bir efektif maliyet hesabı önermiştir. Efektif maliyet hesabının yapılabilmesi için gerekli bilgiler yani bina ya da binalarda beklenen hasar dağılımları HAZUS yaklaşımı ile belirlenmiştir. Ayrıca efektif maliyet yaklaşımının tasarım parametrelerinin optimizasyonunda da kullanılabileceği öne sürülmüştür.

HAZUS yaklaşımının kullanıldığı ve Denizli'deki betonarme binalarda oluşabilecek hasarın tahmin edildiği çalışma İnel vd (2008) tarafından yapılmıştır. Çalışmada sokak taraması yöntemi ile elde edilen yaklaşık 3500 binaya ait bilgiler dikkate alınmıştır. Denizli'de meydana gelecek $M=6.3$ ve $M=7.0$ büyüklüğünde senaryo depremleri için binalarda oluşacak hasarların dağılımı tahmin edilmiştir.

HAZUS yaklaşımının kullanıldığı ve Denizli'nin konu edildiği başka bir çalışma ise Toprak ve Taşkın (2007) tarafından yapılmıştır. Çalışmada Denizli'de boru hatları şebekelerinde olası depremlerde meydana gelebilecek hasarlar değerlendirilmiştir. Dikkate alınan sekiz senaryo depremi için boru hatlarında meydana gelecek hasarların dağılımı coğrafi bilgi sistemi ortamında tahmin edilmiştir.

3. PREFABRİK SANAYİ YAPILARI VE DEPREM

3.1. Prefabrikasyonun Tanımı

Bir yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemin ya da taşıyıcı olmayan elemanların fabrikalarda seri olarak üretilip yerinde monte edilmesi işlemine prefabrikasyon denmektedir. TS9967’de prefabrike beton elemanlar “fabrika, atölye vb. gibi yerlerde hazırlanmış kalıplarda seri olarak üretilen, inşaat yerine taşınan ve vinç vb. kaldırma araçları ile montajı yapılan, bu işlemler dolayısı ile de özel olarak projelendirilen hazır yapı elemanları” olarak ve prefabrike bina “taşıyıcı sisteminin tamamı prefabrike betonarme ve/veya öngerilmeli beton yapı elemanlarından oluşan veya geleneksel yapım tekniği içinde taşıyıcı sistemlerinin bir bölümü prefabrike betonarme ve/veya öngerilmeli beton yapı elemanlarıyla oluşturulan konut, otel, yurt, okul, sağlık tesisleri, sanayi tesisi, depo, katlı otopark, ticaret merkezi vb. yapılar” olarak tanımlanmıştır.

Prefabrikasyonda üretim fabrika koşullarında olduğundan hem su/çimento oranı kontrollü bir şekilde uygulanmakta hem de etkili vibrasyon ve kür olanakları ile proje dayanımı sağlanabilmektedir.

Elde edilen beton eleman yüzeyleri ve köşeleri daha düzgün olmaktadır. Çünkü, fabrikada standardize olmuş, boyutlarda hata payı çok küçük ve düzgün yüzeyli elemanlar üretilmektedir. Ayrıca teknolojik ekipmanların kullanılması üretim süresini ciddi olarak kısaltmaktadır.

Beton kalitesinin yüksekliği ve öngerilme uygulanması boyutların küçülmesine, yapının hafiflemesine, deprem yüklerinin azalmasına neden olmaktadır. Daha geniş açıklıkların geçilmesine imkan tanınmasıyla, verimli ve ekonomik alan kullanımı sağlamaktadır. Montaj süresi kısadır ve inşaat mevsim şartları yapım süresini hemen hemen etkilememektedir.

Tüm bu avantajlar bir arada düşünüldüğünde, prefabrikasyon daha ekonomiktir. Bu sebeplerden dolayı prefabrik yapılar, sanayi yapılarının yanında az ve çok katlı yapılarda (konut, ticari hizmet binaları, turizm yapıları, spor yapıları vs.), ulaşım yapı ve

elemanlarında (köprü, menfez, yol bariyerleri, alt ve üst geçitler, liman yapı ve elemanları vs.) ve diğer mühendislik yapılarında da tercih edilmektedir (TPB 1990).

Türkiye’de prefabrikasyonu tanıtmak ve yaygınlaştırmak, prefabrikasyonun teknolojik altyapısını oluşturmak ve mesleki ilerleme ve dayanışmayı sağlamak amacı ile 16 Aralık 1984’te prefabrik sektöründe üretim yapan firmalar tarafından Türkiye Prefabrik Birliği (TPB) kurulmuştur.

Merkezi Ankara’da bulunan TPB, üniversiteler ile müşterek araştırma çalışmaları yürütmekte, meslek içi eğitim seminerleri düzenlemekte, öğrencilere yönelik yarışma ve burs imkanları sunmakta, yönetmelik ve teknik şartnameler hazırlamakta, elde edilen bilgilerin ilgili kişi ve kuruluşlara aktarılması amacıyla sempozyum, konferans ve paneller düzenlemekte, süreli ve süresiz yayınlar çıkarmaktadır.

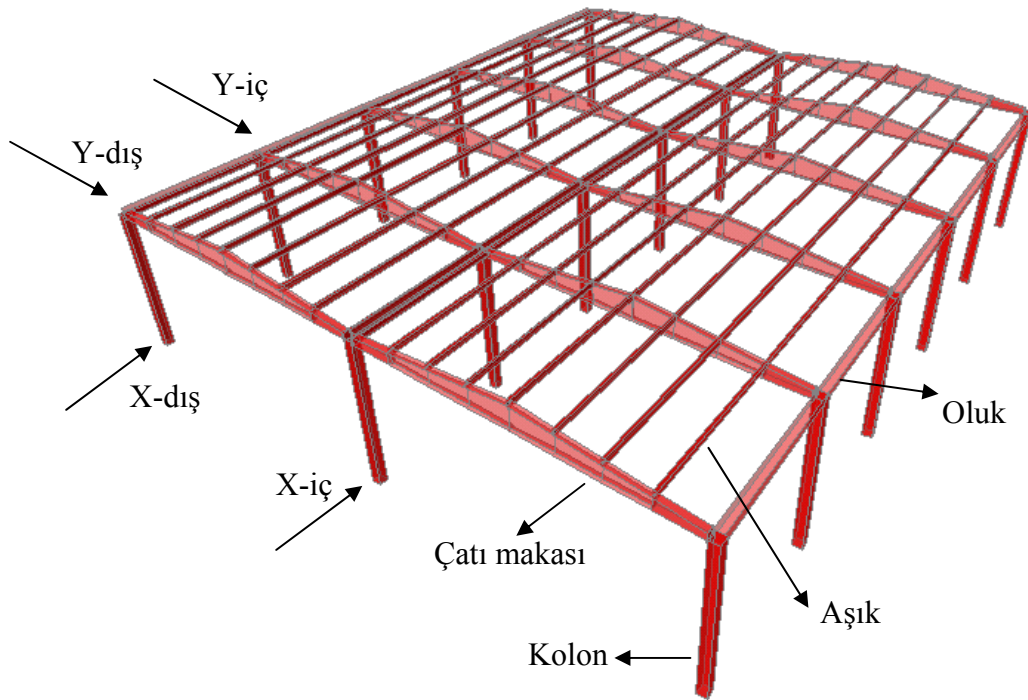
3.2. Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları

Tek katlı sanayi yapıları, kolon, çatı makası, aşık ve oluklardan oluşan taşıyıcı sisteme sahiptir. Türkiye’de endüstri yapılarının büyük bir kısmı prefabrikasyon teknolojisi ile inşa edilmektedir (Karaesmen 2001). Bu yapılar büyük oranda tek katlı, büyük açıklıkların uçlarında moment taşımayan makaslarla geçildiği çerçeve tipi sistemlerden oluşmaktadır.

Şekil 3.1’de tipik tek katlı sanayi yapısının üç boyutlu görünüşü verilmiştir. Üç boyutlu görünüşte sistemi oluşturan kolonlar, çatı makasları, oluklar ve aşıklar görülmektedir. Planda genellikle dikdörtgen forma sahip olan sanayi yapıları, çatı makası düzlemi yönünde (Y Yönü) tek ya da çok açıklıklı, çatı makası düzlemine dik yönde (X Yönü) ise çok açıklıklı olarak inşa edilmektedir. Çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle, çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla bu tür yapıların tasarımı ya da analizi kendisini oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır.

Tipik bir prefabrik sanayi yapısında dört tip düzlem çerçeveden söz etmek mümkündür: Y yönünde iç ve dış çerçeveler ile X yönünde iç ve dış çerçeveler. Şekil 3.1 incelendiğinde Y yönünde birbiri ile özdeş iki dış çerçeve ve yine birbiri ile özdeş dört iç çerçeve olduğu görülmektedir. Aynı şekilde X yönünde birbirine özdeş iki dış çerçeve ve bir iç çerçeve bulunmaktadır. X ya da Y yönünde açıklık sayısının değişimi

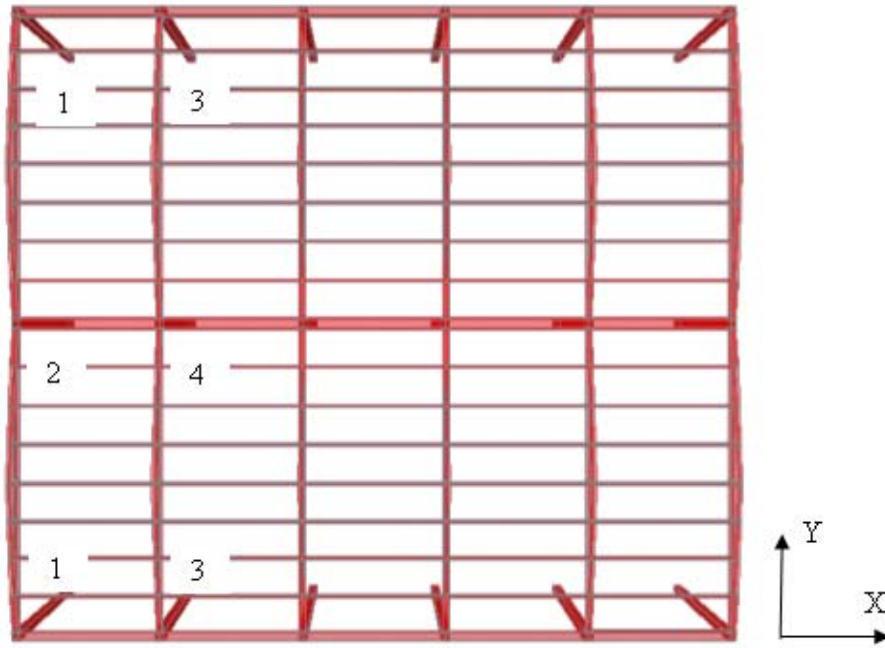
genel olarak dört tip çerçeve olması durumunu değiştirmeyecek, sadece birbirine özdeş iç çerçevelerin sayısının artmasına sebep olacaktır. Sonuç olarak herhangi bir prefabrik yapıda her iki yönde tipik çerçeveler belirlendiğinde, analizlerin ve değerlendirmelerin elde edilen çerçeveler üzerinden yapılması mümkün olacaktır.



Şekil 3.1 Tek katlı prefabrik sanayi yapısının üç boyutlu görünüşü

Düzlem çerçevelerde yer alan kolonlar, üzerlerine gelen düşey yükler açısından dört farklı duruma sahiptir (Şekil 3.2). X yönündeki iç çerçeveler 2 ve 4 nolu kolonlardan, dış çerçeveler ise 1 ve 3 nolu kolonlardan oluşmaktadır. Y yönündeki iç çerçeveler 3 ve 4 nolu kolonlardan, dış çerçeveler ise 1 ve 2 nolu kolonlardan oluşmaktadır. Prefabrik sanayi yapılarında 1, 2, 3 ve 4 nolu kolonların boyutları ya da donatı özellikleri birbiri ile aynı ya da farklı olabilmektedir. Ama genel olarak aynı kolon numarasına sahip kolonların bahsedilen özellikleri aynı olmaktadır.

Herhangi bir prefabrik yapıda 1, 2, 3 ve 4 nolu kolonların yük ve kesit özellikleri belirlendiğinde yapının tamamını temsil edecek şekilde tüm çerçevelerin özellikleri belirlenmiş olmaktadır. Dolayısıyla tezin bundan sonraki kısmında, hem kolonlar hem de çerçeveler burada tarif edildiği şekilde adlandırılmış olarak dikkate alınacaktır.

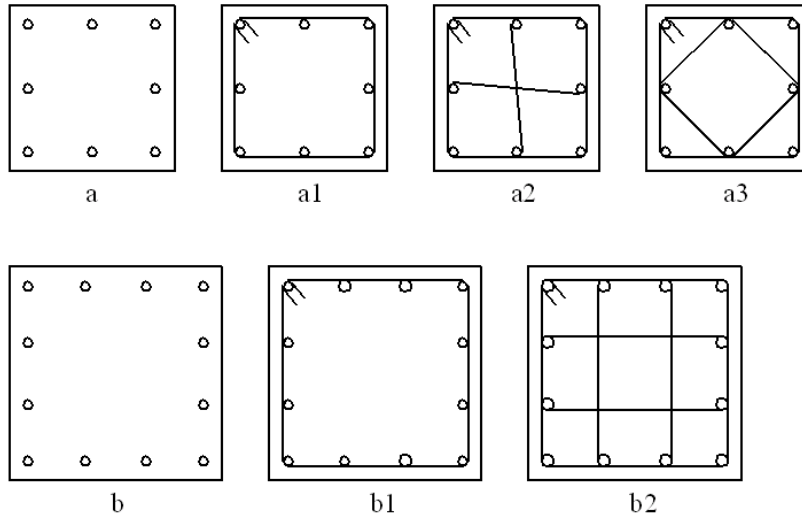


Şekil 3.2 Tek katlı prefabrik sanayi yapısının üst görünüşü

Mevcut prefabrik yapılarda kolon yüksekliği genel olarak 5m ile 8m arasında değişmektedir. Çatı makası uzunluğu (Y yönünde açıklık) 15m ile 24m arasında, çatı makasları arasındaki mesafe (X yönünde açıklık) 6m ile 8m arasında değişmektedir. Genelde kare kesite sahip kolonların enkesit boyutları 35cm ile 55cm arasındadır. Beton sınıfı BS25 ile BS35 arasında seçilmektedir. Boyuna donatı olarak BÇIII kullanılmakta ama özellikle 1998 öncesi yapılarda etriye olarak BÇI kullanıldığı görülmektedir.

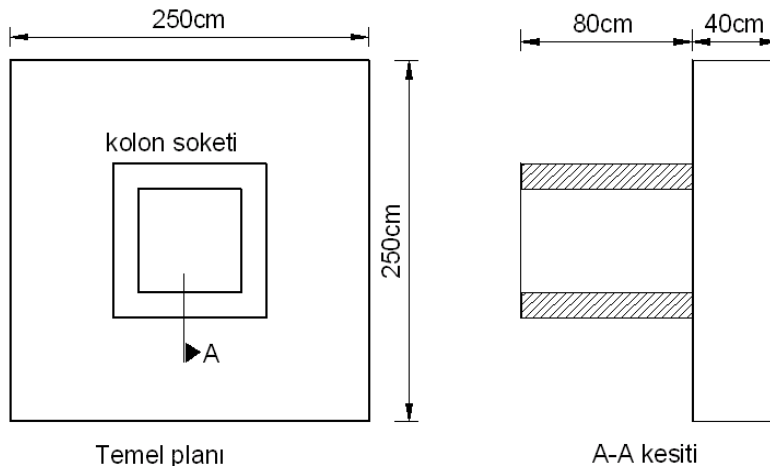
Kolonlarda donatı yerleşimi günümüzde genel olarak Şekil 3.3'te verildiği gibi olmaktadır. Boyuna donatılar simetrik olarak yerleştirilmektedir. 35x35cm ve 40x40cm boyuta sahip kolonlarda a tipi boyuna donatı düzeni kullanılırken, kolon boyutu daha da büyüdükçe b tipi boyuna donatı düzeni kullanılmaktadır. Genellikle a tipi boyuna donatı düzenine sahip kolonlarda üç farklı tip etriye düzeni ile, b tipi donatı düzenine sahip kolonlarda ise iki farklı tip etriye düzeni ile karşılaşılmaktadır (Şekil 3.3). 1998 öncesi yapılan prefabrik yapılarda boyuna donatıların köşelerde toplandığı donatı yerleşimi örnekleri oldukça yaygındır.

Sanayi yapılarında kolonlar, yerinde dökme tekil temel soketlerine oturtulduktan sonra kolonların çevresi harçla doldurulmaktadır. Düşey ve yatay yükler temele ankastre oturan kolonlar tarafından taşınmaktadır. Şekil 3.4'te tipik bir tekil temelin ölçüleri verilmiştir.



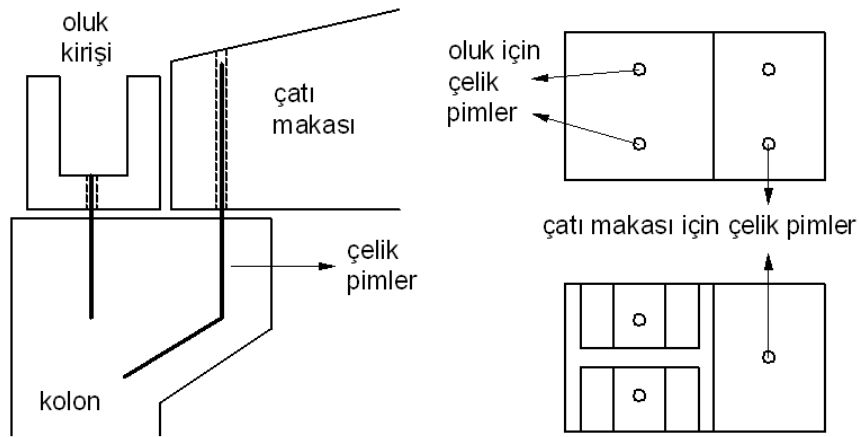
Şekil 3.3 Prefabrik kolonlardaki boyuna donatı ve etriye düzenleri

Verilen ölçüler değişmekle birlikte tekil temel soketinin formu değişmemektedir. Kolon altındaki tekil temeller genel olarak her iki yönde bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Bazı durumlarda da sadece dış aks tekil temelleri birbirine bağlanmaktadır.



Şekil 3.4 Tipik tekil temel ve soket özellikleri

Çatı makasları kolonlar üzerine yerleştirilen çelik pimler vasıtasıyla mafsallı olarak sisteme bağlanmaktadır. Mafsallı bağlantı için tek ya da çift pim kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te çatı makası ve oluğun kolon ile birleşim detayları, Şekil 3.6'te ise bu birleşimin uygulanmış hali ile ilgili görüntü yer almaktadır.



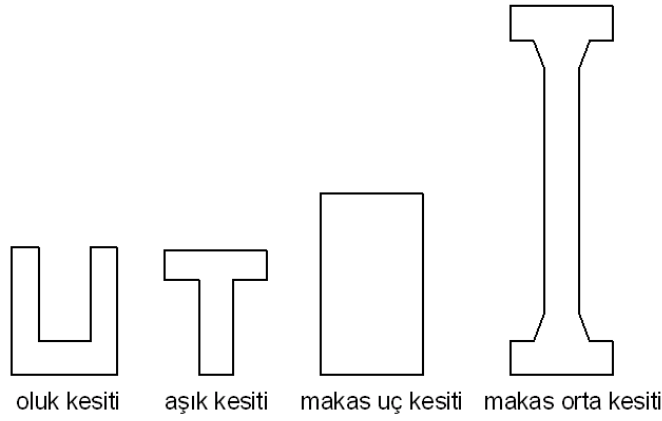
Şekil 3.5 Çatı makası ve oluğun kolon ile birleşim detayları

Çatı için gereken eğim, makas kirişi kesitlerinin açıklık ortasına doğru büyütülmesi ile sağlanmaktadır. Aşıklar ve oluk kirişleri sisteme her iki uçlarından mafsallı olarak bağlanmaktadır. Çatı kaplaması olarak hafif malzemeler (alüminyum saç vs.) tercih edilmektedir. Bina dış aks cephelerinin kapatılmasında da genellikle prefabrik paneller tercih edilmektedir (Şekil 3.6).



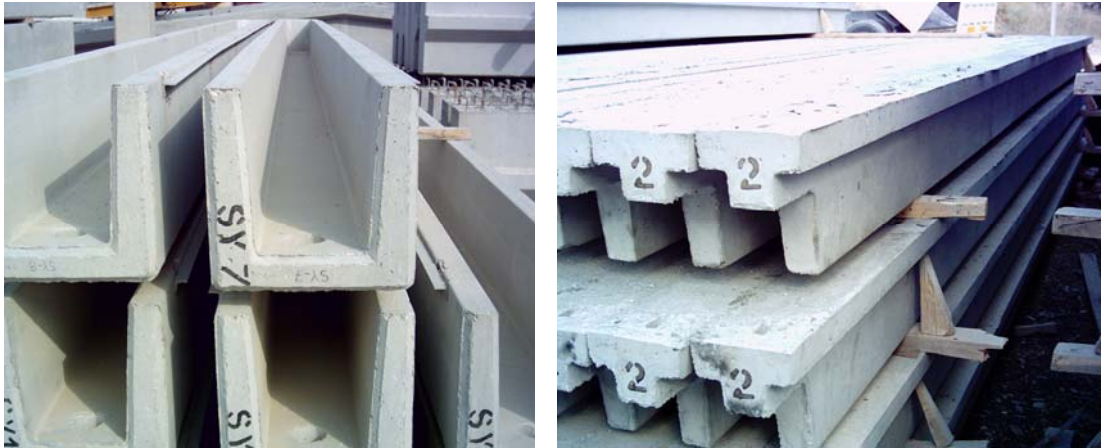
Şekil 3.6 Çatı makası, oluk ve aşık montaj görüntüsü

Şekil 3.7’de prefabrik yapıdaki çatı düzlemi elemanlarının tipik kesitleri görülmektedir. Oluklar U, aşıklar T kesite sahiptirler. Çatı makaslarının kolon birleşim bölgelerinde dikdörtgen olan kesitleri, makas ortasında I kesit haline gelmektedir.



Şekil 3.7 Çatı düzlemi elemanlarının tipik kesitleri

Şekil 3.8’de oluk ve aşıkların fabrikada imal edilmiş, nakliyeye hazır haldeki görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.9’da ise kolonların ve çatı makaslarının kalıp öncesi donatı düzenleri yer almaktadır.



Şekil 3.8 Oluk ve aşıkların fabrikada imal edilmiş halleri

Mafsallı sanayi yapılarına hem AY97’de hem de şu anda yürürlükte olan DBYYHY’te ancak tek katlı olmaları durumunda izin verilmektedir.

Tasarım deprem yükünün hesabında taşıyıcı sistem davranış katsayısı AY97’de $R=5$ iken DBYYHY’te $R=3$ olarak değiştirilmiştir. Taşıyıcı kolonların boyutlarını genel olarak DBYYHY’te yer alan görelî ötelenme sınırı belirlemektedir.



Şekil 3.9 Kolonların ve çatı makaslarının donatı düzenleri örneği

3.3. Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansı

Ülkemizin büyük bir bölümü aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve sıklıkla ciddi can kaybı ve maddi hasarlar oluşturan depremler olmaktadır. Prefabrik sanayi yapılarında hasarın ciddi olarak gözlemlendiği ilk deprem 1998 Adana-Ceyhan depremi olmuştur. Ardından meydana gelen 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri sanayi yapılarının yoğun olarak bulunduğu bölgeleri de etkilemiş, ortaya çıkan büyük ekonomik kayıpların belirli bir kısmını da prefabrik sanayi yapılarında meydana gelen hasarlara bağlı ekonomik kayıplar oluşturmuştur.

1999 Marmara depremleri sonrasında TPB adına yapılan çalışmada birliğe üye kuruluşların Adapazarı'nda yapmış oldukları 98 sanayi tesisinin 16'sında toptan göçme 8'inde ise kısmi göçme belirlenmiştir (Ataköy 1999). Aynı çalışmada birlik üyesi kuruluşların İzmit yöresindeki üretiminin %3'ünün depremden ağır ya da orta derecede hasar gördüğü belirtilmektedir. Marmara bölgesindeki prefabrik yapı hasarları ile ilgili başka bir çalışmada sadece Adapazarı Organize Sanayi Bölgesi'nde tamamen veya kısmen göçen sanayi tesisi oranının %80'e ulaştığı belirtilmektedir (Ersoy vd 2000).

1998 Ceyhan depreminden sonra yapılan incelemede, tek katlı prefabrik sanayi yapılarında ortaya çıkan hasarların, genelde birleşim bölgelerindeki projelendirme ve detaylandırma yetersizliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Zorbozan vd 1998). Yazarlar birleşim hesaplarının çerçeveye dik doğrultuda atalet kuvvetlerinden doğan devrilme momenti ve kesme kuvvetlerinin de dikkate alınarak yapılmasını önermektedir. Çubuk ankraj boylarının kiriş mesnet yüksekliğinden büyük olması durumunda bağlantının bulonlarla desteklenmesi ve bağlantı çubuğu ile kiriş arasındaki

aderansı sağlayacak dolgu harcının yerleştirilmesi konusunda özen gösterilmesinin gerekliliği belirtilmiştir.

Yapılan incelemeler tek katlı sanayi yapılarında gözlenen hasar türlerinin bazı başlıklar altında toplandığı görülmektedir.



a) Hacı Ömer Sabancı Organize Sanayi Bölgesi, Adana



b) Adapazarı Organize Sanayi Bölgesi

Şekil 3.10 Çatı düzlemi elemanlarının düştüğü hasar örnekleri (Ersoy vd 2000)

Kolonların ayakta kaldığı ama çatı düzlemi elemanlarının birleşim yetersizliği sebebiyle aşağıya düştüğü ya da yapının tamamen göçtüğü hasar örnekleri görülmüştür (Şekil 3.10). Göçme olmasa bile kolonlarda yanıl rijitliğin düşük olmasına bağlı olarak ciddi yanıl ötelenmeler gözlenmiştir (Şekil 3.11). Kolon tabanında plastik mafsallaşma oluşmuştur (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



Şekil 3.11 Kolonlarda yatay ötelenme hasarı (Ersoy vd 2000)

Özellikle trapez kesitli çatı makaslarının yanal stabilitesi sağlanamamıştır. Deprem etkisi ile kirişlerde oluşan dönmeyi önleyecek elemanlar olmadığından, kirişlerde dönme gözlenmiştir. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Kirişlerde yanal ötelenme ve kolonda mafsallaşma (Ersoy vd 2000)

Mafsallı bağlantılarda kullanılan tek veya çift pimin, yanal ötelenme veya kiriş dönmesi sonucu oluşan zorlamaları karşılaması mümkün olmamış, aderans yetersizliği sebebiyle sıyrılma olmuştur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Pimli bağlantı ve bağlantı noktasından kopan makas (Ersoy vd 2000)

Marmara depremleri sonrası yapılan bir çalışmada (Posada ve Wood 2002) tek katlı prefabrik yapılardaki hasarlar ve bunların sebepleri incelenmiş, özellikle kolon rijitliğinin prefabrik yapıların deprem performansı üzerinde çok etkili olduğu belirtilmiştir. Yazarlar, sadece kolon boyutlarını arttırmanın bile ileride oluşabilecek hasarların azalmasına sebep olacağını ileri sürmektedir.

Sanayi yapılarının önemli zayıflıklarından birisi çatı düzlemlerinde rijit diyafram olmamasıdır. Çatıda kirişleri bağlayan tek eleman aşıklardır ve bunlar da diyafram etkisi oluşturamamıştır. Bu durum çerçeveler arasında yük aktarımının bozulmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak prefabrik sanayi yapılarında meydana gelen hasarların yanal ötelenme rijitliği yetersizliği ile gözlenen hasarlar ve birleşim bölgelerindeki yetersizlikler nedeniyle gözlenen hasarlar olarak sınıflandırılabilir görülmektedir.

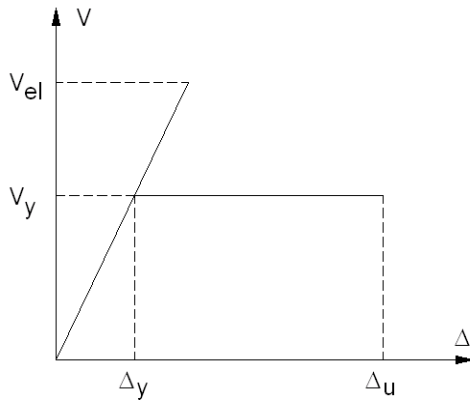
Prefabrik sanayi yapılarında, özellikle deprem bölgelerindeki uygulamalar için tasarım ve montaj esnasında büyük sorumluluk ve itina gerekmektedir. Hatalı tasarımlar veya yanlış uygulamaların çok ciddi sorunlara yol açtığı son depremlerde tüm açıklığıyla görülmüştür. Daha önce bahsedilen avantajları gözönüne alındığında, hasara sebep olan yetersizliklerin giderilmesi ve özellikle tasarım ve montaj esnasında gerekli koşullara uyulması şartı ile, prefabrikasyon tercih edilen bir sistem olmaya devam edecektir.

4. PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ KAPASİTELERİ

4.1. Elastik Ötesi Davranış ve Süneklik

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının ender görülebilecek şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı kabul edilmektedir. Yapının elastik ötesi deplasman yapabileceği yani hasar görebileceği, ancak can güvenliğinin sağlanması için yapının kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi yaklaşımı benimsenmektedir. Düşük veya orta şiddetteki yer hareketleri daha sık meydana gelmektedir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hasar yaratmamalı ya da oluşacak hasar hafif ve onarılabilir olmalıdır.

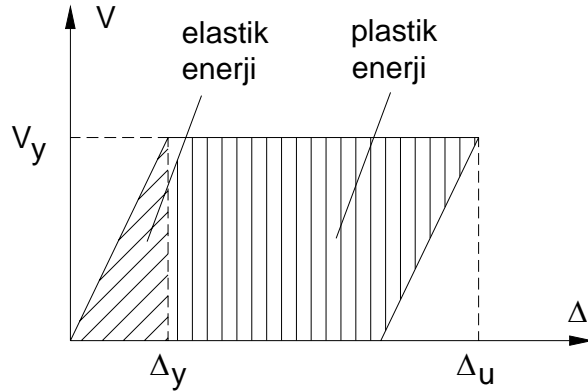
Yapının hasar gördüğü halde kısmen ya da tamamen göçmemesi sünek bir davranış gösterebilmesi ile mümkündür. Süneklik, yapıların ya da yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerinde ciddi bir azalma ya da kayıp olmadan deplasman yapabilme kapasitesi olarak tarif edilmektedir. Aynı zamanda deprem gibi tekrarlı yükler altında enerji sönmüleme yeteneğinin de ölçüsüdür. Süneklik, basit olarak Şekil 4.1’de verilen bir yapı elemanının idealize edilmiş yük-deplasman eğrisi üzerinden tarif edilebilir.



Şekil 4.1 Yapı elemanının idealize edilmiş elastik ve elastik ötesi davranışı

Yapı elemanı elastik davrandığında yük ile orantılı olarak deplasman yapacaktır. Ancak yapılar elastik davranacak şekilde değil, elastik ötesi davranış gösterecek ve

böylelikle enerji sönmüleyecek şekilde tasarlanırlar. Bu şekilde tasarlanmış bir yapıda yük taşıma kapasitesine (V_y) ulaşıncaya kadar elastik davranış görülecek ve yapının rijitliği (yük-deplasman eğrisinin eğimi) değişmeyecektir (Şekil 4.1). Yük V_y değerine ulaştığında yapı da akma deplasmanına (Δ_y) ulaşacaktır. Bu noktadan itibaren yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişme olmadan elastik ötesi deplasman başlayacak ve yapı rijitliği azalacaktır.



Şekil 4.2 Sünek davranış ile tüketilen elastik ve plastik enerji

Yapıyı oluşturan elemanların elastik ötesi deplasman yapmaya başlaması ve buna bağlı olarak rijitliğinin azalması hasarın başladığını göstermektedir. Hasarın başlaması ve devam etmesi aynı zamanda yapının enerji sönmemesi demektir. Sünek davranışta elastik ötesi davranışa bağlı olarak geri dönmek üzere enerji tüketilmektedir (Şekil 4.2).

Şekil 4.2 bir yapı elemanı ya da yapı için kapasite eğrisi olarak da tanımlanmaktadır. Yapıların ya da yapı elemanlarının deprem performanslarının değerlendirilmesinde, yapı kapasitesinin ifadesi olarak kapasite eğrisi önemli bir araç niteliğindedir. Kapasite eğrisi üzerinde, yapı elemanı maksimum deplasman (Δ_u) sınırına ulaştığında artık yatay yük taşıyamayacak hale gelir ve yük taşıma kapasitesini tamamen ya da büyük ölçüde kaybeder. Yapı elemanının ya da daha genel bir ifade ile yapının yük taşıma kapasitesini kaybetmeden yapabildiği elastik ötesi deplasman, sünekliğin ve enerji sönmeme kapasitesinin ölçüsüdür.

Süneklik katsayısı matematiksel olarak, maksimum deplasman kapasitesinin, akma deplasmanına oranı olarak tarif edilmektedir (Denklem 4.1).

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4.1)$$

Süneklik moment altında herhangi bir kesitte oluşacak eğrilik ile ifade ediliyorsa eğrilik sünekliği, yük altındaki bir elemanın şekil değiştirmesine bağlı olarak ifade ediliyorsa şekil değiştirme sünekliği, ya da kesitin dönmesi dikkate alınıyorsa dönme sünekliği olarak tanımlanabilir. Hangi parametre dikkate alınırsa alınsın matematiksel ifade, ilgili parametreye bağlı olarak Denklem 4.1 ile temsil edilir.

Betonun gevrek davranışına rağmen, betonarme elemanlarda sargı donatısının uygun şekilde kullanılması ile kabul edilebilir ölçüde sünek davranış elde edilebilmektedir. Sıklaştırılmış etriye düzeni sayesinde betonun hem basınç dayanımı hem de şekil değiştirme kapasitesi artmaktadır. Bu sayede betonarme elemanın sünekliğini artırmak mümkün olmaktadır. Betonarme elemanların eğilme etkisi altındaki davranışı için donatının akma gerilmesine ulaşması sonrasında ortaya çıkan doğrusal ötesi davranış ve güç tükenmesi sünek davranışa örnektir. Ancak kesme kuvveti ve basınç etkisi ile ortaya çıkan güç tükenmesi sünek değil gevrek türüdür.

Dolayısıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi açısından değerlendirildiğinde yapıların sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması teşvik edilmektedir. Uygun şekilde tasarlanmış sünek bir yapıda, doğrusal ötesi deplasmanlarla enerjinin önemli bir bölümü sönmümlenirken, kesitlerin iç kuvvetlerle daha az zorlanması sağlanmaktadır. Sünekliğin sağlanamaması, depremlerde gözlenen hasarların en önemli sebeplerinden birisidir.

4.2. Plastik Mafsal Kabulü ve Moment-Eğrilik İlişkisi

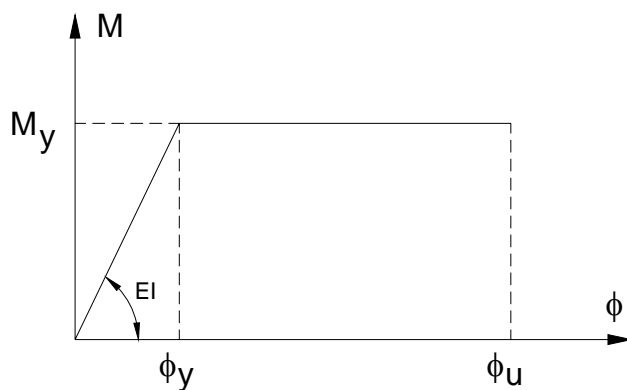
Deprem mühendisliğinde kullanılan yapısal analiz yöntemleri, taşıyıcı sistem elemanlarının davranış kabulü dikkate alındığında ikiye ayrılmaktadır: doğrusal elastik ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri.

Doğrusal elastik analiz yöntemlerine DBYYHY’te de yer alan eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım aralığında analiz yöntemi örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler genel olarak tasarımda kullanılmaktadırlar. Doğrusal elastik analiz yöntemlerinde taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal davrandığı kabulü ile

elastik deprem spektrumlarına bağı olarak deprem yükleri hesaplanmaktadır. Ancak deprem yükü gibi büyük ve ani etkiler karşısında elastik sınırlar içerisinde kalacak yapılar yapmak ekonomik değildir. Bu yüzden tasarım deprem kuvveti, elastik deprem yükünün yapının süneklik düzeyine bağı bir katsayı ile azaltılması yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinde, yapı elemanlarının doğrusal ötesi davranışları dikkate alınmaktadır. Bu yöntemler yapının, yük ve deplasman kapasitesinin belirlenebilmesine imkan verdiği için bina davranışı hakkında daha gerçekçi veriler elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapı sisteminin doğrusal ötesi davranışı, kendisini oluşturan elemanların doğrusal ötesi davranışlarına bağı olarak ifade edilmektedir. Sayısal çözümlerinde doğrusal ötesi davranış, yapı elemanlarının kritik kesitlerinde tanımlanan plastik mafsallarla temsil edilmektedir.

Eğilme etkisi altındaki betonarme kesitin idealize edilmiş moment-eğrilik ilişkisi incelendiğinde iki farklı davranış bölgesi gözlenir: elastik ve plastik bölgeler (Şekil 4.3). Şekil 4.3'te M_y kesitin moment taşıma kapasitesini ϕ_y ve ϕ_u ise sırasıyla akma eğriliğini ve maksimum eğrilik değerlerini ifade etmektedir. Elastik kısmın eğimi kesitin eğilme rijitliğini (EI) vermektedir. Akma eğriliği plastik davranışın başladığı deplasman sınırını belirtmektedir. Bu noktadan itibaren toplam eğrilik elastik ve plastik eğriliklerin toplamı olarak ortaya çıkmaktadır (Celep 2007).

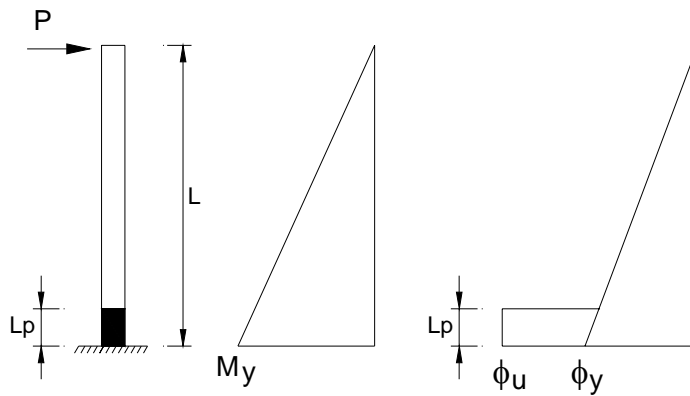


Şekil 4.3 İdeal elasto-plastik davranış için moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 4.3'te moment-eğrilik ilişkisi verilmiş olan ve P yatay yüküne maruz bir konsol kolonda, momentin ve eğrilik kolon boyunca değişimi Şekil 4.4'te

görülmektedir. Kolona uygulanan P yükünün ve buna bağlı olarak momentin artması ile birlikte, özellikle momentin daha büyük olduğu mesnete yakın bölgede çatlaklar, boyu L_p (plastik mafsal boyu) kabul edilen bir bölgede yoğunlaşmakta ve bu bölgede çatlaklara bağlı olarak eğrilik belirgin biçimde artmaktadır. Eğriliğin, dolayısıyla plastik dönmelerin belirli bir bölgede yoğunlaşması, plastik mafsal kabulü olarak adlandırılmaktadır.

Plastik mafsal boyu kesitin eğilme momentinin eleman boyunca değişimine, kesit boyutlarına ve elemana etkiyen yükün seviyesine bağlıdır. Literatürde plastik mafsal boyu için önerilen farklı denklemler bulunmaktadır. Ancak basit olarak elemanın eğilmeye çalışan boyutunun yarısı alınabilmektedir (Moehle 1992). DBYYHY’te de plastik mafsal boyu için elemanın eğilmeye çalışan kesit boyutunun yarısının alınması yaklaşımı benimsenmiştir.



Şekil 4.4 Konsol kolonda plastik mafsal kabulü

Eleman boyunca eğriliğin değişimi bilindiğinde dönme ve deplasman değerleri hesaplanabilmektedir. Bu hesabın kolayca yapılabilmesi için eğriliğin eleman boyunca değişimi elastik ve plastik olarak iki bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4.4). Buna göre P yükünün uygulandığı konsol ucunun dönmelerinin hesabı için elastik ve plastik dönme değerlerinin (θ_y ve θ_{pl}) hesaplanması gerekmektedir. Bu iki değer toplamı ise konsol ucundaki toplam dönmeyi vermektedir. Elastik ve plastik dönme değerleri Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 ile hesaplanmaktadır:

$$\theta_y = \frac{\phi_y L}{2} \quad (4.2)$$

$$\theta_{pl} = (\phi_u - \phi_y)L_p \quad (4.3)$$

Denklem 4.3 ile elde edilen θ_{pl} aynı zamanda plastik mafsalsın dönmesi olarak adlandırılmaktadır. Elde edilen dönmelere bağlı olarak kolon üst ucundaki deplasmanlar Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile elde edilebilir:

$$\Delta_y = \theta_y \left(\frac{2L}{3} \right) \quad (4.4)$$

$$\Delta_{pl} = \theta_{pl} \left(L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (4.5)$$

Konsol ucundaki toplam deplasman ise elastik ve plastik deplasmanların toplanması ile (Denklem 4.6) elde edilir:

$$\Delta_u = \Delta_y + \Delta_{pl} \quad (4.6)$$

Konsol kolonun elastik dönme ve elastik deplasman değerlerinin hesabında Denklem 4.7 ve Denklem 4.8 ifadeleri de kullanılabilir.

$$\theta_y = \frac{M_y L}{2EI} \quad (4.7)$$

$$\Delta_y = \frac{M_y L^2}{3EI} \quad (4.8)$$

Denklem 4.7 ve Denklem 4.8 kullanılarak elastik dönme ve deplasmanın hesabında, kesitin brüt atalet momentini kullanmak, Denklem 4.2 ve Denklem 4.4 ile bulunacak sonuçlar ile farklılık oluşmasına neden olacaktır. Denklem 4.2’de kullanılan akma eğriliği, betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisi analizinden elde edilmiştir ve plastik mafsals bölgesindeki çatlamış kesit rijitliğinin ifadesidir. Moment-eğrilik ilişkisinden

elde edilen akma eğriliğine bağlı olarak hesaplanacak kesit eğilme rijitliği, kesitin brüt rijitlik değerinden farklı olacaktır.

Görüldüğü gibi yatay yük etkisindeki betonarme elemanların çözümlerinde, özellikle deplasmanların hesabında kesit eğilme rijitliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Normal kuvvet ya da kesme etkisi, eğilme etkisinin belirgin olduğu betonarme elemanların çözümünde hemen hemen her zaman ihmal edilebilmektedir (Celep 2007).

Betonun çekme dayanımının düşük olması sebebiyle, betonarme elemanlarda düşük eğilme etkisi altında bile kesit çatlamaktadır. Çatlama öncesinde rijitlikte bütün kesit etkilidir. Ancak momentin artmasına bağlı olarak çekme bölgesinde oluşacak çatlaklar sonucu eğilme rijitliği başlangıç değerine göre azalmaya bağlayacaktır. Donatının akmaya bağlamasından sonra ise eğilme rijitliği oldukça düşük değerlere ulaşacaktır.

Eleman boyunca momentin değişimi, elemanın farklı kesitlerinde farklı eğilme rijitliği değerleri oluşmasına sebep olacaktır. Ancak hesaplarda genel olarak kirişler ve kolonların uzunluğu boyunca kullanılacak efektif eğilme rijitliği kabul edilmektedir.

DBYYHY’te eğilme etkisindeki elemanların çatlamış kesitlerine ait efektif eğilme rijitlikleri için kirişlerde Denklem 4.9, kolon ve perdelerde Denklem 4.10’da verilen ifadeler önerilmiştir. Eksenel yük düzeyi %10’un altında olan kolon ve perdeler için Denklem 4.10a, %80’in üzerinde olan kolon ve perdeler için Denklem 4.10b önerilmiş, eksenel yük düzeyinin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılması tavsiye edilmiştir.

$$EI_e = 0.40EI \quad (4.9)$$

$$EI_e = 0.40EI \quad (4.10a)$$

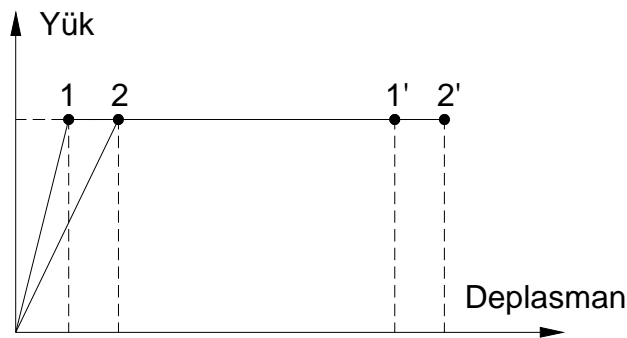
$$EI_e = 0.80EI \quad (4.10b)$$

FEMA-356’da (2000) efektif rijitlik katsayısının, eksenel yük düzeyi %20’nin altında olan elemanlar için 0.50, eksenel yük düzeyi %50’nin üzerinde olan elemanlar için 0.70 alınması öngörülmüş, eksenel yük düzeyinin ara değerleri için DBYYHY’te olduğu gibi doğrusal enterpolasyon yapılması tavsiye edilmiştir.

Prefabrik yapı kolonlarında aksenal yük düzeyi, betonarme binalara oranla oldukça düşüktür. Tez çalışmasında kolonların akma deplasmanlarının belirlenmesi amacıyla Denklem 4.8 kullanılmış ve efektif rijitlik katsayısı 0.40 alınmıştır.

Plastik deplasman kapasitesi sabit olan bir eleman için efektif kesit rijitliğinin kullanılması, elastik deplasman değerinin ve toplam deplasman değerinin artması sonucunu doğuracaktır. Bu durumda hesaplanacak yapı sünekliği de, brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanan süneklik değerine göre daha düşük olacaktır.

Şekil 4.5'te 2-2' eğrisi ile efektif eğilme rijitliği kullanılarak elde edilmiş yük-deplasman eğrisi, 1-1' eğrisi ile brüt kesit eğilme rijitliği kullanılarak elde edilmiş yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir. Her iki eğri için plastik deplasman kapasitesi aynıdır ancak 2-2' eğrisine sahip eleman için süneklik değeri daha düşüktür.



Şekil 4.5 Efektif kesit rijitliğinin yük-deplasman eğrisine etkisi

Normal kuvvet etkisi sebebiyle, kolonlarda ya da perdelerde öngörülen rijitlik azalması, kiriş elemanlarına oranla daha azdır. Efektif kesit rijitliklerinin dikkate alınmasının daha gerçekçi olması sebebiyle, bu yaklaşımın yakın zamanda sadece mevcut yapıların değerlendirilmesi amacıyla değil, yeni yapıların tasarımında da kullanılacağı beklenmelidir (Celep 2007).

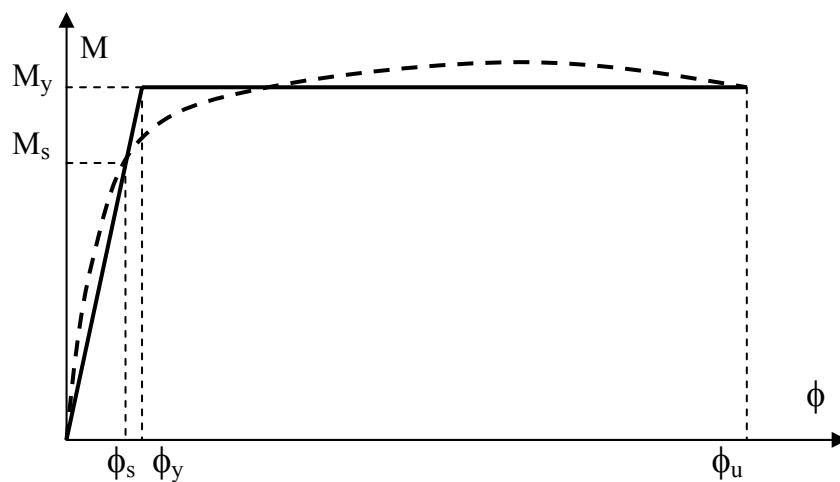
Kesit geometrisi, aksenal yük düzeyi, donatı düzeni ve malzeme özellikleri bilindiğinde, betonun birim kısalmasının artan değerlerine karşılık denge ve uygunluk denklemlerinden elde edilecek kesit momenti ve kesit eğriliği değerlerinin oluşturduğu eğri, kesitin moment-eğrilik ilişkisi olarak elde edilmektedir.

Tez çalışmasında betonarme kolon kesitlerinin nihai eğrilik değerleri belirlenirken beton ve çeliğin birim şekil değiştirme kapasiteleri $\varepsilon_{cu}=0.02$ ve $\varepsilon_{su}=0.10$ alınmıştır. Beton ve çeliğe ait sınır değerlerden hangisine önce ulaşılmışsa o noktadaki eğrilik değeri ϕ_u olarak kabul edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinin iki doğrusu olarak gösterilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Akma eğriliği sonrası eğrinin ikinci kısmının eğimi sıfır alınmıştır.
- Kesitin akma momenti M_y , betonun birim şekil değiştirmesinin 0.004 olduğu noktadaki moment değeri olarak alınmıştır.
- Eğrinin ilk kısmının eğimi, çeliğin akma birim şekil değiştirmesine ya da betonun birim şekil değiştirmesinin 0.0015'e ulaştığı andaki moment ve eğrilik değeri (M_s ve ϕ_s) kullanılarak belirlenmiştir.
- İki doğrusu gösterim için akma eğriliği ϕ_y , Denklem 4.11 ile hesaplanmıştır.

$$\phi_y = \frac{M_y}{M_s} \phi_s \quad (4.11)$$

Şekil 4.6'da moment-eğrilik ilişkisinin iki doğrusu olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.6 Moment-eğrilik ilişkisinin iki doğrusu olarak gösterimi

Beton davranışının sayısal çözümlerinde kullanılabilmesi amacıyla, deneysel verilere dayalı olarak elde edilen sargılı beton davranış modelleri bulunmaktadır. Bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan sargılı beton modelleri Sheikh-Uzumeri (Sheikh ve Uzumeri 1979), Geliştirilmiş Kent-Park (Park vd 1982), Mander (Mander vd 1988) ve Saatçioğlu-Razvi (Saatçioğlu ve Razvi 1991) modelleridir. Tez çalışmasında sargılı beton davranış modeli için Geliştirilmiş Kent-Park modeli kullanılmıştır.

Dolayısıyla prefabrik kolonların kritik kesitlerinde yani kolonların alt uçlarında moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi kolon enkesit boyutları, kolon eksenel yük düzeyi, malzeme özellikleri ve donatı düzeninin (boyuna donatı oranı, sargı donatısı oranı) bilinmesini gerektirmektedir.

4.3. Performansa Dayalı Tasarım ve Performans Seviyeleri

Deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olan performansa dayalı tasarım, öncelikle mevcut yapıların deprem güvenliğinin ve deprem performansının belirlenmesi için geliştirilmiştir. Günümüzde ise yeni yapıların tasarımında da kullanılması söz konusu olmuştur. Deprem mühendisliği tasarım problemlerinin tamamının aslında performansa dayalı olduğu söylenebilir.

Geleneksel olarak betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımında iki performans seviyesi kullanılmaktadır: kullanılabilirlik sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Kullanılabilirlik sınır durumunda, kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemde meydana gelebilecek hasarların kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yer değiştirmelerin önlenmesi istenir. Taşıma gücü performans seviyesinde ise sistemin yük etkisi altında güç tükenmesi oluşmadan yani göçmeden kabul edilebilir bir güvenliğe sahip olması beklenir. Dolayısıyla performansa dayalı tasarım, yapının kendisinden beklenecek performansı gösterebilecek şekilde tasarlanabilmesi için gerekli tasarım yöntemlerinin genel adıdır.

AY97 ve DBYYHY’te de birden fazla performans seviyesinin tanımlandığı görülmektedir. Yapıların düşük şiddetteki depremleri hasarsız atlması, orta şiddetteki depremlerde onarılabilir düzeyde hasar meydana gelmesi ve büyük depremlerde kısmi ya da toptan göçme olmayacak şekilde hasar oluşması öngörülmüştür. Tasarımda kullanılan performans seviyesi, “can güvenliği performans seviyesi” olarak tarif edilen

kısmi ya da toptan göçmenin önlenmesi yaklaşımıdır. Performansa dayalı tasarımda ise yapıda birden fazla performans seviyesi öngörülmekte ve bu performans seviyelerinin sağlanması için tasarım kuralları, sınır durumları ve deprem talepleri tarif edilmektedir.

Bir binanın performans amacının tanımlanması için, söz konusu bina için kabul edilebilir performans seviyesinin tarifi yapılmalı ve bu performans seviyesinin hangi düzeyde bir deprem için tanımlandığına ilişkin soru cevaplandırılmalıdır. ATC-40 (1996) ve FEMA-356'da birbirine benzer şekilde yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri tarif edilmiştir. Yapısal performans seviyeleri hemen kullanım, can güvenliği ve toptan göçmenin önlenmesi olarak isimlendirilmiştir.

Hemen kullanım performans seviyesinde, deprem sonrasında çok sınırlı düzeyde hasar meydana gelmiştir. Yapının kapasitesinde hemen hemen hiçbir azalma olmamıştır. Yapı herhangi bir onarıma gerek olmadan kullanıma devam edilebilecektir.

Can güvenliği performans seviyesinde, deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek düzeyde hasar meydana gelmiştir. Ancak binada kısmi ya da toptan göçme söz konusu değildir. Binada can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Binanın kullanıma devam edebilmesi için mutlaka onarım ve gerekiyorsa güçlendirme işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

Toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesinde, yapının yatay rijitlik ve dayanımında azalma başlamıştır. Düşey yükler yapı tarafından hala taşınmaktadır. Taşıyıcı sistem taşıma gücü sınırındadır. Yapının tamamının göçmemesinden söz edilebilmektedir ancak bazı yapısal elemanlar taşıma güçlerini yitirmişlerdir. Binanın kullanıma devam edilebilmesi için onarım ve güçlendirme işlemlerinin yapılması gerekmektedir, fakat bu seviyede hasar görmüş binaların güçlendirilmesi ekonomik ve pratik açıdan mümkün olmayabilir.

4.4. Prefabrik Kolon Kesitlerinde Hasar Limitleri

Deprem etkisi altında yapısal performansın belirlenmesi amacıyla, gözönüne alınan deprem için belirlenen talep, kapasite ile karşılaştırılmakta ve performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Her bir performans (hasar) seviyesine ait olarak önceden belirlenmiş sınır değerlerin aşılmaması kontrol edilerek, yapı elemanının performans seviyesi (hasar durumu) belirlenmiş olmaktadır.

Eğilme etkisi altındaki elemanlarda oluşacak hasar ve gözlenecek performans, meydana gelecek deplasman ya da deformasyonlarla ilgilidir. Yapı performansının deplasmana bağlı olarak belirlenmesinde kullanılacak deformasyon değerleri genel olarak global (çatı deplasmanı) ya da yerel (görelî kat ötelenmesi ya da plastik mafsal dönmeleri) olarak dikkate alınmaktadır.

Prefabrik yapı kolonlarının hasar durumlarının tespiti için, kritik kesitteki birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak DBYYHY’te tanımlanan hasar durumları kullanılmıştır: minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme. Hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri, DBYYHY’te söz konusu hasar seviyeleri için tarif edilen beton ve çelik şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Minimum hasar ile sık meydana gelen düşük şiddetteki depremler sonrasında herhangi bir onarıma gerek kalmadan yapının kullanıma devam edebileceği hasar seviyesi tarif edilmektedir. Minimum hasar seviyesine ait limit değerler (MN) aşılmadığı takdirde kesit ve dolayısıyla kolon minimum hasar bölgesinde kabul edilecektir. DBYYHY’te minimum hasar için betonun en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi üst sınırı $\varepsilon_{cu(MN)} = 0.0035$ ve boyuna donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi üst sınırı $\varepsilon_{s(MN)} = 0.01$ olarak belirtilmiştir.

Orta şiddetteki depremlerde yapıda hasar meydana gelebileceği kabul edilmektedir. Ancak hasarın onarılabilir seviyede olması gerekmektedir. Belirgin hasar bölgesine ait limit değerlerin (GV) aşılmadığı kesitler belirgin hasar bölgesinde kabul edilecektir. DBYYHY’te belirgin hasar için boyuna donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi üst sınırı $\varepsilon_{s(GV)} = 0.04$ olarak belirtilmiştir. Betonun en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi üst sınırı ise sargı donatısı oranına bağlı olarak Denklem 4.12 ile tarif edilmiştir. Denklem 4.12’de ρ_s kesitteki sargı donatısı oranını, ρ_{sm} ise DBYYHY tarafından tasarım için öngörülen minimum sargı donatısı oranını ifade etmektedir.

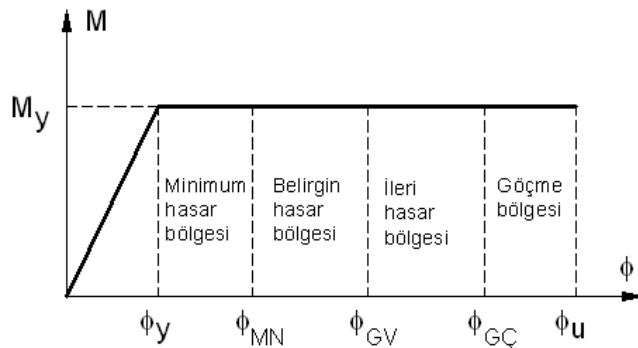
$$\varepsilon_{cu(GV)} = 0.0035 + 0.01 \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \leq 0.0135 \quad (4.12)$$

Kesit göçme sınırı ile hasarın onarılamayacak düzeyde olması belirtilmektedir. Ancak can kaybının önlenmesi amacıyla kısmen ya da tamamen göçmenin meydana

gelmemesi gerekmektedir. Belirgin hasar limitini (GV) aşan ancak göçme hasarı limitini (GÇ) aşmayan seviyede hasar gören kesitler ileri hasar bölgesinde kabul edilecektir. İleri hasar bölgesine ait limit eğrilik değeri aşıldığında kesit göçme bölgesinde kabul edilecektir. DBYYHY’te ileri hasar seviyesi için boyuna donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi üst sınırı $\varepsilon_{s(GV)} = 0.06$ olarak belirtilmiştir. Betonun en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi üst sınırı ise yine sargı donatısı oranına bağlı olarak Denklem 4.13 ile tarif edilmiştir.

$$\varepsilon_{cu(GÇ)} = 0.004 + 0.014 \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \leq 0.018 \quad (4.13)$$

Her bir hasar bölgesi için beton ve çelik şekil değiştirmelerine ait üst sınırlardan hangisine daha önce ulaşıyorsa, o noktadaki eğrilik değeri kesitin ilgili hasar bölgesine ait limit eğrilik değeri olarak belirlenecektir. Şekil 4.7’de moment-eğrilik ilişkisi üzerinde hasar bölgelerine ait limit eğrilik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7 DBYYHY’te verilen kesit hasar bölgeleri

Hasar bölgeleri ve hasar bölgelerine ait limit eğrilik değerlerinin belirlenmiş olması durumunda, kolonlara ait kapasite eğrilerinin ve kapasite eğrisi üzerinde hasar bölgelerine ait limit deplasmanların belirlenmesi mümkün olacaktır.

4.5. Kolonların ve Çerçevelerin Kapasite Eğrisinin Teşkili

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi talep ve kapasitedir. Talep yapıya etkiyen deprem yer hareketini ifade etmektedir. Yapısal

kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Bu eğri, taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirilmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir.

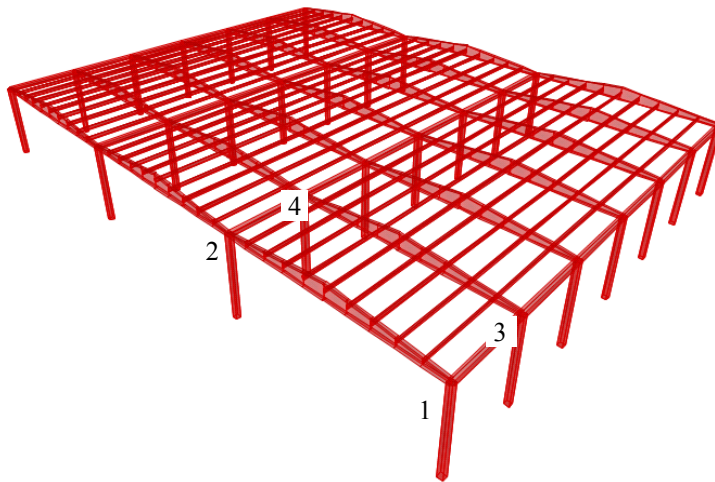
Mafsallı prefabrik sanayi yapılarında çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle, çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla prefabrik sanayi yapılarının analizi kendisini oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır. Şekil 4.8’de tipik üç boyutlu sanayi yapısı ile X ve Y yönündeki çerçeveler görülmektedir.

Doğrusal ötesi analiz için düzlem çerçevelerin davranışı, çerçevelerin kapasite eğrileri ile temsil edilmektedir. Çerçevelerin kapasite eğrisi ise, çerçeveyi oluşturan kolonların kapasite eğrileri elde edilerek belirlenmiştir. Tek katlı prefabrik sanayi yapısı birbirinden farklı dört çerçeve ile temsil edilmektedir: Y yönünde iç ve dış çerçeveler (Y-İÇ ve Y-DİŞ) ile X yönünde iç ve dış çerçeveler (X-İÇ ve X-DİŞ). Y-İÇ çerçevesi 3 ve 4 nolu kolonlardan, Y-DİŞ çerçevesi 1 ve 2 nolu kolonlardan oluşmaktadır. Aynı şekilde X-İÇ çerçevesi 2 ve 4 nolu kolonlardan, X-DİŞ çerçevesi 1 ve 3 nolu kolonlardan oluşmaktadır. Şekil 4.8’de örnek olarak verilen yapıda X ve Y yönünde dış çerçeveler iki adet iken X yönünde 2, Y yönünde 5 adet iç çerçeve bulunmaktadır.

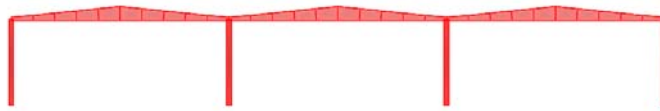
Kolonlar burada numaralandırıldığı şekli ile yapı içerisindeki yerlerine göre eksenel yüke maruz kalmaktadır. Kolonların eksenel yük düzeylerinin belirlenmesi için kar yükü 75 kg/m^2 , kaplama yükü 20 kg/m^2 kabul edilmiştir. Eksenel yük düzeyleri sabit yük ve hareketli yüklerin toplamından elde edilmiştir.

Çerçeveyi oluşturan kolonların kapasite eğrileri Şekil 4.4 ile verilen yatay yüke maruz konsol kolonun kapasite eğrisi yaklaşımı ile elde edilmiştir. Şekil 4.8’de verilen örnek yapı kullanılarak, yapıya ait kolonların ve çerçevelerin kapasite eğrilerinin elde edilmesi ile ilgili hesaplar gösterilmiştir.

Örnek prefabrik sanayi yapısı X yönünde 750cm mesafe ile sınırlanmış 6 açıklık ve Y yönünde 2000cm uzunluğa sahip üç açıklıktan oluşmaktadır. Yapıda kolon yüksekliği 600cm’dir. Yapı kolonları 35x35cm boyuta ve %1 boyuna donatı oranına sahiptir. Etriye çapı 8mm ve etriye aralığı 100mm alınmıştır. Ayrıca kesitte her doğrultuda bir adet çiroz bulunmaktadır. Kolon beton sınıfı BS30 ve donatı sınıfı BÇIII alınmıştır.



a) Üç boyutlu model (3x6 açıklık)



b) Y yönünde düzlem çerçeve



c) X yönünde düzlem çerçeve

Şekil 4.8 Tipik tek katlı prefabrik sanayi yapısı ve düzlem çerçeveler

Öngörülen sargı donatısı düzeni için kesitte var olan sargı donatısı oranı, DBYYHY’te tasarımda öngörülen minimum sargı donatısı oranından fazladır. Bu durum göz önünde bulundurularak minimum, belirgin ve ileri hasar seviyeleri için beton ve çelik şekil değiştirmelerine ilişkin limit eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Herhangi bir kesitin hasar sınırları için maksimum eğrilik değeri, betonun ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri için hasar seviyesine ait koşullardan hangisi daha önce aşıyorsa, aşılma anındaki eğrilik değeri tespit edilerek belirlenmiştir.

Örnek yapıyı oluşturan kolonların moment-eğrilik analizi sonucu hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.1’de kolonlara ait aksenal yük, kütle ve periyot değerleri ile akma eğriliği ve hasar seviyelerine ait plastik eğrilik değerleri verilmiştir. Plastik eğrilik değerleri, hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerinden akma eğriliği çıkarılarak elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Kolonların moment-eğrilik ilişkisi verileri

Kolon	N	m	T	M_y	ϕ_y	$\phi_{MN,p}$	$\phi_{GV,p}$	$\phi_{GÇ,p}$
	<i>kN</i>	<i>t</i>	<i>s</i>	<i>kNm</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>
1	118.88	11.20	0.89	95.61	0.01162	0.02690	0.13643	0.22503
2	215.15	21.01	1.22	107.79	0.01230	0.03025	0.15010	0.22871
3	176.83	17.11	1.10	102.96	0.01214	0.01789	0.13865	0.22665
4	326.43	32.36	1.52	121.50	0.01203	0.03059	0.15480	0.21101

Moment-eğrilik analizinde, kolon alt ucundaki eksenel yük değeri (N) kullanılmıştır. Kolonun periyot (T) hesabında kullanılacak kütle (m), çatı yüklerinden dolayı kolon üst ucunda oluşacak kütleyle, kolon kütlelerinin yarısı eklenerek bulunmuştur. Tablo 4.1’de yer alan kolonların eksenel yük dışındaki tüm özellikleri aynıdır. Kolonların hasar bölgelerine ait limit plastik eğrilik değerleri, limit eğrilik değerinden akma eğriliği çıkarılarak elde edilmiştir.

Tablo 4.2’de moment-eğrilik verileri kullanılarak, kolon üst ucunda elde edilen deplasman değerleri ile kolon yatay yük taşıma kapasitesi (V_y) verilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi V_y , akma momenti M_y ’nin kolon yüksekliğine bölümü ile elde edilmiştir. Akma anındaki deplasman Δ_y , Denklem 4.8 kullanılarak hesaplanmıştır. BS30 betonuna ait elastisite modülü 32000 MPa, prefabrik kolona ait efektif rijitlik katsayısı 0.40 alınmıştır. Her bir hasar seviyesine ait plastik dönme değerleri Denklem 4.3 ile hesaplanmış, daha sonra Denklem 4.5 ile plastik deplasmanlar hesaplanmıştır. Akma deplasmanına, hasar seviyelerine ait plastik deplasmanlar eklenerek her bir hasar seviyesi için kolon üst ucunda limit deplasmanlar bulunmuştur.

Tablo 4.2 Kolonların kapasite eğrisi verileri ve limit deplasmanlar

Kolon	V_y	Δ_y	$\Delta_{MN,p}$	$\Delta_{GV,p}$	$\Delta_{GÇ,p}$	Δ_{MN}	Δ_{GV}	$\Delta_{GÇ}$
	<i>kN</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
1	15.93	72	27	139	229	99	166	368
2	17.96	81	31	153	233	103	180	372
3	17.16	77	18	141	231	90	169	370
4	20.25	91	31	158	215	103	185	354

Yapı modelinde dört farklı çerçeveye ait (X-İÇ, X-DIŞ, Y-İÇ, Y-DIŞ) kapasite eğrileri, çerçeveyi oluşturan kolonların Tablo 4.2’te verilen kapasite eğrileri verileri ve

çerçevede bulunan kolonların tipi (1, 2, 3 ya da 4 nolu kolon) ve sayısı dikkate alınarak elde edilmiştir (Tablo 4.3). Çerçevelere ait kapasite eğrilerinin ve limit deplasmanların belirlenmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Çerçeve yatay yük kapasitesi, çerçeveyi oluşturan kolonların yatay yük kapasiteleri toplamına eşittir.
- Çerçeve akma deplasmanı, kolonların akma deplasmanları ortalamasına eşittir.
- Çerçevenin toplam kütlesi kolonların üst ucunda hesaplanan kütlelerin toplamına, çerçevenin toplam ağırlığı (W) kolonların üst ucunda hesaplanan aksel yüklerin toplamına eşittir.
- Çerçevenin yatay rijitliği, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve akma deplasmanına bölümü ile elde edilmiştir.
- Çerçevenin periyodu çerçeve rijitliği ve çerçeve kütlesi kullanılarak hesaplanmıştır.
- Çerçevenin yatay yük dayanım oranı, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve toplam ağırlığına bölünerek bulunmuştur.

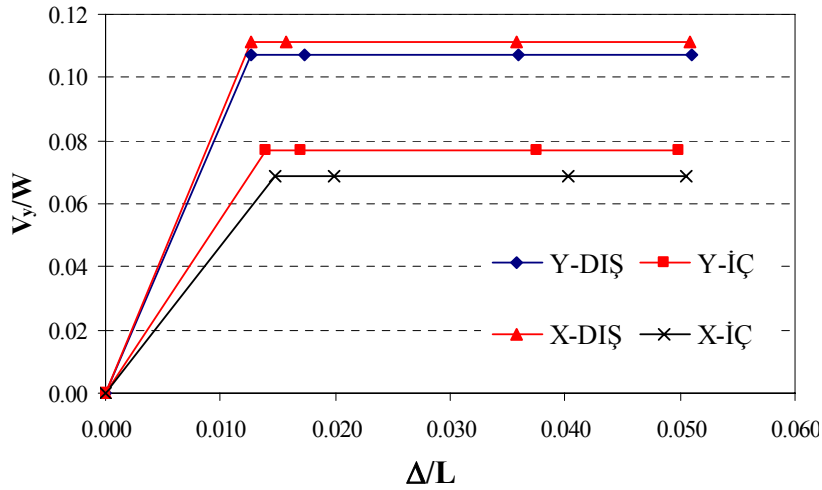
Tablo 4.3 Çerçevelerin kapasite eğrisi üzerinde limit deplasmanlar

Çerçeve	V_y	W	Δ_y	Δ_{MN}	Δ_{GV}	$\Delta_{GÇ}$	T_{eff}	V_y/W
	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>s</i>	<i>%</i>
Y-DIŞ	67.80	632.01	7.62	10.37	21.53	30.56	1.69	10.73
Y-İÇ	74.82	970.45	8.41	10.24	22.55	29.92	2.10	7.71
X-DIŞ	117.67	1058.81	7.56	9.39	21.47	30.50	1.66	11.11
X-İÇ	137.18	1999.34	8.82	11.90	24.12	30.32	2.27	6.86

Şekil 4.9'da çerçevelerin kapasite eğrileri boyutsuz olarak verilmiştir. Yatay eksen deplasmanların kolon yüksekliğine bölümü, düşey eksen yatay yük taşıma kapasitesinin çerçeve ağırlığına bölümü ile ifade edilmiştir. Görüldüğü gibi iç çerçeveler rijitlik ve yatay dayanım oranı bakımından dış çerçevelere göre daha düşük değerlere sahiptir.

İç çerçevelerin dış çerçevelere göre daha yüksek periyoda sahip oldukları görülmektedir (Tablo 4.3). Periyodun daha büyük olması, yatay rijitliğin daha düşük

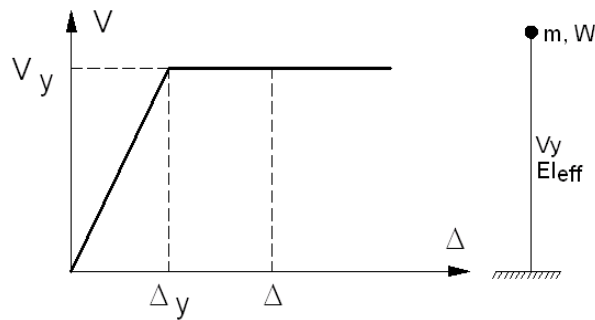
olduğu ve çerçevenin deprem etkisi ile daha büyük deplasman talebine maruz kalacağı anlamına gelmektedir. Yani hem yatay dayanım oranı hem de periyot açısından iç çerçeveler daha kritiktir. Prefabrik yapıların performansını kritik olan iç çerçevelerin davranışı belirleyecektir.



Şekil 4.9 Örnek yapıyı oluşturan dört çerçevenin kapasite eğrileri

Sonuç olarak tek katlı sanayi yapılarının deprem davranışlarının ya da deprem performanslarının, daha kritik olduğu görülen iç çerçevelerinin performansları ile değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Çerçevelerin kapasiteleri eğrileri belirlenmiş olduğundan ve çerçeveye ait kütle ve efektif rijitlik değerleri bilindiğinden, çerçeveler tek serbestlik dereceli olarak temsil edilebilecektir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Çerçevelerin tek serbestlik dereceli olarak temsili

4.6. Tipik Prefabrik Sanayi Yapısı Modelleri

4.6.1. Modellerin yapısal parametrelere göre oluşturulması

Kapasite eğrilerinin elde edilmesi amacıyla prefabrik sanayi yapısı stoğu yapısal özellikleri dikkate alınarak 16 adet tipik sanayi yapısı modeli hazırlanmıştır. 16 tipik yapıya ait geometrik özellikler Şekil 4.8 ile verilen örnek yapı ile aynıdır (X yönünde 6 açıklık (açıklıklar 7.5m) ve Y yönünde 3 açıklık (açıklıklar 20m)). Betonun basınç dayanımı $f_c=30$ MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı $f_y=420$ MPa, etriye çapı 8mm alınmıştır.

Tablo 4.4 Değişken parametreler ve değerleri

B-H	ρ_l	S	L
cm	%	cm	cm
35x35	1	10	600
45x45	2	20	800

Kolonların rijitlik, dayanım ve süneklik değerleri üzerinde etkili olduğu bilinen parametrelerin, çerçeve kapasite eğrisine ve dolayısıyla hasar görebilirliğe etkisinin araştırılması amacıyla, değişken parametreler olarak kolon enkesit boyutu ($B-H$), boyuna donatı oranı (ρ_l), etriye aralığı (S) ve kolon yüksekliği (L) kullanılmıştır. Değişken parametrelerin prefabrik yapı stoğundaki değerler dikkate alınarak belirlenen sınır değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Dikkate alınan yapı modellerinde kolonların parametre değerleri

Model	B-H	L	S	ρ_l	Model	B-H	L	S	ρ_l
	cm	cm	cm	%		cm	cm	cm	%
B35L6S10R1	35X35	600	10	1	B35L8S10R1	350X350	800	10	1
B35L6S20R1	35X35	600	20	1	B35L8S20R1	350X350	800	20	1
B45L6S10R1	45X45	600	10	1	B45L8S10R1	450X450	800	10	1
B45L6S20R1	45X45	600	20	1	B45L8S20R1	450X450	800	20	1
B35L6S10R2	35X35	600	10	2	B35L8S10R2	350X350	800	10	2
B35L6S20R2	35X35	600	20	2	B35L8S20R2	350X350	800	20	2
B45L6S10R2	45X45	600	10	2	B45L8S10R2	450X450	800	10	2
B45L6S20R2	45X45	600	20	2	B45L8S20R2	450X450	800	20	2

Tablo 4.5'te dikkate alınan prefabrik tek katlı sanayi yapılarında değişken parametrelerin değerleri görülmektedir. Modellerin etiketleri, değişken parametrelerin değerlerine göre belirlenmiştir.

Değişken parametrelere bağlı olarak oluşturulan 16 farklı modele ait toplam 64 çerçeve için (X-İÇ, X-DIŞ, Y-İÇ, Y-DIŞ), çerçeveyi oluşturan kolonların moment-eğrilik ilişkisi hesaplanmış ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Her bir prefabrik yapı modelinde dört farklı çerçeveye ait kapasite eğrileri, çerçevede yer alan kolonların kapasite eğrileri kullanılarak elde edilmiştir.

Etriye aralığının 100mm'den 200mm'ye çıkması, kolon sargı donatısı oranının DBYYHY'te yer alan minimum sargı donatısı oranından daha düşük olmasına ve bu durum da belirgin hasar ve ileri hasar bölgelerine ait beton birim şekil değiştirme üst sınırının değişmesine sebep olmaktadır. 45x45cm kolon boyutuna sahip modellerde etriye aralığının 200mm olması durumunda belirgin ve ileri hasar bölgelerine ait beton birim şekil değiştirme değeri üst sınırı sırasıyla 0.0088 ve 0.0114 olarak hesaplanmıştır. 35x35cm kolon boyutuna sahip modellerde ise bu sınırlar belirgin hasar ve ileri hasar bölgesi için sırasıyla 0.0105 ve 0.0138 olarak hesaplanmıştır. Etriye aralığının 100mm olduğu diğer tüm modeller için bu sınırlar sırasıyla 0.0135 ve 0.0180 olarak alınmıştır.

4.6.2. Moment-eğrilik analizi sonuçları

16 tipik yapıya ait 64 kolon için moment-eğrilik analizi yapılmıştır. Tablo 4.6a'da $L=600\text{cm}$ olan ilk sekiz tipik sanayi yapısına ait 32 kolonun, Tablo 4.6b'de ise $L=800\text{cm}$ olan son sekiz tipik sanayi yapısına ait 32 kolonun akma momenti, akma eğriliği ve hasar bölgelerine ait limit eğrilik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6a ve Tablo 4.6b'de ayrıca moment-eğrilik analizi için kolondaki aksenal yük değerleri de verilmiştir. Hasar seviyelerine ait limit eğrilikler plastik eğriliklerdir. Yani toplam eğrilik değerinden akma eğriliği çıkarılarak elde edilmişlerdir.

Akma momenti, akma eğriliği ve hasar seviyelerime limit eğrilikler kullanılarak Denklem 4.2, Denklem 4.3, Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile her kolon için öncelikle akma anındaki dönme ve plastik dönme değerleri, sonrasında akma anındaki deplasman ve plastik deplasman değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.6a Tipik sanayi yapısı kolonlarına ait moment-eğrilik analizi sonuçları (L=6m)

Model	Kolon	N	M _y	ϕ_y	$\phi_{MN,p}$	$\phi_{GV,p}$	$\phi_{GC,p}$
		<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>	<i>rad/m</i>
B35L6S10R1	1	118.88	95.61	0.01162	0.02690	0.13643	0.22503
	2	215.15	107.79	0.01230	0.03025	0.15010	0.22871
	3	176.83	102.96	0.01214	0.01789	0.13865	0.22665
	4	326.43	121.50	0.01203	0.03059	0.15480	0.21101
B35L6S20R1	1	118.88	95.53	0.01150	0.02370	0.14462	0.21477
	2	215.15	107.43	0.01182	0.02983	0.13953	0.17268
	3	176.83	102.88	0.01157	0.02580	0.14958	0.18854
	4	326.43	121.00	0.01185	0.03135	0.11350	0.15068
B45L6S10R1	1	130.66	197.81	0.01109	0.02166	0.14015	0.22306
	2	226.92	214.04	0.01129	0.02497	0.14597	0.23483
	3	188.60	207.61	0.01120	0.02888	0.14806	0.23006
	4	338.20	232.47	0.01156	0.02574	0.15339	0.20900
B45L6S20R1	1	130.66	197.93	0.01109	0.02455	0.13299	0.16589
	2	226.92	214.09	0.01129	0.03014	0.11439	0.14099
	3	188.60	207.68	0.01121	0.02658	0.12066	0.15006
	4	338.20	232.39	0.01154	0.02608	0.09736	0.13140
B35L6S10R2	1	118.88	163.84	0.01285	0.02814	0.14988	0.22589
	2	215.15	175.33	0.01262	0.03245	0.15440	0.19722
	3	176.83	170.78	0.01240	0.02279	0.15478	0.20799
	4	326.43	188.20	0.01343	0.03151	0.13251	0.16963
B35L6S20R2	1	118.88	163.38	0.01218	0.02962	0.12678	0.16675
	2	215.15	174.76	0.01284	0.02672	0.10710	0.14306
	3	176.83	170.26	0.01263	0.03090	0.11408	0.15178
	4	326.43	187.37	0.01283	0.02877	0.08956	0.12099
B45L6S10R2	1	130.66	350.18	0.01221	0.03297	0.15381	0.19448
	2	226.92	365.64	0.01242	0.02629	0.13921	0.17607
	3	188.60	359.51	0.01234	0.02890	0.14520	0.18306
	4	338.20	383.17	0.01267	0.02818	0.12514	0.15778
B45L6S20R2	1	130.66	350.04	0.01221	0.03155	0.10476	0.12537
	2	226.92	365.38	0.01243	0.03059	0.09474	0.11304
	3	188.60	359.28	0.01234	0.02742	0.09851	0.11779
	4	338.20	382.85	0.01269	0.02852	0.08479	0.10097

Herhangi bir modeldeki yer alan kolonların kapasite eğrileri elde edildikten sonra, tipik yapılardaki çerçevelerin kapasite eğrileri, çerçeveyi oluşturan kolonların kapasite eğrileri dikkate alınarak elde edilmiştir.

Tablo 4.6b Tipik sanayi yapısı kolonlarına ait moment-eğrilik analizi sonuçları (L=8m)

Model	Kolon	N	M _y	ϕ_y	$\phi_{MN,p}$	$\phi_{GV,p}$	$\phi_{GC,p}$
		kN	kNm	rad/m	rad/m	rad/m	rad/m
B35L8S10R1	1	124.89	96.37	0.01168	0.02600	0.14497	0.21984
	2	221.15	108.56	0.01231	0.02944	0.14635	0.23395
	3	182.83	103.71	0.01217	0.03541	0.14716	0.22977
	4	332.44	122.23	0.01201	0.02981	0.16022	0.20854
B35L8S20R1	1	124.89	96.29	0.01143	0.02283	0.14646	0.21068
	2	221.15	108.20	0.01184	0.02893	0.13739	0.17111
	3	182.83	103.39	0.01160	0.02489	0.14971	0.18443
	4	332.44	121.70	0.01190	0.03050	0.11234	0.14867
B45L8S10R1	1	140.59	199.51	0.01111	0.03405	0.14439	0.22295
	2	236.85	215.70	0.01131	0.02400	0.14964	0.23509
	3	198.53	209.25	0.01122	0.02779	0.15175	0.23117
	4	348.13	234.14	0.01157	0.02482	0.15916	0.20732
B45L8S20R1	1	140.59	199.62	0.01112	0.03170	0.13076	0.16307
	2	236.85	215.72	0.01131	0.02913	0.11224	0.13938
	3	198.53	209.35	0.01123	0.02552	0.11902	0.14800
	4	348.13	234.04	0.01156	0.03156	0.10773	0.12991
B35L8S10R2	1	124.89	164.57	0.01282	0.02756	0.14605	0.22448
	2	221.15	176.04	0.01268	0.03180	0.15299	0.19443
	3	182.83	171.51	0.01238	0.02225	0.15171	0.20576
	4	332.44	188.87	0.01345	0.03121	0.13150	0.16808
B35L8S20R2	1	124.89	164.10	0.01219	0.02900	0.12555	0.16540
	2	221.15	175.46	0.01286	0.02611	0.10616	0.14149
	3	182.83	170.98	0.01267	0.03023	0.11314	0.15060
	4	332.44	188.04	0.01289	0.02849	0.08890	0.11987
B45L8S10R2	1	140.59	351.79	0.01223	0.03225	0.15254	0.19251
	2	236.85	367.22	0.01245	0.02568	0.13813	0.17431
	3	198.53	361.08	0.01236	0.02822	0.14400	0.18071
	4	348.13	384.81	0.01270	0.02754	0.12414	0.15669
B45L8S20R2	1	140.59	351.62	0.01223	0.03083	0.10377	0.12388
	2	236.85	366.96	0.01245	0.02989	0.09389	0.11200
	3	198.53	360.90	0.01237	0.03260	0.09749	0.11634
	4	348.13	384.43	0.01271	0.03004	0.08415	0.10011

4.6.3. Tipik yapılara ait iç çerçevelerin kapasite eğrileri

Tablo 4.7’de 16 modelden elde edilen ve daha kritik sonuçlar verdiği gösterilen 32 adet iç çerçevenin kapasite eğrileri verileri görülmektedir. Tabloda çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesi V_y , çerçevenin toplam ağırlığı W , çerçevenin akma anındaki deplasman Δ_y ve hasar bölgelerine ait limit deplasmanlar verilmiştir. Ayrıca çerçevenin periyodu T_{eff} ve yatay yük taşıma oranı V_y/W hesaplanmıştır. Tablo 4.7’de verilen değerler kullanılarak prefabrik yapıları temsil eden çerçeveler tek serbestlik dereceli olarak ifade edilebilecektir.

Tablo 4.7 Tipik prefabrik yapı çerçevelerinin kapasite eğrileri

Model	Aks	V_v	W	Δ_v	Δ_{MN}	Δ_{GV}	Δ_{GC}	T_{eff}	V_v/W
		kN	kN	cm	cm	cm	cm	s	$\%$
B35L6S10R1	Y-İÇ	74.82	970.45	8.41	10.24	22.55	29.92	2.10	7.71
	X-İÇ	137.18	1999.34	8.82	11.90	24.12	30.32	2.27	6.86
B35L6S20R1	Y-İÇ	74.63	970.45	8.39	11.02	19.96	23.75	2.10	7.69
	X-İÇ	136.65	1999.34	8.78	11.82	20.35	24.14	2.27	6.83
B45L6S10R1	Y-İÇ	146.69	994.00	6.04	9.38	25.28	33.19	1.28	14.76
	X-İÇ	265.08	2040.54	6.23	9.48	25.20	33.39	1.39	12.99
B45L6S20R1	Y-İÇ	146.69	994.00	6.04	9.43	18.69	23.11	1.28	14.76
	X-İÇ	265.03	2040.54	6.23	9.62	18.88	23.31	1.39	12.99
B35L6S10R2	Y-İÇ	119.66	970.45	13.46	15.78	26.96	30.75	2.10	12.33
	X-İÇ	215.27	1999.34	13.83	17.05	27.34	31.12	2.27	10.77
B35L6S20R2	Y-İÇ	119.21	970.45	13.41	16.34	22.54	25.74	2.10	12.28
	X-İÇ	214.39	1999.34	13.78	16.50	22.91	26.11	2.27	10.72
B45L6S10R2	Y-İÇ	247.56	994.00	10.19	13.85	26.45	30.69	1.28	24.91
	X-İÇ	441.19	2040.54	10.37	13.79	26.64	30.88	1.39	21.62
B45L6S20R2	Y-İÇ	247.38	994.00	10.18	13.74	21.20	23.30	1.28	24.89
	X-İÇ	440.84	2040.54	10.37	14.07	21.38	23.49	1.39	21.60
B35L8S10R1	Y-İÇ	56.49	982.47	15.06	19.14	35.21	43.61	3.25	5.75
	X-İÇ	103.53	2020.37	15.77	19.80	35.81	44.33	3.52	5.12
B35L8S20R1	Y-İÇ	56.27	982.47	15.00	18.41	30.38	35.36	3.25	5.73
	X-İÇ	103.11	2020.37	15.71	19.67	31.09	36.06	3.52	5.10
B45L8S10R1	Y-İÇ	110.85	1013.86	10.81	15.15	37.36	47.08	2.00	10.93
	X-İÇ	200.26	2075.31	11.16	15.36	37.34	47.43	2.16	9.65
B45L8S20R1	Y-İÇ	110.85	1013.86	10.81	15.28	29.66	33.54	2.00	10.93
	X-İÇ	200.20	2075.31	11.16	16.26	30.00	33.89	2.16	9.65
B35L8S10R2	Y-İÇ	90.10	982.47	24.02	27.06	42.02	47.03	3.25	9.17
	X-İÇ	162.06	2020.37	24.68	28.96	42.69	47.70	3.52	8.02
B35L8S20R2	Y-İÇ	89.76	982.47	23.92	27.83	36.10	40.34	3.25	9.14
	X-İÇ	161.39	2020.37	24.58	28.16	36.76	41.00	3.52	7.99
B45L8S10R2	Y-İÇ	186.47	1013.86	18.19	23.01	39.91	45.60	2.00	18.39
	X-İÇ	332.31	2075.31	18.52	23.02	40.24	45.93	2.16	16.01
B45L8S20R2	Y-İÇ	186.33	1013.86	18.18	23.43	32.90	35.69	2.00	18.38
	X-İÇ	332.01	2075.31	18.51	23.73	33.23	36.02	2.16	16.00

Doğrusal ötesi deplasman talebi özellikle efektif periyottan (T_{eff}) ciddi olarak etkilenmektedir. Tipik modellerde kolon enkesit boyutu ve kolon yüksekliği açısından değerlendirme yapıldığında, efektif periyodun her durumda 1.0s'den büyük olacağı söylenebilir. Diğer yandan, tipik modeller içerisinde yatay rijitliği en düşük olan modelde (35x35cm kolon kesit boyutu ve 800cm kolon yüksekliği), efektif rijitlik katsayısı da dikkate alındığında, periyot 3.50s'ye kadar çıkabilmektedir. O halde genel olarak prefabrik yapı stoğundaki parametrelerin değerleri dikkate alınır, çerçevelerinin periyodunun 1.0s-3.50s arasında olacağını söylemek mümkündür.

Kolon enkesit boyutu ve kolon yüksekliği parametreleri, çerçevelerin periyodunu etkileyen iki önemli parametredir. Dolayısıyla maksimum deplasman talebi de bu iki parametrenin değişiminden etkilenmektedir.

Yapısal parametrelerin değerlerinin V_y/W oranına etkisi açısından bakıldığında da en düşük yatay dayanım oranına sahip çerçeve (35x35cm kolon boyutu, %1 boyuna donatı oranı ve 800cm kolon yüksekliği) ve en büyük yatay dayanım oranına sahip çerçevenin (45x45cm kolon boyutu, %2 boyuna donatı oranı ve 600cm kolon yüksekliği) yatay dayanım oranının sırası ile %5.12 ve %24.89 olduğu görülmektedir (Tablo 4.7). Bu durum dikkate alınırsa, prefabrik yapı stoğunu temsil eden çerçevelerinin yatay dayanım oranının da %5 ile %30 arasında olabileceğini söylemek mümkündür.

Bu bölümde seçilen 16 tipik yapı için kolon moment-eğrilik analizlerinden başlayarak, kolon kapasiteleri ve çerçeve kapasite eğrilerinin nasıl elde edileceği konusunda gerekli bilgiler ve hesaplamalar verilmiştir.

Her ne kadar tipik 16 model yapı stoğunda yer alan tek katlı sanayi yapılarının büyük kısmını temsil edecek şekilde seçilmiş olsa da, tezde kullanılan değerlerin dışında parametre değerlerine sahip prefabrik yapılar için de bu yaklaşımın kullanılması mümkündür. Dolayısıyla herhangi bir prefabrik yapı için de burada bahsedilen hesaplar kullanılarak çerçeve kapasite eğrileri elde edilebilir.

5. PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA DEPLASMAN TALEBİ

Kapasite eğrileri ve kapasite eğrisi üzerinde hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerinin belirlenmesinden sonra, prefabrik yapının deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla depremden dolayı oluşabilecek maksimum deplasman talebinin analiz ile belirlenmesi gerekmektedir. Maksimum deplasman talebi belirlenip, kapasite eğrisindeki limit deplasman değerleri ile karşılaştırılarak yapının hasar durumuna karar verilecektir.

Yapısal analiz yöntemleri doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir. İki yöntem arasındaki temel fark isimlerinden de anlaşılacağı gibi taşıyıcı sistem elemanlarının davranışına ilişkin yapılan kabuldür.

5.1. Doğrusal Analiz Yöntemleri

Doğrusal analiz yöntemlerine eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım aralığında analiz yöntemi örnek olarak verilebilir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde, yapıya etkiyeceği tahmin edilen dinamik deprem yükü eşdeğer statik yatay yüke dönüştürülmektedir. Taşıyıcı sistemi düzenli veya düzensizliği sınırlı binalar için uygulanabilir. Yapıya etkileyen deprem yükü birinci titreşim modu dikkate alınarak hesaplanır. Katlara etkileyen deprem yüklerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olarak değiştiği kabul edilmektedir.

Süneklik ve kapasite tasarımı koşullarının tasarımda ve yerinde imalat esnasında sağlanabilmesi koşulu ile eşdeğer deprem yükü yöntemi daha karmaşık yöntemlere ihtiyaç duyulmadan yaygın olarak kullanılabilir (Celep ve Kumbasar 2004). Taşıyıcı sistemde düzensizlik bulunması durumunda eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılması uygun olmaz.

Mod birleştirme yöntemi, elemanların elastik kalacağı kabulü ile, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan tepkisinin ayrı ayrı elde edilmesi ve sonradan birleştirilmesiyle sistem davranışının temsil edilebileceği esasına dayanan doğrusal

dinamik bir analiz yöntemidir. Her türlü taşıyıcı sisteme uygulanabileceği öngörülse de DBYYHY’te, elde edilen sonuçların eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bulunanla karşılaştırılması istenmektedir. Hesaplanan deprem yükünün katlara dağıtılmasında yapının titreşim modlarının şekilleri dikkate alınmaktadır.

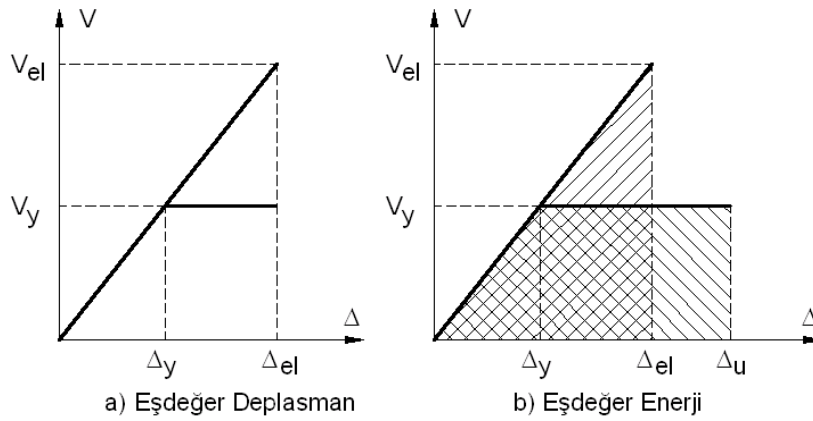
Zaman tanım aralığında analiz yönteminde ise hesaplama işlemi gerçek ya da benzetilmiş bir deprem hareketi esas alınarak yapılmaktadır. Bu çözümleme oldukça zaman alıcı olması nedeniyle genel kullanım açısından pratik değildir. Ancak diğer yöntemlere kıyasla daha gerçekçi sonuçları bu yöntemle elde etmek mümkündür. Taşıyıcı sistem davranışı boyutlara bağlı olduğundan bu yöntem ilk tasarım aşamasında kullanılamaz.

Genel olarak doğrusal analiz yöntemlerinde taşıyıcı sistem elemanlarının tamamen elastik olduğu kabulü ile elastik deprem spektrumlarına bağlı olarak toplam deprem yükü hesaplanmaktadır. Toplam deprem yükü yapının bulunduğu bölge ve zemin özellikleri ile yapının kütesine ve periyoduna bağlıdır. Ancak deprem yükü gibi büyük ve ani etkiler karşısında elastik sınırlar içerisinde kalacak yapılar yapmak ekonomik değildir. Bu yüzden tasarım deprem kuvveti, elastik deprem yükünün bir katsayı ile (taşıyıcı sistem davranış katsayısı) azaltılması yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yapının enerji tüketme kapasitesi arttıkça artmakta ve tasarım deprem yükleri azalmaktadır. Bu katsayının hesaplanmasında iki farklı yaklaşım benimsenmektedir: eşdeğer deplasman ve eşdeğer enerji yaklaşımı. Titreşim periyodu büyük olan yapılarda gerek doğrusal gerekse doğrusal ötesi davranışta yapıların maksimum yer değiştirmesinin birbirine eşit olduğunu kabul eden yaklaşım eşdeğer deplasman yaklaşımıdır. Küçük periyot bölgesinde olan yapılarda toplam şekil değiştirme enerjisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yapılarda eşit olduğunu kabul eden yaklaşım ise eşdeğer enerji yaklaşımıdır.

Eşdeğer deplasman yaklaşımında Şekil 5.1’de görüldüğü gibi en büyük yer değiştirmelerin eşitliğinden taşıyıcı sistem davranış katsayısı Denklem 5.1 ile hesaplanır.

$$R = \frac{V_{el}}{V_y} \quad (5.1)$$



Şekil 5.1 Yapıların doğrusal ötesi davranış kabulleri

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{el}}{\Delta_y} \quad (5.2)$$

Deplasman sünekliği Denklem 5.2’de verilmiştir. Eşdeğer deplasman yaklaşımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı deplasman sünekliğine eşittir (Denklem 5.3). Denklem 5.2 ve Denklem 5.3’te Δ_{el} yapının elastik kalması durumunda yapacağı maksimum deplasmanı, Δ_y ise akma anındaki deplasmanı belirtir. V_{el} ve V_y sırasıyla elastik olarak karşılanacak maksimum kuvveti ve akma anındaki kuvveti ifade etmektedir.

$$R = \mu_{\Delta} \quad (5.3)$$

Doğrusal analiz yöntemleri ile belirlenen deprem yükünün, doğrusal ötesi davranış kabulü ile tasarım yüküne dönüştürülmesi için R katsayısı kullanılır ve tasarım deprem yükü Denklem 5.4 ile hesaplanır. Dolayısıyla sünekliğe bağlı olarak doğrusal ötesi sistem için tasarım deprem yükü azaltılmış olur.

$$V_y = \frac{V_{el}}{\mu_{\Delta}} \quad (5.4)$$

Eşdeğer enerji yaklaşımında ise (Şekil 5.1b) doğrusal ve doğrusal olmayan taşıyıcı sistemlerin söndüreceği şekil değiştirme enerjisinin eşit olduğu kabul edilmektedir.

Yapılan işin eşitliğinden elde edilen Denklem 5.5 düzenlenerek deplasman sünekliğine bağlı olarak taşıyıcı sistem davranış katsayısı R hesaplanır (Denklem 5.6).

$$\frac{1}{2}V_{el}\Delta_{el} = \frac{1}{2}V_{el}\left(\Delta_y \frac{V_{el}}{V_y}\right) = V_y\left(\Delta_{pl} - \frac{\Delta_y}{2}\right) \quad (5.5)$$

$$R = \sqrt{2\mu_{\Delta} - 1} \quad (5.6)$$

Eşdeğer enerji yaklaşımında Denklem 5.6'da kullanılan deplasman sünekliği ifadesi Denklem 5.7 ile elde edilmektedir. Tasarım deprem yükü ise deplasman sünekliğine bağlı olarak Denklem 5.8 ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (5.7)$$

$$V_y = \frac{V_{el}}{\sqrt{2\mu_{\Delta} - 1}} \quad (5.8)$$

Tasarım aşamasında, binanın kısmi veya toptan göçmesinin önleneceği varsayılsa bile binada oluşacak hasara bağlı olarak enerji sönümlenmesi hedeflenmektedir. Doğrusal analiz, yapıların elastik kapasitesini belirlemede veya ilk akmanın nerede oluşacağını tahmin etmede iyi bir araç olmasına rağmen, gerek hasarın oluşma mekanizması gerekse akma anından sonra kuvvetin yeniden dağılımı konusunda bize bir fikir vermemektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri yapının doğrusal ötesi davranış gösterdiği durumda nasıl davranacağını anlamamızda yardımcı olur. Doğrusal ötesi deplasmanları tahmin edebilmek için yapının doğrusal ötesi davranışını dikkate alan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

5.2. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi amacıyla son yıllarda giderek artan şekilde doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde amaç olası depremlerde yapılarda ve yapı elemanlarında

meydana gelebilecek doğrusal ötesi deformasyonların ve yapı davranışının tahmin edilmesidir. Günümüzde yer hareketinin tanımlanması ve yapısal modelin oluşturulması konusunda farklılıklar gösteren doğrusal olmayan analiz yöntemleri bulunmaktadır.

İyi bilinen iki doğrusal olmayan statik analiz yöntemi Deplasman Katsayıları Yöntemi (FEMA-356) ve Kapasite Spektrumu Yöntemi'dir (ATC-40). Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan bu yöntemler, yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan yaklaşımla elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanarak, yapının zayıf elemanları, bunların yerleri ve olası bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

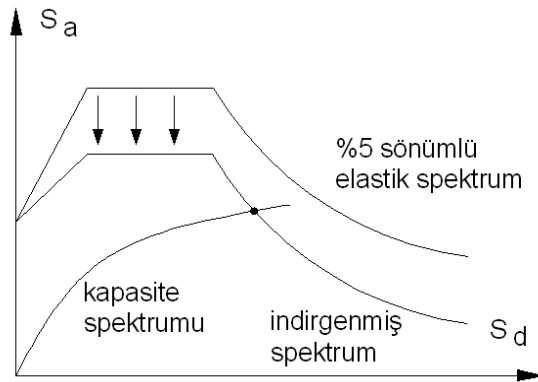
5.2.1. Kapasite spektrumu yöntemi

Deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak yapının sönümü artmaktadır. Bu durumda depremin maksimum deplasman talebi azalır. Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde (KSY), yapıda meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenir. Bu nokta performans noktası olarak adlandırılır ve bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir (Şekil 5.2).

Performans noktasının bulunabilmesi için hem tepki spektrumu hem de kapasite eğrisi spektral parametreler (spektral ivme S_a ve spektral deplasman S_d) cinsinden ifade edilmektedir. Ayrıca talep spektrumu tek serbestlik dereceli sistemler için elde edildiğinden, çok serbestlik dereceli sistemler için elde edilen kapasite eğrisinin (taban kesme kuvveti ile tepe deplasmanı) de eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir.

Kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi için birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım katsayısı (α_1) ve modal katılım çarpanı

(PF_1) kullanılarak kapasite spektrumu elde edilmektedir (Denklem 5.9 ve Denklem 5.10).



Şekil 5.2 KSY'de performans noktasının belirlenmesi

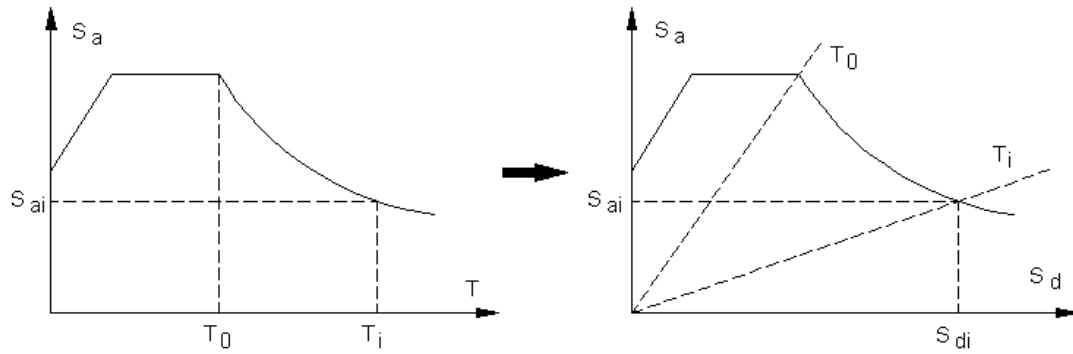
$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g) \right]} \quad (5.9a)$$

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g) \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g) \right]} \quad (5.9b)$$

$$S_a = \frac{V_y / W}{\alpha_1} \quad (5.10a)$$

$$S_d = \frac{\Delta_u}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (5.10b)$$

Denklem 5.9 ve Denklem 5.10'da yer alan w_i/g i.katın kütleini, W yapının toplam ağırlığını, ϕ_{i1} birinci modda i.katın genliğini, N binanın kat sayısını ifade etmektedir.



Şekil 5.3 Elastik spektrumun S_a - S_d formatına dönüştürülmesi

Elastik talep spektrumunun (S_a ve T) performans noktası hesabı için spektral parametrelere dönüştürülmesi (S_a ve S_d) amacıyla Denklem 5.11 kullanılmaktadır (Şekil 5.3). Denklem 5.11’de T , yapının birinci doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (5.11)$$

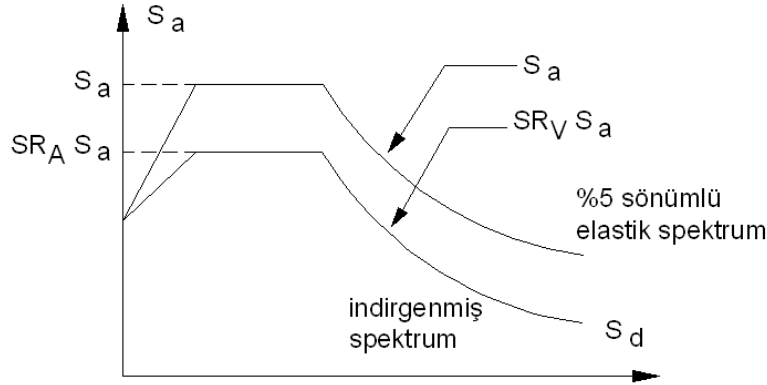
ATC-40’ta, tepki spektrumunun, doğrusal ötesi davranışla artan sönüm sebebiyle indirgenmesi için çevrimsel sönüm oranı ve viskoz sönüm oranının toplamı olarak etkili sönüm oranı (β_{eq}) tarif edilmiştir. Viskoz sönüm oranı genellikle %5 kabul edilmektedir. Çevrimsel sönüm oranı ise kapasite spektrumunu içeren çevrimsel alan ile ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm oranı cinsinden ifade edilmiştir. Sonuç olarak β_{eq} değerinin hesaplanabilmesi için performans noktasının bilinmesi ya da tahmin edilmesi gerekmektedir.

S_a - S_d koordinat sisteminde ifade edilen elastik tepki spektrumunun indirgenmesi için kullanılacak indirgeme katsayıları SR_A ve SR_V , β_{eq} değerine bağlı olarak Denklem 5.12 ve Denklem 5.13 ile hesaplanmaktadır.

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \quad (5.12)$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \quad (5.13)$$

SR_A değeri, elastik talep spektrumunun yatay kolunun indirgenmesi, SR_V ise eğrisel olarak düşen kolunun indirgenmesi için kullanılmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi

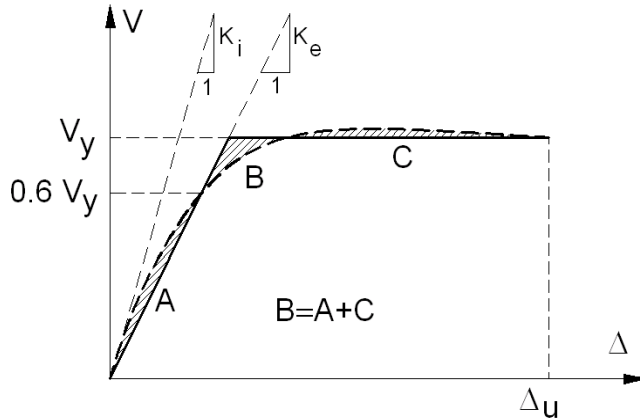
Burada bahsedildiği gibi, KSY’de performans noktasının bulunabilmesi için deplasman talebinin ardışık olarak artırılması ve buna bağlı olarak indirgenen talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesişim noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Kesişim noktasının yani performans noktasının bulunması halinde ardışık yaklaşıma son verilir. Yöntem ile ilgili ayrıntılı bilgi ATC-40’ta ve FEMA-440’ta (2006) bulunabilir.

5.2.2. Deplasman katsayıları yöntemi

Deplasman Katsayıları Yöntemi’nde (DKY) de kapasite ve talebin birbirine bağlı olduğu yaklaşımı benimsenmektedir. DKY’nde kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine gerek yoktur. Çok serbestlik dereceli sistemler için elde edilen kapasite eğrileri iki doğrulu olarak idealize edilirler (Şekil 5.5). İdealizasyon yapılırken A ve C taralı alanlarının toplamının yaklaşık olarak B taralı alanına eşit olmasına ve iki doğrulu kapasite eğrisi ile başlangıç kapasite eğrisi arasındaki kesişimin yatay yük taşıma kapasitesinin 0.6 katında olmasına dikkat edilmelidir.

İdealleştirme sonrası yapının etkin doğal periyodu T_e , yapının birinci doğal titreşim periyodu T , kapasite eğrisinden elde edilen başlangıç rijitliği K_i ve iki doğrulu eğrinin ilk kısmının eğiminden elde edilen K_e kullanılarak Denklem 5.14 ile hesaplanır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.14)$$



Şekil 5.5 İki doğrulu olarak idealleştirilen kapasite eğrisi

Yapı sistemi için etkin periyot T_e hesaplandıktan sonra eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem için bulunan spektral deplasman ve FEMA-356'da belirtilen katsayılar kullanılarak maksimum deplasman talebi Denklem 5.15 ile hesaplanır.

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (5.15)$$

C_0 katsayısı, çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay deplasmanı ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirler. Basit olarak birinci mod katılım katsayısına eşit kabul edilir. Prefabrik tek katlı sanayi yapıları için 1 alınması uygun olabilir.

C_1 katsayısı, doğrusal elastik yer değiştirmenin, yapıda beklenen maksimum doğrusal ötesi yer değiştirmeye dönüştürmek için kullanılan katsayıdır. Yapının periyoduna ve yatay dayanım oranına bağlı olarak belirlenir. FEMA-440'ta etkin periyodun 1.0 saniyeyi geçtiği yapılar için 1 alınması önerilmektedir.

C_2 katsayısı, çevrimsel enerji şeklinin etkisini dikkate alan katsayıdır. İdeal elasto-plastik davranış için 1 alınır.

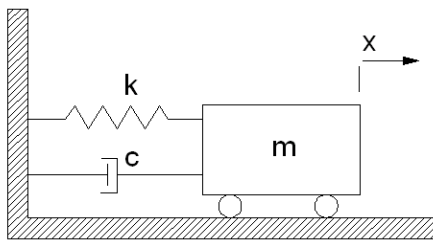
C_3 katsayısı, ikinci mertebe etkilerinden dolayı artan yer değiştirmelerin etkisini gözönüne almaya yarayan katsayıdır. Elastik ötesi negatif rijitlik olması durumunda C_3 hesaplanarak kullanılmalıdır. Pozitif doğrusal ötesi rijitlik durumunda 1 alınır. İdeal-elastoplastik davranış kabulü için 1 alınabilir.

5.2.3. Doğrusal ötesi dinamik analiz

Yapının doğrusal ötesi davranışını en gerçekçi biçimde yansıtan analiz yöntemi, zaman tanım alanında analiz yöntemidir. Bu yöntemde yapıya etkiyen zamana bağlı etkiler altında, yapının tepkisi elde edilmektedir. Yapının yer hareketi etkisinde incelenmesi için öncelikle basit bir model ile hareketin temsil edilmesi gerekmektedir.

Sistemin hareket esnasındaki konumunun tek bir parametre ile tanımlanabilmesi durumunda, sistemin tek serbestlik dereceli olduğu ifade edilir. Genel olarak yapı sistemlerinin dinamik davranışı, çok serbestlik dereceli sistemler olarak temsil edilen yapılar için hareket denklemlerinin çözümü ile belirlenmektedir. Bununla birlikte çoğu yapı sistemi uygun yöntemler kullanılarak tek serbestlik dereceli sistem olarak ifade edilmekte ve analizler tek serbestlik dereceli sistem kullanılarak yapılmaktadır. Prefabrik sanayi yapılarında yapı kütlelerinin çatı düzleminde yoğunlaştığı düşünülürse bu yapıları temsil eden düzlem çerçeveler için tek serbestlik dereceli olarak çözüm uygundur.

Tek serbestlik dereceli sistemin titreşiminin temel bileşenleri kütle, rijitlik, sönüm ve dış kuvvettir. Sönüm enerji tüketimi mekanizmasını, dış kuvvet ise hareketin kaynağını temsil eder. Titreşimin matematiksel modeli Şekil 5.6 ile verilmiştir. Şekil 5.6'da x yapının zemine göre bağıl deplasmanı, m yapının kütlelerini, k rijitliğini ve c ise viskoz sönüm katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 5.6 Tek serbestlik dereceli sistemin titreşiminin matematiksel modeli

Zamanla değişen dış kuvvete $F(t)$ maruz tek serbestlik dereceli elastik sistemde bu kuvvete karşı yapının deplasmanı ile orantılı elastik yay kuvveti ve atalet kuvveti ile, sistemin hızı ile orantılı sönüm kuvveti karşı koymaktadır. Titreşim yapan bir cismin hareketi Denklem 5.16 ile verilen, ikinci dereceden sabit katsayılı diferansiyel denklem ile ifade edilir. c katsayısının sıfır olması durumunda sönümsüz titreşim, sağ tarafın sıfır olması durumunda da serbest titreşim denklemleri elde edilmiş olur. Denklemin çözümü için başlangıç koşullarının ($x(0)$ ve $\dot{x}(0)$) bilinmesi gerekmektedir.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \quad (5.16)$$

Denklemin çözümü için; genel ve özel çözümün toplamı olarak elde edilen doğrusal diferansiyel denklem için klasik çözüm, Duhamel integrali, Laplace ve Fourier dönüşümleri ile sayısal yöntemlerden birisi tercih edilebilmektedir.

Sönümsüz titreşim yapan tek serbestlik dereceli sistemin doğal dairesel frekansı Denklem 5.17'de, doğal titreşim periyodu Denklem 5.18'de verilmiştir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.17)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (5.18)$$

Titreşimin periyodunun kütle ve rijitlik ile ilgili olduğu net olarak görölmektedir. Sönüm de daha önce belirtildiği gibi titreşimi etkileyen temel parametrelerden birisidir. Denklem 5.19 ile ifade edilen kritik sönüm katsayısından daha büyük sönüm katsayısına sahip sistemler titreşim hareketi yapamazlar. Daha düşük sönüm katsayısına sahip sistemlerde titreşimin periyodu Denklem 5.20 ile hesaplanır.

$$C_{cr} = 2\sqrt{mk} \quad (5.19)$$

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_d} \quad (5.20)$$

Denklem 5.20'in paydasında yer alan ω_d ifadesi, sönümlü titreşim yapan sistemin doğal dairesel titreşim frekansını ifade eder ve Denklem 5.21 ile hesaplanır.

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \frac{c}{C_{cr}}} \quad (5.21)$$

Zamanla değişen yer hareketine maruz kalan elastik tek serbestlik dereceli sistemin titreşim davranışı Şekil 5.7'de verilmiştir. Zemine ankastre bağlı olan yapı zeminle beraber hareket etmektedir. Şekil 5.7'de x_g yer hareketini, x ise yapının yere göre bağlı hareketini belirtmektedir. Sistemin hareket denklemi ise Denklem 5.22'de verilmiştir.

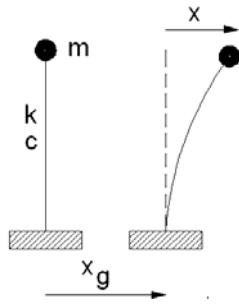
$$m(\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad (5.22)$$

Denklemin sağ tarafının sıfır olması, sistemi harekete geçiren dış kuvvetin sıfır olduğunu göstermektedir. Ancak titreşimine sebep olan etki yerin zamanla değişen hareketidir. Denklem 5.22 düzenlenirse, $-m\ddot{x}_g(t)$ terimi, yapının kütesine etkiyerek titreşime sebep olan efektif kuvvet olarak ifade edilebilir (Denklem 5.23).

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t) \quad (5.23)$$

Denklem 5.16 ve Denklem 5.23 ile verilen ifadeler elastik sistemler için kullanılmaktadır. Deplasmanların çok düşük olduğu, sınır koşullarının çözüm boyunca değişmediği ve malzeme davranışının elastik kabul edildiği durumlar için bu denklemler kullanılabilir.

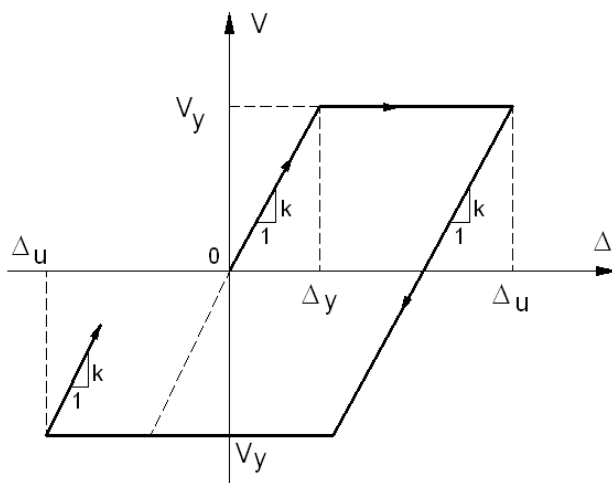
Ancak özellikle deprem etkisi altındaki yapılarda ciddi deformasyonlar gözlenmekte ve doğrusal ötesi davranış ortaya çıkmaktadır. Yapı sistemlerinin doğrusal ötesi davranışı da dikkate alınarak yapılacak zaman tanım alanında analiz ile yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışı daha gerçekçi biçimde elde edilebilmektedir.



Şekil 5.7 Yer hareketine maruz tek serbestlik dereceli elastik sistem

Tez çalışmasında malzemenin doğrusal ötesi davranışı ile sistemin doğrusal ötesi davranışı ifade edilmiştir. Daha önce Bölüm 4’te seçilen tipik prefabrik yapılara ait çerçevelerin kapasite eğrileri elde edilerek, bu çerçevelerin tek serbestlik dereceli olarak temsil edilebilmesi için gerekli olan rijitlik, periyot ve yatay dayanım oranları belirlenmiştir. Ayrıca kapasite eğrileri üzerinde seçilen hasar bölgelerine ait limit deplasman değerleri hesaplanmıştır.

Çerçevelerin performanslarının belirlenmesi amacıyla maksimum deplasman talebi doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Doğrusal olmayan davranış için, Denklem 5.22’de verilmiş olan tek serbestlik dereceli sisteme ait sönüm oranı (%5) ve kütle değeri analiz sırasında sabit alınmakta ancak sistem rijitliği deplasmana bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5.8 İdeal elastoplastik sistem için çevrimsel davranış

Tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal ötesi davranışı için ideal elastoplastik malzeme kabulü yapılmıştır (Şekil 5.8). Hareket denkleminin çözümünde sayısal integrasyondan faydalanılmıştır. İntegrasyon için Newmark tarafından önerilen ortalama ivme yöntemi kullanılmıştır (Newmark 1959).

5.3. Doğrusal Ötesi Dinamik Analiz Sonuçları

5.3.1. İvme kayıtlarının seçimi

Doğrusal ötesi analiz için kullanılan ivme kayıtları, hedef spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak türetilenler, sismolojik modeller kullanılarak sentetik olarak türetilenler ve gerçek ivme kayıtları olarak sınıflandırılabilir. Tez çalışmasında doğrusal ötesi analizler için gerçek ivme kayıtları kullanılmıştır.

Gerçek ivme kayıtlarının seçiminde genel olarak belirlenmiş bir kural yoktur. Ancak gerek kullanılacak ivme kayıtlarının sayısı gerekse seçilecek ivme kayıtlarının taşıması gereken özellikler, yapılacak çalışmanın niteliğine bağlı olarak belirlenmektedir. İvme kayıtlarının belirlenmesi iki ana seçenek kullanılarak yapılmaktadır: tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kayıtlarının belirlenmesi ya da deprem senaryoları dikkate alınarak ivme kayıtlarının belirlenmesi.

Deprem senaryolarına bağlı olarak ivme kayıtlarının belirlenmesinde depremin büyüklüğü ve kayıtların faya olan mesafesi birlikte en fazla kullanılan kriterlerdir. Kayıtların alındığı bölgelerin zemin özellikleri de üçüncü bir kriter olarak kullanılabilir.

Seçilen ivme kayıtlarının bazılarının öngörülen spektrum ile uyumlu olması için ya da deprem parametresinin dağılımının genişletilmesi için ölçeklendirilmesi gerektiğinde özellikle dikkat edilmesi gereken bir nokta, gerçek ivme kaydının karakteristiklerinin korunmasıdır. Ölçeklendirme genel olarak ivme kaydının genliğinin doğrusal ölçeklendirme faktörü ile çarpımı şeklinde olmaktadır. Bu şekilde gerçek ivme kaydının frekans içeriği, süresi ve çevrimsel içeriği gibi özellikleri korunmuş olmaktadır.

Tez çalışması için PEER (Pasific Earthquake Engineering Center) kuvvetli yer hareketi veri tabanından (<http://peer.berkeley.edu/smcat>) 28 depreme ait ivme kayıtları seçilmiştir. İvme kayıtlarının seçiminde hasara sebep olabilecek büyüklükte depremler

(büyüklüğü 5.4-7.6 arasında değişen depremler) tercih edilmiştir. İvme kayıtlarının seçildiği depremlere ait tarih ile depremlerin moment büyüklüğü M , yerel büyüklük M_L ve yüzey dalgası büyüklüğü M_S değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Kullanılan ivme kayıtlarının ait olduğu depremler

Sıra	Deprem Adı	Tarih	M	M_L	M_S
1	Cape Mendocino	1992/04/25	7.1		7.1
2	Chi-Chi, Taiwan	1999/09/20	7.6	7.3	7.6
3	Coalinga	1983/05/02	6.4	6.7	6.5
4	Coyote Lake	1979/08/06	5.7	5.7	5.6
5	Duzce	1999/11/12	7.1	7.2	7.3
6	Erzincan	1992/03/13	6.9		
7	Friuly, İtaly	1976/05/06	6.5	6.2	6.5
8	Gazli, USSR	1976/05/17	6.8		7.3
9	Imperial Valley	1979/10/15	6.5	6.6	6.9
10	Irpinia, Italy	1980/11/23		6.5	
11	Kobe	1995/01/16	6.9		
12	Kocaeli	1999/08/17	7.4		7.8
13	Landers	1992/06/28	7.3		7.4
14	Livermore	1980/01/27	5.4	5.4	5.5
15	Loma Prieta	1989/10/18	6.9		7.1
16	Mammoth Lakes	1980/05/27	6.0	6.2	6.0
17	Morgan Hill	1984/04/24	6.2	6.2	6.1
18	N. Palm Springs	1986/07/08	6.0	5.9	6.0
19	Nahanni, Canada	1985/12/23	6.8		6.9
20	Northridge	1994/01/17	6.7	6.6	6.7
21	Parkfield	1966/06/28	6.1	6.1	
22	San Fernando	1971/02/09	6.6		6.6
23	Spitak, Armenia	1988/12/07	6.8		7.0
24	Superstition Hills (B)	1987/11/24	6.7		6.6
25	Tabas, İran	1978/09/16	7.4	7.7	7.4
26	Victoria, Mexico	1980/06/09		6.1	6.4
27	Westmorland	1981/04/26	5.8	5.6	
28	Whittier Narrows	1987/10/01	6.0	5.9	5.7

Faylara yakın yerlerde kurulmuş olan yerleşim merkezlerinde olası depremlerde meydana gelebilecek hasar ve kaybın daha ciddi olacağı düşünüldüğünde, hasar tahmin çalışmalarının bu yerleşim merkezleri için yapılmasının daha önemli olduğu söylenebilir. Bu sebeple faya yakın kayıt istasyonlarında kaydedilen ivme kayıtları

seçilmiştir. Kayıt istasyonlarının faya olan mesafelerinin 30km'den düşük olması, ivme kayıtlarının seçiminde tercih edilmiştir. Sonuç olarak seçilen 288 ivme kaydının sadece 11'inde faya olan mesafe 30km'nin üzerindedir.

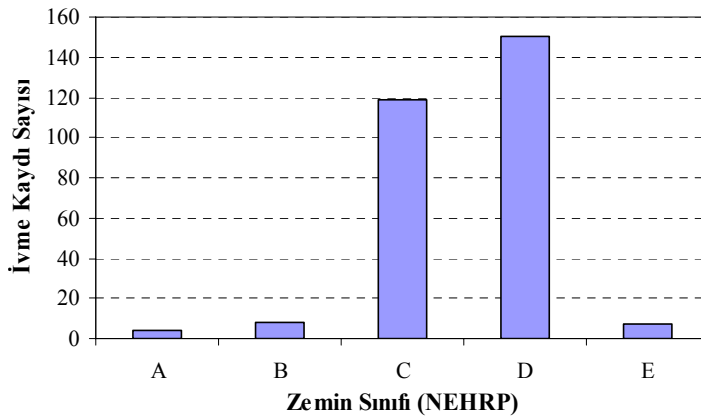
İvme kayıtlarının seçiminde kayıtların alındığı zeminlerin özelliği kriter olarak kullanılmamıştır. Ancak PEER'da ivme kayıtlarının alındığı kayıt istasyonunun ne tür bir zeminde yer aldığı konusunda bilgi verilmektedir.

Zeminlerin sınıflandırılmasında, zeminin ilk 30m kalınlığındaki kısmında belirlenen, ortalama kayma dalgası hızı ($V_{s,30}$) kullanılmaktadır. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) tarafından kullanılan sınıflandırma Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 NEHRP'e göre zemin sınıfları

Zemin Sınıfı	$V_{s,30}$ (m/s)
A	>1500
B	760-1500
C	360-760
D	180-360
E	<180

Seçilen 288 ivme kaydının NEHRP tarafından tanımlanan zemin sınıflarına göre dağılımı Şekil 5.9'da verilmiştir. Kayıtların %41'i (119 adet) C sınıfı zeminlere, %52'si (150 adet) D sınıfı zeminlere aittir.

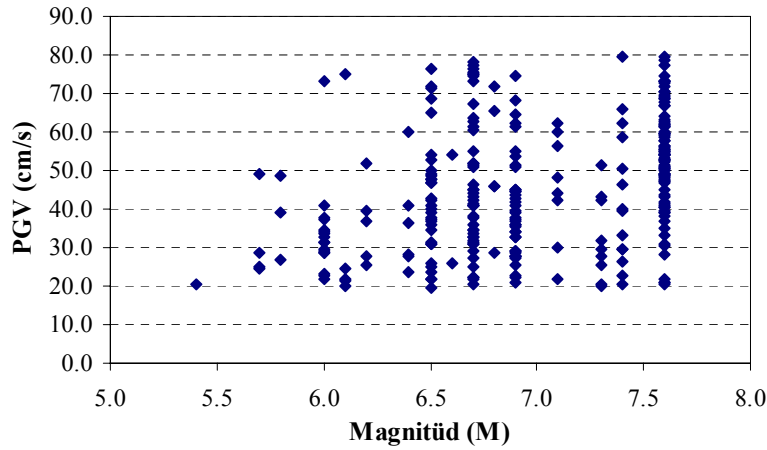


Şekil 5.9 İvme kayıtlarının zemin sınıfına göre dağılımı

Doğrusal ötesi dinamik analiz için kullanılan ivme kayıtları ve kayıtlar ile ilgili bilgiler Ek.1’de verilmiştir.

5.3.2. İvme kayıtlarının gruplandırılması

Periyodu 1.0 saniyenin üzerinde olan tek serbestlik dereceli sistemlerde doğrusal ötesi dinamik analiz sonucu elde edilen maksimum deplasman talebi ile *PGV* arasında iyi bir korelasyon bulunmaktadır (Akkar ve Özen 2005). *PGV* ile deprem büyüklüğü ya da depremin hissedilen şiddeti arasında da güçlü bir korelasyon bulunduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Wald vd 1999, Wu vd 2003).



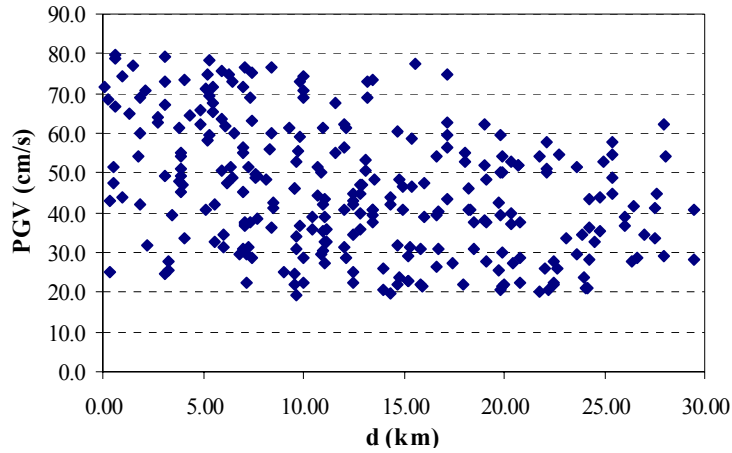
Şekil 5.10 Seçilen ivme kayıtlarının M-PGV dağılımı

Tek katlı prefabrik sanayi yapılarının efektif titreşim periyodunun 1.0s-3.5s arasında olabileceği daha önce belirtilmiştir. Deplasman talebi ile ilişkili olduğu bilinen *PGV* ivme kayıtlarının seçiminde ve gruplandırılmasında kriter olarak kullanılmıştır. İvme kayıtları seçilirken, maksimum yer hızlarının (*PGV*) 20 cm/s ile 80 cm/s arasında olması sağlanmıştır. Şekil 5.10’da depremin büyüklüğü ile seçilen ivme kayıtlarına ait *PGV* değerlerinin dağılımı verilmiştir.

Şekil 5.11’de kayıt istasyonların faya olan en yakın mesafesi ile *PGV* değerlerinin dağılımı, en yakın mesafenin $d < 30\text{km}$ olduğu 277 kayıt için verilmiştir.

Seçilen ivme kayıtları üç gruba ayrılmıştır. Birinci grup (*PGV1*), *PGV*’nin 20-40 cm/s arasında olduğu kayıtlardan, ikinci grup (*PGV2*), *PGV*’nin 40-60 cm/s arasında

olduğu kayıtlardan, üçüncü grup (PGV3) ise PGV'nin 60-80 cm/s arasında olduğu kayıtlardan oluşmaktadır. Gruplar kendi içinde 5 cm/s aralıkla dörde bölünmüştür.



Şekil 5.11 Seçilen ivme kayıtlarının d-PGV dağılımı

Tablo 5.3'te her bir *PGV* grubunun oluşturulmasında kullanılan alt ve üst *PGV* değerleri (cm/s olarak) ve grupta bulunan ivme kayıtlarının sayısı verilmiştir. Her bir grubun 30 civarında ivme kaydından oluşması sağlanmıştır.

Tablo 5.3 İvme gruplarına ait PGV sınırları ve kayıt sayısı

Grup	Alt-Üst Sınır	Kayıt Sayısı
PGV1A	<24.99	32
PGV1B	25.00-29.99	31
PGV1C	30.00-34.99	29
PGV1D	35.00-39.99	30
PGV2A	40.00-44.99	33
PGV2B	45.00-49.99	26
PGV2C	50.00-54.99	29
PGV2D	55.00-59.99	19 (12)
PGV3A	60.00-64.99	20 (9)
PGV3B	65.00-69.99	12 (16)
PGV3C	70.00-74.99	15 (17)
PGV3D	>75.00	12 (18)

Son beş grupta yani PGV'nin 55 cm/s'den büyük olduğu her bir grupta bulunan ivme kayıtlarının artırılması için, mevcut 288 ivme kaydı içerisinde seçilen ivme

kayıtlarının maksimum yer hızı değerleri sabit bir katsayı ile ölçeklendirilmiştir. Ek.2’de ölçeklendirilmiş ivme kayıtları ile ölçek katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 5.3’te parantez içerisinde verilen sayılar, o gruba ölçeklendirilerek ilave edilmiş kayıt sayısını göstermektedir. 72 adet ivme kaydı ölçeklendirilmiş ve analiz için toplam 360 ivme kaydı elde edilmiştir. Ölçeklendirme için kullanılan katsayılar 1.54’ün altındadır. Tablo 5.4’te ölçeklendirilmiş kayıtlarında ilave edilmesi ile oluşan 360 ivme kaydı için, *PGV* gruplarının her birinde bulunan ivme kayıtlarının *PGV* değerleri (birimi cm/s) ile ilgili istatistikler verilmiştir. Gruplara ait ortalama ve medyan değerleri birbirine yakındır.

Tablo 5.4 Gruplara ait ivme kayıtlarının *PGV* değerleri ile ilgili istatistikler

Grup	Sayı	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Medyan	Maksimum
PGV1.A	32	21.97	1.49	19.43	21.93	24.90
PGV1.B	31	27.76	1.42	25.00	27.92	29.77
PGV1.C	29	32.50	1.43	30.00	32.72	34.70
PGV1.D	30	37.66	1.42	35.20	37.61	39.85
PGV2.A	33	42.35	1.51	40.03	42.11	44.98
PGV2.B	26	47.67	1.34	45.09	47.77	49.80
PGV2.C	29	52.21	1.42	50.00	51.99	54.41
PGV2.D	31	57.27	1.47	54.81	57.47	59.92
PGV3.A	29	62.32	1.11	60.03	62.45	64.85
PGV3.B	28	67.58	0.87	65.38	67.50	69.38
PGV3.C	32	72.55	0.93	70.60	72.48	74.98
PGV3.D	30	77.28	1.10	74.61	77.48	79.58

5.3.3. Tek serbestlik dereceli sistemler

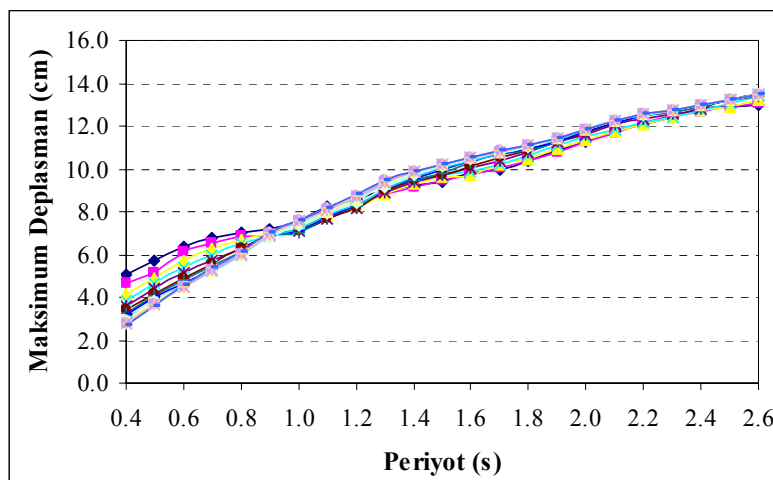
Deprem mühendisliğinde yapıların maruz kalacağı maksimum deplasman talebinin belirlenmesi için yapılacak analizlerde kullanılan yaklaşımlardan birisi, çok serbestlik dereceli yapının uygun kabuller ve dönüşümler ile tek serbestlik dereceli olarak temsil edilmesidir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilen maksimum deplasman talebi, tekrar bir dönüşüm ile çok serbestlik dereceli sistem için elde edilmektedir. Daha önce bahsedilen Kapasite Spektrumu Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi de analiz edilecek yapıların tek serbestlik dereceli olarak idealize edilmesi ilkesine dayanmaktadır.

Prefabrik sanayi yapılarının tek katlı olması ve kütlelerin önemli bir kısmının çatı düzleminde toplanmış olması dolayısıyla bu yapıları temsil eden çerçeveler, tek serbestlik dereceli olarak dikkate alınabilmektedir. Dikkate alınan tipik sanayi yapıları da kapasite eğrileri dikkate alınarak tek serbestlik dereceli olarak ifade edilmiştir. Periyodun 0.4s ile 2.6s arasında, yatay dayanım oranının ise %8 ile %40 arasında değiştiği tek serbestlik dereceli sistemler için maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir. Bu şekilde periyot ve yatay dayanım oranı belirlenen herhangi bir tek serbestlik dereceli sistem için maksimum deplasman taleplerin dağılımı belirlenmiş olacaktır. Seçilen tek serbestlik dereceli sistemler için periyot 0.1s ara ile değişmekte, yatay dayanım oranı ise %2 ara ile değişmektedir.

5.3.4. Tek serbestlik dereceli sistemlerin dinamik analiz sonuçları

Periyot ve yatay dayanım oranları ile temsil edilen tek serbestlik dereceli sistemler, 360 ivme kaydı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilmiş ve hem periyot hem yatay dayanım oranı hem de PGV'nin maksimum deplasman talebi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Analizler için kullanılan 360 ivme kaydı, tek serbestlik dereceli sistemler için 3 grupta toplanmıştır: PGV1, PGV2 ve PGV3. Daha önce de bahsedildiği gibi PGV1 grubunda PGV 20-40cm/s arasında, PGV2 grubunda PGV 40-60cm/s arasında ve PGV3 grubunda PGV 60-80cm/s arasında olan kayıtlar yer almaktadır. PGV1 grubunda 122 kayıt, PGV2 grubunda 119 kayıt ve PGV3 grubunda 119 kayıt bulunmaktadır.



Şekil 5.12 PGV1 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi

Tüm periyot ve yatay dayanım oranları için *PGV* gruplarına bağlı olarak elde edilen maksimum deplasman talepleri değerlerinin ortalaması ve standart sapması Ek.3'te verilmiştir. Verilen değerler kullanılan 360 ivme kaydı için geçerlidir. Farklı ivme kayıtlarının kullanılması durumunda, sonuçların genel eğiliminin bu kısımda verildiği gibi olacağı beklenmekle beraber az da olsa farklı olacağı bilinmelidir. Ya da çalışmanın niteliğine bağlı olarak farklı *PGV* gruplarının oluşturulması durumunda farklı değerler elde edilebilecektir.

Şekil 5.12'de *PGV1* grubunda olan kayıtlar dikkate alınarak yapılan analiz sonuçlarına göre, periyot ile maksimum deplasman talebinin değişimi görülmektedir. Yatay eksen tek serbestlik dereceli sistemin periyodunu, düşey eksen ise *PGV1* grubunda yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum deplasman taleplerinin ortalamasını göstermektedir. Her bir eğri ise farklı yatay dayanım oranına sahip sistemi göstermektedir.

Şekil 5.12'ye göre periyot ile maksimum deplasman arasında doğrusal kabul edilebilecek bir ilişkinin var olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca yatay dayanım oranının etkisinin özellikle 1.0s'den büyük olduğu durumlar için azaldığı da görülmektedir.

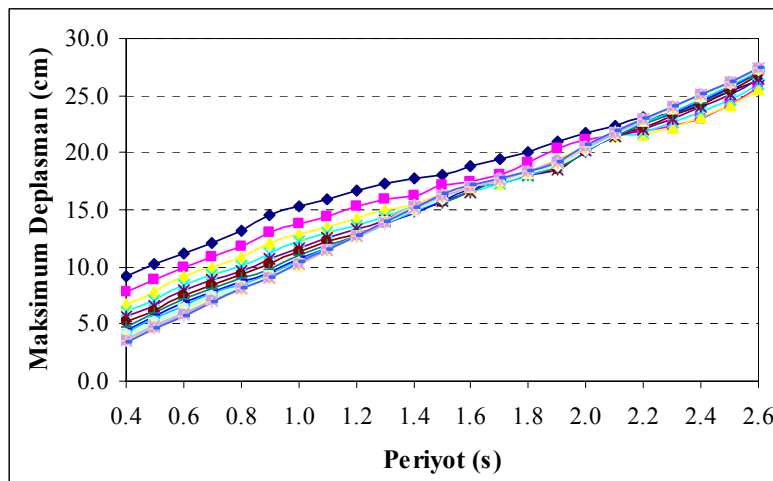
Tablo 5.5 *PGV1* grubu için maksimum deplasman talebi (cm)

T (s)	V_y/W (%)								
	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1.0	7.61	7.29	7.12	7.02	7.21	7.43	7.53	7.59	7.63
1.2	8.55	8.24	8.17	8.24	8.34	8.46	8.67	8.74	8.79
1.4	9.22	9.30	9.42	9.50	9.64	9.82	9.86	9.90	9.91
1.6	9.76	9.70	10.04	10.27	10.38	10.52	10.54	10.52	10.51
1.8	10.40	10.47	10.77	10.88	10.98	11.07	11.09	11.09	11.09
2.0	11.27	11.38	11.61	11.74	11.81	11.82	11.81	11.82	11.82
2.2	12.11	12.11	12.34	12.48	12.49	12.54	12.56	12.55	12.55
2.4	12.81	12.69	12.84	12.93	12.97	12.97	12.97	12.97	12.97
2.6	12.99	13.23	13.43	13.40	13.45	13.46	13.46	13.46	13.46

Tablo 5.5'te Ek.3'te yer alan analiz sonuçları, bazı periyot ve yatay dayanım oranı değerleri için verilmiştir. Tabloda sütunlar yatay dayanım oranını, satırlar ise periyodu ifade etmektedir. Her bir hücredeki değer, *PGV1* grubunda yer alan 122 ivme kaydı ile elde edilen maksimum deplasman taleplerinin ortalamasını ifade etmektedir. V_y/W 'nin

%8 olduğu sistemler için periyot 1.0s olduğunda 7.61cm olan ortalama maksimum deplasman, periyot 2.6s'ye çıktığında 12.99cm olmaktadır ki, bu maksimum deplasman talebinde yaklaşık olarak %70 gibi ciddi bir değişim demektir. Bu eğilimin PGV1 grubu için genel olarak tüm V_y/W değerleri için geçerli olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 5.13'te PGV2 grubunda olan kayıtlar dikkate alınarak yapılan analiz sonuçlarına göre, periyot ile maksimum deplasman talebinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5.13 PGV2 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi

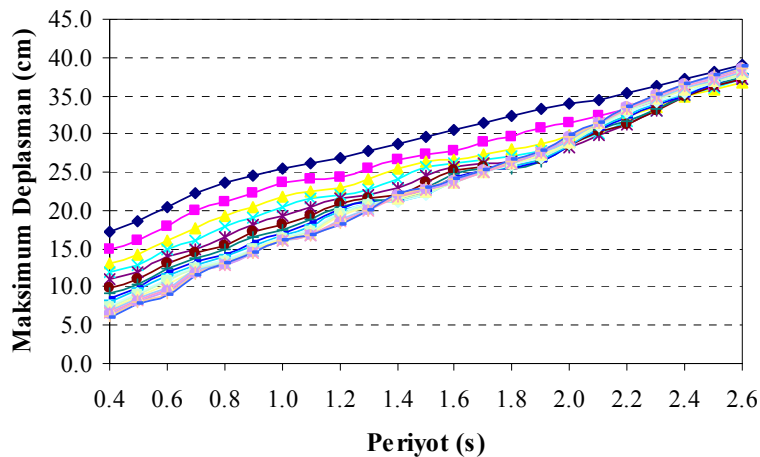
PGV2 grubu için de periyot ile maksimum deplasman arasında doğrusal kabul edilebilecek bir ilişkinin var olduğunu söylemek mümkündür. PGV1 grubundan farklı olarak yatay dayanım oranının etkisinin, periyodun 2.0s'den büyük olduğu durumlar için azaldığı görülmektedir. Periyodun 0.4s ile 2.0s arasında olduğu sistemlerde yatay dayanım oranının etkisinin biraz daha belirgin olduğu söylenebilir.

Tablo 5.6'da Ek.3'te yer alan analiz sonuçları, bazı periyot ve yatay dayanım oranı değerleri için verilmiştir. Her bir hücredeki değer, PGV2 grubunda yer alan 119 ivme kaydı ile elde edilen maksimum deplasman taleplerinin ortalamasını ifade etmektedir. Yatay dayanım oranı %8 iken, periyodun 1.0s olduğu sistemler için 15.29cm olan ortalama maksimum deplasman, periyot 2.6s'ye çıktığında 26.36cm olmaktadır. Maksimum deplasman talebi yaklaşık olarak %72 artmaktadır. Yani periyodun artması ile maksimum deplasman talebinin arttığı net olarak görülmektedir.

Tablo 5.6 PGV2 grubu için maksimum deplasman talebi (cm)

T (s)	V _y /W (%)								
	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1.0	15.29	12.89	11.60	10.97	10.51	10.22	10.19	10.29	10.45
1.2	16.76	14.20	13.28	12.66	12.56	12.64	12.76	12.70	12.70
1.4	17.73	15.53	15.15	14.82	14.82	15.08	15.16	15.23	15.21
1.6	18.90	16.75	16.60	16.71	16.94	16.94	16.93	17.03	17.09
1.8	20.05	18.25	18.05	18.11	18.13	18.24	18.30	18.36	18.41
2.0	21.69	20.53	20.13	20.07	20.14	20.41	20.51	20.53	20.59
2.2	23.06	21.59	21.98	22.48	22.62	22.79	22.83	22.93	22.97
2.4	24.19	23.13	23.96	24.29	24.66	24.95	25.07	25.15	25.14
2.6	26.36	25.61	26.50	26.97	27.07	27.31	27.35	27.33	27.33

PGV2 grubu için yatay dayanım oranının etkisi açısından bakıldığında, periyot 1.0s iken, yatay dayanım oranı %8 olduğunda maksimum deplasman 15.29cm, yatay dayanım oranı %40 olduğunda ise maksimum deplasman 10.45cm olmaktadır. Ancak periyot 2.6s olduğunda %8 ve %40 yatay dayanım oranları için maksimum deplasman talepleri sırası ile 26.36cm ve 27.33cm olmaktadır. Yani periyot 2.6s olduğunda yatay dayanım oranının etkisi ihmal edilebilecek düzeye inmektedir. Tablo 5.6 ve Şekil 5.13 incelendiğinde bu durumun periyodun 2.0s ve daha büyük olduğu durumlar için geçerli olduğunu söylemek mümkündür.

**Şekil 5.14** PGV3 grubu için periyot-maksimum deplasman ilişkisi

Şekil 5.14'te PGV3 grubunda olan kayıtlar kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre, periyot ile maksimum deplasmanın değişimi görülmektedir. Diğer PGV grupları

gibi PGV3 için de periyot ile doğrusala yakın bir ilişki içinde maksimum deplasman talebi artmaktadır. Yatay dayanım oranı, maksimum deplasman talebini daha büyük bir periyot aralığı için etkilemektedir.

Tablo 5.7’de Ek.3’te yer alan analiz sonuçları, bazı periyot ve yatay dayanım oranı değerleri için verilmiştir. Her bir hücredeki değer, PGV3 grubunda yer alan 119 ivme kaydı ile elde edilen maksimum deplasman taleplerinin ortalamasını ifade etmektedir. Yatay dayanım oranı %8 iken, periyodun 1.0s olduğu sistemler için 25.45cm civarında olan maksimum deplasman, periyot 2.6s’ye çıktığında yaklaşık 38.96cm olmaktadır.

Tablo 5.7 PGV3 grubu için maksimum deplasman talebi (cm)

T (s)	V _y /W								
	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1.0	25.45	21.89	19.17	17.52	16.67	16.32	16.14	16.07	16.01
1.2	26.78	22.92	21.52	20.52	19.99	19.48	18.87	18.44	18.19
1.4	28.69	25.39	22.95	21.38	21.10	21.36	21.77	22.04	22.19
1.6	30.46	26.70	25.70	24.75	23.95	23.71	23.66	23.89	24.18
1.8	32.40	28.06	26.37	25.52	25.78	26.11	26.22	26.32	26.52
2.0	33.93	29.93	28.29	28.52	28.58	28.76	29.14	29.51	29.74
2.2	35.30	32.28	31.29	31.64	32.41	33.00	33.25	33.43	33.55
2.4	37.14	34.92	35.06	34.89	35.13	35.72	36.04	36.48	36.56
2.6	38.96	36.83	37.21	37.47	37.67	37.68	38.15	38.51	38.69

PGV3 grubu için yatay dayanım oranının etkisi açısından bakıldığında, periyot 1.0s iken, yatay dayanım oranı %8 olduğunda maksimum deplasman 25.45cm, yatay dayanım oranı %40 olduğunda ise maksimum deplasman 16.01cm olmaktadır. Yatay dayanım oranının maksimum deplasman talebine etkisi periyodun artması ile beraber azalmaktadır ancak bu etkinin ancak 2.2s’den sonra ihmal edilebileceğini söylemek mümkündür. Periyot 2.2s olduğunda maksimum deplasman talebi %8 yatay dayanım oranı için 35.30cm iken %40 için 33.55cm’dir. Değişim ancak %5 seviyesindedir.

Her üç *PGV* grubu için de özellikle periyot ile maksimum deplasman talebi arasındaki ilişki net olarak görülmektedir. Aynı periyot ve yatay dayanım oranına sahip sistemler için PGV1’den PGV3’e gelindiğinde maksimum deplasman talebi artmaktadır. Bu etkinin net olarak görülebilmesi için yatay dayanım oranı ihmal edilerek

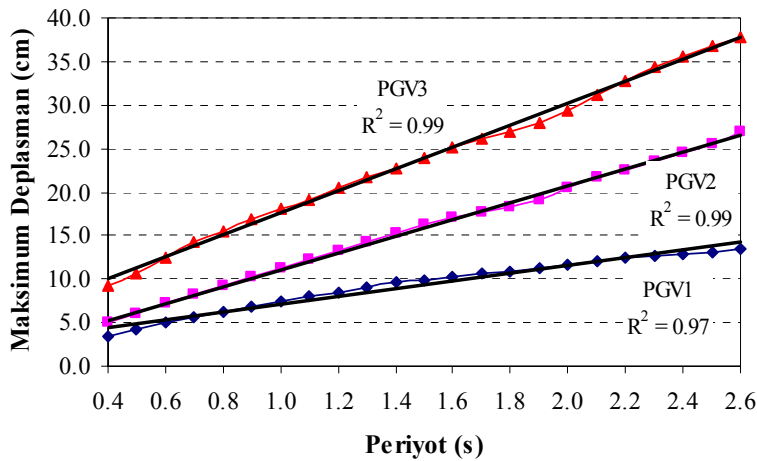
yani sadece periyotlar dikkate alınarak *PGV* grupları için maksimum deplasman değerlerinin ortalaması hesaplanmış ve Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 *PGV* grupları için maksimum deplasman talebi (cm)

	T (s)								
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
PGV1	7.37	8.45	9.62	10.26	10.87	11.68	12.42	12.90	13.38
PGV2	11.27	13.26	15.33	17.02	18.37	20.47	22.53	24.46	26.87
PGV3	18.19	20.59	22.81	25.05	26.85	29.43	32.77	35.66	37.81

Görüldüğü gibi verilen tüm periyot değerleri için kullanılan *PGV* grubu da maksimum deplasman talebini etkilemektedir. *PGV3* grubu için maksimum deplasman taleplerinin ortalaması, *PGV1* grubu için hesaplanan değerlerin iki katından fazladır ve bu durum Tablo 5.8’deki tüm periyot değerleri için geçerlidir.

Şekil 5.15’te ise analiz için kullanılan tüm periyot ve yatay dayanım oranı değerleri için Tablo 5.8’de verilen hesaplar grafik olarak gösterilmiş ve her bir *PGV* grubu için elde edilen verilere doğrusal bir fonksiyon uydurulmuştur. Hem *PGV*’nin hem de periyodun maksimum deplasman talebine etkisi net olarak görülmektedir.



Şekil 5.15 Sadece periyot dikkate alındığında maksimum deplasman

Periyot ve yatay dayanım oranının etkisi dikkate alınırken, her bir *PGV* grubu için maksimum deplasman taleplerinin ortalaması kullanılmıştır. Değerlerin ortalama

etrafındaki dağılımının ölçüsü ise standart sapmadır. Standart sapmanın, ortalamaya bölümü ile bulunan varyasyon katsayısı, dağılımın ölçüsünü birimsiz olarak vermektedir. Periyodu 1.0s'den büyük olan sistemler için *PGV* grubundan ve yatay dayanım oranından bağımsız olarak varyasyon katsayısının %40 ile %60 arasında değiştiği görülmüştür.

Her bir periyot, yatay dayanım oranı ve *PGV* grubu için maksimum deplasman taleplerinin ortalama ve standart sapmalarının belirli olması durumunda, maksimum deplasman değerlerinin çeşitli değerlerinin aşılma olasılığını tahmin etmek mümkündür.

5.3.5. Tipik yapılar için dinamik analiz sonuçları

Seçilen ivme kayıtları kullanılarak, daha önce 16 tipik prefabrik yapıyı temsil edecek şekilde elde edilen tek serbestlik dereceli sistemler için doğrusal ötesi analiz ile maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir.

Tablo 5.9a Tipik modeller için Y yönünde maksimum deplasman talebi

İvme Grupları	B35L6S10R1	B45L6S10R1	B35L6S10R2	B45L6S10R2	B35L8S10R1	B45L8S10R1	B35L8S10R2	B45L8S10R2
PGV1.A	9.51	7.16	9.90	7.26	11.87	9.60	12.72	9.79
PGV1.B	11.01	9.42	11.52	9.87	13.86	11.31	13.87	11.51
PGV1.C	13.44	10.11	12.84	10.52	15.13	12.45	15.85	13.09
PGV1.D	15.27	10.50	14.89	10.44	18.77	14.22	19.29	14.72
PGV2.A	19.61	14.88	19.48	14.51	23.00	19.38	24.30	18.78
PGV2.B	20.93	12.64	19.93	13.10	34.44	19.23	36.86	19.91
PGV2.C	26.67	15.18	23.19	14.08	43.57	23.77	41.06	22.60
PGV2.D	25.62	17.13	24.61	16.05	45.53	24.44	41.39	24.95
PGV3.A	31.35	19.31	28.33	18.25	42.07	28.72	43.56	26.15
PGV3.B	33.35	23.16	30.01	21.42	43.94	30.36	43.15	29.24
PGV3.C	37.50	24.45	34.93	20.39	52.81	34.39	48.30	31.33
PGV3.D	40.07	28.01	37.24	24.12	51.55	36.77	48.78	35.15
ORTALAMA	23.69	16.00	22.24	15.00	33.04	22.05	32.43	21.43

Tablo 5.9a'da Y yönündeki 16 yapıya ait iç çerçeveleri temsil eden tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilen maksimum deplasman talepleri (birimi cm) verilmiştir. Satırlar ivme gruplarını, sütunlar ise yapıları temsil etmektedir. Y yönünde 16 model olmasına rağmen 8 modele ait sonuçların verilmesi, etriye aralığının

deplasman talebine etkisinin ihmal edilecek düzeyde olması sebebiyledir. Diğer parametrelerin her birinin değişen değerine karşılık sadece S=100mm olan modellere ait deplasman talepleri verilmiştir.

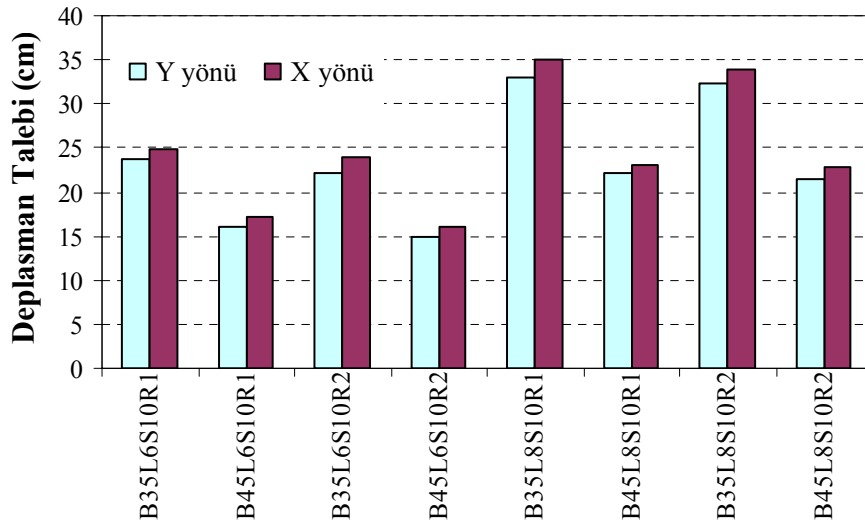
Her bir hücredeki deplasman talebi, ivme grubunda bulunan ivme kayıtlarından dolayı elde edilen deplasman taleplerinin ortalamasıdır. Örneğin birinci satırın ilk sütunundaki 9.51cm değeri, B35L6S10R1 modeli için PGV1.A grubunda bulunan 32 adet ivme kaydı kullanılarak elde edilen deplasman taleplerinin ortalamasıdır.

Tablo 5.9b Tipik modeller için X yönünde maksimum deplasman talebi

İvme Grupları	B35L6S10R1	B45L6S10R1	B35L6S10R2	B45L6S10R2	B35L8S10R1	B45L8S10R1	B35L8S10R2	B45L8S10R2
PGV1.A	9.97	7.69	9.93	7.80	12.49	9.73	12.76	10.03
PGV1.B	11.77	9.53	11.79	10.12	14.26	11.56	14.77	11.34
PGV1.C	14.05	10.33	13.83	11.04	15.60	13.42	17.30	13.32
PGV1.D	15.83	11.49	15.58	11.30	19.81	15.39	20.66	15.91
PGV2.A	20.14	15.64	20.28	16.44	23.90	19.73	25.37	19.91
PGV2.B	23.16	13.34	21.77	14.08	38.33	20.36	37.47	21.88
PGV2.C	27.57	16.53	25.44	15.30	46.07	24.53	42.93	23.75
PGV2.D	27.65	17.95	26.03	17.39	48.03	24.82	45.43	26.44
PGV3.A	31.67	20.59	31.08	18.86	45.38	30.25	44.36	28.85
PGV3.B	35.16	25.58	32.51	22.54	45.59	30.79	44.82	30.92
PGV3.C	40.48	26.49	37.93	21.55	55.55	36.18	50.99	34.50
PGV3.D	41.84	29.65	40.19	25.57	54.27	38.71	50.96	37.58
ORTALAMA	24.94	17.07	23.86	16.00	34.94	22.96	33.99	22.87

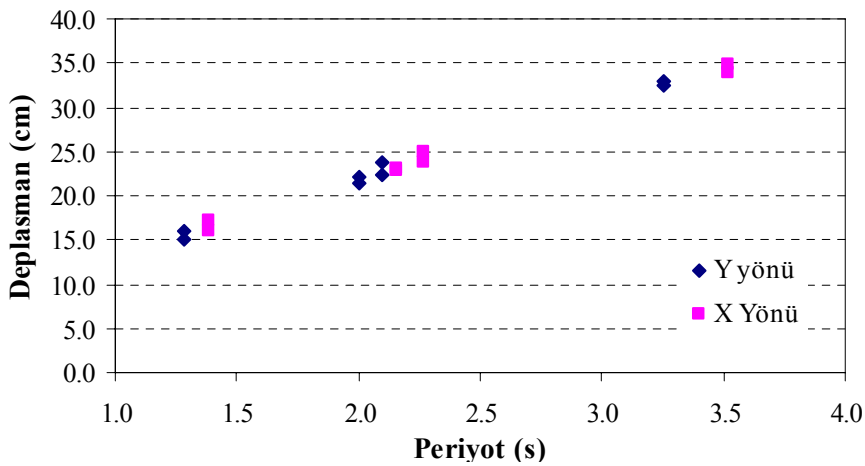
Her bir analiz yönü için, son satırda ise tipik modeller için 360 ivme kaydından elde edilen deplasmanların ortalaması verilmiştir. Tablo 5.9b’de ise X yönündeki çerçevelere ait deplasman talepleri verilmiştir.

Şekil 5.16’da 360 ivme kaydından elde edilen ortalama deplasman talebinin analiz yönleri dikkate alınarak karşılaştırması verilmiştir. Tüm modeller için x yönündeki deplasman talebi, y yönündeki deplasman talebine göre (az da olsa) daha büyüktür. Ancak bu durumun her iki yöndeki açıklık sayılarına bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla herhangi bir analiz yönündeki çerçevelerin daha kritik olduğu konusunda genelleme yapılması uygun olmayacaktır.



Şekil 5.16 X ve Y yönündeki deplasman taleplerinin karşılaştırılması

Şekil 5.17’te her bir model için periyoda bağlı olarak 360 ivme kaydından elde edilen deplasmanların ortalaması verilmiştir. Periyot arttıkça beklenildiği gibi maksimum deplasman talebi de artmaktadır. Tablo 5.10a’da Y yönündeki analizler sonucu her bir ivme grubu ve çerçeve için elde edilen deplasmanların standart sapmaları verilmiştir. Tablo 5.10b’de ise X yönündeki analizler için hesaplanan standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 5.17 Deplasman talebi ile periyot arasındaki ilişki

PGV grupları dikkate alınarak Tablo 9 ve Tablo 10’da verilen ortalama ve standart sapma değerleri, olasılık hesapları yapabilmek amacıyla kullanılabilir.

Tablo 5.10a Tipik modeller için Y yönünde deplasman taleplerinin standart sapması

İvme Grupları	B35L6S10R1	B45L6S10R1	B35L6S10R2	B45L6S10R2	B35L8S10R1	B45L8S10R1	B35L8S10R2	B45L8S10R2
PGV1.A	4.46	2.18	5.16	2.20	6.61	4.60	7.94	4.93
PGV1.B	4.80	2.86	5.28	2.88	9.31	5.21	8.39	5.33
PGV1.C	8.22	4.53	6.02	4.71	9.32	6.02	10.45	7.09
PGV1.D	7.68	4.45	6.96	3.97	11.38	6.71	11.82	7.30
PGV2.A	8.47	5.13	7.90	4.24	10.81	7.79	12.73	7.27
PGV2.B	8.34	3.92	7.79	5.50	16.80	8.25	19.28	8.38
PGV2.C	12.38	7.04	10.54	5.92	21.12	10.68	17.45	9.95
PGV2.D	10.82	6.67	9.71	6.41	24.21	11.63	18.15	10.49
PGV3.A	14.65	7.32	12.85	6.27	22.76	13.24	20.84	10.73
PGV3.B	14.42	8.67	10.36	7.31	20.30	11.88	20.88	10.07
PGV3.C	18.73	8.37	15.83	6.84	29.03	16.51	24.42	13.67
PGV3.D	20.33	11.57	15.06	9.84	27.82	17.56	24.29	13.84

Tablo 5.10b Tipik modeller için X yönünde deplasman taleplerinin standart sapması

İvme Grupları	B35L6S10R1	B45L6S10R1	B35L6S10R2	B45L6S10R2	B35L8S10R1	B45L8S10R1	B35L8S10R2	B45L8S10R2
PGV1.A	4.78	2.38	4.72	2.62	7.52	4.95	7.98	5.50
PGV1.B	5.33	3.08	5.27	3.59	9.15	5.33	10.09	4.97
PGV1.C	9.56	4.12	8.80	4.98	10.16	7.35	13.09	6.63
PGV1.D	8.07	4.85	7.68	4.65	12.72	7.79	13.82	8.23
PGV2.A	8.59	5.71	7.98	5.79	11.11	7.77	13.55	8.38
PGV2.B	9.69	4.93	8.31	5.64	19.88	7.69	19.15	9.12
PGV2.C	11.93	6.03	10.25	5.12	23.36	11.24	17.75	10.29
PGV2.D	10.83	6.39	9.58	6.25	24.24	9.55	21.41	10.45
PGV3.A	14.14	7.60	13.94	6.14	25.00	15.05	20.30	12.80
PGV3.B	16.37	10.18	11.89	7.15	21.38	11.70	24.06	10.59
PGV3.C	21.09	10.16	16.96	6.38	29.85	16.67	27.01	15.73
PGV3.D	19.95	11.99	17.17	8.95	29.24	17.34	27.45	14.44

5.3.6. Tipik yapıların performans seviyesi

Yapıların performans seviyesinin belirlenmesi için kapasite ve talebin belirlenmesi ve karşılaştırılması gerekmektedir. Bölüm 4'te her bir prefabrik yapı modeli için kapasite eğrisi ve kapasite eğrisi üzerinde hasar bölgelerine ait limit deplasmanlar elde

edilmiştir. Bu bölümde ise maksimum deplasman talepleri elde edilmiştir. Dolayısıyla hasar bölgelerine ait deplasman limitleri ile maksimum deplasman talepleri karşılaştırılarak, her bir model için performans seviyesi belirlenebilecektir.

Olasılık ilkelerini kullanmadan, hasar seviyelerinin aşıp aşılmadığına bağlı olarak yapıların performans seviyesinin belirlenmesi istendiğinde, her bir yapı için PGV gruplarına bağlı olarak elde edilen ortalama deplasmanlar kullanılarak yapı performansı belirlenebilir.

Örnek olarak, performans değerlendirmesi amacıyla Tablo 5.9’da verilen ortalama deplasman talepleri kullanılacak olursa, bu deplasman taleplerinin Tablo 4.10’da verilmiş olan kapasite eğrileri ve hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar ile karşılaştırılması gerekir. Böylelikle her bir çerçeve için performans düzeyi belirlenmiş olacaktır.

Eğer deplasman talebi minimum hasar seviyesine ait limit deplasman değerini geçmemiş ise performans düzeyi “minimum hasar” olarak kabul edilecektir. Eğer deplasman talebi minimum hasar seviyesine ait limit deplasman değerini aşıyor ama belirgin hasar seviyesine ait deplasman limitini aşmıyorsa, performans düzeyi “belirgin hasar” olarak kabul edilecektir.

Benzer şekilde deplasman talebi belirgin hasar seviyesine ait limit deplasman değerini aşıyorsa “ileri hasar”, ileri hasar seviyesine ait deplasman limitini aşıyorsa “göçme” performans seviyesinde olduğu kabul edilecektir. Minimum hasar performans düzeyi için “MN”, belirgin hasar performans düzeyi için “BL”, ileri hasar performans düzeyi için “İL” ve göçme performans düzeyi için “GÇ” ibaresi kullanılmıştır.

Tablo 5.11’de Y yönündeki çerçevelerin, PGV gruplarına ait ortalama deplasmanlar dikkate alınarak belirlenmiş performans düzeyleri verilmiştir. Sütunlar PGV gruplarını, satırlar ise prefabrik yapı modellerini temsil etmektedir.

Tablo 5.11’de ilk satır B35L6S10R1 nolu modele ait verileri içermektedir. Bu modelin PGV1A grubu için minimum hasar bölgesinde PGV1B-PGV2B grupları için belirgin hasar bölgesinde, PGV2C ve PGV2D için ileri hasar bölgesinde ve son dört PGV grubu için göçme bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.11 incelendiğinde kolon enkesit boyutunun artmasının ya da boyuna donatının artmasının performans üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Kolon enkesit boyutunun artması ile rijitlik ve dayanım artmakta ve maksimum deplasman talebi azalmaktadır. Talebin azalması ise, hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır. Kolon boyuna donatı oranındaki artış, yapının yatay yük taşıma kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri de artmaktadır. Dolayısıyla bu durumda hasar seviyelerine ait deplasmanların aşılma olasılığı azalmaktadır.

Tablo 5.11 Y Yönü çerçevelerinin PGV gruplarına göre performans düzeyleri

Modeller	PGV1.A	PGV1.B	PGV1.C	PGV1.D	PGV2.A	PGV2.B	PGV2.C	PGV2.D	PGV3.A	PGV3.B	PGV3.C	PGV3.D
B35L6S10R1	MN	BL	BL	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B35L6S20R1	MN	MN	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L6S10R1	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	İL
B45L6S20R1	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ
B35L6S10R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ
B35L6S20R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L6S10R2	MN	MN	MN	MN	BL	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL
B45L6S20R2	MN	MN	MN	MN	BL	MN	BL	BL	BL	İL	BL	GÇ
B35L8S10R1	MN	MN	MN	MN	BL	BL	İL	GÇ	İL	GÇ	GÇ	GÇ
B35L8S20R1	MN	MN	MN	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L8S10R1	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL
B45L8S20R1	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ
B35L8S10R2	MN	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ
B35L8S20R2	MN	MN	MN	MN	MN	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L8S10R2	MN	MN	MN	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL
B45L8S20R2	MN	MN	MN	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL

Tablo 5.11’de kolon yüksekliğinin artmasının da çerçeve performansını olumlu olarak etkilediği görülmektedir. Kolon yüksekliğinin artması sonucunda gerçekte rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesi azalmakta, maksimum deplasman talebi artmaktadır. Ancak kolon yüksekliğinin artması durumunda, kolon üst ucunda hesaplanan elastik deplasman ve buna bağlı olarak hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri de artmaktadır. Performans değerlendirmesi, deplasman talebi ile hasar seviyelerine ait deplasman limitleri karşılaştırılarak yapılmaktadır. Deplasman limitlerindeki artış,

deplasman talebindeki artışa göre daha belirgin olduğundan kolon yüksekliğinin artmasının hasar seviyelerinin aşılma olasılığını azalttığı sonucu elde edilmektedir. Ancak bu durumun dikkate alınan 6m-8m yükseklik aralığı için yapılan hesaplarla elde edildiğini ve bu yükseklik aralığı için geçerli olduğunu vurgulamak gerekmektedir.

Etriye aralığının artması ise performansı olumsuz olarak etkilemektedir (Tablo 5.11) Zira etriye aralığının artması ile kolonda sargı donatısı oranı azalmaktadır. Sargı donatısı oranındaki azalma kesit sünekliğini olumsuz etkileyen bir durumdur. Dolayısıyla etriye aralığının artması durumunda hasar seviyelerine ait limit değerler azalmaktadır. Bu durumda talep deplasmanın, limit deplasman değerlerini aşması olasılığı artmaktadır.

Tablo 5.12’de X yönündeki çerçevelerin, PGV gruplarına ait ortalama deplasmanlar dikkate alınarak belirlenmiş performans düzeyleri verilmiştir. Tablo 5.12’de yine ilk satır B35L6S10R1 nolu modele ait verileri içermektedir. Bu modelin PGV1A ve PGV1B grubu için minimum hasar gölgesinde PGV1C-PGV2B grupları için belirgin hasar bölgesinde, PGV2C ve PGV2D için ileri hasar bölgesinde ve son dört PGV grubu için göçme bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.12 X Yönü çerçevelerinin PGV gruplarına göre performans düzeyleri

Modeller	PGV1.A	PGV1.B	PGV1.C	PGV1.D	PGV2.A	PGV2.B	PGV2.C	PGV2.D	PGV3.A	PGV3.B	PGV3.C	PGV3.D
B35L6S10R1	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B35L6S20R1	MN	MN	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L6S10R1	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	İL	İL	İL
B45L6S20R1	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ
B35L6S10R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ
B35L6S20R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L6S10R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL
B45L6S20R2	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ
B35L8S10R1	MN	MN	MN	BL	BL	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B35L8S20R1	MN	MN	MN	BL	BL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L8S10R1	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	İL
B45L8S20R1	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL	İL	GÇ	GÇ
B35L8S10R2	MN	MN	MN	MN	MN	BL	İL	İL	İL	İL	GÇ	GÇ
B35L8S20R2	MN	MN	MN	MN	MN	İL	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ	GÇ
B45L8S10R2	MN	MN	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	BL	BL
B45L8S20R2	MN	MN	MN	MN	MN	MN	BL	BL	BL	BL	İL	GÇ

Tablo 5.11 ve Tablo 5.12 ile özetlenen yaklaşım ile, PGV gruplarındaki ivme kayıtlarında elde edilmiş deplasman taleplerinin ortalamaları üzerinden değerlendirme yapılmış olmaktadır. Ancak deplasman taleplerinin ortalama etrafındaki dağılımı dikkate alınmamaktadır. Belirlenen performans düzeyleri istatistiksel olarak ortalamanın anlamından dolayı “beklenen performans düzeyi” olarak değerlendirilmelidir.

Oysa hem depremin doğasından dolayı hem de yapısal sistem özelliklerinin karakteristiklerinden dolayı, performans değerlendirmesinde dikkate alınması gereken bir belirsizlik vardır. Yani göçme bölgesinde olduğu kabul edilen ya da “göçme performans seviyesinde olması beklenen” bir yapı kesinlikle göçmeyebilir. Bu durumda belirsizliğin dikkate alınabilmesi amacıyla olasılık prensiplerinin kullanılması uygun olacaktır.

Başka bir ifade ile, performansa etkisinin belirlenmesi amaçlanan parametrelerin değerlendirilmesi bu yaklaşım ile kolay olmayacaktır. Örneğin Tablo 5.11 ve Tablo 5.12 de ilk iki satırdaki çerçeveler etriye aralıkları farklı olan çerçevelerdir. Her iki çerçeve için de PGV3A-PGV3D grupları arasında göçme performans seviyesi hesaplanmıştır. Bu durumda sargı donatısı oranının etkisini değerlendirmek mümkün olamamaktadır.

Hem depremden kaynaklanan belirsizliklerin, hem de parametrelerin etkisinin dikkate alınabilmesi için olasılık yaklaşımının kullanılması daha uygun olacaktır. Olasılık yaklaşımının kullanılabilmesi için Tablo 4.10’da verilen kapasite verileri ve Tablo 5.9’da verilen ortalama deplasman verilerinin yanı sıra Tablo 5.10’da verilen standart sapma değerleri de kullanılacaktır.

Standart sapmaların dikkate alınması ile, maksimum deplasman taleplerinin ortalama etrafındaki dağılımları dikkate alınabilecektir. Bu durumda deplasman talebinin herhangi bir değeri aşma olasılığı hesaplanabilecektir.

Maksimum deplasman değerlerinin her bir çerçeve ve PGV grubu için normal dağıldığı kabul edildiğinde herhangi bir hasar seviyesine ait deplasman limitinin aşılma olasılığı hesaplanabilir. Örnek olması açısından Y yönündeki çerçevelerde belirgin hasar seviyesine ve ileri hasar seviyesine ait deplasman limitlerinin (GV ve GÇ) aşılma olasılığı yani ileri hasar bölgesinde ya da göçme bölgesinde olma olasılığı sırası ile Tablo 5.13 ve Tablo 5.14’te verilmiştir.

Tablo 5.13 Y Yönündeki çerçeveler için GV hasar seviyesi aşılma olasılığı

Modeller	PGV1.A	PGV1.B	PGV1.C	PGV1.D	PGV2.A	PGV2.B	PGV2.C	PGV2.D	PGV3.A	PGV3.B	PGV3.C	PGV3.D
B35L6S10R1	0.00	0.01	0.13	0.17	0.36	0.42	0.63	0.61	0.73	0.77	0.79	0.81
B35L6S20R1	0.01	0.03	0.21	0.27	0.48	0.55	0.71	0.70	0.78	0.82	0.83	0.84
B45L6S10R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.08	0.11	0.21	0.40	0.46	0.59
B45L6S20R1	0.00	0.00	0.03	0.03	0.23	0.06	0.31	0.41	0.53	0.70	0.75	0.79
B35L6S10R2	0.00	0.00	0.01	0.04	0.17	0.18	0.36	0.40	0.54	0.62	0.69	0.75
B35L6S20R2	0.01	0.02	0.05	0.14	0.35	0.37	0.52	0.58	0.67	0.76	0.78	0.84
B45L6S10R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.10	0.25	0.19	0.41
B45L6S20R2	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.07	0.11	0.21	0.32	0.51	0.45	0.62
B35L8S10R1	0.00	0.01	0.02	0.07	0.13	0.48	0.65	0.67	0.62	0.67	0.73	0.72
B35L8S20R1	0.00	0.04	0.05	0.15	0.25	0.60	0.73	0.73	0.70	0.75	0.78	0.78
B45L8S10R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10	0.13	0.26	0.28	0.43	0.49
B45L8S20R1	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.10	0.29	0.33	0.47	0.52	0.61	0.66
B35L8S10R2	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08	0.39	0.48	0.49	0.53	0.52	0.60	0.61
B35L8S20R2	0.00	0.00	0.03	0.08	0.18	0.52	0.61	0.61	0.64	0.63	0.69	0.70
B45L8S10R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.10	0.14	0.27	0.37
B45L8S20R2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.06	0.15	0.22	0.26	0.36	0.45	0.56

Tablo 5.13 incelendiğinde hem PGV gruplarının hem de parametrelerin, belirgin hasar seviyesinin aşılma olasılığına etkisi görülmektedir. Sütunlar boyunca sağa doğru gidildiğinde yani PGV değerleri arttığında her bir çerçeve için hasar seviyesinin aşılma olasılığının arttığı görülmektedir.

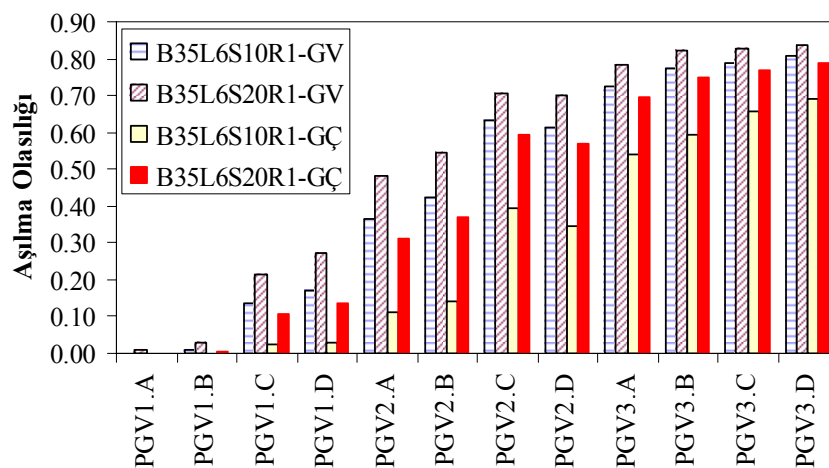
Örneğin B35L6S10R1 modelinde (ilk satır) belirgin hasar seviyesinin aşılma olasılığı PGV1A için %0 iken, PGV1D için %17, PGV3D için %81'dir. Benzer şekilde 1. ve 2. satır incelendiğinde etriye aralığının artmasının hasar görebilme olasılığını artırdığı görülmektedir. 1. ve 3. satır beraber incelendiğinde ise (kolon boyutunun etkisinin değerlendirilmesi amacıyla) kolon boyutu arttığında hasar görebilme ihtimalinin belirgin olarak azaldığı görülebilir.

Aynı şekilde hem parametrelerin hem de PGV gruplarının ileri hasar seviyesine ait limit deplasmanların aşılma olasılığına etkisi Tablo 5.14'te görülmektedir. Tablo 5.13 ve Tablo 5.14 beraber incelendiğinde de her bir yapı modeli ve PGV grubu için belirgin hasar seviyesinin aşılma olasılığının, ileri hasar seviyesinin aşılma olasılığına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 5.14 Y Yönündeki çerçeveler için GÇ hasar seviyesi aşılma olasılığı

Modeller	PGV1.A	PGV1.B	PGV1.C	PGV1.D	PGV2.A	PGV2.B	PGV2.C	PGV2.D	PGV3.A	PGV3.B	PGV3.C	PGV3.D
B35L6S10R1	0.00	0.00	0.02	0.03	0.11	0.14	0.40	0.35	0.54	0.59	0.66	0.69
B35L6S20R1	0.00	0.00	0.10	0.13	0.31	0.37	0.59	0.57	0.70	0.75	0.77	0.79
B45L6S10R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.12	0.15	0.33
B45L6S20R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.13	0.18	0.30	0.50	0.56	0.66
B35L6S10R2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.08	0.24	0.26	0.43	0.47	0.60	0.67
B35L6S20R2	0.00	0.00	0.02	0.06	0.21	0.23	0.40	0.45	0.58	0.66	0.72	0.78
B45L6S10R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.07	0.25
B45L6S20R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.06	0.13	0.21	0.40	0.34	0.53
B35L8S10R1	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.29	0.50	0.53	0.47	0.51	0.62	0.61
B35L8S20R1	0.00	0.01	0.01	0.07	0.13	0.48	0.65	0.66	0.62	0.66	0.73	0.72
B45L8S10R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08	0.08	0.22	0.28
B45L8S20R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.18	0.22	0.36	0.39	0.52	0.57
B35L8S10R2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.30	0.37	0.38	0.43	0.43	0.52	0.53
B35L8S20R2	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10	0.43	0.52	0.52	0.56	0.55	0.63	0.64
B45L8S10R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.15	0.23
B45L8S20R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.15	0.19	0.26	0.37	0.48

Şekil 5.18’de örnek olarak seçilen B35L6S10R1 ve B35L6S20R1 modellerinde Y yönündeki çerçevelerin belirgin ve ileri hasar seviyelerinin aşılma olasılığı verilmiştir. Hem etriye aralığının artmasının, hem de PGV değerlerinin büyümesinin hasar olasılığını artırdığı Şekil 5.18’de açık olarak görülmektedir.

**Şekil 5.18** Y yönü için belirgin ve ileri hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları

Çerçvelere ait hasar seviyelerinin aşılma olasılıklarının yer hareketi parametresinin fonksiyonu olarak gösterilmesi durumunda, hasar görübilirlik eğrileri elde edilmiş olacaktır. Tez çalışmasında yer hareketi parametresi olarak PGV seçilmiştir. Dolayısıyla hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları, her bir hasar seviyesi ve her bir çerçeve için PGV'nin fonksiyonu olarak elde edilebilecektir.

6. HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ

6.1. Giriş

Deprem kayıp tahminleri, gelecek depremlerden doğabilecek zararların, insan kayıplarının ve ekonomik etkilerin tahminleridir. Deprem riskinin belirlenmesinde deterministik ve olasılıksal olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Deterministik yaklaşımda, oluşmalarına dair olasılığın kesin belli olmadığı belirli senaryolar tehlike modeli olarak referans alınmakta, beklenen maksimum deprem büyüklüğü için senaryolar üretilmekte ve bu senaryolar altında hasar ve kayıplar değerlendirilmektedir. Olasılıksal yaklaşımda ise, ilgili bölgeye etki eden birçok olay ve etmen ile ilişkili tüm olasılıkları hesaba katan tehlike modelleri referans alınmakta ve yüzlerce ya da binlerce senaryonun simülasyonları baz alınmaktadır (McGuire 2001).

Deprem riskinin belirlenmesi için iki ana konuda çalışmalar yapılmaktadır: sismik tehlike verilerinin elde edilmesi ve hasar görebilecek yapı verilerinin elde edilmesi. Deprem tehlikesi ile hasar görebilir yapı stoğu bir araya geldiğinde deprem riskinin varlığından bahsedilebilir. Eğer bir bölgede deprem tehlikesi var ise (belirli büyüklükte deprem olma ihtimali) ve o bölgede depremden dolayı hasar görebilecek yapı stoğu yok ise deprem riski söz konusu değildir.

Depremler, oluş biçiminden yapıyı etkileyen titreşim karakteristiklerine kadar bir çok belirsizlik içermektedir. Yapının depreme vereceği tepkide de yapısal karakteristiklere bağlı belirsizlikler vardır. Olasılıksal yaklaşımın aracı olarak kullanılan hasar görebilirlik eğrileri ile deprem riskinin tahmininde bu belirsizlikler hesaba katılmış olmakta ve elde edilen sonuçlar olasılık teorisinin temel ilkeleri kullanılarak değerlendirilmektedir.

Bu bölümde yapı stoğunun, yer hareketi parametresine bağlı olarak hasar görebilme ihtimalinin belirlenmesi amacıyla kullanılan hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi ile ilgili bilgi verilmiştir ve seçilen 16 tipik sanayi yapısını temsil eden çerçeveler için hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Bu şekilde tez çalışmasında dikkate alınan

farklı dayanım, rijitlik ve süneklik özelliklerine sahip prefabrik sanayi yapılarının deprem dolayısıyla hasar görebilme ihtimali ortaya konmuştur. Eğer prefabrik yapıların bulunduğu bölgedeki deprem tehlikesi de ortaya konursa, prefabrik sanayi yapılarının karşı karşıya olduğu deprem riski belirlenmiş olacaktır.

Hasar görebilirlik eğrileri tek başlarına kullanıldıklarında deprem riski ya da beklenecek kayıplar hakkında bilgi veremezler. Ancak deprem tehlikesinin ve maliyet verilerinin de beraber dikkate alınması durumunda deprem riskinin tahmin edilebilmesi mümkündür.

6.2. Hasar Görebilirlik Eğrileri

Bir yapının hasar görebilirliği, gözönüne alınan deprem için yapılarda değişik seviyelerde hasar meydana gelebilme olasılığıdır. Hasar görebilirlik matematiksel olarak koşullu olasılık ifadesi ile gösterilebilir:

$$\text{Hasar Görebilirlik} = P[RS \geq r_s | IM] \quad (6.1)$$

Denklem 6.1’de RS analiz sonucu hesaplanmış yapısal tepkiyi, r_s öngörülen hasar seviyesi için yapısal tepkinin minimum değerini ifade etmektedir. IM ifadesi yapısal tepkinin hasar limit durumunu aşma olasılığının hesaplanması amacıyla kullanılan yer hareketi parametresidir. O halde, yer hareketi parametresinin IM olması koşulu ile, yapısal tepkinin hasar seviyelerine ait limit deplasman değerini aşması olasılığı hasar görebilirlik olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla hasar görebilirliğin hesaplanması için değerlendirmede kullanılacak yapısal tepkinin, hasar seviyelerinin limit değerlerinin ve yer hareketi parametresinin seçilmesi gerekmektedir.

Gözönüne alınan hasar limitinin aşılma olasılığı, iki yolla gösterilebilmektedir: hasar olasılık matrisleri (Whitman ve Cornell 1976) ve hasar görebilirlik eğrileri. Hasar olasılık matrisleri, hasar dağılımının çizelge halinde gösterilmesi ilkesine dayanır. Şekil 6.1’de ATC-13’te (1985) yer alan hasar olasılık matrisi görülmektedir. Matriste, değişik deprem riskleri için farklı seviyelerde hasar olasılığı, kesikli değişken olarak verilmektedir.

Hasar görebilirlik eğrilerinde ise hasar olasılığı sürekli değişken olarak ifade edilmektedir. Şekil 6.2’de örnek bir hasar görebilirlik eğrisi verilmiştir. Eğrinin yatay eksenini yer hareketi parametresini, dikey eksenini ise hasar seviyelerinin aşılma olasılığının göstermektedir. Şekil 6.2’de yer hareketi parametresi olarak *PGV* kullanılmış, üç farklı hasar seviyesinin aşılma olasılığı *PGV* değerine bağlı olarak verilmiştir.

HASAR DURUMU	MERCALLI ŞİDDETİ						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
HASARSIZ	20.4	---	---	---	---	---	---
HAFİF HASAR	70.3	15.5	---	---	---	---	---
AZ HASAR	9.3	84.5	88.4	---	---	---	---
ORTA HASAR	---	---	11.6	28.9	1.4	---	---
AĞIR	---	---	---	71.1	81.6	38.7	3.8
ÇOK AĞIR	---	---	---	---	17.0	61.3	88.7
GÖÇME	---	---	---	---	---	---	7.5

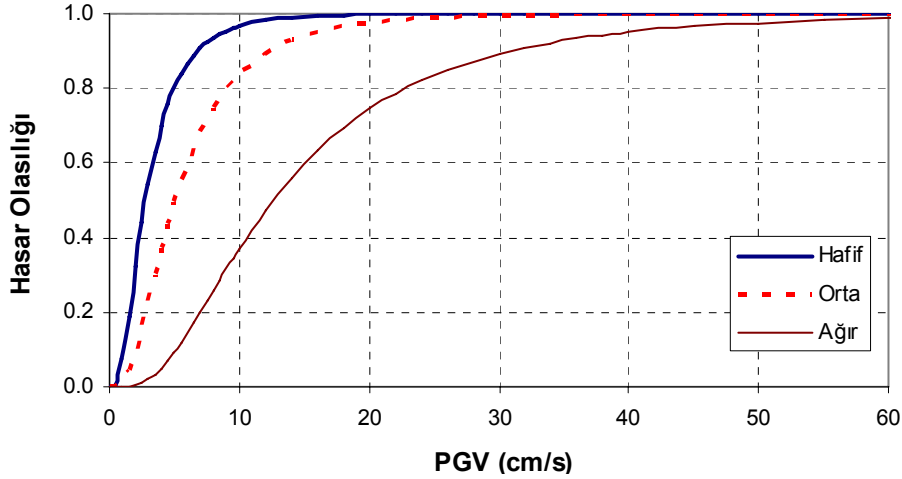
Şekil 6.1 Hasar Olasılık Matrisi (ATC-13 1985)

Hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilebilmesi için kullanılacak veriler geçmiş depremlerden, deney sonuçlarından, sayısal analiz sonuçlarından ya da mühendislik birikimlerinden elde edilmektedir. Bu verilerin elde edilme biçimlerine bağlı olarak eğriler ampirik ya da analitik olarak sınıflandırılmaktadır.

Ampirik eğrilerin oluşturulmasında, deney sonuçlarının ya da geçmiş depremlerde gözlenen yapısal hasarların dağılımı dikkate alınmaktadır. Daha sonra öngörülen hasar seviyeleri için hasar oranları hesaplanmakta ve hasar seviyeleri için yer hareketi parametresine bağlı hasar eğrileri türetilmektedir (Kircher vd 1997, Basoz ve Kiremidjian 1997, Yamazaki vd 2000, Shinozuka vd 2000a, Rossetto ve Elnashai 2003).

Analitik olarak eğrilerin oluşturulmasında, gözönüne alınacak deprem tehlikesi spektral parametreler (ivme, hız ya da deplasman) ya da yer hareketi parametreleri (maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, depremin büyüklüğü vs) ile ifade edilmektedir. Yapının depreme verdiği tepki ise deplasman, göreceli deplasman ya da

önceden tanımlanmış hasar indeksleri gibi parametreler ile temsil edilmektedir. Bu şekilde gözönüne alınan deprem için yapıların tepkisi belirlenmektedir. Önceden tanımlanmış hasar seviyelerine ait limit değerler ile hesaplanan yapısal tepki karşılaştırılmakta ve yapının performansı ya da hasar seviyesi belirlenmiş olmaktadır.



Şekil 6.2 Örnek hasar görebilirlik eğrisi

Hasar olasılık eğrilerinin elde edilmesi için incelenecek yapı stoğu ve bu yapı stoğunun yapısal özellikleri belirlenmelidir. Sonrasında yapısal özellikler dikkate alınarak yapı modeli oluşturulmalıdır. Hasar göstergesi olarak kullanılacak parametre ve hasar parametresinin öngörülen performans seviyeleri için limit değerleri belirlenmelidir. Doğrusal ötesi analiz ile hasar parametresine ait talep değerleri elde edilmeli ve öngörülen hasar limitler ile karşılaştırılarak yapının performans seviyesine karar verilmelidir. Tek katlı prefabrik yapılar için yapısal model oluşturulmuştur. Kapasite eğrileri ve bu eğriler üzerinde hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar tanımlanmıştır. Doğrusal ötesi dinamik analiz ile maksimum deplasman talepleri elde edilmiştir.

6.2.1. Yapısal tepki parametresi

Yapıya etkiyen deprem çok kısa süreli, dinamik bir etkidir ve yapı bu kısa zamanda önemli bir yatay kuvvet ile zorlanır. Yapının ender görülebilecek şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı ve kalıcı deformasyonların oluşacağı, sonuç olarak yapıda hasar meydana geleceği bilinmektedir. Bu hasarın büyük olması

yapısal stabilitenin bozulması sonucunu doğuracaktır. Dolayısıyla yapıda oluşacak hasar ve yapının deprem performansı, meydana gelecek deplasman ya da deformasyonlarla doğrudan ilgilidir. Yapı performansının deplasmana bağlı olarak belirlenmesinde kullanılacak deformasyon değerleri genel olarak global (çatı deplasmanı) ya da yerel (görelî kat ötelenmesi ya da plastik mafsal dönmeleri) olarak dikkate alınmaktadır.

Kim ve Shinozuka (2004) köprü kolonları, Erberik ve Elnashai (2003) kirişsiz döşeme sistemine sahip orta yükseklikteki betonarme yapılar, Akkar vd (2005) düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için yaptıkları çalışmalarda, hasar parametresi olarak görelî kat ötelenmesi oranını kullanmışlardır. Erberik (2007) Türkiye'deki betonarme yapıların hasar görebilirliği ile ilgili olarak yaptığı çalışmasında yine görelî kat ötelenmesi oranını kullanmıştır.

Yaygın şekilde kullanılan hasar parametrelerinden birisi maksimum deformasyon ve çevrimsel enerjinin kombinasyonu olarak Park ve Ang (1985) tarafından önerilen hasar indeksidir. Hasar görebilirlik eğrilerinin türetilmesinde hasar parametresi olarak Park-Ang indeksinin kullanıldığı çalışmalara örnek olarak iki çalışma verilmiştir.

Karim ve Yamazaki (2001) analitik yaklaşımla, otoyol köprüleri için hasar görebilirlik eğrisi önerdikleri çalışmada, Karimi ve Bakhshi (2006) ise yığma yapılar için hasar görebilirlik eğrileri önerdikleri çalışmada hasar parametresi olarak Park-Ang indeksini kullanmışlardır.

Tez çalışmasında prefabrik sanayi yapılarının hasar seviyelerinin belirlenmesi amacıyla kolonların alt uçlarındaki kritik kesitlerinde beton ve çeliğe ait şekil değiştirmelere bağlı olarak hesaplanan kolon tepe deplasmanı kullanılmıştır.

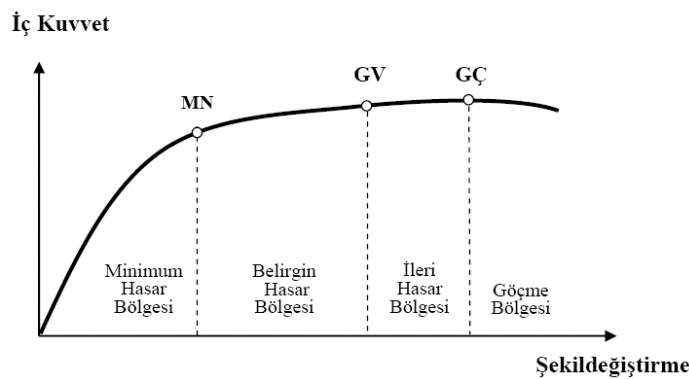
6.2.2. Hasar seviyeleri ve limit deplasmanlar

Yapısal tepki parametresi, performans değerlendirmesi amacıyla hasar parametresi olarak kullanılmaktadır. Örneğin yapısal tepki parametresi olarak görelî ötelenme, toplam ötelenme ya da farklı hasar indeksleri seçildiğinde amaç, bu tepkinin öngörülen limit durumlarla karşılaştırılarak hasar durumunun belirlenmesidir.

Tez çalışmasında, prefabrik yapıların hasar durumlarının tespiti için, DBYYHY'te öngörülen hasar seviyeleri ve hasar seviyelerine limit değerler kullanılmıştır.

DBYYHY’te kritik kesitler için dört hasar bölgesi tanımlanmıştır: minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme bölgeleridir.

Kritik kesitin hasar durumu ise, kesitte beton ve çeliğin şekil değiştirmelerine bağlı olarak tanımlanmış limit değerler kullanılarak belirlenmektedir. Şekil 6.3’te DBYYHY’te tanımlanan hasar bölgeleri ve bu hasar bölgelerine ait limit değerler verilmiştir. Buna göre minimum hasar sınırını (MN) aşmayan kesitler minimum hasar bölgesinde, belirgin hasar sınırını (GV) aşmayan kesitler belirgin hasar bölgesinde, ileri hasar sınırını (GÇ) aşmayan kesitler ise ileri hasar bölgesinde sayılacaktır. İleri hasar sınırını aşan kesitler ise göçme bölgesinde kabul edilecektir.



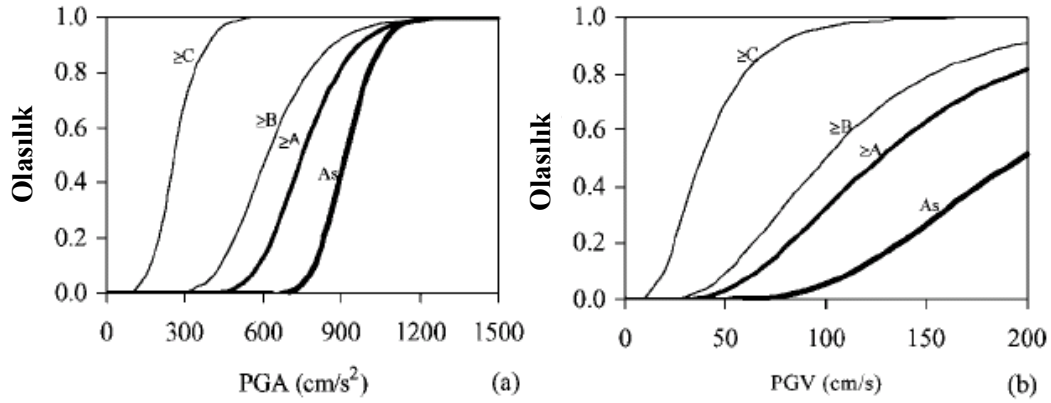
Şekil 6.3 DBYYHY’te verilen kesit hasar bölgeleri ve limit değerler

Herhangi bir kesitin hasar sınırları için maksimum eğrilik değeri, betonun ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri için hasar seviyesine ait koşullardan hangisi daha önce aşıyorsa, aşılma anındaki eğrilik değeri olarak kabul edilecektir. Her bir hasar sınırı için eğrilik değerlerine bağlı olarak ise kolon üst ucundaki deplasman limitleri belirlenecektir. MN, GV ve GÇ sınırları için beton ve çeliğe ait şekil değiştirme değerleri ve bu değerlere bağlı olarak tipik prefabrik yapılardaki kolonların üst ucundaki deplasman değerleri Bölüm 4’te verilmiştir.

6.2.3. Yer hareketi parametresi

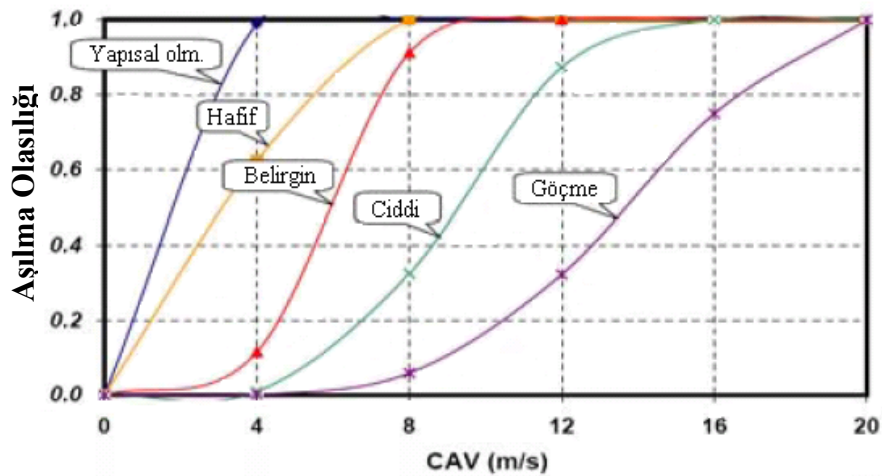
Hasar olasılık eğrilerinin elde edilmesi için gözönüne alınacak depremler, depremlere ait bir parametre ile ifade edilmektedir. Literatürde farklı yer hareketi parametrelerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur.

Karim ve Yamazaki (2001) analitik yaklaşımla, otoyol köprüleri için hasar görebilirlik eğrisi önerdikleri çalışmalarında lognormal dağıldığını kabul ettikleri *PGA* ve *PGV* parametrelerini kullanmışlardır. Şekil 6.4'te aynı tip köprü için *PGA* ve *PGV*'ye bağlı olarak türetilen eğriler görülmektedir.



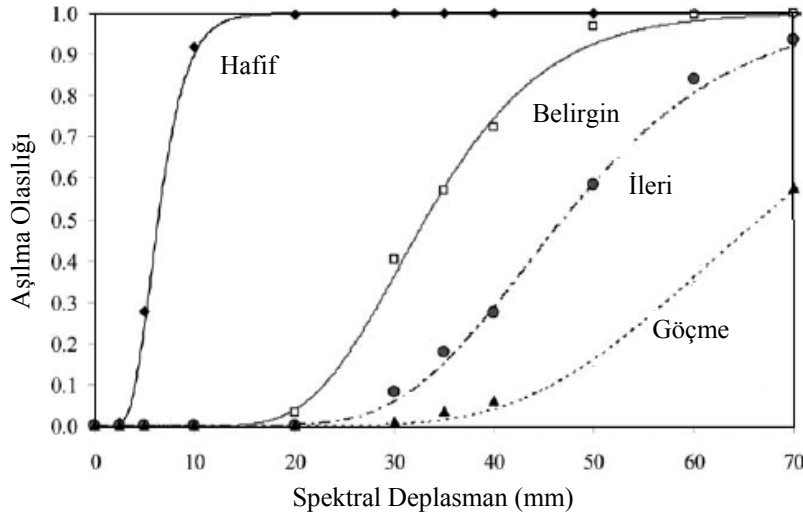
Şekil 6.4 Köprüler için *PGA* ve *PGV*'ye bağlı hasar olasılık eğrileri

Karimi ve Bakhshi (2006) analitik yaklaşımla yığma yapılar için hasar görebilirlik eğrileri önermişlerdir. Çalışmada yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen *CAV* (Kümülatif Mutlak Hız) kullanılmıştır. Şekil 6.5'te çalışmada kullanılan yığma yapı modellerinden birisi için öngörülen hasar seviyelerinin aşılma olasılığı, *CAV*'a bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 6.5 Yığma yapılar için *CAV* değerine bağlı hasar olasılık eğrileri

Kirişsiz döşeme sistemine sahip orta yükseklikteki yapılar için geliştirilen hasar görebilirlik eğrileri için (Erberik ve Elnashai 2004) lognormal dağılıma uyduğu varsayılan S_d değeri kullanılmıştır (Şekil 6.6). Aynı çalışmada kiriş-kolon çerçeve sistemleri için türetilen hasar görebilirlik için de S_d parametresi kullanılmıştır.



Şekil 6.6 Kirişsiz döşemeli yapılar için S_d değerine bağlı hasar olasılık eğrileri

Kirçil ve Polat (2006) İstanbul'daki orta yükseklikteki binalar için hasar görebilirlik eğrileri önermişlerdir. Dikkate alınan kat sayıları için, lognormal dağıldığı kabul edilen PGA , S_a ve S_d parametrelerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

Türkiye'deki betonarme binalardaki yapısal yetersizliklerin hasar görebilirlik eğrileri ile ifade edildiği bir çalışma Ay vd (2006) tarafından yapılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak kullanılan PGV 'ye göre gruplanmış 60 ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal ötesi analiz ile talep istatistikleri elde edilmiştir.

Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için hasar görebilirlik eğrilerinin önerildiği başka bir çalışma Akkar vd (2005) tarafından yapılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen PGV kullanılmıştır.

Erberik (2007) Türkiye'deki betonarme binalar için hasar görebilirlik eğrileri önermiştir. 1999 Marmara depremi sonrasında yapılan gözlem çalışması sonucu elde edilen bina ve hasar verileri kullanılmış ve önerilen hasar görebilirlik eğrileri ile hasar verileri karşılaştırılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak PGV kullanılmıştır.

Periyodu büyük olan tek serbestlik dereceli sistemlerde doğrusal ötesi dinamik analiz sonucu elde edilen maksimum deplasman talebi ile *PGV* arasında iyi bir korelasyon bulunmaktadır (Akkar ve Özen 2005). *PGV* ile deprem büyüklüğü ya da depremin hissedilen şiddeti arasında da güçlü bir korelasyon bulunduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Wald vd 1999, Wu vd 2003).

Tek katlı prefabrik sanayi yapılarının efektif titreşim periyodununun 1.0s-3.5s arasında olabileceği daha önce belirtilmiştir. İstatistiksel olarak yapılacak hasar görebilirlik çalışması için tipik prefabrik yapıları için hesaplanacak maksimum deplasman talebinin belirli bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Deplasman talebi ile ilişkili olduğu bilinen *PGV* değeri, hasar görebilirlik eğrilerinin türetilmesi için yer hareketi parametresi olarak seçilmiştir.

6.3. Tipik Yapılar İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

Analitik olarak hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde gözönüne alınan her bir prefabrik yapı modeli için daha önce yapılan hesaplar şu şekildedir:

- Analizde kullanılacak ivme kayıtları seçilmiş ve *PGV* değerleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.
- Yapıyı temsil eden çerçeveler için kapasite eğrileri elde edilmiştir.
- Hasar seviyelerine ait sınır deplasman değerleri, kapasite eğrisi üzerinde belirlenmiştir.
- Tek serbestlik dereceli sistemin periyot ve yatay dayanım oranı belirlenmiştir.
- Tek serbestlik dereceli sistemin ivme kayıtlarına ait deplasman talepleri, dinamik analiz ile belirlenmiştir.

Bu aşamada yer hareketi parametresine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi amacıyla yapılacak işlemler ise şu şekildedir:

- Her bir çerçeve için, *PGV* gruplarına ait ivme kayıtlarının her birinden elde edilen deplasmanlar kullanılarak, çerçevenin hasar durumuna karar verilecektir.

- Her bir çerçeve için, *PGV* gruplarına ait ivme kayıtlarından elde edilen hasar durumları kullanılarak, hasar seviyelerinin aşıldığı ivme kaydı sayısı belirlenecektir. *PGV* grubundaki toplam ivme kaydı sayısı belli olduğundan, hasar seviyelerinin aşılma oranları belirlenecektir.
- İlk iki adımda bahsedilen adımlar her bir çerçeve(16 adet), her bir *PGV* grubu (12 Adet) ve her bir hasar seviyesi (MN, GV, GÇ) için tekrarlanacaktır.
- *PGV* gruplarını temsil eden grup ortalama değerleri ve her bir *PGV* grubu için hasar seviyelerinin aşılma oranları belirlenmiş olduğundan, lognormal dağıldığı kabul edilen *PGV*'nin ortalama ve standart sapma değerleri tahmin edilecektir.
- *PGV*'nin her bir çerçeve ve hasar seviyesi için ortalama ve standart sapma değerlerinin tahmininde en küçük kareler yöntemi kullanılacaktır.
- Her bir çerçeve ve hasar seviyesi için *PGV*'ye bağlı olarak hasar görülebilirlik eğrileri çizilecektir.

Yapılacak her işlem adımı için, örnek olarak seçilecek çerçevede hesaplar açık olarak ifade edilecek ve tüm çerçeveler için elde edilen değerler tablolar halinde verilecektir.

6.3.1. Çerçevelerin hasar seviyelerinin aşılma oranları

Örnek olarak B35L6S10R1 modeline ait X yönündeki iç çerçeve seçilmiştir. Çerçeveye ait periyot ve yatay dayanım oranı sırası ile 2.27s ve %6.86 olarak, çerçeveye ait MN, GV ve GÇ deplasman sınırları ise sırası ile 11.9, 24.1 ve 30.3cm olarak hesaplanmış idi.

Örnek *PGV* grubu olarak ise *PGV3A* grubu seçilmiştir. Tablo 6.1'de *PGV3A* grubun oluşturan 29 ivme kaydı ile hesaplanan maksimum deplasman talebi (cm) verilmiştir. Hesaplanan deplasman talebi MN, GV ve GÇ deplasman sınırlarından herhangi birini geçmiş ise 1, geçmemiş ise 0 değeri yazılmıştır.

MN, GV ve GÇ sütunlarındaki değerlerin toplamı, *PGV3A* grubundaki 29 kayıttan kaç tanesinde ilgili hasar seviyesinin aşıldığını göstermektedir. Sütunların toplamı sırası

ile 27, 20 ve 15'tir. Yani 29 ivme kaydının 27 tanesinde MN sınırı aşılmakta, 20 tanesinde GV sınırı aşılmakta ve 15 tanesinde GÇ sınırı aşılmaktadır. Başka bir deyişle MN sınırını aşan 27 kaydın içinde 20 tanesi GV sınırını da aşmaktadır. GV sınırını aşan 20 tanenin içinde de GV sınırını aşan 15 ivme kaydı vardır.

Tablo 6.1 PGV3A Grubunda B35L6S10R1 modeli hasar seviyelerinin aşıma sayıları

Grup	PGV	Talep	MN	GV	GÇ
PGV3.A	61.21	13.94	1	0	0
PGV3.A	62.28	49.47	1	1	1
PGV3.A	64.19	21.38	1	0	0
PGV3.A	62.59	35.89	1	1	1
PGV3.A	62.03	11.26	0	0	0
PGV3.A	60.10	14.53	1	0	0
PGV3.A	64.85	49.50	1	1	1
PGV3.A	62.15	35.35	1	1	1
PGV3.A	60.58	36.02	1	1	1
PGV3.A	61.44	31.77	1	1	1
PGV3.A	62.08	5.73	0	0	0
PGV3.A	64.32	34.06	1	1	1
PGV3.A	62.37	49.55	1	1	1
PGV3.A	61.56	46.93	1	1	1
PGV3.A	63.70	25.77	1	1	0
PGV3.A	62.84	26.48	1	1	0
PGV3.A	61.26	25.43	1	1	0
PGV3.A	61.92	30.57	1	1	1
PGV3.A	63.18	70.83	1	1	1
PGV3.A	60.03	37.72	1	1	1
PGV3.A	62.55	26.39	1	1	0
PGV3.A	62.49	43.99	1	1	1
PGV3.A	62.52	47.19	1	1	1
PGV3.A	62.42	28.81	1	1	0
PGV3.A	62.47	22.42	1	0	0
PGV3.A	62.45	21.59	1	0	0
PGV3.A	62.56	34.77	1	1	1
PGV3.A	62.54	18.78	1	0	0
PGV3.A	62.48	22.25	1	0	0

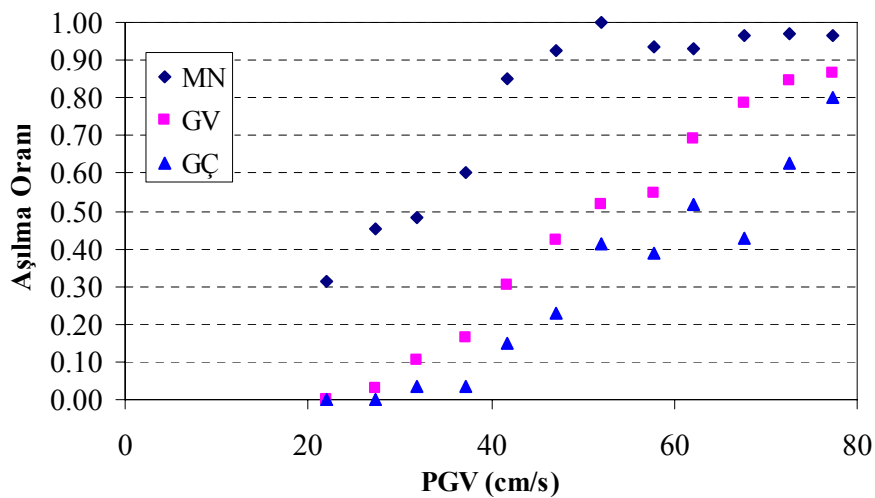
Hasar seviyelerinin aşıma oranları, hasar seviyeleri MN, GV ve GÇ için hesaplanan aşıma sayılarının (sırasıyla 27, 20, 15), PGV3A grubunda bulunan toplam ivme sayısına bölümü ile elde edilmiştir. Sonuç olarak MN, GV ve GÇ hasar seviyeleri için hasar seviyesi aşıma oranları sırasıyla 0.931, 0.690 ve 0.517 olarak hesaplanmıştır. Burada özetlendiği şekli ile örnek çerçeve için tüm *PGV* grupları ve hasar seviyelerine ait hasar seviyesi aşıma sayıları ve aşıma oranları Tablo 6.2'de verilmiştir. Tablo

6.2’de ortalama, *PGV* grubundaki ivme kayıtlarının *PGV* değerlerinin ortalamasını (cm/s) ve *n* her bir gruptaki ivme kaydı sayısını göstermektedir. Hasar seviyelerine ait aşılma oranlarının *PGV* değerinin artması ile arttığı görülmektedir.

Tablo 6.2 B35L6S10R1-X-İÇ çerçevesi için aşılma oranları

Grup	PGV		Aşılma Sayısı			Aşılma Oranı		
	Ortalama	n	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
PGV1.A	21.92	32	10	0	0	0.313	0.000	0.000
PGV1.B	27.29	31	14	1	0	0.452	0.032	0.000
PGV1.C	31.84	29	14	3	1	0.483	0.103	0.034
PGV1.D	37.32	30	18	5	1	0.600	0.167	0.033
PGV2.A	41.77	33	28	10	5	0.848	0.303	0.152
PGV2.B	47.12	26	24	11	6	0.923	0.423	0.231
PGV2.C	52.13	29	29	15	12	1.000	0.517	0.414
PGV2.D	57.69	31	29	17	12	0.935	0.548	0.387
PGV3.A	62.06	29	27	20	15	0.931	0.690	0.517
PGV3.B	67.59	28	27	22	12	0.964	0.786	0.429
PGV3.C	72.54	32	31	27	20	0.969	0.844	0.625
PGV3.D	77.28	30	29	26	24	0.967	0.867	0.800

Şekil 6.7’de ise örnek çerçeve için *PGV* değerleri ve hasar seviyelerine ait aşılma oranlarının dağılımı verilmiştir. Dağılım grafiğinde düşey eksen *PGV* gruplarına ait ortalama *PGV* değerlerini, yatay eksen ise hasar seviyelerine ait aşılma oranlarını ifade etmektedir. Herhangi bir *PGV* değeri için aşılma oranları beklendiği gibi büyükten küçüğe doğru MN, GV, GÇ olarak sıralanmaktadır.



Şekil 6.7 B35L6S10R1-X-İÇ çerçevesi için aşılma oranları

6.3.2. Normal ve lognormal dağılım fonksiyonları

Hesaplanan hasar oranları kullanılarak, iki parametrelili lognormal dağılım kabulü ile hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Lognormal dağılımın parametreleri ortalama ve lognormal standart sapma en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir.

Lognormal dağılım inşaat mühendisliğinde hidrolik değişkenlerde, yorulma problemlerinde ve depremlerle ilgili problemlerde geniş ölçüde kullanılmıştır (Bayazıt ve Oğuz 1994).

Lognormal dağılım ile ilgili bilgiler, normal dağılım fonksiyonu ve dağılımın parametreleri cinsinden ifade edilmektedir. Bu sebeple normal dağılım ile ilgili bilgi verilecektir.

İstatistikte geniş olarak kullanılan en önemli sürekli olasılık dağılımı normal dağılımdır (Gauss dağılımı). Doğada, sanayide, bilimsel araştırmalarda ve tüm mühendislik alanlarında karşılaşılan rastgele değişkenlerin deneysel dağılımları normal dağılıma uyar.

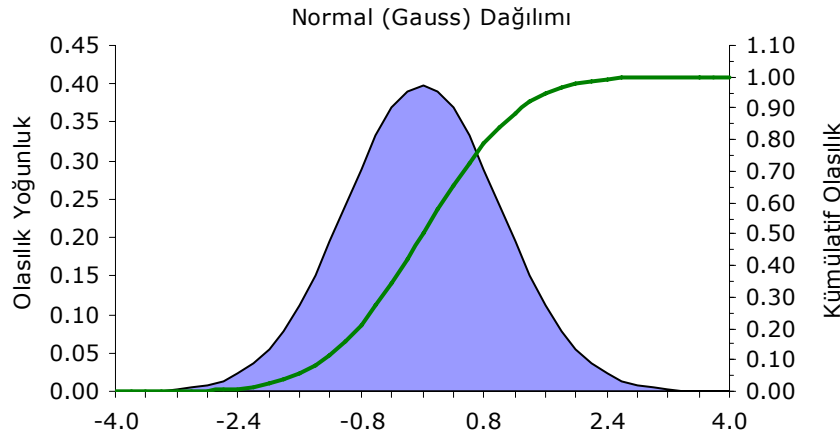
Ortalaması μ_x ve standart sapması σ_x olan ve normal dağılan X değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 6.2’de verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right]} \quad -\infty < x < \infty \quad (6.2)$$

Normal dağılımın kümülatif olasılık fonksiyonu analitik olarak elde edilememekte ancak sayısal integrasyon yolu ile hesaplanabilmektedir. Farklı standart sapma ve olasılığa sahip rastgele değişkenler için tek bir standart dağılım fonksiyonu tanımlayabilmek amacıyla, X değişkeni standart z değişkeni haline getirilmektedir (Denklem 6.3).

$$z = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x} \quad (6.3)$$

Standart z değişkeninin standart sapması 1 ve ortalaması 0'dır. Standart normal dağılıma ait olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrileri Şekil 6.8'de verilmiştir. Standart normal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu altında kalan alan 1'e eşittir.



Şekil 6.8 Standart normal dağılıma ait olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrisi

Bir X rastgele değişkenine $Y=\ln X$ şeklinde dönüşüm uygulandığında Y değişkeninin dağılımı normal dağılıma uyuyor ise X 'in dağılımına lognormal dağılım denmektedir. Bu durumda X 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 6.4'te verildiği şekilde olmaktadır.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]} \quad x \geq 0 \quad (6.4)$$

Denklem 6.4'te μ_y ve σ_y , Y değişkeninin ortalaması ve standart sapmasıdır. Y değişkeninin ortalaması μ_y ve standart sapması σ_y ile X değişkeninin ortalaması μ_x ve standart sapması σ_x arasında Denklem 6.5 ile verilen ilişki vardır.

$$\mu_y = \ln \left[\mu_x \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right)^{0.5} \right] \quad (6.5a)$$

$$\sigma_y = \left[\ln \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right]^{0.5} \quad (6.5b)$$

Lognormal dağılımda X sadece pozitif değerler alabilmektedir. Çünkü sadece pozitif büyüklüklerin logaritmaları tanımlıdır. Lognormal dağılımın parametrelerini hesaplamak için basit olarak X değişkenine logaritmik dönüşüm uygulanarak Y değerleri elde edilir ve Y değerlerinin ortalaması ve standart sapması hesaplanır.

Lognormal dağıldığı kabul edilen X değişkeni için kümülatif aşılma olasılığı Denklem 6.6 ile hesaplanmaktadır. Denklem 6.6'da Φ standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

$$\Pr(X) = \Phi \left[\frac{\ln X - \mu_y}{\sigma_y} \right] \quad (6.6)$$

Tez çalışmasında yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen *PGV* değeri kullanılmaktadır. Bu durumda Denklem 6.6'da verilen X değişkeni *PGV* değerini ifade etmektedir.

Her bir çerçeve ve hasar seviyesi için elde edilen aşılma oranları kullanılarak *PGV* değerlerinin parametreleri tahmin edildiğinde, *PGV* değerlerine bağlı olarak çerçeve ve hasar seviyeleri için hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiş olacaktır.

6.3.3. Hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri

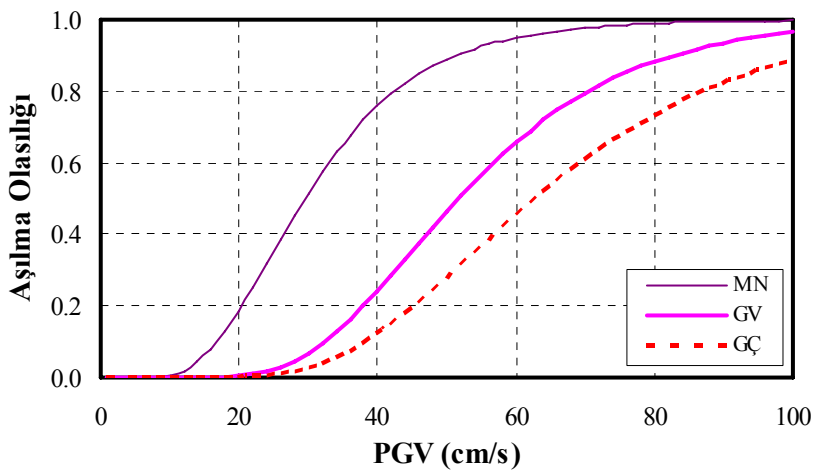
Lognormal dağılım parametrelerinin tahmini için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımda daha önce *PGV* gruplarını temsil eden ortalama *PGV* değerlerine ait olarak elde edilen aşılma oranları ile, μ ve σ parametrelerine sahip olarak lognormal dağıldığı varsayılan *PGV* değerlerinin aşılma oranları arasındaki farkların kareleri toplamının minimum edilmesi hedeflenmiştir.

Örnek olarak seçilen B35L6S10R1 modeli X-İÇ çerçevesine ait aşılma oranları Tablo 6.2'de verilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanıldığında MN, GV ve GÇ hasar seviyeleri için *PGV*'nin parametreleri hesaplanmış ve Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 B35L6S10R1-X-İÇ modeli için hasar olasılık eğrisinin parametreleri

	MN	GV	GÇ
μ_y	3.383	3.945	4.141
σ_y	0.435	0.367	0.385

Şekil 6.9'da, Tablo 6.3'teki veriler kullanılarak elde edilen hasar olasılık eğrileri verilmiştir. Yatay eksen lognormal dağılan *PGV* parametresini, düşey eksen ise hasar seviyelerine ait aşılma olasılıklarını göstermektedir. Her bir hasar seviyesinin aşılma olasılığının *PGV*'nin artması ile arttığı açık olarak görülmektedir.

**Şekil 6.9** B35L5S10R1-X-İÇ çerçevesi için hasar olasılık eğrileri

Eğriye göre örneğin *PGV*'nin 40cm/s olması durumunda B35L6S10R1 nolu prefabrik yapıya ait X-İÇ çerçevesinin minimum hasar seviyesini aşma olasılığı (belirgin hasar görme olasılığı) %75, belirgin hasar seviyesini aşma olasılığı (ileri hasar görme olasılığı) %25 ve ileri hasar seviyesini aşma olasılığı (göçme olasılığı) %10 civarındadır. *PGV*'nin 60cm/s olması durumunda bu olasılıklar sırası ile %90, %65 ve %45 civarındadır. Yani *PGV* 40cm/s'den 60cm/s'ye çıktığında göçme olasılığı %10'dan %45'e çıkmaktadır.

Tablo 6.4'te Y yönündeki tüm iç çerçeveler için hasar seviyelerine ait dağılım parametreleri verilmiştir. Tablo 6.5'te ise X yönündeki çerçeveler için dağılım parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.4 Y yönündeki tipik çerçeveler için dağılım parametreleri

Modeller	MN		GV		GÇ	
	μ_y	σ_y	μ_y	σ_y	μ_y	σ_y
B35L6S10R1	3.271	0.449	3.942	0.348	4.236	0.471
B35L6S20R1	3.352	0.446	3.844	0.364	3.998	0.385
B45L6S10R1	3.462	0.498	4.291	0.229	4.452	0.184
B45L6S20R1	3.482	0.500	4.093	0.292	4.235	0.259
B35L6S10R2	3.653	0.450	4.144	0.356	4.242	0.311
B35L6S20R2	3.686	0.464	4.003	0.371	4.104	0.354
B45L6S10R2	3.921	0.435	4.407	0.250	4.409	0.106
B45L6S20R2	3.916	0.442	4.277	0.290	4.323	0.250
B35L8S10R1	3.616	0.389	4.040	0.455	4.248	0.523
B35L8S20R1	3.585	0.397	3.941	0.424	4.040	0.455
B45L8S10R1	3.630	0.432	4.411	0.348	4.421	0.182
B45L8S20R1	3.634	0.447	4.217	0.365	4.315	0.343
B35L8S10R2	3.794	0.378	4.220	0.515	4.333	0.559
B35L8S20R2	3.813	0.376	4.025	0.464	4.201	0.549
B45L8S10R2	4.003	0.417	4.425	0.233	4.534	0.237
B45L8S20R2	4.025	0.404	4.360	0.396	4.025	0.404

Lognormal dağılım parametreleri belirli olduğundan, herhangi bir çerçeve ya da hasar seviyesi için istenilen PGV değerine karşılık gelen aşılma olasılığı hesaplanabilecektir.

Tablo 6.5 X yönündeki tipik çerçeveler için dağılım parametreleri

Modeller	MN		GV		GÇ	
	μ_y	σ_y	μ_y	σ_y	μ_y	σ_y
B35L6S10R1	3.383	0.435	3.945	0.367	4.141	0.385
B35L6S20R1	3.383	0.435	3.813	0.329	3.945	0.367
B45L6S10R1	3.362	0.460	4.264	0.239	4.409	0.190
B45L6S20R1	3.388	0.446	4.058	0.328	4.212	0.240
B35L6S10R2	3.667	0.372	4.050	0.340	4.224	0.376
B35L6S20R2	3.648	0.377	3.900	0.369	4.015	0.360
B45L6S10R2	3.778	0.484	4.412	0.239	4.476	0.179
B45L6S20R2	3.796	0.468	4.211	0.293	4.306	0.224
B35L8S10R1	3.600	0.369	3.990	0.448	4.212	0.524
B35L8S20R1	3.595	0.380	3.891	0.371	3.990	0.448
B45L8S10R1	3.621	0.425	4.355	0.283	4.525	0.298
B45L8S20R1	3.671	0.423	4.238	0.363	4.297	0.319
B35L8S10R2	3.827	0.427	4.237	0.612	4.303	0.598
B35L8S20R2	3.794	0.417	4.039	0.514	4.203	0.665
B45L8S10R2	3.964	0.400	4.484	0.377	4.564	0.321
B45L8S20R2	3.988	0.380	4.256	0.350	4.301	0.317

Bu amaçla Denklem 6.6'da çerçeveler için öngörülen hasar seviyelerine ait dağılım parametreleri ve *PGV* değerinin kullanılması yeterli olacaktır. Seçilen parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisi lognormal dağılımın parametreleri incelendiğinde görülmektedir. Parametrelerin etkisinin daha net olarak değerlendirilmesi örnek olarak seçilen modeller için hasar görebilirlik eğrileri incelenmiştir.

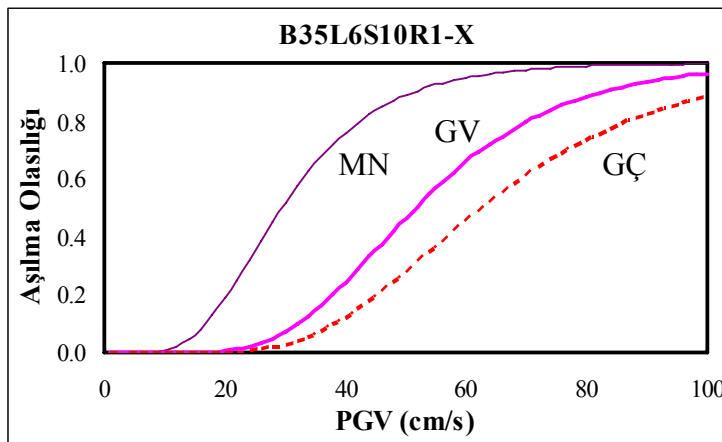
6.4. Yapısal Parametrelerin Etkisi

Elde edilen hasar olasılık eğrileri yardımı ile, yapısal parametrelerin hasar görebilirliğe etkisi değerlendirilebilecektir.

6.4.1. Analiz yönü

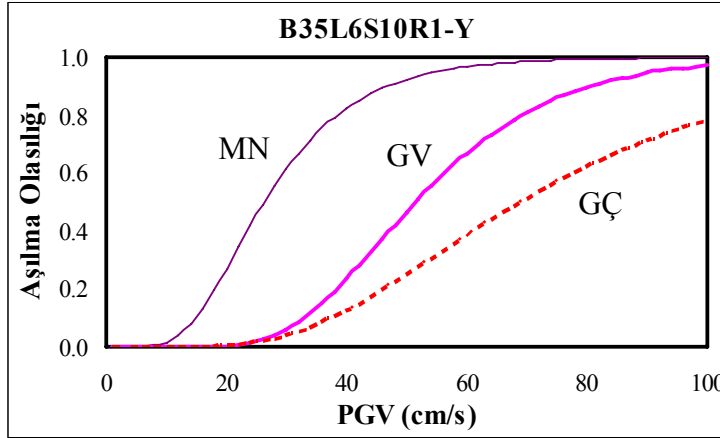
Tablo 6.4 ve Tablo 6.5 incelendiğinde her bir tipik model için X ve Y yönlerindeki çerçevelere ait dağılım parametreleri değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. X yönündeki çerçevelerin Y yönündeki çerçevelere göre periyodunun büyük yatay dayanım oranının küçük olması az da olsa X yönünde hasar olasılığının daha fazla olması sonucunu doğurmuştur.

Ancak hemen belirtmekte fayda vardır ki; tipik model X yönünde 6, Y yönünde 3 açıklığa sahiptir. Analiz modelinde X ve Y yönündeki açıklık sayılarının değişmesi, çerçevelere ait kapasite eğrilerinin değişmesine, dolayısıyla deplasman taleplerinin ve hasar olasılıklarının farklılaşmasına sebep olabilir.



Şekil 6.10 B35L6S10R1 nolu modelde X yönünde hasar olasılık eğrileri

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de analiz yönünün hasar olasılığına etkisinin değerlendirilmesi için örnek olarak, B35L6S10R1 nolu modele ait hasar olasılık eğrileri verilmiştir.



Şekil 6.11 B35L6S10R1 nolu modelde Y yönünde hasar olasılık eğrileri

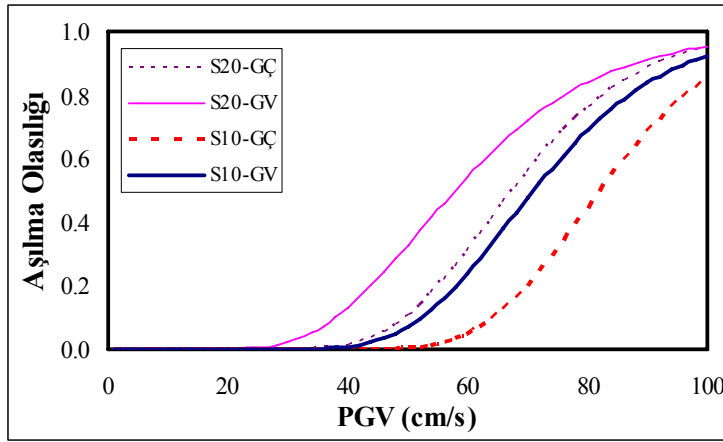
Sonuç olarak, analiz yönü açısından herhangi bir yöndeki çerçevenin daha kritik olduğu yönünde kesin bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. X ve Y yönündeki açıklık sayılarına ve yapısal parametrelerin değerlerine bağlı olarak elde edilecek kapasite eğrisi ve hasar seviyeleri ile deplasman taleplerinin karşılaştırılması ile daha uygun bir değerlendirme imkanı elde edilebilecektir.

6.4.2. Etriye aralığı

DBYYHY’te göre etriye aralığının artması yani sargı donatısı oranının azalması, hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak hatırlatmakta fayda vardır ki, etriye aralığının limit değerlere etkisi ancak DBYYHY’te öngörülen minimum sargı donatısı oranı açısından farklılık varsa ortaya çıkmaktadır. Tezde kullanılan etriye aralığı değerleri bu etkinin gözlenebilmesine imkan sağlamıştır.

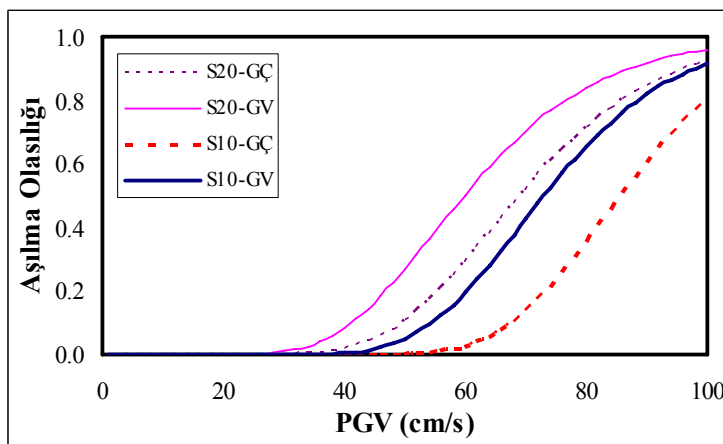
Şekil 6.12’de B45L6R1 parametre değerlerine sahip modelde X yönündeki çerçeve için, etriye aralığının GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi görülmektedir. Etriye aralığının artması her iki hasar seviyesinin de aşılma olasılığının artmasına sebep olmaktadır. Sözelimi PGV 60cm/s olduğunda S=100mm için GÇ

seviyesinin aşılma olasılığı yani göçme olasılığı %10'un altında iken S=200mm için bu olasılık %40 civarına yükselmektedir.



Şekil 6.12 Etriye aralığının hasar olasılığına etkisi (B45L6R1-X)

Şekil 6.13'te ise yine B45L6R1 parametre değerlerine sahip modelde Y yönündeki çerçeve için, etriye aralığının GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi görülmektedir. Y yönünde de, etriye aralığının artması her iki hasar seviyesinin de aşılma olasılığının artmasına sebep olmaktadır. Örnek verecek olursak PGV 80cm/s olduğunda S=100mm için GÇ seviyesinin aşılma olasılığı yani göçme olasılığı %40 civarında iken S=200mm için bu olasılık %80 civarına yükselmektedir.

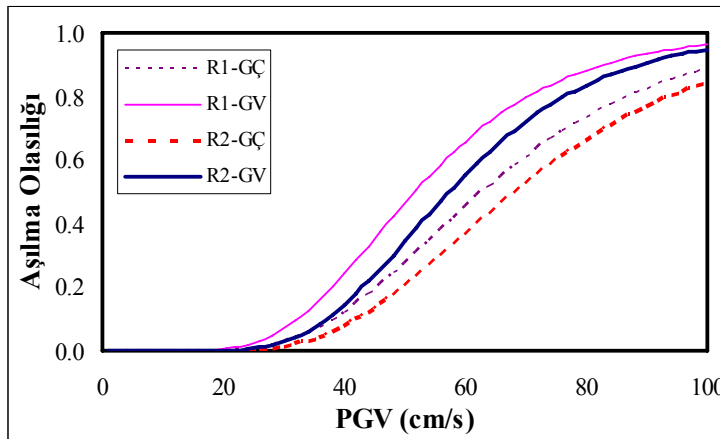


Şekil 6.13 Etriye aralığının hasar olasılığına etkisi (B45L6R1-Y)

Burada iki örnek şekil ile verilen etriye aralığı etkisi, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5'te verilen dağılım parametreleri incelenerek görülebilecektir. Ya da herhangi bir model ya da çerçeve yönü için dağılım parametreleri kullanılarak çizilecek hasar olasılık eğrileri yardımı ile etriye aralığının etkisi net olarak değerlendirilebilecektir.

6.4.3. Boyuna donatı oranı

Boyuna donatı oranının artması yani %1'den %2'ye çıkması esas olarak çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca hasar seviyelerine ait eğrilik değerlerinin ve buna bağlı limit deplasmanların da artmasına sebep olmaktadır. Bu etkiler, hasar seviyelerine ait aşılma olasılıklarının azalmasına yol açmaktadır. Örnek olarak seçilen iki çerçevede boyuna donatı oranının etkisi değerlendirilmiştir.

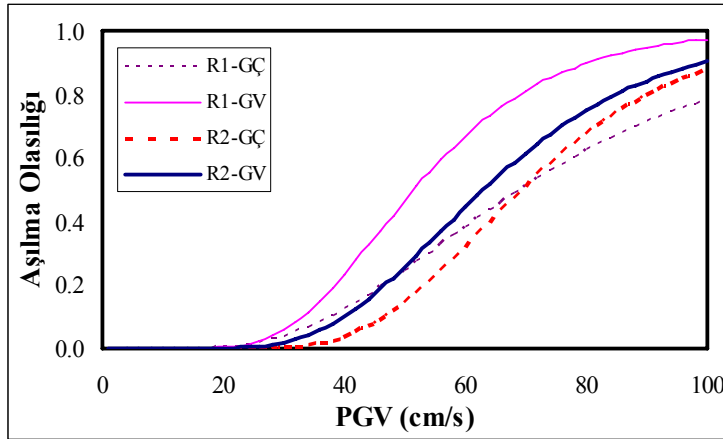


Şekil 6.14 Boyuna donatı oranının hasar olasılığına etkisi (B35L6S10-X)

Şekil 6.14'te B35L6S10 parametre değerlerine sahip modelde X yönündeki çerçeve için boyuna donatı oranının GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi verilmiştir. Kolon boyuna donatı oranının artması, her iki hasar seviyesinin aşılma olasılığını azaltmaktadır. Örneğin %1 donatı oranı için PGV 60cm/s olduğunda GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %65 civarında, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise %45 civarındadır. Donatı oranı %2 olduğunda GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma olasılıkları sırası ile %55 ve %37 olmaktadır.

Şekil 6.15'te ise B35L6S10 parametre değerlerine sahip modelde Y yönündeki çerçeve için boyuna donatı oranının GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına

etkisi verilmiştir. Kolon boyuna donatı oranının artması, Y yönü için de beklenildiği gibi hasar seviyelerinin aşılma olasılığını azaltmaktadır. Yine PGV 60cm/s değeri örnek alınacak olursa boyuna donatı oranının artması ile GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %67'den %44'e, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise %38'den %32'ye düşmüştür.



Şekil 6.15 Boyuna donatı oranının hasar olasılığına etkisi (B35L6S10-Y)

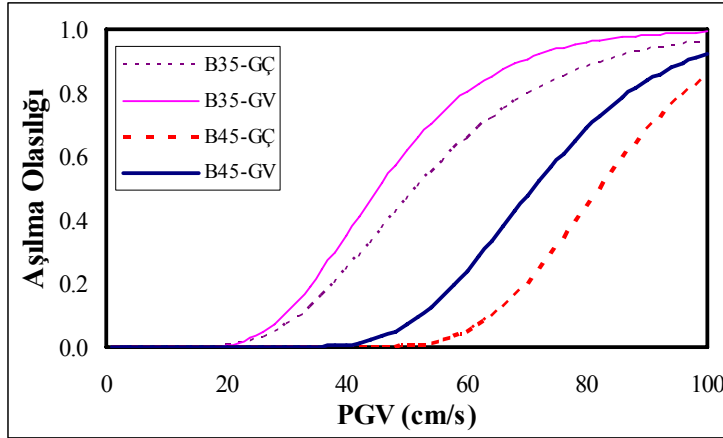
6.4.4. Kolon enkesit boyutu

Kolon enkesit boyutu hasar olasılığını ciddi olarak etkileyen parametrelerden birisidir. Boyutun artması çerçevenin rijitliğinin artmasına ve periyodunun azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum maksimum deplasman talebinin azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca diğer parametrelerin değişmemesi durumunda kolon boyutunun artması yatay yük taşıma kapasitesini de artırmaktadır.

Sonuç olarak, kolon enkesit boyutunun artması, hasar seviyelerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır. Örnek olarak seçilen iki çerçevede kolon boyutunun etkisi değerlendirilmiştir.

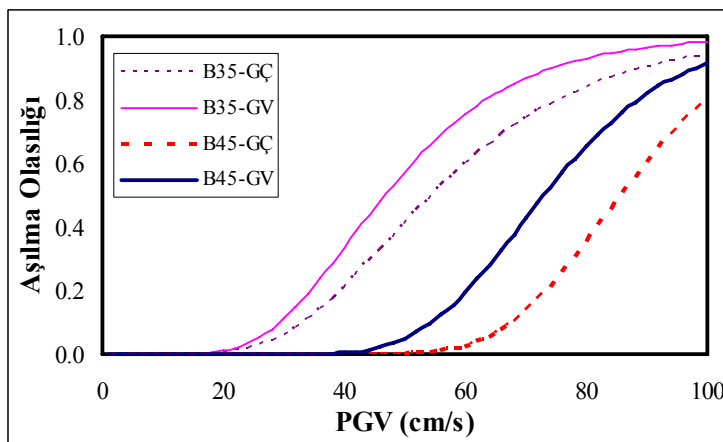
Şekil 6.16'da L6S20R1 parametre değerlerine sahip modelde X yönündeki çerçeve için kolon boyutunun GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi verilmiştir. Kolon boyutunun artması, her iki hasar seviyesinin aşılma olasılığını azaltmaktadır. Örneğin 35x35cm kolon boyutu için PGV 60cm/s olduğunda GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %80 civarında, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise %65

civarındadır. Kolon boyutu 45x45cm olduğunda GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma olasılıkları sırası ile %24 ve %5 olmaktadır.



Şekil 6.16 Kolon boyutunun hasar olasılığına etkisi (L6S20R1-X)

Şekil 6.17’de ise L6S20R1 parametre değerlerine sahip modelde Y yönündeki çerçeve için kolon boyutunun GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi verilmiştir. Örneğin 35x35cm kolon boyutu için PGV 60cm/s olduğunda GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %75 civarında, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise %60 civarındadır.

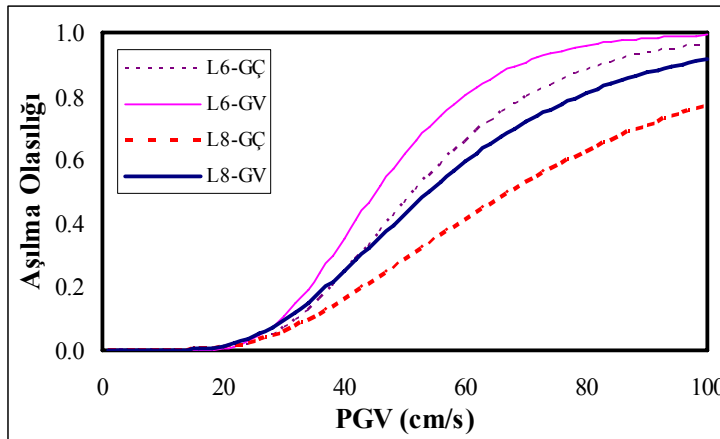


Şekil 6.17 Kolon boyutunun hasar olasılığına etkisi (L6S20R1-Y)

Kolon enkesit boyutu 45x45cm olduğunda GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma olasılıkları sırası ile %20 ve %3 olmaktadır. Görüldüğü gibi kolon boyutunun artması, hasar seviyelerinin aşılma olasılığını çok ciddi miktarda azaltmaktadır. Ya da PGV 40cm/s olduğunda 35x35cm kolona sahip çerçeve %21 olasılıkla göçme bölgesinde iken, kolon boyutu 45x45cm olduğunda bu olasılık %1'in altına düşmektedir.

6.4.5. Kolon yüksekliği

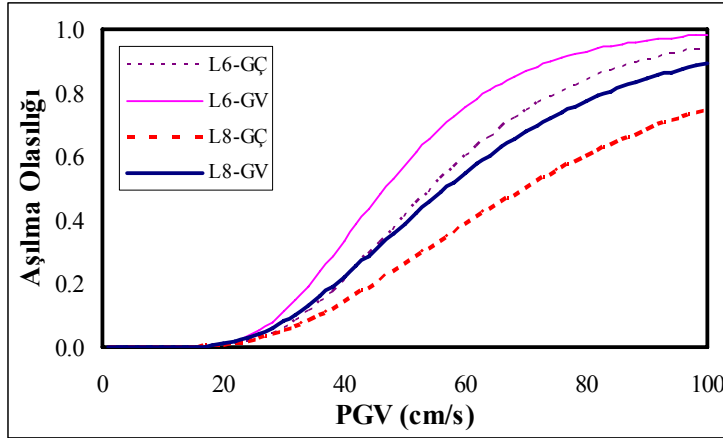
Kolon yüksekliğinin artması, çerçeve yatay rijitliğinin azalmasına ve titreşim periyodunun artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla maksimum deplasman talebi de artmaktadır. Ancak kolon yüksekliğinin artması, diğer kesit parametrelerine göre hesaplanan hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerleri sabit olmasına rağmen, bu eğrilik değerleri ile ilgili deplasman limitlerinin de artmasına sebep olmaktadır. Hem deplasman talebinin hem de hasar seviyelerine ait deplasman limitlerinin artmasının hasar olasılıklarına etkisi örnek iki çerçeve için incelenmiştir.



Şekil 6.18 Kolon yüksekliğinin hasar olasılığına etkisi (B35S20R1-X)

Şekil 6.18'de B35S20R1 parametre değerlerine sahip modelde X yönündeki çerçeve için kolon boyutunun GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi verilmiştir. Kolon yüksekliğinin artması, doğrusal ötesi analiz sonucu maksimum deplasman taleplerini artırmasına rağmen, her iki hasar seviyesinin aşılma olasılığı da azalmaktadır. Bunun sebebi, hasar seviyelerine ait limit deplasmanlardaki artışın hasar olasılığını daha fazla etkilemesidir. Örneğin 600cm kolon boyutu için PGV 60cm/s olduğunda GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %80 civarında, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise

%60 civarındadır. Kolon yüksekliği 800cm olduğunda GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma olasılıkları sırası ile %50 ve %34 olmaktadır.



Şekil 6.19 Kolon yüksekliğinin hasar olasılığına etkisi (B35S20R1-Y)

Şekil 6.19'da ise B35S20R1 parametre değerlerine sahip modelde Y yönündeki çerçeve için kolon boyutunun GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi verilmiştir. Y yönü için de kolon yüksekliğinin hasar olasılığına etkisi X yönü ile aynıdır. 600cm kolon boyutu için PGV 60cm/s olduğunda GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı %75 civarında, GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı ise %60 civarındadır. Kolon yüksekliği 800cm olduğunda GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma olasılıkları sırası ile %46 ve %31 olmaktadır.

Dikkate alınan kolon yüksekliği aralığı açısından, ki bu aralık prefabrik tek katlı yapı stoğunun büyük kısmının sahip olduğu yükseklik aralığıdır, kolon yüksekliğinin artması DBYYHY'te tanımlanan hasar seviyeleri limit değerlerinin aşılma olasılığını yani prefabrik çerçevelerin hasar görme olasılığını azaltmaktadır. Bu etkinin periyodu etkileyen diğer parametre olan kolon boyutundaki değişim ile de ilgili olduğu unutulmamalıdır.

6.4.6. Yapısal parametrelerin etkisinin karşılaştırılması

Kolon enkesit boyutu, kolon boyuna donatı oranı ve kolon yüksekliğinin artması hasar olasılığını azaltmakta, buna karşın etriye aralığının artması ise hasar olasılığını artırmaktadır.

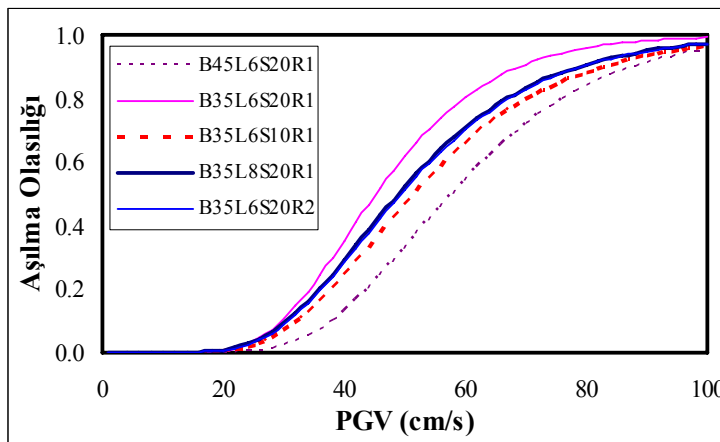
Yapısal parametrelerin alt ve üst sınır değerlerinin hasar olasılığına etkileri karşılaştırılarak, hangi parametrenin hasar görebilirlik üzerinde daha etkili olduğu araştırılmıştır.

Bunun için bütün eğrilerin ve olasılıkların verilmesi mümkün olamayacağından iki farklı yaklaşım ile parametrelerin etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

Birinci yaklaşımda, parametrelere bağlı olarak en fazla hasar görme ihtimali bulunan model ile en az hasar görme ihtimali bulunan model referans kabul edilmiştir. Daha sonra referans modellerde her defasında bir parametrenin değeri değiştirilerek hasar görebilirlik üzerindeki etki araştırılmıştır.

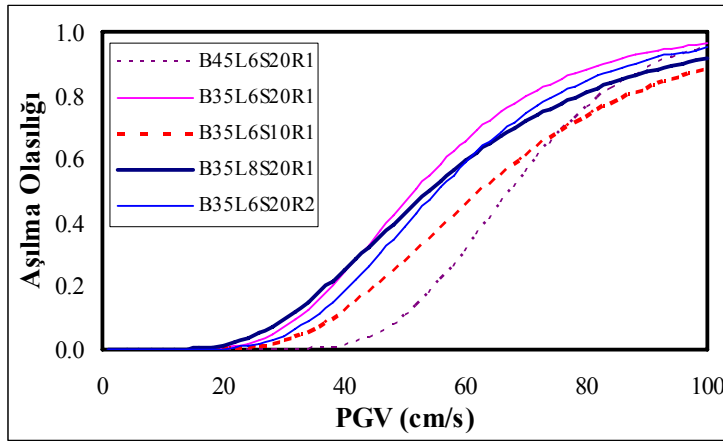
En fazla hasar görme ihtimali bulunan referans model B35L6S20R1 modelidir. Yani kolon enkesit boyutunun 35x35cm, kolon yüksekliğinin 600cm, etriye aralığının 200cm ve boyuna donatı oranının %1 olduğu modeldir. Referans model ile karşılaştırma yaparak kolon enkesit boyutunun etkisinin değerlendirilmesi için diğer parametrelerin referans model ile aynı değere sahip olduğu ancak kolon enkesit boyutunun değiştiği B45L6S20R1 modeli seçilmiştir. Benzer şekilde etriye aralığının etkisi için B35L6S10R1, boyuna donatı oranının etkisi için B35L6S20R2 ve kolon yüksekliğinin etkisi için B35L8S20R1 modelleri seçilmiştir.

Seçilen modeller GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığı açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma hem X hem de Y yönündeki çerçeveler için yapılmıştır.



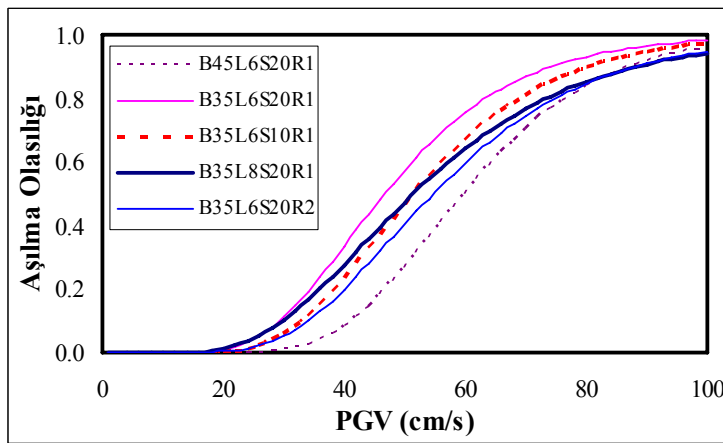
Şekil 6.20 Parametrelerin X yönü ve GV hasar seviyesi için karşılaştırılması

Şekil 6.20’de X yönündeki çerçeveler için GV hasar seviyesine ait hasar olasılık eğrileri ile parametreler karşılaştırılmıştır. Referans modele göre değişen her parametre hasar olasılığının azalmasına sebep olmuştur. Sırasıyla en büyük iki etki ise kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı parametrelerine aittir. Hasar olasılığındaki en büyük azalma kolon enkesit boyutunun değişmesi ile ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.21 Parametrelerin X yönü ve GÇ hasar seviyesi için karşılaştırılması

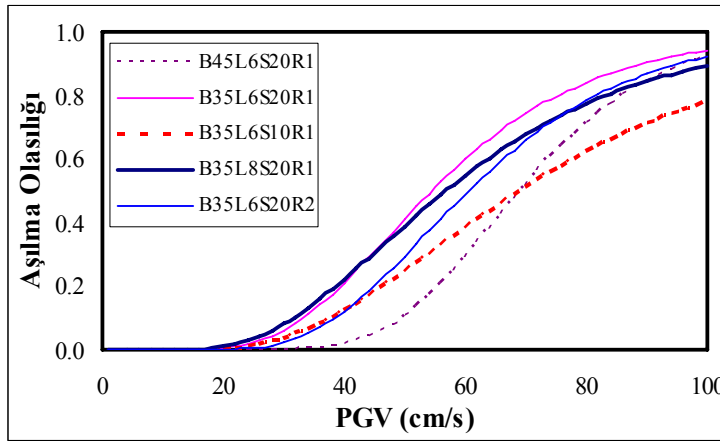
Şekil 6.21’de X yönündeki çerçeveler için GÇ hasar seviyesine ait hasar olasılık eğrileri ile parametreler karşılaştırılmıştır. Referans modele göre değişen her parametrenin hasar olasılığının azalmasına sebep olduğu söylenebilir. Sırasıyla en büyük iki etki ise yine kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı parametrelerine aittir.



Şekil 6.22 Parametrelerin Y yönü ve GV hasar seviyesi için karşılaştırılması

Şekil 6.22’de Y yönündeki çerçeveler için GV hasar seviyesine ait hasar olasılık eğrileri ile parametreler karşılaştırılmıştır. X yönündeki sonuçlara benzer şekilde referans modele göre değişen her parametrenin hasar olasılığının azalmasına sebep olduğu görülmektedir. En büyük etki kolon enkesit boyutuna aittir. Etriye aralığı, kolon boyuna donatı oranı ve kolon yüksekliği etkisi seçilen örnek için hemen hemen aynıdır.

Şekil 6.23’te Y yönündeki çerçeveler için GÇ hasar seviyesine ait hasar olasılık eğrileri ile parametreler karşılaştırılmıştır. GÇ hasar seviyesi için de en büyük iki etki kolon enkesit boyutu ve etriye aralığına aittir. Sonuç olarak birinci yaklaşım dikkate alındığında kolon enkesit boyutu ve etriye aralığının diğer parametrelere göre hasar olasılığı üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 6.23 Parametrelerin Y yönü ve GÇ hasar seviyesi için karşılaştırılması

İkinci yaklaşım, yine referans model ile parametrelerin değerlerinin değişmesi sonucunda elde edilen modellerin karşılaştırılması şeklindedir. Ancak birinci yaklaşıma göre iki farklılık gözetilmiştir. En büyük hasar görme ihtimali olan model birinci yaklaşımda referans alınmış idi. Bu defa hasar görme ihtimali en düşük olan B45L8S10R2 modeli referans alınmıştır. Ayrıca grafik olarak karşılaştırma yapmak yerine PGV’nin 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s değerleri için hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları tablo halinde verilmiştir.

B45L8S10R2 modeli ile karşılaştırma yapmak amacıyla, kolon boyutunun etkisi için B35L8S10R2, boyuna donatı oranının etkisi için B45L8S10R1, etriye aralığının etkisi için B45L8S20R2 ve kolon yüksekliğinin etkisi için B45L6S10R2 modelleri seçilmiştir.

Tablo 6.6'da hasar görme olasılığı en düşük olan referans model ile (tabloda koyu olarak belirtilmiştir), diğer modellere ait hasar görme oranları verilmiştir. X yönünde GV hasar seviyesi dikkate alındığında referans modelde PGV'nin üç değeri için hasar görme ihtimalleri sırasıyla %2, %6 ve %15'tir. Bu olasılıklar en fazla kolon enkesit boyutunun azalması ile artmıştır. Hasar görme olasılıkları kolon enkesit boyutunun azalması ile PGV'nin farklı değerleri için sırası ile %19, %30 ve %41 değerine yükselmiştir. Hasar görme olasılığının en fazla artmasına sebep olan ikinci parametrenin etriye aralığı olduğu görülmektedir. Etriye aralığının artması ile hasar görme olasılıkları sırası ile %5, %16 ve %32 olmuştur.

Tablo 6.6 Yapısal parametrelerin hasar görme olasılıklarına etkisi

Modeller	Hasar Seviyesi	X YÖNÜ			Y YÖNÜ		
		PGV	PGV	PGV	PGV	PGV	PGV
		40	50	60	40	50	60
B45L8S10R2	GV	0.02	0.06	0.15	0.00	0.01	0.08
B35L8S10R2		0.19	0.30	0.41	0.15	0.28	0.40
B45L8S10R1		0.01	0.06	0.18	0.02	0.08	0.18
B45L8S20R2		0.05	0.16	0.32	0.05	0.13	0.25
B45L6S10R2		0.00	0.02	0.09	0.00	0.02	0.11
B45L8S10R2	GÇ	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.03
B35L8S10R2		0.15	0.26	0.36	0.12	0.23	0.33
B45L8S10R1		0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.04
B45L8S20R2		0.03	0.11	0.26	0.02	0.07	0.17
B45L6S10R2		0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00

X yönünde GÇ hasar seviyesi için de kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı hasar görme olasılığının en fazla artmasına sebep olan parametrelerdir. Örneğin PGV=60cm/s olduğunda referans modelde GÇ seviyesinin aşılma olasılığı %7 iken, kolon boyutu azaldığında olasılık %36'ya, etriye aralığı arttığında ise %26'ya çıkmıştır.

Y yönünde de X yönündekine benzer şekilde hasar olasılığı üzerindeki en etkili parametrelerin kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı olduğu görülmektedir. GV hasar seviyesi için referans modelde PGV değerleri için sırası ile %0, %1 ve %8 olan aşılma olasılıkları, kolon enkesit boyutunun değişmesi ile %15, %28 ve %40 olurken, etriye aralığının artması bu olasılıkların %5, %13 ve %25 değerlerine yükselmesine sebep olmuştur.

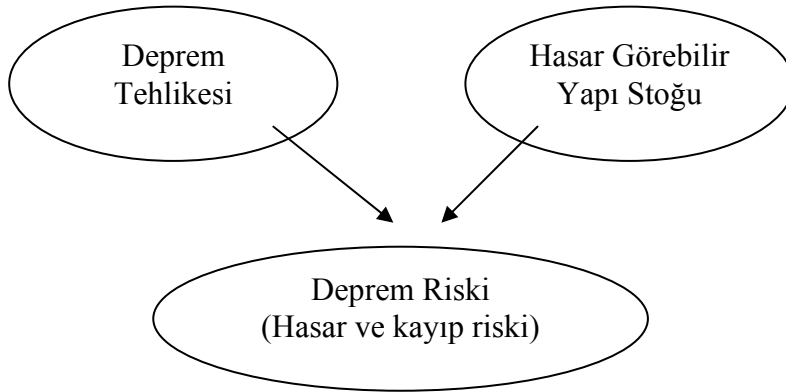
Y yönünde GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılıkları sırası ile %0, %0 ve %3 iken, kolon enkesit boyutunun azalması bu olasılıkların %12, %23 ve %33 değerlerine yükselmesine sebep olmuştur. Etriye aralığının artması da aynı olasılıkların %2, %7 ve %17 değerlerine yükselmesine sebep olmuştur.

Tablo 6.6'dan hem X hem de Y yönü için GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları üzerinde kolon enkesit boyutu ve etriye aralığının diğer iki parametreye göre daha etkili olduğu görülmüştür.

7. DENİZLİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ EKONOMİK KAYIP TAHMİNİ

7.1. Giriş

Her yıl dünyada meydana gelen ve kentsel bölgeleri etkileyen depremler çok ciddi kayıplara neden olmaktadır. Depremlerin önceden belirlenmesi mümkün değildir ancak deprem hasarlarına karşı alınabilecek önlemlerle, sadece can kayıplarının değil ekonomik kayıpların da azaltılabilmesi mümkündür. Deprem hasarının azaltılabilmesi ile ilgili önlemlerin değerlendirilebilmesi için deprem tehlikesi altında bulunan bölge veya bölgelerde ortaya çıkabilecek hasar ve ekonomik kayıp riskinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Deprem tehlikesi, hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükte bir depremden kaynaklanan yer hareketi ile tanımlanır. Deprem tehlikesinin olduğu bir bölgede hasar görebilir yapı stoğunun bulunması durumunda, mal ve can kaybı ihtimali belirlemekte yani deprem riski söz konusu olmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Deprem tehlikesi ve deprem riski

Sanayi yapılarında meydana gelebilecek hasarlar, can kaybının yanında ticari üretim ve fonksiyon kaybı, işgücü kaybı, makina ve teçhizat kaybı gibi çok ciddi ekonomik kayıplar doğurabilmektedirler. Bu açıdan bakıldığında, bu yapılarda da hasar ve ekonomik kayıp risklerinin belirlenmesi, olası depremlerde meydana gelebilecek hasar ya da kaybın alınacak önlemlerle azaltılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Deprem hasarlarının ve buna bağılı sosyo-ekonomik kayıpların tahmini için kullanılan yöntemlerin en çok bilineni HAZUS (2002) yöntemidir. Yöntem ilk olarak Amerika'da, 1992 yılında Ulusal Deprem Hasarlarını Azaltma Programı (National Earthquake Hazards Reduction Program) çerçevesinde, Ulusal Bilim Kurumu'nun (National Science Foundation) 1989 yılında yaptığı bir çalışmayı takiben önerilmiştir. Yöntemin amacı, afet yönetimi, risk azaltma, planlama, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme konularındaki ulusal programlara destek olmak amacıyla, ayrıntılı olarak risk-tabanlı zarar analizi yaparak can ve mal kaybını azaltmak, insanları ve kurumları doğal afetlerden korumak olarak belirlenmiştir.

HAZUS yaklaşımı afetin (özel olarak depremin) tanımı, bölgesel envanterin tanımı, hasarın tahmini ve hasarın ekonomik karşılığının tahmini ana başlıklarından oluşmaktadır. Deprem tehlikesi ile ilgili bilgiler; sismik kaynaklar, deprem yineleme ilişkileri, azalım ilişkileri ile tanımlanırken, bölgesel envanter bilgileri; yapıların konumu, yapıların taşıyıcı sistem özellikleri, değeri, inşa yılı, kullanım sınıfı, yerel zemin özellikleri gibi bilgileri içermektedir. Hasarın tahmini için bina kapasite eğrileri ve bunlara bağılı hasar görebilirlik eğrileri elde edilmekte, hasar görebilirlik eğrilerinden faydalanarak hem doğrudan fiziksel zararlar, hem de beklenen dolaylı ya da doğrudan ekonomik kayıplar tahmin edilebilmektedir.

Prefabrik tek katlı sanayi yapılarının hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi için gerekli hesaplamalar Bölüm 4, Bölüm 5 ve Bölüm 6'da verilmiştir. Bu bölümde ise prefabrik sanayi yapılarında meydana gelebilecek deprem hasarlarının dağılımı ve hasar dağılımına bağılı olarak ekonomik kayıp tahmini ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Hasarın ve ekonomik kaybın tahmininde HAZUS yaklaşımı esas alınmıştır ancak HAZUS'ta bina sınıfları için önerilen hasar görebilirlik eğrileri yerine Türkiye'deki tek katlı prefabrik yapıları temsil eden hasar görebilirlik eğrileri kullanılmıştır.

Bölgesel hasar ve ekonomik kayıp tahmini yapabilmek için, Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSB) bulunan tek katlı prefabrik sanayi yapıları dikkate alınmıştır. Söz konusu binalara ait mimari ve betonarme projeler, 2006MHF008 nolu Pamukkale Üniversitesi bilimsel araştırma projesi kapsamında DOSB ile yapılan karşılıklı anlaşma uyarınca incelenmiş ve proje bilgileri çıkartılmıştır. Söz konusu proje bilgileri açıklık, kolon boyutu ve yüksekliği, beton ve donatı sınıfı, boyuna ve enine donatı miktarları, çatı makası, oluk ve aşık kirişleri ile ilgili bilgileri içermektedir.

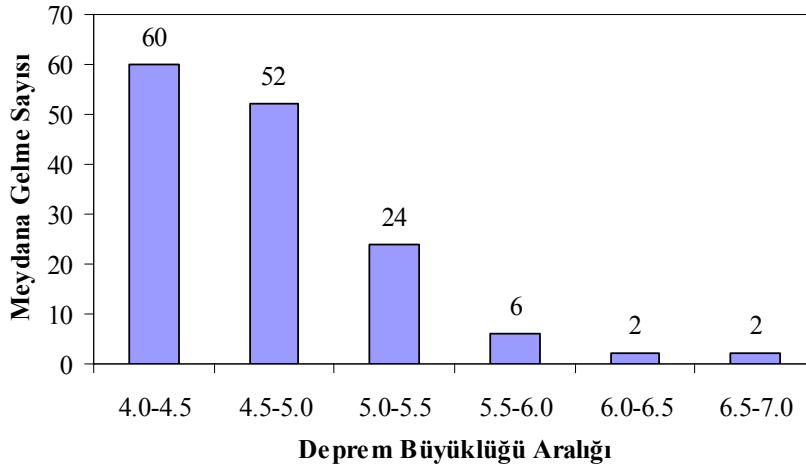
Proje bilgilerinin kullanılması ile her bir yapı için Bölüm 4'te anlatıldığı şekilde kapasite eğrisi elde edilmiş, Bölüm 5'te anlatıldığı şekilde maksimum deplasman talepleri belirlenmiş ve Bölüm 6'da verildiği şekilde *PGV*'ye bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir (Ek-4). Böylelikle DOSB'de yer alan prefabrik yapılarda beklenen hasarların dağılımı hesaplanmıştır (Ek-5). Yapısal hasar dağılımına bağlı olarak ortaya çıkacak ekonomik kayıp tahmin edilmiştir.

7.2. Denizli'nin Depremselliği

Denizli horst-graben sistemi doğu ve kuzeydoğuda yer alan 3 grabenin (Alaşehir, Küçük Menderes ve Büyük Menderes) bulunduğu bir yerde, Batı Anadolu genişleme bölgesinde yer almaktadır. Bu grabenlerin birleşim noktasındaki havzaya Westaway (1993) tarafından Denizli Havzası adı verilmiştir. Denizli Havzası güneyde kuzeydoğuya eğimli ve 2000 m yüksekliğe sahip, kuzeyde güneybatıya eğimli ve 700 m yüksekliğe sahip topoğrafik yükseltilerle sınırlıdır. Bu yükseltilerin aktif normal faylarla oluştuğu belirtilmektedir (Şaroğlu vd 1992, Westaway 1993). Koçyiğit'e (2005) göre Denizli Havzası'nın kuzey ve güney kenarlarının her ikisi de sağ ve sol yönlü oblik düşey atımlı normal faylarla sınırlıdır. Bölgedeki ana fay Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu Pamukkale fayıdır (Eravcı vd 2007). Pamukkale fayı, Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesişim noktasında bulunmaktadır. DOSB ile Pamukkale fayı arasındaki en yakın mesafe 5km'nin de altındadır. Yani Pamukkale fayında meydana gelebilecek ciddi bir depremin DOSB'de yer alan yapıları da etkileyeceği açıktır.

1900-2003 yılları arasında aletsel olarak büyüklüğü ölçülebilen depremlere bakıldığında, Aydın ve Denizli çevresinde büyüklüğü $M=4.0$ ve daha büyük olan 146 deprem meydana geldiği görülmüştür (Şekil 7.2). Bu depremlerden 34 tanesinin büyüklüğü $M=5.0$ ve üzerindedir (Eravcı vd 2007). 1960 yılına kadar her 20 yıllık periyotta en az 1 tane büyük deprem olmuştur ancak 1960 yılından sonra bölgede $M>6$ olan deprem olmamıştır.

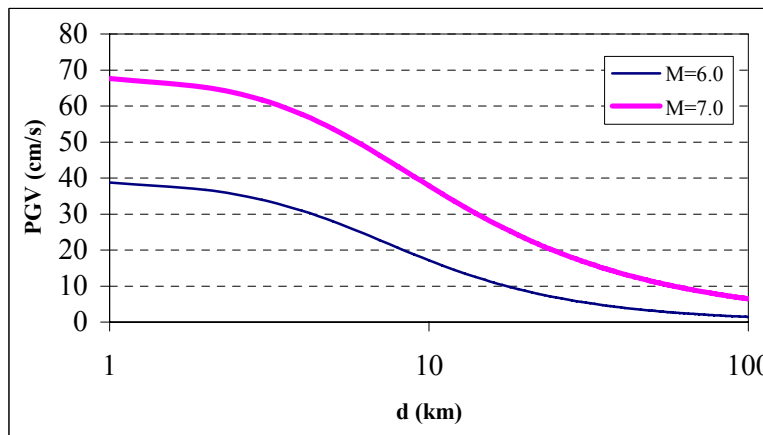
Türkiye'deki deprem verileri ve GPS ölçümleri dikkate alınarak Denizli civarında $M=6.3$ büyüklüğünde deprem olabileceği tahmin edilmiştir (Aydan vd 2002). Ayrıca depremlerin büyüklük ve oluş sıklığı arasındaki ilişki değerlendirilerek farklı süreler gözönüne alındığında $M=6.0$ ile $M=7.2$ büyüklükleri arasında deprem olabileceği belirtilmiştir (Aydan vd 2001).



Şekil 7.2 Denizli-Aydın çevresinde meydana gelen depremler (1900-2003)

Demirtaş vd (2003) tarafından yapılan ve Pamukkale fayının özelliklerinin araştırıldığı çalışmada açılan hendekte geçmiş depremlere ait olduğu tahmin edilen 30-40cm düşey atım geliştiği görülmüştür. Bu derecede düşey atımın 6.5-7.0 büyüklüğündeki bir depreme ait olabileceği öne sürülmüştür. Buna göre tekrarlanma aralığı birkaç bin yıl olabilecek 6.5-7.0 büyüklüğündeki bir depremi Pamukkale fayının üretebileceği sonucu vurgulanmıştır.

Deprem büyüklüğü ve faya olan uzaklık bilgileri dikkate alındığında azalım ilişkileri yardımı ile yer hareketi parametresinin değeri belirlenebilir. Bahsedilen bilgiler ışığında $M=6.0$ ve $M=7.0$ büyüklüğünde depremler için hasar ile ilişkili yer hareketi parametresi PGV'nin beklenen değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7.3 PGV için kullanılan azalım ilişkisi (Akkar ve Bommer 2007)

PGV'nin beklenen değerinin belirlenmesi amacıyla Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen azalım ilişkisi kullanılmıştır. Normal atımlı fay ve yumuşak zemin özellikleri dikkate alınarak, M=6.0 ve M=7.0 depremleri için Akkar ve Bommer tarafından önerilen azalım ilişkisi eğrileri Şekil 7.3'te verilmiştir. Şekil 7.3'te yatay eksen logaritmik ölçekte verilmiştir. Verilen eğriler, dikkate alınan deprem büyüklükleri için beklenen maksimum PGV değerini göstermektedir.

DOSB ile Pamukkale fayı arasındaki en yakın mesafe 5km'nin de altındadır. Şekil 7.3'te verilen azalım ilişkisine göre PGV'nin d=5km için beklenen en büyük değerleri M=6.0 ve M=7.0 depremleri için sırası ile 28cm/s ve 54cm/s'dir. Bu değerler dikkate alınarak DOSB'de yer alan sanayi yapılarının hasar dağılımlarının belirlenmesinde PGV'nin 4 farklı değeri senaryo değerleri olarak dikkate alınmıştır: 30cm/s, 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s.

7.3. Denizli'nin Genel Ekonomik Görünümü

Olası büyük bir depremde meydana gelebilecek ekonomik kaybın boyutu, bölgenin ekonomik görünümü ile ilişkili olacaktır. Denizli'nin ekonomik görünümü ile ilgili olarak bu bölümde verilen bilgiler ağırlıklı olarak Denizli Ticaret Odası tarafından yayınlanan "Ekonomik Yönü İle Denizli 2007" isimli kaynaktan alınmıştır (DTO 2007).

Denizli sanayi, tarım ve hizmet sektörlerinin her üçü açısından da dinamik bir ekonomik görünüm sergilemektedir. Kent, ekonomik faaliyetler bakımından ilk 13 il içerisinde, sanayi bakımından ise ilk 9 il içerisinde yer almaktadır. Özellikle sanayi sektörü tarafından yaratılan katma değer, kentte yaratılan katma değerin %31'ini oluşturmaktadır. Sanayi sektöründe yer alan firmaların ise %45'i dokuma, konfeksiyon, deri gibi sektörlerde üretim yapmaktadır. Denizli tekstil üretiminin tamamına yakını ihraç edilmektedir. Son yıllarda üretimi ve ihracata katkısı ile gelişme kaydeden dallar arasına mermer-traverten de katılmıştır.

Denizli'de 2003 yılında 984,053,812 USD olan toplam ihracat 2007 yılında 2,165,587,205 USD'na ulaşmıştır (www.tim.org.tr). Tablo 7.1'de Türkiye İhracatçılar Meclisi verilerine göre 2003-2007 yılları arasında Denizli'nin toplam ihracat değerleri ve ihracat içerisinde tekstil ve konfeksiyon sektörünün payı verilmektedir. Tablo 7.1'de son sütun, tekstil ve konfeksiyon ihracatının toplam ihracata oranını göstermektedir.

Tekstil ve konfeksiyon sektörü, inceleme alanı olan Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan firmalar içerisinde de önemli yer tutmaktadır. Sektörün toplam içerisindeki payı son yıllarda azalma eğilimi içerisinde olmasına rağmen, 2007 yılı itibarı ile halen %60 civarındadır.

Tablo 7.1 Denizli ili tekstil ve konfeksiyon sektörü ile toplam ihracatı

Yıllar	Tekstil ve Konfeksiyon (USD)	Toplam (USD)	Oran
2003	808,339,061	984,053,812	0.82
2004	883,112,317	1,186,862,033	0.74
2005	1,071,630,463	1,494,021,245	0.71
2006	1,137,281,166	1,754,421,125	0.65
2007	1,324,863,412	2,165,587,204	0.61

Denizli ilinde SSK İl Müdürlüğü verilerine göre 2003-2007 yılları arasında çalışan SSK'lı işçi sayıları Tablo 7.2'de verilmiştir. 2007 yılı Aralık ayı itibarı ile Denizli'de SSK'lı olarak çalışan işçi sayısı 50,610'dur. 2003 yılında tekstil sektöründe çalışan SSK'luların toplam SSK'lı işçi sayısına oranı %46'dır. Bu oran giderek azalan bir eğilim göstermekte ise de 2007 Aralık ayı itibarı ile %34'tür. Denizli'de 50 ve üzerinde işçi çalıştıran firma sayısı 2005 yılında 290 iken bu sayı 2006 yılında 297'ye çıkmıştır (DTO 2007). 2007 yılında ise 287 firmada 50 ve üzerinde işçi çalışmaktadır.

DOSB'de yer alan 139 firmanın 98'i tekstil ve konfeksiyon sektörü ile ilgili faaliyet göstermektedir. Tez çalışmasına konu olan 120 tek katlı prefabrik sanayi yapısı ise 80 firmaya aittir. İncelenen 80 firmanın da %90'ı tekstil ve konfeksiyon sektöründe faaliyet göstermektedir.

Tablo 7.2 Denizli ili 2002-2007 yılları SSK'lı işçi sayısı

Yıllar	Denizli Toplam	Tekstil Sektörü	Oran
2003	121,094	55,492	0.46
2004	128,627	55,238	0.43
2005	135,755	54,745	0.40
2006	151,926	53,485	0.35
2007	149,217	50,610	0.34

7.4. Denizli Organize Sanayi Bölgesi Prefabrik Yapı Stoğu

Denizli’de Organize Sanayi Bölgesi 24.01.1975 tarih ve 7/9359 sayılı Bakanlar Kurulu Kararnamesi ile kurulmuştur. Denizli Organize Sanayi Bölgesi, Denizli-Ankara karayolunun 18. kilometresinde 3,000 dönüm büyüklüğünde bir alan üzerinde bulunmaktadır. Bölgede büyüklükleri 5,000m² ile 70,000m² arasında değişen toplam 141 adet sanayi parseli planlanmıştır. 1996 yılında ilave imar planı yapılarak parsel sayısı 159’a ulaşmıştır (DOSB 2008). Şekil 7.4’te DOSB yerleşim planı verilmiştir.



Şekil 7.4 Denizli Organize Sanayi Bölgesi yerleşim planı

DOSB’de yer alan tek katlı prefabrik yapıları tespit edebilmek için yapılan çalışmalar ile, sanayi bölgesinde yer alan yapılardan 225 tanesinin mimari ve statik projeleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve yapısal bilgiler elde edilmiştir.

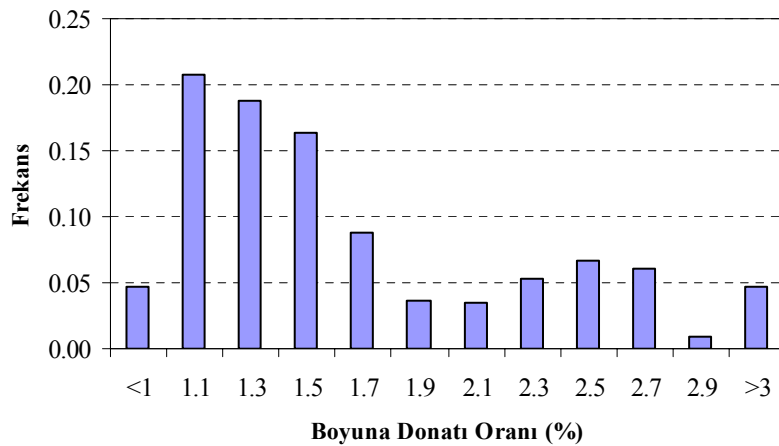
İncelenen yapıların 58’inin taşıyıcı sistemi çeliktir. Kalan yapıların bazıları monolitik betonarme yapıdır. Bazıları ise prefabrik olmasına rağmen ara katlı ya da çok katlı yapılardır. Tez çalışmasında konu edilen tek katlı prefabrik taşıyıcı sisteme sahip yapı sayısı 120’dir ve yapılar 80 firmaya aittir. İncelenen 120 yapının 108’inde yani %90’ında tekstil ve konfeksiyon sektörü ile ilgili olarak faaliyet gösterilmektedir.

120 yapının yapıldığı yıl yürürlükte olan deprem yönetmeliği açısından değerlendirilmesi sonucu, 92'sinin 1998 öncesi yani AY75 dikkate alınarak, 28'inin ise 1998 sonrası yani AY98 dikkate alınarak tasarlandığı anlaşılmıştır.

Sargı donatısı ile ilgili yapılan değerlendirme sonucunda 52 yapıda kolonlarda etriye aralığının 100mm olduğu belirlenmiştir. Bu yapıların 28'i 1998 ve sonrasında inşa edilmiştir. 1998 sonrası yapılan yapıların tamamında etriye aralığı 100mm'dir. 1998 öncesi yapılan 92 yapının sadece 24'ünde etriye aralığı 100mm iken bu yapıların 65'inde etriye aralığı 200mm, 1'inde 170mm ve 1'inde ise 150mm'dir. Etriye donatısı çapının tüm yapılarda, yapım yılından bağımsız olarak 8mm olduğu görülmüştür. Kolonlarında etriye yanında çiroz da bulunan yapı sayısı 33'tür.

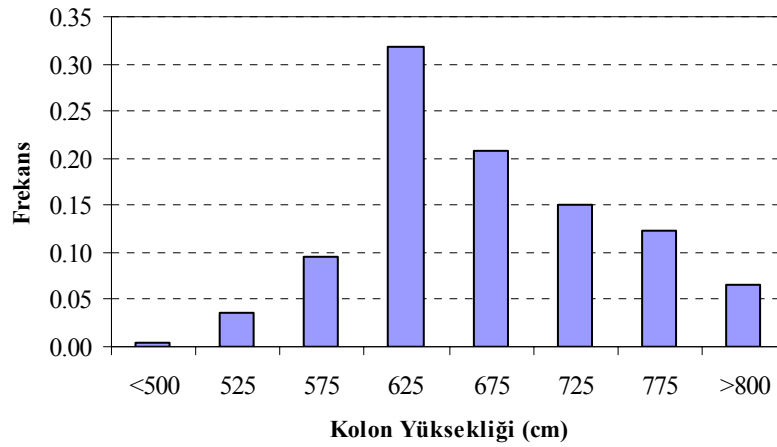
İncelenen yapılarda boyuna donatı sınıfının BÇIII olduğu, etriye donatı sınıfının ise 31 yapıda BÇIII, 89 yapıda BÇI olduğu tespit edilmiştir. Yapıların sadece 5'inde tasarım beton sınıfı BS25'tir ve diğer yapılarda tasarım beton sınıfının BS30-BS35 olduğu belirlenmiştir. Gerek fabrikada üretim sebebiyle tasarım dayanımının sağlanabilmesi, gerekse tasarım beton sınıfının ciddi değişim göstermemesi sonucu, beton sınıfının hasar görebilirliğe etkisi ihmal edilecek düzeydedir.

Makaslar arası açıklığın incelenen 120 yapının 26'sında 6.0m-7.5m arasında, 78'inde 7.5m ve 16'sında ise 7.5m-9.0m arasında olduğu belirlenmiştir. Makas açıklıkları ise yapıların 19'unda 20m-24m arasında iken, 51'inde 20m ve 55'inde 15m-20m arasındadır. Açıklık değerleri kolonların aksel yük düzeylerini etkilemektedir. Tüm açıklık değerleri için kolon aksel yük düzeyleri %20'nin altındadır.



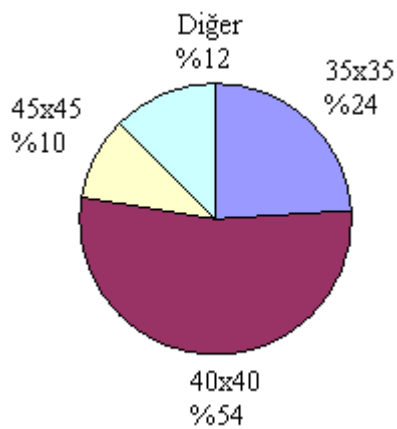
Şekil 7.5 Kolonlarda boyuna donatı oranının dağılımı

İncelenen 120 binada, kolonlarda boyuna donatı oranı %0.8 ile %3.4 arasında değişmektedir. Şekil 7.5'te boyuna donatı oranının dağılımı verilmiştir. Boyuna donatı oranı %1 ile %2 arasında olan kolonların oranı %68, %2 ile %2.8 arasında olan kolonların oranı %21 olarak belirlenmiştir. %1'in altında boyuna donatı oranına sahip kolonların oranı %5'te kalmıştır.



Şekil 7.6 Kolon yüksekliğinin dağılımı

Kolon yüksekliği hasar görülebilirlik üzerinde etkili olan bir parametredir. DOSB'de yer alan 120 prefabrik yapıda kolon yüksekliğinin dağılımı Şekil 7.6'da verilmiştir. Yapıların %32'sinin yüksekliği 600cm-650cm arasında, %21'inin yüksekliği ise 650cm-700cm arasındadır.



Şekil 7.7 Kolon enkesit boyutunun dağılımı

Yapıların hasar görebilirliği üzerinde etriye aralığı ile beraber en etkili parametre kolon enkesit boyutlarıdır. Şekil 7.7’de DOSB’de incelenen yapılarda kolon enkesit boyutunun dağılımı verilmiştir. Kolonların %24’ü 35cmx35cm, %53’ü 40cmx40cm, %10’u ise 45cmx45cm boyuta sahiptir. Genel olarak kesitlerin kare olduğu kare kesite sahip olmayan kolonlarda da boyutlar arasında 5cm olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak DOSB’de incelenen 120 yapının her birinin proje verileri dikkate alınarak kapasite eğrileri belirlenmiş ve maksimum deplasman talepleri hesaplanmıştır. Hesaplanan deplasmanlar hasar seviyelerine ait limitler ile karşılaştırılarak hasar durumları tespit edilmiş ve hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir.

7.5. Yapılarda Beklenen Hasarların Dağılımı

DOSB’de incelenen yapılar için MN, GV ve GÇ hasar seviyelerine ait hasar görebilirlik eğrilerinin ortalama ve standart sapma parametreleri Ek-4’te verilmiştir. Ek-4’te verilen bilgiler yardımı ile öngörülen *PGV* değerlerine bağlı olarak hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları belirlenebilmektedir. *PGV*’nin dikkate alınan 30cm/s, 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s değerleri için her bir prefabrik yapıda hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları belirlenmiş ve beklenen hasar durumları tespit edilmiştir (Ek-5). Tablo 7.3’te *PGV*’nin öngörülen değerleri için MN, GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığı %10, %30, %50, %70 ve %90’ın üzerinde olan yapıların sayısı Ek-5’te verilen tablodan elde edilerek verilmiştir.

Tablo 7.3 İncelenen yapılarda hasar seviyelerinin aşılma olasılığının dağılımı

	PGV=30 cm/s			PGV=40 cm/s			PGV=50 cm/s			PGV=60 cm/s		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
10%	101	6	2	117	64	39	119	109	79	120	119	101
30%	70	0	0	100	7	2	117	58	34	119	98	71
50%	12	0	0	62	0	0	101	12	2	116	59	39
70%	0	0	0	15	0	0	64	1	0	97	12	2
90%	0	0	0	0	0	0	6	0	0	33	0	0

Tablo 7.3’e göre *PGV* 30cm/s olduğunda MN seviyesinin aşılma olasılığı yani belirgin hasar görme olasılığı %10’un üzerinde olan yapı sayısı 101, GV seviyesinin aşılma olasılığı yani ileri hasar görme olasılığı %10’un üzerinde olan yapı sayısı 6, GÇ

seviyesinin aşılma olasılığı yani göçme olasılığı olan %10'un üzerinde olan yapı sayısı ise sadece 2'dir. Belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 12'dir. İleri hasar görme ya da göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı yoktur.

PGV'nin 40cm/s olması durumunda belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 62'ye yükselmektedir. İleri hasar görme ya da göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı *PGV*'nin 40cm/s olması durumunda da yoktur. Öte yandan göçme olasılığı %10'un üzerinde olan yapı sayısı 39, ileri hasar görme olasılığı %10'un üzerinde olan yapı sayısı ise 64'tür. Yapıların tamamına yakınında %10 ihtimalle belirgin hasar beklenmektedir.

Tablo 7.3'e göre *PGV*'nin kritik değerleri 50cm/s ve 60cm/s olarak görülmektedir. *PGV* 50cm/s olduğunda belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 101'e yükselmektedir. Yapıların 12'sinde ileri hasar, 2'sinde de göçme olasılığı %50'nin üzerindedir. *PGV* 60cm/s olduğunda ise hasar ihtimali ciddi seviyelere yükselmektedir. Yapıların 116'sında belirgin hasar görme olasılığı, 59'unda ileri hasar görme olasılığı %50'nin üzerindedir. Yani %50 ihtimalle yapıların yarısı ileri hasar bölgesinde olacaktır. Göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı ise 39'dur. Yani incelenen 120 yapının üçte birinde göçme olasılığı %50'nin üzerindedir.

Görüldüğü gibi ileri hasar görmesi ya da göçmesi beklenen yapı sayısı, karar vermede kullanılacak başka bir deyişle kabul edilebilecek olasılık değerinden etkilenmektedir. Ek-5'te verilen olasılıklar yardımı ile kabul edilebilecek minimum olasılık düzeyi için hasar göreceği beklenen bina sayısının bulunması mümkündür.

7.6. DOSB'de Beklenen Ekonomik Kayıp

PGV'nin değerleri için her bir binada hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları belirlenmiş olduğundan, hasar dağılımının ne kadarlık ekonomik kayba karşılık geldiği tahmin edilebilecektir. Bu amaçla ekonomik kayıp tahmininde kullanılmak üzere HAZUS yaklaşımında kullanılan parametreler içerisinden, elde olan bilgiler ile sayısal olarak hesaplanabilmesi mümkün olan bazı parametreler seçilmiştir.

Ekonomik kayıp tahmini için *PGV*'nin beklenen senaryo değerleri 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s olarak kullanılmıştır.

7.6.1. Ekonomik kayıp tahmininde kullanılan parametreler

Depremiň Őiddetine bağlı olarak yapıların kısmen ya da tamamen gme olasılığı bulunmaktadır. Bu sebeple prefabrik yapının inŐaat maliyeti kayıplar içerisinde deęerlendirilmiŐtir. Yapının kısmen ya da tamamen gmesi durumunda firmanın üretim ve ticaret fonksiyonu hasarın ciddiyetine gre belirli bir süre duracaktır. Bu durumun ekonomik kayıp olarak tahmin edilebilmesi amacıyla firmaların yıllık ihracat değerleri ve demirbaŐ kayıpları dikkate alınmıŐtır. Firmaların belirli bir süre ticari iŐlevini yitirmesi DOSB’de çalıŐan kiŐi sayısına bağlı olarak iŐgücü kaybı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak beklenen ekonomik kayıp aŐaęıdaki baŐlıklar altında hesaplanmıŐtır:

- yapı maliyeti
- yıllık satış değerine bağlı ekonomik kayıp
- demirbaş kaybı
- işgünü kaybı

Ekonomik kayıp tahmininde kullanılacak veriler: yapıda *PGV* değerlerine bağlı olarak hasar seviyelerinin aşılma olasılığı, yapının alanı, 120 yapının toplam alanı, çalışan işçi sayısı ve firmaların yıllık satış verileridir.

Deprem sonrası ortaya çıkacak doğrudan ya da dolaylı kayıp sadece burada dikkate alınan parametreler ile sınırlı değildir. Ekonomik kayıp tahmininde kullanılabilir bir çok parametre firmaların ticari gizlilik ilkesine gre kolay ulaŐılamayan bilgilerdir. Bu sebeple bu çalışmada hem hesaplanabilir hem de greli olarak daha kolay ulaŐılabilir parametreler ile tahmin yapılmasına zen gsterilmiŐtir. Dolayısıyla bu çalışmada ngrlen ekonomik kayıp tahminlerinin, ortaya çıkabilecek kaybın iyimser ve minimum tahminleri olduğunu vurgulamak gerekmektedir.

7.6.2. Bina yapım maliyeti olarak ekonomik kayıp

Meydana gelecek hasara bağlı olarak yapının yeniden yapım ya da onarım maliyeti tahmin edilirken her yapı için, yapının alanı ile hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları kullanılmıştır. Hasar seviyelerinin birbirine gre greli maliyetleri için HAZUS’ta

öngörülen değerler kullanılmıştır. Buna göre yapı göçtüğünde yapıda ortaya çıkacak ekonomik kayıp yani birim maliyet (BrM), yapının yeniden yapım maliyetine eşit kabul edilmiştir. İleri hasar durumunda yapım maliyetinin %50'si, belirgin hasar durumunda ise yapım maliyetinin %10'u birim maliyet olarak dikkate alınmıştır. Her bir yapıda PGV değerlerine bağlı olarak beklenen ekonomik kayıp BM , Denklem 7.1 ile hesaplanmaktadır. Üç hasar seviyesine ait ekonomik kaybın toplanması ile bir yapıda beklenen ekonomik kayıp elde edilmektedir. Denklem 7.1'de HS indisi her bir hasar seviyesini, OLA ise hasar seviyelerinin aşılma olasılıklarını ifade etmektedir.

$$BM = Alan * \sum_{HS=1}^3 BrM_{HS} * OLA_{HS} \quad (7.1)$$

Denklem 7.1 için örnek olması açısından $1,000m^2$ alana sahip bir yapı dikkate alalım. Yeni bir prefabrik yapının maliyeti $100 \text{ YTL}/m^2$ olsun. Bu yapı için PGV 'ye bağlı olarak MN hasar seviyesinin aşılma olasılığı (belirgin hasar görme olasılığı) %65, GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı (ileri hasar görme olasılığı) %40 ve GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı (göçme olasılığı) %10 bulunsun. Hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları kümülatif olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Denklem 7.1'de OLA değeri MN için %25, GV için %30 ve GÇ için %10 alınmalıdır. Yapım maliyeti $100 \text{ YTL}/m^2$ olduğundan göçme, ileri hasar ve belirgin hasar için birim maliyetler sırasıyla $100 \text{ YTL}/m^2$, $50 \text{ YTL}/m^2$ ve $10 \text{ YTL}/m^2$ olur. Bu durumda BM 'nin beklenen değeri,

$$BM = 1000 * (100 * 0.1 + 50 * 0.3 + 10 * 0.25) = 27,500 \text{ YTL}$$

olarak hesaplanır. Yani yeniden yapım maliyeti $100,000 \text{ YTL}$ olan yapıda ortaya çıkacak hasar dolayısıyla, yapının yapım maliyetinin %27.5'i kadar ekonomik kayıp beklenmektedir. Burada örnek olarak verildiği şekli ile tüm yapılar için yapı maliyetleri dikkate alınarak beklenen ekonomik kayıplar hesaplanmıştır.

İnceleme konusu 120 yapının toplam alanı $481,451 m^2$ olarak hesaplanmıştır. 120 yapıda hasarlara bağlı olarak oluşacak ekonomik kayıpların PGV 40cm/s olduğunda $98,870 m^2$, PGV 50cm/s olduğunda $218,316 m^2$, PGV 60cm/s olduğunda $246,064 m^2$ prefabrik yapının yeniden yapım maliyetine eşit olacağı beklenmektedir. Bu değerler 120 yapıya ait toplam bina maliyetinin sırası ile %21, %45 ve %51'ine tekabül

etmektedir. Tek katlı prefabrik sanayi yapılarının birim maliyeti, 2007 yılı Bayındırlık Birim Fiyatları incelendiğinde 230 YTL/m² alınmaktadır (2B sınıfı yapılar). Buna göre beklenen hasarların yapı maliyeti olarak bedeli PGV 40cm/s olduğunda 22,700,000 YTL, PGV 50cm/s olduğunda 50,200,000 YTL ve PGV 60cm/s olduğunda 56,600,000 YTL civarındadır.

7.6.3. Yıllık satışlar cinsinden ekonomik kayıp

Meydana gelecek hasarlar sebebiyle firmalar belirli bir süre ticari faaliyetlerini sürdürememe riski ile karşı karşıya kalacaktır. Zira yapının kısmen ya da tamamen göçmesi veya ciddi hasar görmesi söz konusudur. Hasarlara bağlı olarak firmaların yıllık satış değerlerinin, firma tekrar faaliyete geçinceye kadar geçen süre ile orantılı olarak düşeceği öngörülmüştür. Bu durumda her bir hasar seviyesi için firmanın tekrar ticari faaliyete geçmesine kadar geçecek sürenin ve firmanın yıllık satış değerinin bilinmesi gerekmektedir.

Firmaların faaliyete geçebilmesi için gerekli gün sayısı HAZUS'taki yaklaşıma göre belirlenmiştir. Göçen bir yapının tekrar faaliyete geçmesi için 240 gün (8 ay), ileri hasar gören bir yapının tekrar faaliyete geçmesi için 150 gün (5 ay) ve belirgin hasar gören bir yapının tekrar faaliyete geçmesi için 60 gün (2 ay) süre geçeceği kabul edilmiştir. Hasar seviyelerine bağlı ticari kayıp oranları (*KyO*), firmaların faaliyete başlaması için geçecek sürenin bir yıla bölümü ile bulunmuştur. Buna göre firmanın göçmesi durumunda yıllık satış değerinin %67'si, ileri hasar görmesi durumunda yıllık satış değerinin %42'si ve belirgin hasar görmesi durumunda yıllık satış değerinin %17'si yıllık satışlar cinsinden ekonomik kayıp oranı *KyO* olarak hesaplanmıştır.

İncelenen yapılarda faaliyet gösteren firmaların yıllık satış değerlerinin tek tek elde edilebilmesi ticari gizlilik ve rekabet koşulları kuralları gereğince mümkün olamamaktadır. Bu durumda ancak DOSB'nin yıllık toplam satış değerleri içerisinde incelenen firmaların payına bağlı olarak yıllık satış değerleri belirlenmiştir.

Her bir firmanın yapı alanı ile orantılı olarak yıllık satış değerine sahip olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşım HAZUS'un gelir, demirbaş ve işgücü kaybı ile ilgili yaklaşımı ile uyumludur. HAZUS'ta da bahsedilen her kalem için metrekareye düşen birim değerler makro veriler ile belirlenmiş ve ekonomik kayıp tahmininde firmaların

alanları ile orantılı olarak tahminler yapılmıştır. Her bir yapının hasar görebilirliğine bağlı olarak ortaya çıkacak olan yıllık maliyet oranı Denklem 7.2 ile hesaplanmıştır.

$$YMO = BAO * \sum_{HS=1}^3 KyO_{HS} * OLA_{HS} \quad (7.2)$$

Denklem 7.2’de *BAO* her bir yapının, yıllık satışlardan payına düşen kısmı bulmak için kullanılan ve yapı alanına bağlı olarak belirlenmiş katsayıyı göstermektedir. *BAO* her bir yapı alanının 120 firmaya ait toplam yapı alanına bölümü ile bulunmaktadır.

Denklem 7.2’in kullanımına örnek olması açısından 10,000m² alana sahip bir yapı dikkate alalım. 120 yapının toplam alanı 1,000,000 m² olsun. Bu durumda *BAO*, 0.01 olarak bulunacaktır. Bu yapı için *PGV* değerine bağlı olarak *MN* hasar seviyesinin aşılma olasılığı (belirgin hasar görme olasılığı) %61, *GV* hasar seviyesinin aşılma olasılığı (ileri hasar görme olasılığı) %40 ve *GÇ* hasar seviyesinin aşılma olasılığı (göçme olasılığı) %22 olsun. Bu durumda *GÇ*, *GV* ve *MN* hasar seviyeleri için *OLA* sırası ile 0.22, 0.18 ve 0.21 bulunur. *GÇ*, *GV* ve *MN* hasar seviyeleri için *KyO* sırası ile %67, %42 ve %17 idi. Bu durumda *YMO*’nun beklenen değeri,

$$YMO = 0.01 * (0.21 * 0.17 + 0.18 * 0.42 + 0.22 * 0.67) = 0.0026$$

olarak hesaplanır.

Bu durumda söz konusu yapıda beklenen hasardan dolayı yıllık satış değeri cinsinden beklenen ekonomik kayıp, 120 yapıya ait toplam yıllık satışların 0.0026 katı olarak hesaplanmıştır.

Burada örnek olarak verildiği şekli ile tüm yapılar için *YMO* değerleri hesaplanmış ve toplanmıştır. Buna göre 120 yapıya ait toplam satış değerinin *PGV* 40cm/s olduğunda %14’ü, *PGV* 50cm/s olduğunda %25’i, *PGV* 60cm/s olduğunda ise %35’i bu başlık altında beklenen ekonomik kayıp olarak hesaplanmıştır.

7.6.4. Demirbaş ve teçhizat kaybı

Prefabrik sanayi yapılarında meydana gelebilecek hasarlar, yapılarda yer alan üretim amaçlı araç, gereç ve makinelerin de zarar görmelerine sebep olacaktır. Bu durum

ekonomik kayıp tahmininde demirbaş değerine bağlı kayıp olarak dikkate alınmaktadır. HAZUS'ta firmaların üretim yaptıkları sektör ve ticaret hacimlerine bağlı olarak farklı demirbaş stoğuna sahip olabilecekleri belirtilmekte ve bu yüzden her bir firmaya ait demirbaş değeri, o firmanın yıllık üretim ya da satış hacmine bağlı olarak tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada da HAZUS yaklaşımına uygun olarak demirbaş kaybı yıllık satışların oranı olarak belirlenmiştir. HAZUS'ta sanayi alanında sınıflandırma 6 sektörde yapılmaktadır. Bu sektörler ağır sanayi, hafif sanayi, gıda ve kimya, yüksek teknoloji, inşaat ve metal işleme sektörleridir.

Demirbaş değeri ağır sanayi ve gıda ve kimya sektörleri için yıllık satışların %5'i, hafif sanayi ve yüksek teknoloji sektörleri için yıllık satışların %4'ü, metal işleme sektörü için %3'ü ve inşaat sektörü için %2'si kabul edilmektedir. DOSB'de incelenen ve bu çalışmada kullanılan 120 yapının 108'ünde tekstil sektörü ile ilgili faaliyet gösterilmektedir. Bu sebeple tüm firmalar için tekstil ve konfeksiyon sektörünü yansıtır biçimde tek bir oran kullanılmıştır.

Satışlar cinsinden yıllık kayıp oranı *YMO* her yapı için hesaplanmış idi. Demirbaş kayıpları da yıllık satışların oranı olarak hesaplanacağından demirbaş yıllık maliyet oranı *DYMO*, *YMO*'nun bir oranı olacaktır.

Tekstil sektörü sabit yatırım yanında yoğun insan emeği kullanımı olan bir sektördür. Bu sebeple firmaların demirbaş değerlerinin yıllık satışların %3'üne eşit olduğu varsayılmıştır. Bu kabule göre *DYMO*, *YMO*'nun 0.03 katı olacaktır. *YMO*'nun Denklem 7.2'de verilen hesabına ilişkin örnek hesapta öngörülen yapıda 120 yapının toplam yıllık satışlarının 0.0026'sı *YMO* olarak hesaplanmış idi. Bu durumda örnek yapı için *DYMO* ise 0.000078 olacaktır. *YMO* ve *DYMO* beraber değerlendirildiğinde örnek yapı için yıllık satışlara bağlı olarak beklenen ekonomik kayıp, toplam yıllık satışların 0.002678 katı olacaktır.

Tüm yapılar için *DYMO* değerleri, demirbaş değerinin yıllık satışların %3'üne eşit olduğu kabulü ile hesaplanmış ve toplanmıştır. Buna göre 120 yapıya ait toplam satış değerinin *PGV* 40cm/s olduğunda %0.42'si, *PGV* 50cm/s olduğunda %0.75'i, *PGV* 60cm/s olduğunda ise %1.05'i bu başlık altında beklenen ekonomik kayıp olarak hesaplanmıştır.

7.6.5. İşgünü kaybı

Olası hasarlardan dolayı ortaya çıkacak sorunlardan birisi de çalışan insanların işlerini firmanın tekrar faaliyete geçmesi için gereken süre kadar ya da tamamen kaybetme olasılığıdır. Bu durumun dikkate alınabilmesi amacıyla, firmanın üretim faaliyetlerini yeniden başlatacağı güne kadar geçen süre ile firmanın işçi sayısı dikkate alınarak her bir firma için işgünü kaybı hesaplanmıştır.

Denizli Ticaret Odası, Türkiye İş Kurumu ve Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan çalışmalar neticesinde inceleme konusu yapılarda üretim yapan firmaların işçi sayıları belirlenmiştir. İncelenen 120 yapıda çalışan işçi sayısı 14,500 civarındadır.

Yıllık satış kaybının hesabında firmaların her bir hasar seviyesi için ne kadar süre sonra ticari faaliyetine başlayacağı öngörülmüş idi. Bu değerler işgünü kaybının hesabında da kullanılmıştır. Belirgin hasar gören bir firmanın 60 gün sonra, ileri hasar gören bir firmanın 150 gün sonra ve göçen bir yapının ise 240 gün sonra tekrar ticari faaliyetine başlayacağı kabul edilmiştir. Bu değerler yıllık üretimin ve dolayısıyla yıllık işgününün sırası ile %17, %42 ve %67'sinin kayıp oranı olarak (KyO) değerlendirilmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda her bir yapının hasar görülebilirliğine bağlı olarak ortaya çıkacak işgünü kaybı Denklem 7.3 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{I}GK = \sum_{HS=1}^3 \dot{I}şçiSayısı * KyO_{HS} * 360 * OLA_{HS} \quad (7.3)$$

Denklem 7.3'ün kullanımına örnek olması açısından 100 işçiye sahip bir firmayı ve ona ait yapıyı dikkate alalım. Bu yapı için PGV değerine bağlı olarak MN hasar seviyesinin aşılma olasılığı (belirgin hasar görme olasılığı) %66, GV hasar seviyesinin aşılma olasılığı (ileri hasar görme olasılığı) %43 ve GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığı (göçme olasılığı) %21 olsun. Hasar seviyeleri için kayıp gün sayıları sırası ile 60, 150 ve 240 idi. Bu durumda bu firma ve yapı için $\dot{I}GK$ 'nin beklenen değeri,

$$\dot{I}GK = 100 * (0.23 * 60 + 0.22 * 150 + 0.21 * 240) = 100 * 97.2 = 9,720 \text{ işgünü}$$

olarak hesaplanır. Bu değer, öngörülen firmada ortaya çıkabilecek hasar bağlı olarak 100 işçinin 97 gün çalışmamasına karşılık gelen işgünü kaybıdır. Ayrıca bu değer

firmanın bir yılda 360 gün olduğu varsayılarak hesaplanan yıllık işgünü kapasitesinin %27 oranında kaybı anlamına gelmektedir.

Burada örnek olarak verildiği şekli ile tüm yapılar için *İGK* değerleri hesaplanmış ve toplanmıştır. Buna göre 120 yapıya ait toplam yıllık işgünü 14,500 işçi ve 360 gün dikkate alınır 5,220,000 işgünüdür. *PGV* 40cm/s olduğunda toplam yıllık işgününün %16'sı, *PGV* 50cm/s olduğunda %28'i, *PGV* 60cm/s olduğunda ise %40'ı beklenen kayıp olarak hesaplanmıştır.

7.6.7. Beklenen toplam ekonomik kayıp

Bu kısımda dört kalem dikkate alınarak hesaplanan ekonomik kayıplar bir arada ve toplam olarak verilmiştir. Beklenen ekonomik kayıpların iki bileşeni işgünü kaybı ve bina yapım maliyeti ile ilgili kayıptır. Tablo 7.4'te 120 yapı için beklenen toplam yapı maliyeti ve toplam işgünü kaybı *PGV* değerlerine bağlı olarak verilmiştir.

Yaklaşık 480,000 m² alana sahip yapıların tamamının yeniden yapılmasının maliyeti (230 YTL/m² kabul edilmiştir) dikkate alınır, *PGV* 40cm/s olduğunda bu maliyetin %21'i, *PGV* 50cm/s olduğunda %45'i ve *PGV* 60cm/s olduğunda %51'i yapı maliyetine bağlı beklenen kayıp olarak tahmin edilmektedir. Bu rakamlar özellikle *PGV*'nin 50cm/s ve 60cm/s değerleri için sırası ile 50,200,000 YTL ve 56,600,000 YTL ekonomik kayıp anlamına gelmektedir.

Tablo 7.4 Beklenen toplam *BM* ve *İGK* kaybı

<i>PGV</i>	<i>BM</i>	<i>İGK</i>
<i>cm/s</i>	<i>YTL</i>	<i>İşçi*gün</i>
40	22,700,000	835,200
50	50,200,000	1,460,000
60	56,600,000	3,340,000

Firmaların beklenen toplam işgünü kaybı ise toplam işgünü kapasitesinin *PGV*=40cm/s için %16'sı, *PGV*=50cm/s için %28'i ve *PGV*=60cm/s için %40'ıdır.

Yıllık satış üzerinden beklenen kayıp ve demirbaş kaybı, 120 binada faaliyet gösteren 80 firmanın toplam yıllık satış oranlarına (*YMO*) bağlı olarak hesaplanmıştır. Tablo 7.5'te bahsedilen bu üç kalem için hesaplanan ekonomik kayıplar *PGV*'nin

beklenen değerlerine bağlı olarak *YMO* cinsinden verilmiştir. 120 yapıda faaliyet gösteren 80 firmanın toplam yıllık satış değerleri bilindiğinde ortaya çıkacak kaybın YTL cinsinden tahmin edilmesi mümkün olacaktır.

Tablo 7.5 Beklenen yıllık satış ve demirbaş kaybı

PGV	Yıllık Satışa Bağlı Kayıp	Demirbaş Kaybı	Firmaların Toplam Kaybı
<i>cm/s</i>	<i>YMO</i>	<i>YMO</i>	<i>YMO</i>
40	0.1400	0.0042	0.1442
50	0.2500	0.0075	0.2575
60	0.3500	0.0105	0.3605

Sosyo-ekonomik kayıp olarak değerlendirilebilecek işgünü kaybı bir kenarda tutulursa;

- *PGV* 40cm/s olduğunda firmalar için beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 22,700,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %14.4'ü eklenerek bulunacaktır.
- *PGV* 50cm/s olduğunda firmalar için beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 50,200,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %25.8'i eklenerek bulunacaktır.
- *PGV* 60cm/s olduğunda firmalar için beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 56,600,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %36.1'i eklenerek bulunacaktır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Giriş

Türkiye'nin sanayi üretiminin tamamına yakını, deprem tehlikesinin büyük olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Sanayi yapılarının büyük bir kısmı prefabrik taşıyıcı sisteme sahiptir. 1998 Ceyhan ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde bu yapıların yaygın ve ciddi hasar gördüğü rapor edilmiş ve bu yapıların deprem performansları sorgulanır hale gelmiştir. Sanayi yapılarında meydana gelebilecek hasarlar, can kaybının yanında işgücü kaybı, makina ve teçhizat kaybı gibi çok ciddi ekonomik kayıplar doğurabilecektir.

Tez çalışmasında, olası depremlerde meydana gelebilecek hasarların tahmin edilebilmesi amacıyla kullanılan hasar görebilirlik eğrileri, tek katlı ve mafsallı prefabrik yapılar için türetilmiştir. Eğrilerin elde edilmesi için prefabrik yapılarda kapasite, talep ve performans değerlendirmesi ile ilgili hesaplar yapılmıştır. Yapısal parametrelerin kapasite, talep ve hasar görebilirliğe etkisi değerlendirilmiştir. Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde deprem dolayısıyla meydana gelebilecek hasarların dağılımının ve olası ekonomik kaybın tahmin edilebilmesi amacıyla hasar görebilirlik eğrilerinden yararlanılmıştır.

8.2. Yapısal Parametrelerin Çerçeve Kapasite Eğrilerine Etkisi

Prefabrik yapılarda çatı düzlemi bağlantıları mafsallıdır ve çatıda elemanların beraber çalışmasına yardımcı olacak rijit diyafram bulunmamaktadır. Bu yüzden bu tür yapıların analiz ve tasarımı, yapıyı oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır. Tez çalışmasında da prefabrik sanayi yapılarının performansının değerlendirilmesi amacıyla, prefabrik yapıyı oluşturan düzlem çerçeveler birbirinden bağımsız olarak ele alınmış ve çerçevelerin doğrusal ötesi davranışı, çerçevelerin kapasite eğrileri ile temsil edilmiştir. Çerçevelerin kapasite eğrisi ise, çerçeveyi oluşturan kolonların beraber çalışabildikleri kabulü ile elde edilmiştir.

Kolon enkesit boyutunun artması hem çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini hem de çerçevenin yatay ötelenme rijitliğini artırmaktadır.

Boyuna donatı oranı esas olarak çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde etkilidir. Yani boyuna donatı oranının artması kolonun moment taşıma gücü ve çerçeve yatay yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Ayrıca boyuna donatı oranının artması ile kolon üst ucunda hesaplanan hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri de artmaktadır.

Etriye aralığı, kesitin süneklik düzeyi üzerinde etkilidir. Etriye aralığının artması ile kesitin süneklik düzeyi ve hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerleri düşmektedir. Etriye aralığı çerçevenin yük taşıma kapasitesi ya da rijitliği üzerinde etkili olan bir parametre değildir.

Kolon yüksekliğinin artması kolonun ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yatay ötelenme rijitliği de azalmaktadır. Kolon yüksekliğinin artması kapasite eğrisinin oluşturulmasında kullanılan elastik deplasman değerinin de artmasına sebep olmaktadır. Bu durumda hasar seviyelerine ait olarak kolon üst ucunda hesaplanan limit deplasman değerleri de artmış olmaktadır.

Prefabrik yapı stoğundaki yapısal parametrelerin değerleri dikkate alınır, çerçevelerin periyodunun 1.0s-3.5s arasında olacağını söylemek mümkündür. Yapısal parametrelerin değerlerinin V_y/W oranına etkisi açısından bakıldığında ise, prefabrik yapı stoğunu temsil eden çerçevelerinin yatay dayanım oranının %6 ile %30 arasında olabileceğini söylemek mümkündür.

8.3. Yapısal Parametrelerin Çerçeve Performansına Etkisi

Çerçevelerin performanslarının belirlenmesi amacıyla maksimum deplasman talebi doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Tez çalışmasının amacı doğrultusunda, hem yapısal parametrelere bağlı olarak seçilen tipik prefabrik yapıları temsil eden çerçeveler için hem de çerçevelerden bağımsız olarak periyodu 0.4s-2.6s ve yatay dayanım oranı %8-%40 aralığında olan tek serbestlik dereceli sistemler için dinamik analiz ile maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir.

Doğrusal ötesi dinamik analiz sonuçlarına göre periyot ile maksimum deplasman talebi arasında doğrusal kabul edilebilecek bir ilişki vardır. Periyot arttıkça maksimum deplasman talebi de artmaktadır. Yatay dayanım oranı arttıkça maksimum deplasman talebinin azaldığı görülmektedir ancak yatay dayanım oranının etkisi periyot büyüdükçe ihmal edilecek düzeye inmektedir. Yer hareketi parametresi *PGV* arttıkça beklendiği gibi maksimum deplasman talebi de artmaktadır.

Dolayısıyla kapasite eğrisi üzerinde periyot ve yatay dayanım oranı değerlerini etkileyen kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı ve kolon yüksekliği parametreleri maksimum deplasman talebini de etkilemektedir.

Kolon enkesit boyutu performansı etkileyen önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. Kolon enkesit boyutunun artması çerçeve performansının artmasına sebep olmaktadır. Zira kolon enkesit boyutunun artması ile hem periyot azalmakta hem de yatay dayanım oranı artmaktadır. Dolayısıyla maksimum deplasman talebi azalmaktadır.

Performansı etkileyen ikinci önemli parametre etriye aralığıdır. Etriye aralığının değişmesi maksimum deplasman talebinden ziyade kapasite eğrisi üzerinde hasar seviyelerine ait limit değerlerin değişmesine yol açmaktadır. Etriye aralığının azalması, özellikle DBYYHY’te tanımlanan can güvenliği ve göçmenin önlenmesi hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerlerin ciddi olarak azalmasına sebep olmaktadır. Çerçeve performansı bu durumdan olumsuz etkilenmektedir.

Boyuna donatı oranının artması, yatay yük taşıma kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca hasar seviyelerine ait limit değerlerin artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla boyuna donatı oranının artması, çerçeve performansının artmasını sağlamaktadır.

Tez çalışmasında, dikkate değer sonuçlardan birisi, parametrelerin incelenen aralığı için kolon yüksekliği parametresinin performansa etkisidir. Kolon yüksekliğinin artması çerçeve rijitliğinin azalmasına, dolayısıyla periyodun ve maksimum deplasman talebinin artmasına yol açmaktadır. Ancak yüksekliğin artması ile çerçevelerin elastik deplasman değerleri de artmakta ve bunun sonucu olarak, hasar seviyeleri ile ilgili olarak hesaplanan limit deplasman değerleri de artmaktadır. Hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerinde gözlenen artışın, rijitlik azalması sebebiyle talep deplasmanda gözlenen artışa göre daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum ise kapasite ile talep

karşılaştırılarak belirlenen çerçeve performansının artması sonucunu doğurmaktadır. Ancak dikkate değer bu sonucun dikkate alınan 6m-8m yükseklik aralığı dikkate alınarak yapılan analizler neticesinde elde edildiği ve bu yükseklik aralığı için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

8.4. Yapısal Parametrelerin Hasar Görebilirliğe Etkisi

Yer hareketi parametresinin ve yapısal parametrelerin, prefabrik sanayi yapılarının performansına etkisinin olasılıksal olarak değerlendirilebilmesi amacıyla, tipik çerçeveler için *PGV* değerlerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri türetilmiştir. Her bir çerçeve ve her bir hasar seviyesi için *PGV*'ye bağlı lognormal dağılım parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir.

DBYYHY'e göre etriye aralığının artması yani sargı donatısı oranının azalması, hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak etriye aralığının limit değerlere etkisi DBYYHY'te öngörülen minimum sargı donatısı oranı açısından farklılık varsa ortaya çıkmaktadır. Tezde kullanılan etriye aralığı değerleri bu etkinin gözlenebilmesine imkan sağlamıştır. Dolayısıyla etriye aralığının artması çerçevelerin hasar görebilme olasılığını artırmaktadır. Sargı donatısı hasar görebilirlik üzerinde en etkili iki parametreden birisi olarak tespit edilmiştir.

Kolon enkesit boyutu hasar olasılığını ciddi olarak etkileyen diğer parametredir. Boyutun artması çerçevenin rijitliğinin artmasına ve periyodunun azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum maksimum deplasman talebinin azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca diğer parametrelerin değişmemesi durumunda kolon enkesit boyutunun artması yatay yük taşıma kapasitesini de artırmaktadır. Sonuç olarak, kolon enkesit boyutunun artması, hasar seviyelerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır.

Kolon yüksekliği hasar görebilirlik üzerinde etkili olan bir parametredir. Kolon yüksekliğinin artması, çerçevenin yatay rijitliğinin azalmasına ve titreşim periyodu ve maksimum deplasman talebinin artmasına sebep olmaktadır. Öte yandan daha önce de belirtildiği gibi, kolon yüksekliğinin artması ile çerçeve kapasite eğrisi oluşturulurken hesaplanan elastik deplasman değeri de artmaktadır. Bu durum ise hasar seviyelerine ait toplam limit deplasman değerlerini artırmaktadır. Dolayısıyla kolon yüksekliğinin artmasıyla hem maksimum deplasman talebi hem de hasar seviyelerine ait limit

deplasman değerleri artmış olmaktadır. Talep ile limit deplasmanın karşılaştırılması sonucunda yapısal performans değerlendirmesi yapıldığından, talep artmasına rağmen hasar seviyelerinin aşılma olasılıklarının azaldığı görülmüştür. Bu sonucun tez çalışmasında dikkate alınan kolon yüksekliği aralığı için (6m-8m) geçerli olduğunu tekrar belirtmek gerekmektedir.

Boyuna donatı oranının artması esas olarak çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca hasar seviyelerine ait eğrilik değerlerinin ve buna bağlı limit deplasmanların da artmasına sebep olmaktadır. Bu etkiler, kolon boyuna donatı oranının artması sonucunda hasar seviyelerine ait aşılma olasılıklarının azalmasına yol açmaktadır.

8.5. DOSB’de Tek Katlı Prefabrik Yapıların Özellikleri

DOSB’de bulunan ve proje bilgileri elde edilen 225 sanayi yapısının 58’inin taşıyıcı sistemi çeliktir. Kalan yapıların bazıları monolitik betonarme yapıdır. Bazıları ise prefabrik olmasına rağmen ara katlı ya da çok katlı yapılardır. Tez çalışmasında konu edilen tek katlı prefabrik taşıyıcı sisteme sahip yapı sayısı 120’dir ve yapılar 80 firmaya aittir. İncelenen 120 yapının 108’inde yani %90’ında tekstil ve konfeksiyon sektörü ile ilgili olarak faaliyet gösterilmektedir.

120 yapının yapıldığı yıl yürürlükte olan deprem yönetmeliği açısından değerlendirilmesi sonucu, 92’sinin 1998 öncesi yani AY75 dikkate alınarak, 28’inin ise 1998 sonrası yani AY98 dikkate alınarak tasarlandığı anlaşılmıştır.

Etriye aralığı yapıların tamamına yakınında 100mm ve 200mm’dir. Etriye çapının da genel olarak 8mm olduğu kabul edilebilir.

İncelenen tüm yapılarda boyuna donatı sınıfının BÇIII olduğu, etriye donatı sınıfının ise 31 yapıda BÇIII, 89 yapıda ise BÇI olduğu tespit edilmiştir. İncelenen yapıların sadece 5’inde tasarım beton sınıfı BS25’tir ve diğer yapılarda tasarım beton sınıfının BS30-BS35 olduğu belirlenmiştir.

Kolonlarda boyuna donatı oranı %0.8 ile %3.4 arasında değişmektedir. Boyuna donatı oranı %1.0 ile %2.0 arasında olan kolonların oranı %68, %2.0 ile %2.8 arasında

olan kolonların oranı ise %21 olarak belirlenmiştir. %0.8 ile %1.0 arasında boyuna donatı oranına sahip kolonların oranı %5'te kalmıştır.

Yapıların %32'sinin yüksekliği 600cm-650cm arasında, %21'inin yüksekliği ise 650cm-700cm arasındadır. Genel olarak yapı yüksekliğinin 550cm-800cm arasında olduğu söylenebilir.

DOSB'de incelenen yapılarda kolon enkesit boyutunun dağılımı incelendiğinde genel olarak kesitlerin kare olduğu görülmektedir. Kare kesite sahip olmayan kolonlarda da boyutlar arasında 5cm fark vardır. Kolonların %24'ü 35cmx35cm, %53'ü 40cmx40cm, %10'u ise 45cmx45cm boyuta sahiptir.

8.6. DOSB'de Hasarın Dağılımı ve Beklenen Ekonomik Kayıp

DOSB'de incelenen yapıların hasar dağılımlarının belirlenmesi için yer hareketi parametresi *PGV*'nin dört değeri dikkate alınmıştır: 30cm/s, 40cm/s ve 50cm/s ve 60cm/s. Her bir yapı için analizler yapılara ait yapısal özellikler kullanılarak ayrı ayrı yapılmıştır.

Dikkate alınan hasar seviyelerinin aşıldığı yapı sayısı, hem dikkate alınan *PGV* değeri ile hem de bu sayının hangi olasılık değeri için hesaplanmak istediği ile ilgilidir. Yani örneğin %10 olasılıkla, %30 olasılıkla ya da %50 olasılıkla göçme durumunda olduğu tahmin edilen yapı sayısı birbirinden farklı olacaktır. Aynı şekilde *PGV*'nin farklı değerleri için de bu sayı farklı olacaktır.

PGV 30cm/s olduğunda MN seviyesinin aşılma olasılığı yani belirgin hasar görme olasılığı %10'un üzerinde olan yapı sayısı 101, GV seviyesinin aşılma olasılığı yani ileri hasar görme olasılığı %10'un üzerinde olan yapı sayısı 6, GÇ seviyesinin aşılma olasılığı yani göçme olasılığı olan %10'un üzerinde olan yapı sayısı ise sadece 2'dir. Belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 12'dir. İleri hasar görme ya da göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı yoktur.

PGV'nin 40cm/s olması durumunda belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 62'ye yükselmektedir. İleri hasar görme ya da göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı *PGV*'nin 40 olması durumunda da yoktur. Ancak yapıların tamamına yakınında %10 ihtimalle belirgin hasar beklenmektedir.

PGV'nin kritik değerleri 50cm/s ve 60cm/s olarak görülmektedir. *PGV* 50cm/s olduğunda belirgin hasar görme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı 101'e yükselmektedir. Yapıların 12'sinde ileri hasar, 2'sinde de göçme olasılığı %50'nin üzerindedir. *PGV* 60cm/s olduğunda ise hasar ihtimali ciddi seviyelere yükselmektedir. Yapıların 116'sında belirgin hasar görme olasılığı, 59'unda ileri hasar görme olasılığı %50'nin üzerindedir. Göçme olasılığı %50'nin üzerinde olan yapı sayısı ise 39'dur. Yani incelenen 120 yapının üçte birinde göçme olasılığı %50'nin üzerindedir.

PGV'nin değerleri için incelenen 120 yapının her birinin hasar görme olasılığı hesaplandığından, hasar dağılımının ne kadarlık ekonomik kayba karşılık geldiği tahmin edilmiştir. Bu amaçla ekonomik kayıp tahmininde bina maliyeti, yıllık satış üzerinden kayıp, demirbaş kaybı ve işgünü kaybı dikkate alınmıştır. Tez çalışmasında ekonomik kayıp tahmini için *PGV*'nin senaryo değerleri 40cm/s, 50cm/s ve 60cm/s olarak belirlenmiştir.

Firmaların beklenen toplam işgünü kaybı, dikkate alınan 80 yapının toplam işgünü kapasitesinin *PGV*=40cm/s için %16'sı, *PGV*=50cm/s için %28'i ve *PGV*=60cm/s için %40'ıdır.

PGV 40cm/s olduğunda firmalar için beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 22,700,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %14.4' eklenecek bulunacaktır.

PGV 50cm/s olduğunda firmalar için beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 50,200,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %25.8'i eklenecek bulunacaktır.

PGV 60cm/s olduğunda firmalar beklenen toplam ekonomik kayıp, yapı maliyeti 56,600,000 YTL'ye 80 firmaya ait yıllık satışların toplamının %36.1'i eklenecek bulunacaktır.

8.7. Beklenen Hasarların Azaltılması İçin Alınabilecek nlemler

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar gerek yeni yapılacak gerekse mevcut prefabrik yapıların deprem performanslarının artırılması ve beklenen hasarın azaltılabilmesi amacıyla alınabilecek önlemler konusunda bazı ipuçları vermiştir.

Kolon enkesit boyutlarının ve etriye aralığının performansı etkileyen en önemli iki parametre olduğu tespit edilmiştir. Tasarımda kolon enkesit boyutları için belirli bir alt limit koymak, çerçeve rijitliklerinin ciddi olarak artmasına ve olası depremlerde meydana gelebilecek hasarların azalmasına sebep olacaktır. Tasarımda alınacak böyle bir önlemin maliyetinin, olası bir depremde meydana gelebilecek ekonomik kaybın yanında çok düşük olacağı aşıkardır.

Mevcut prefabrik yapı stoğu içerisinde kolon enkesit boyutları açısından hasar görebilme olasılığı yüksek olan yapılar vardır. Çerçevelerin birbirinden bağımsız olarak hareket ettiği düşünülürse, her bir çerçevenin yatay rijitliğinin artırılması yolunda alınacak güçlendirme önlemleri çerçevelerin ve prefabrik yapının hasar görebilme olasılığının azalmasını sağlayacaktır.

Mevcut tasarım koşulları dikkate alındığında, prefabrik yapılar için sargı donatısının, DBYYHY’te dikkate alınan hasar seviyelerine ait limit değerler açısından yeterli olduğu söylenebilir. Ancak mevcut yapı stoğu içerisinde yer alan ve yetersiz sargı donatısına sahip yapıların hasar görebilme olasılığının fazla olduğu görülmüştür. Özellikle düşük kolon enkesit boyutunun yanında yetersiz sargı donatısının da bulunduğu yapılarda bu olasılık çok daha fazladır. Mevcut yapılarda sargılama ile ilgili yetersizliğin, plastik mafsallarda sargılama yapılarak giderilmesi mümkündür.

Olası depremlerde birleşim bölgelerindeki yetersizlikler dolayısıyla çatı düzlemi elemanlarının düşmesi düzlem çerçeve davranışının kaybolmasına sebep olabilecektir. Öte yandan çatı düzlemi elemanlarının düşmesi de prefabrik yapılarda gözlenen önemli ve yaygın hasar türlerindedir. Tez çalışmasında, yanal ötelenme sebebiyle oluşabilecek hasarlar dikkate alınmıştır ve birleşim bölgelerindeki yetersizlikler kapsam dışı bırakılmıştır. Burada önerilen ve yanal ötelenme ile ilgili olarak elde edilen hasar görebilirlik eğrileri yardımı ile yapılacak performans değerlendirmesinin yanında birleşim bölgeleri ile ilgili değerlendirmelerin de yapılması, prefabrik yapılarda gözlenen iki temel hasar türünün de hasar ve kayıp tahmininde dikkate alınmasına olanak sağlayacaktır.

Sonuç olarak mevcut prefabrik yapılarda özellikle çerçeve rijitliğinin ve sargı donatısının artırılması yönünde alınacak önlemler, prefabrik sanayi yapılarında yatay ötelenme dolayısıyla meydana gelebilecek hasarların azaltılabilmesi için etkin bir

çözüm olarak görülmektedir. Çatı düzleminde rijit diyafram davranışının sağlanmasına yönelik önlemler de hem taşıyıcı sistem elemanlarının beraber hareket edebilmesine olanak sağlayacak hem de çatı düzlemi elemanlarının düşmesi ile ilgili hasarların azalmasına sebep olacaktır.

Tez çalışmasında dikkate alınan tek katlı prefabrik sanayi yapılarına Türkiye'nin tüm bölgelerinde rastlamak mümkündür. Özellikle sanayi üretiminin büyük kısmının yapıldığı Marmara ve Ege bölgelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu bölgeler aynı zamanda ciddi deprem tehdidi altında bulunan bölgelerdir.

Bu bölgelerde yer alan prefabrik yapı stoğu için tez çalışmasında önerilen şekilde hasar ve kayıp tahmini çalışmalarının yapılması, karşı karşıya olunan riski tanımlamak için önemli veriler elde edilmesine olanak sağlayabilecektir. Bu veriler alınacak önlemlerin boyutunun ve maliyetinin değerlendirilmesine de katkıda bulunacaktır.

Mevcut prefabrik sanayi yapılarında olası hasarların azaltılması amacıyla gerekli önlemlerin alınabilmesi için yapılacak masrafların yani maliyetin, ortaya çıkacak ekonomik kayıp riskini ne düzeyde azaltacağıının ölçüsü olarak ifade edilebilecek fayda ile karşılaştırılması, alınacak önlemler konusunda gerek firma sahiplerinin gerekse yerel, bölgesel ve hatta ulusal düzeyde karar verme yetkisinde bulunanların kararını etkileyecek bir analiz olarak görülmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Akçaözoglu, S. (2003) Endüstri Yapılarının Üretiminde Kullanılan Prefabrik Betonarme İskelet Sistemler ve 1998 Adana – Ceyhan Depreminde Bu Sistemlerde Ortaya Çıkan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 118s.
- Akkar, S., Sucuoglu, H., Yakut, A. (2005) Displacement-Based Fragility Functions for Low and Mid-Rise Ordinary Concrete Buildings, **Earthquake Spectra**, 21(4):901–27.
- Akkar, S. and Özen, Ö. (2005) Effect of Peak Ground Velocity on Deformation Demands for SDOF Systems, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 34:1551-1571.
- Akkar, S. and Bommer, J.J. (2007) Empirical Prediction Equations for Peak Ground Velocity Derived from Strong-Motion Records from Europe and the Middle East, **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 97(2), 511-530.
- Areizaga, G.C. (2006) Earthquake Induced Damage Estimation for Steel Buildings in Puerto Rico, MSc Dissertation, **University of Puerto Rico**, Puerto Rico, 152s.
- Arslan M.H., Korkmaz, H.H., Gulay, F.G. (2005) Damage and Failure Pattern of Prefabricated Structures after Major Earthquakes in Turkey and Shortfalls of The Turkish Earthquake Code, **Engineering Failure Analysis**, 13:537-557.
- Ataköy, H. (1999) 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve Türkiye Prefabrik Birliği Üyelerince Yapılan Prefabrikte Yapılar, **Beton Prefabrikasyon Dergisi**, 52: 5-14.
- ATC-13 (1985) Earthquake Damage Evaluation Data for California, **Applied Technology Council**, Redwood City, CA.
- ATC-40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, **Applied Technology Council**, Redwood City, CA.
- Atımtay, E., Kaplan, H., Haktanır, T., Kaltakçı, M. Y., Yılmaz, Ç., Kanıt, R., Altun, F., Türkmen, M., Demir, F., Tama, Y. S., Şenel, Ş. M., İnel, M., Toprak, S., İlgün, A., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Yılmaz, Ü. S., Arslan, M. H., Tekeli, H., Çırak, İ. F., Erdal, M., Can, Ö., Kayhan, A. H. ve Arı, K. (2007) Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarımı ve Hasarsız Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması, **DPT-YUUP projesi**, Proje kodu: BAP-08-11-DPT.2004K120760

- Ay, B.Ö., Erberik, M.A., Akkar, S. (2006) Fragility Based Assesment of The Structural Deficiencies in Turkish RC Frames Structures, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, CD-ROM, No:593
- AY75 (1975) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- AY97 (1997) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 86s.
- Aydan, Ö., Kumsar, H., Ulusay, R. (2002) How to Infer The Possible Mechanism and Characteristics of from The Striations and Ground Surface Traces of Existing Faults, *JSCE, Earthquake and Structural Engineering Division Journal*, Special Issue, 19(2):199-208.
- Aydan, Ö., Kumsar, H., Ulusay, R., ve Tano, H. (2001) Denizli ve Yakın Çevresindeki Jeotermal Kaynakların ve Denizli Fayı Zonundaki Sıcaklık Değişimlerinin Yerkabuğundaki Değişimlerle İlgisi Olabilir Mi?, *2. İzmir ve Çevresinin Deprem-Jeoteknik Sempozyumu*, 12-14 Kasım İzmir, 1-25.
- Basoz, N. and Kiremidjian, A.S. (1997) Evaluation of Bridge Damage Data Form The Loma Prieta and Northridge, *CA Earthquakes*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No:127.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1994) Mühendisler İçin İstatistik, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 211s.
- Celep, Z. (2007) Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, *Beta Dağıtım*, İstanbul,144s.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004) Deprem Mühendisliğine Giriş, *Beta Dağıtım*, İstanbul, 700s.
- Çetinkaya, N. (2007) Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 136s.
- Çolakoğlu, H. K. (2001) Seismic Resistant Design of Precast Industrial Buildings, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 81s.
- Demirtaş, R., Erkmen, C., Yaman, M., Eravcı, B., Aktan, T., Tepeuğur, E., Özdemir, F.U. (2003) Pamukkale Fayı Paelosismolojik Çalışmaları Kocadere Hendek Çalışması Ön Raporu, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, 26s.
- DOSB (2008) www.dosb.org.tr, 25.06.2008.
- DTO (2007) Ekonomik Yönü İle Denizli 2007, Denizli Ticaret Odası Yayınları, 34, 130s.

- Dutta, A. And Mander, J.B. (1999) Seismic Fragility Analysis of Highway Bridges, *Proceedings of The Center-to-Center Project Workshop on Earthquake Engineering in Transportation Systems*, Tokyo.
- DBYYHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 159s.
- Ehab, M.M. (2003) Seismic Fragility and Cost/Benefit Analysis of Structural and Non-Structural Systems, PhD Dissertation, *Faculty of The Graduate School, Cornell University*, USA. 304s.
- Eravcı, B., Yaman, M., Tepeuğur, E., Erkmen, C., Aktan, T., Albayrak, H., Demirtaş, R. (2007) Batı Anadolu Çöküntü Bölgesinin Paleosismoloji Projesi Sonuç Raporu, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Rapor No: 5691-1, 135s.
- Erberik, M.A. (2007) Fragility-Based Assessment of Typical Mid-rise and Low-rise RC Buildings in Turkey, *Engineering Structures*, 30:1360-1374.
- Erberik, M.A. and Elnashai, A.S. (2004) Fragility Analysis of Flat-Slab Structures, *Engineering Structures*, 26:937-948
- Ersoy, U., (1997) Prefabrik Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/KT 97-002, İstanbul.
- Ersoy, U., Tankut, T., Özcebe, G., Yağcı, S. (1993) Önüretimli Betonarme Yapılardaki Kolon Kiriş Birleşimlerinin Deprem Davranışı, *7. Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, 1-18.
- Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T. (2000) 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, Bildiri No:1, 1-10.
- EUROCODE8 (1998) Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, *European Union, European Prestandarts*, Brussel.
- FEMA-356 (2000) Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, 432s.
- FEMA-440 (2006) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- HAZUS (2002) The FEMA Tool for Estimating Earthquake Losses, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- Hwang, H. and Huo, J.R. (1997) Development of Fragility Curves for Concrete Frame and Shear Wall Buildings, Loss Assesment of Memphis Buildings, *Technical Report NCEER 97-0018*.
- İnel, M., Şenel, Ş.M., Toprak, S., Manav, Y. (2008) Seismic Risk Assesment of Buildings in Urban Areas: A Case Study for Denizli, Turkey, *Natural Hazards*, 46(3): 265-285.

- Kahraman, S., Şakar, G. ve Işıkdag, Ç. (1999) Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılara Etkisi, *Türkiye İnşaat Mühendisleri 15.Teknik Kongre ve Sergisi*, Ankara.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Atımtay, E., Nohutçu, H., Çetinkaya, N. (2005) Sanayi Bölgelerinin Deprem Riskinin Belirlenmesi Denizli Organize Sanayi Bölgesi Örneği, *4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, s:1078-1081, 28-30 Eylül, Konya.
- Kaplan, H., Nohutcu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Gönen, H., Atımtay E. (2009) Seismic Strengthening of Pin-Connected Precast Concrete Structures by External Shear Wall and Diaphragm, *PCI Journal* (basımda)
- Karaesmen, E. (2001) Prefabrication in Turkey: Facts and Figures, Department of Civil Engineering, *Middle East Technical University*, Ankara.
- Karim, K.R. and Yamazaki, F. (2001) Effect of Earthquake Ground Motions on Fragility Curves of Highway Bridge Piers Based on Numerical Simulation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30:1839-1856.
- Karim, K.R. and Yamazaki, F. (2003) A Simplified Method of Constructing Fragility Curves for Highway Bridges, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32:1603-1626.
- Karim, K.R. and Yamazaki, F. (2007) Effect of Isolation on Fragility Curves of Highway Bridges Based on Simplified Approach, *Soil Dynamics and Engineering Structures*, 27: 414-426.
- Karimi, K. and Bakhshi, A. (2006) Development of Fragility Curves for Unreinforced Masonry Buildings Before and After Upgrading Using Analytical Method, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, No:107, Geneva, Switzerland.
- Kayhan, A.H. (2004) Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Hızlı Değerlendirme Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 114s.
- Kim, S.H. and Shinozuka, M. (2004) Development of Fragility Curves of Bridges Retrofitted by Column Jacketing, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 19: 105-112 .
- Kircher, C.A., Nassar, A.A., Kustu, O., Holmes, W.T. (1997) Development of Building Damage Functions for Earthquake Loss Estimation, *Earthquake Spectra*, 13(4): 663-681.
- Kirçil, M.S. ve Polat, Z. (2006) Fragility Analysis of Mid-Rise RC Frame Buildings, *Engineering Structures*, 28(9): 1335-1345.
- Koçyiğit, A. (2005) The Denizli Graben-horst System and the Eastern Limit of Western Anatolian Continental Extension: Basin Fill, Structure, Deformational Mode, Throw Amount and Episodic Evolutionary History, SW Turkey, *Geodinamica Acta*, 18/3-4:167-208.

- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R. (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Division*, ASCE, 114(8):1827-1849.
- Martinez, A.S. (2001) Probability of Damage Due to Earthquakes For Buildings in Puerto Rico Using The Hazus Methodology, Yüksek Lisans Tezi, *University of Puerto Rico*, Puerto Rico, 174s.
- McGuire, R.K. (2001) Deterministic vs. Probabilistic Earthquake Hazards and Risks. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 377-384.
- McKay, M.D., Conover, M.J., Beckman, R.J. (1979) A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in The Analysis of Output from A Computer Code, *Technometrics*, 221: 239-245.
- Moehle, J. (1992) Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, *Earthquake Spectra*, 8(3): 403-428.
- Newmark, N.M. (1959) A Method of Computation for Structural Dynamics, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, 85: 67-94.
- Nohutcu, H. (2007) Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 194s.
- Özden, K. (1997) “Prefabrike İnşaat Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları”, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/KT 97-002, İstanbul.
- Özmen, G., Yüzügüllü, O, ve Zorbozan, M. (1997) Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılar Bakımından İrdelenmesi, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 97-006, İstanbul.
- Özmen, G. ve Zorbozan M. (1998) Prefabrike Yapı Tasarımı Örnekleri, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/KT 007-29, İstanbul.
- Park, Y.J. and Ang, A. S. (1985) Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 111(4):740-757.
- Park, R., Priestley, M.J. and Gill, W.D. (1982) Ductility of Square Confined Concrete Columns, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol.108, No. ST4, pp.929-950.
- Posada, M. and Wood, S., L. (2002) Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, *7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston.
- Priestley, M. J. (1996) The PRESSS Program, Current Status and Proposed Plans for Phase III, Special Report, *Precast Concrete Institute*, March-April.
- Rossetto, T. and Elnashai, A. (2003) Derivation of Vulnerability Functions for European-Type RC Structures Based on Observational Data, *Engineering Structures*, 25:1241-1263.

- Rubinstein, R.Y. (1981) Simulation and The Monte Carlo Method, *John Wiley & Sons*, New York, 304s.
- Saatcioglu, M. and Razvi, S.R. (1991) An Analytical Model for Confined Concrete, *University of Ottawa*, Dept of CE, Research Report 9101.
- Sezen, H. and Whittaker A.S. (2006) Seismic Performance of Industrial Facilities Affected by the 1999 Turkey Earthquake, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol:20, No:1.
- Sheikh, S.A. and Uzumeri, S.M. (1982) Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns, *Journal of Structural Division*, Vol:108, 2703-2723.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J., Naganuma, T. (2000a) Statistical Analysis of Fragility Curves, *Journal of Engineering Mechanics*, 126(12): 1224-1231.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Kim, H.K., Kim, S.H. (2000b) Nonlinear Static Procedure for Fragility Curve Development, *Journal of Engineering Mechanics*, 126(12):1297-1295.
- Singhal, A., Kiremidjian, A.S. (1997) A Method for Earthquake Motion-Damage Relationships with Application to Reinforced Concrete Frames, *Technical Report NCEER 97-0008*, New York.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, I. (1992) Active Fault Map of Turkey, *Maden Tetkik Arama Enstitüsü*, Ankara.
- Toprak, S. and Taşkın, F. (2007) Estimation of Earthquake Damage to Buried Pipelines Caused by Ground Shaking, *Natural Hazards*, 40(1):1-24.
- TPB (1990) Prefabrike Betonarme Yapıların Tasarım İlkeleri Kılavuzu, *Türkiye Prefabrik Birliği*, Ankara, 91s
- TS500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 67s.
- TS9967 (1992) Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar (Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan) Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 137s.
- UBC97 (1997) Uniform Building Code, *In: International Conference of Buildings Official*, USA.
- Vamvatsikos, D., Cornell, A.C. (2002) Incremental Dynamic Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3):491-514.
- Wald D.J., Quitoriano, V. Heaton, T.H., Kanomori, H. (1999) Relationships Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California, *Earthquake Spectra*, 15:557-564.
- Westaway, R. (1993) Neogene Evolution of the Denizli Region of Western Turkey, *Journal of Structural Geology*, 15: 37-53.

- Whitman, R.V., Cornell, C.A. (1976) Chapter 9 in Seismic Risk and Engineering Decisions, Lomnitz, C. and Rosenblueth. ed., *Elsevier Scientific Publishing Company*, Amsterdam.
- Wu, Y.M., Teng, T.I., Shin, T.C., Hsiao, N.C. (2003) Relationship Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Intensity in Taiwan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93:386–396.
- Yamazaki, F., Motomura, H., Hamada, T. (2000) Damage Assesment of Expressway Networks in Japan Based on Seismic Monitoring, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM, Paper No:551.
- Yılmaz, S. (2004) Tek Açıklıklı Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliği, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 137s.
- Yılmaz, S., Kuyucular, A., Şenel, Ş.M., İnel, M. (2007) Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Dayanımı: Makas Kirişinin Devrilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 274 (4157-4160)
- Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakıoğlu, F. (1998) Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 48: 20-24.

EKLER

Ek-1 Tezde kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler (d=km, PGV=cm/s)

Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
1	PGV1.A	Chi Chi	CHY041W	7.6	19.83	20.40
2	PGV1.A	Coyote Lake	47380 Gilroy Array #2	5.7	9.02	24.90
3	PGV1.A	Coyote Lake	57383 Gilroy Array #6	5.7	3.11	24.50
4	PGV1.A	Imperial Valley	6616 Aeropuerto Mexicali	6.5	0.34	24.87
5	PGV1.A	Imperial Valley	6619 SAHOP Casa Flores	6.5	9.64	19.43
6	PGV1.A	Kocaeli	İzmit	7.4	7.21	22.58
7	PGV1.A	Landers	21081 Amboy	7.3	69.21	19.99
8	PGV1.A	Landers	12149 Desert Hot Springs	7.3	21.78	20.24
9	PGV1.A	Loma Prieta	58471 Berkeley LBL	6.9	79.25	20.85
10	PGV1.A	Loma Prieta	57504 Coyote Lake Dam (Downst)	6.9	20.80	22.61
11	PGV1.A	Loma Prieta	47006 Gilroy - Gavilan Coll.	6.9	9.96	22.30
12	PGV1.A	Northridge	24688 LA - UCLA Grounds	6.7	22.49	22.00
13	PGV1.A	Northridge	24688 LA - UCLA Grounds	6.7	22.49	22.17
14	PGV1.A	Parkfield	1014 Cholame #5	6.1	9.58	24.71
15	PGV1.A	Parkfield	1014 Cholame #5	6.1	9.58	21.82
16	PGV1.A	Whittier Narrows	24461 Alhambra, Fremont Sch	6.0	14.66	21.97
17	PGV1.A	Whittier Narrows	90019 San Gabriel - E Grand Av	6.0	15.20	22.99
18	PGV1.A	Whittier Narrows	24400 LA - Obregon Park	6.0	15.18	22.89
19	PGV1.A	Northridge	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	6.7	12.51	22.20
20	PGV1.A	Parkfield	1438 Temblor pre-1969	6.1	15.96	21.50
21	PGV1.A	Cape Mendecino	89486 Fortuna - Fortuna Blvd	7.1	19.95	21.70
22	PGV1.A	Coalinga	46314 Cantua Creek School	6.4	24.02	23.58
23	PGV1.A	Friuli, Italy	8012 Tolmezzo	6.5	15.82	22.04
24	PGV1.A	Imperial Valley	931 El Centro Array #12	6.5	17.94	21.81
25	PGV1.A	Irpinia, Italy	Bisaccia	6.5	14.74	23.56
26	PGV1.A	Livermore	1265 Del Valle Dam (Toe)	5.4		20.45
27	PGV1.A	Superstition Hills (B)	5052 Plaster City	6.7	22.24	20.57
28	PGV1.A	Tabas, Iran	9102 Dayhook	7.4	13.94	20.46
29	PGV1.A	Victoria, Mexico	6604 Cerro Prieto	6.1	14.37	19.84
30	PGV1.A	Chi Chi	CHY046N	7.6	24.11	21.05
31	PGV1.A	Chi Chi	CHY010N	7.6	19.96	21.89
32	PGV1.A	Chi Chi	CHY047E	7.6	24.14	21.09
33	PGV1.B	Coyote Lake	47381 Gilroy Array #3	5.7	7.42	28.75
34	PGV1.B	Kocaeli	Gebze	7.4	10.92	29.67
35	PGV1.B	Kocaeli	İzmit	7.4	7.21	29.77
36	PGV1.B	Landers	23 Coolwater	7.3	19.74	25.63
37	PGV1.B	Landers	22170 Joshua Tree	7.3	11.03	27.53
38	PGV1.B	Landers	22074 Yermo Fire Station	7.3	23.62	29.69
39	PGV1.B	Loma Prieta	47006 Gilroy - Gavilan Coll.	6.9	9.96	28.60
40	PGV1.B	Loma Prieta	58223 SF Intern. Airport	6.9	58.65	25.43
41	PGV1.B	Loma Prieta	58223 SF Intern. Airport	6.9	58.65	27.84
42	PGV1.B	Northridge	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	6.7	12.09	28.88
43	PGV1.B	Morgan Hill	1652 Anderson Dam	6.2	3.26	25.30
44	PGV1.B	Morgan Hill	1652 Anderson Dam	6.2	3.26	27.60
45	PGV1.B	Palm Springs	12149 Desert Hot Springs	6.0	6.82	29.50
46	PGV1.B	Northridge	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	6.7	12.51	25.00
47	PGV1.B	Coalinga	36455 Parkfield - Vineyard Cany 1E	6.4	26.38	27.54
48	PGV1.B	Coalinga	36456 Parkfield - Fault Zone 14	6.4	29.48	28.31
49	PGV1.B	Imperial Valley	6605 Delta	6.5	22.03	26.01

Ek-1 Tablonun devamı						
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
50	PGV1.B	Kobe	Kakogawa	6.9	22.50	27.68
51	PGV1.B	Kobe	Shin-Osaka	6.9	19.15	27.91
52	PGV1.B	Loma Prieta	47125 Capitola	6.9	15.23	29.14
53	PGV1.B	Loma Prieta	47524 Hollister - South & Pine	6.9	27.93	29.10
54	PGV1.B	Loma Prieta	14 WAHO	6.9	17.47	27.22
55	PGV1.B	Mammoth Lakes	54214 Long Valley dam (Upr L Abut)	6.0		28.90
56	PGV1.B	Northridge	90015 LA - Chalon Rd	6.7	20.45	27.10
57	PGV1.B	San Fernando	24278 Castaic - Old Ridge Route	6.6	22.63	25.83
58	PGV1.B	Spitak, Armenia	12 Gukasian	6.8		28.57
59	PGV1.B	Tabas, Iran	9102 Dayhook	7.4	13.94	26.17
60	PGV1.B	Westmorland	5051 Parachute Test Site	5.8	16.66	26.60
61	PGV1.B	Whittier Narrows	90084 Lakewood - Del Amo Blvd	6.0	26.68	28.45
62	PGV1.B	Whittier Narrows	14368 Downey - Co Maint Bldg	6.0	20.82	28.76
63	PGV1.B	Chi Chi	TCU141N	7.6	24.21	28.07
64	PGV1.C	Imperial Valley	5058 El Centro Array #11	6.5	12.45	34.47
65	PGV1.C	Imperial Valley	5115 El Centro Array #2	6.5	15.33	31.47
66	PGV1.C	Imperial Valley	6619 SAHOP Casa Flores	6.5	9.64	31.01
67	PGV1.C	Kocaeli	Ambarlı	7.4	69.62	33.20
68	PGV1.C	Landers	24 Lucerne	7.3	2.19	31.90
69	PGV1.C	Loma Prieta	1002 APEEL 2 - Redwood City	6.9	43.23	34.29
70	PGV1.C	Loma Prieta	47379 Gilroy Array #1	6.9	9.64	33.88
71	PGV1.C	Loma Prieta	47380 Gilroy Array #2	6.9	11.07	32.89
72	PGV1.C	Loma Prieta	58117 Treasure Island	6.9	77.42	32.74
73	PGV1.C	Palm Springs	5072 Whitewater Trout Farm	6.0	6.04	34.70
74	PGV1.C	Palm Springs	5072 Whitewater Trout Farm	6.0	6.04	31.47
75	PGV1.C	Northridge	90053 Canoga Park - Topanga Can	6.7	14.70	31.98
76	PGV1.C	Superstition Hills (B)	286 Superstition Mtn.	6.7	5.61	32.54
77	PGV1.C	Chi Chi	CHY029W	7.6	10.97	30.30
78	PGV1.C	Palm Springs	5071 Morongo Valley	6.0	12.07	31.40
79	PGV1.C	Palm Springs	5070 North Palm Springs	6.0	4.04	33.80
80	PGV1.C	Northridge	24088 Pacoima Kagel Canyon	6.7	7.26	31.40
81	PGV1.C	Cape Mendecino	89486 Fortuna - Fortuna Blvd	7.1	19.95	30.00
82	PGV1.C	Friuli, Italy	8012 Tolmezzo	6.5	15.82	30.78
83	PGV1.C	Mammoth Lakes	54214 Long Valley dam (Upr L Abut)	6.0		33.90
84	PGV1.C	Northridge	24207 Pacoima Dam (downstr)	6.7	7.01	30.90
85	PGV1.C	Northridge	90091 LA - Saturn St	6.7	27.01	34.50
86	PGV1.C	Northridge	90018 Hollywood - Willoughby Ave	6.7	23.07	33.53
87	PGV1.C	Superstition Hills (B)	5210 Wildlife Liquef. Array	6.7	23.85	34.51
88	PGV1.C	Superstition Hills (B)	Kornbloom Road (temp)	6.7	18.48	31.04
89	PGV1.C	Superstition Hills (B)	Poe Road (temp)	6.7	11.16	32.72
90	PGV1.C	Whittier Narrows	90080 LB - Orange Ave	6.0	24.54	32.84
91	PGV1.C	Chi Chi	TCU046N	7.6	16.74	30.87
92	PGV1.C	Chi Chi	TCU112N	7.6	27.50	33.40
93	PGV1.D	Chi Chi	CHY041N	7.6	19.83	39.50
94	PGV1.D	Chi Chi	TCU045N	7.6	26.00	39.00
95	PGV1.D	Chi Chi	TCU045W	7.6	26.00	36.70
96	PGV1.D	Chi Chi	TCU051N	7.6	7.66	38.38
97	PGV1.D	Coalinga	1162 Pleasant Valley P.P. - yard	6.4	8.40	36.32
98	PGV1.D	Imperial Valley	5154 EC County Center FF	6.5	7.31	37.52
99	PGV1.D	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	6.5	12.85	39.85

Ek-1 Tablonun devamı						
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
100	PGV1.D	Imperial Valley	955 El Centro Array #4	6.5	7.05	37.39
101	PGV1.D	Kobe	Nishi-Akashi	6.9	7.08	37.29
102	PGV1.D	Kobe	Nishi-Akashi	6.9	7.08	36.68
103	PGV1.D	Kocaeli	Arçelik	7.4	13.49	39.55
104	PGV1.D	Loma Prieta	47380 Gilroy Array #2	6.9	11.07	39.07
105	PGV1.D	Loma Prieta	47381 Gilroy Array #3	6.9	12.82	35.69
106	PGV1.D	Morgan Hill	57383 Gilroy Array #6	6.2	9.86	36.68
107	PGV1.D	Morgan Hill	57191 Halls Valley	6.2	3.48	39.37
108	PGV1.D	Chi Chi	CHY029N	7.6	10.97	35.20
109	PGV1.D	Imperial Valley	5060 Brawley Airport	6.5	10.42	35.84
110	PGV1.D	Imperial Valley	5060 Brawley Airport	6.5	10.42	38.93
111	PGV1.D	Irpinia, Italy	Sturno	6.5	20.39	37.02
112	PGV1.D	Kobe	Shin-Osaka	6.9	19.15	37.79
113	PGV1.D	Loma Prieta	57217 Coyote Lake Dam (SW Abut)	6.9	20.34	39.71
114	PGV1.D	Loma Prieta	1656 Hollister Diff. Array	6.9	24.82	35.53
115	PGV1.D	Loma Prieta	1695 Sunnyvale - Colton Ave.	6.9	24.23	36.08
116	PGV1.D	Northridge	90055 Simi Valley - Katherine Rd	6.7	13.42	37.79
117	PGV1.D	Northridge	78 Stone Canyon	6.7	19.07	37.97
118	PGV1.D	Superstition Hills (B)	Poe Road (temp)	6.7	11.16	35.72
119	PGV1.D	Westmorland	5051 Parachute Test Site	5.8	16.66	39.22
120	PGV1.D	Whittier Narrows	90079 Downey - Birchdale	6.0	20.79	37.47
121	PGV1.D	Whittier Narrows	90077 Santa Fe Springs - E Joslin	6.0	18.49	37.69
122	PGV1.D	Chi Chi	CHY036W	7.6	16.06	38.96
123	PGV2.A	Cape Mendecino	89324 Rio Dell Overpass - FF	7.1	14.33	43.90
124	PGV2.A	Cape Mendecino	89324 Rio Dell Overpass - FF	7.1	14.33	42.10
125	PGV2.A	Chi Chi	TCU074N	7.6	13.46	40.84
126	PGV2.A	Chi Chi	WNTN	7.6	1.84	42.00
127	PGV2.A	Imperial Valley	6616 Aeropuerto Mexicali	6.5	0.34	42.80
128	PGV2.A	Imperial Valley	5058 El Centro Array #11	6.5	12.45	42.11
129	PGV2.A	Imperial Valley	5165 El Centro Differential Array	6.5	5.09	40.79
130	PGV2.A	Kocaeli	Ambarlı	7.4	69.62	40.03
131	PGV2.A	Landers	23 Coolwater	7.3	19.74	42.32
132	PGV2.A	Landers	22170 Joshua Tree	7.3	11.03	43.23
133	PGV2.A	Loma Prieta	47381 Gilroy Array #3	6.9	12.82	44.63
134	PGV2.A	Loma Prieta	58065 Saratoga - Aloha Ave	6.9	8.50	41.12
135	PGV2.A	Loma Prieta	58065 Saratoga - Aloha Ave	6.9	8.50	42.60
136	PGV2.A	Superstition Hills (B)	01335 El Centro Imp. Co. Cent	6.7	18.20	40.84
137	PGV2.A	Superstition Hills (B)	5051 Parachute Test Site	6.7	0.95	43.87
138	PGV2.A	Superstition Hills (B)	286 Superstition Mtn.	6.7	5.61	42.16
139	PGV2.A	Palm Springs	5071 Morongo Valley	6.0	12.07	40.90
140	PGV2.A	Coalinga	36456 Parkfield - Fault Zone 14	6.4	29.48	40.87
141	PGV2.A	Loma Prieta	13 BRAN	6.9	10.72	44.54
142	PGV2.A	Loma Prieta	57476 Gilroy - Historic Bldg.	6.9	10.97	41.97
143	PGV2.A	Loma Prieta	1028 Hollister City Hall	6.9	27.6	44.98
144	PGV2.A	Loma Prieta	1656 Hollister Diff. Array	6.9	24.82	43.83
145	PGV2.A	Northridge	90055 Simi Valley - Katherine Rd	6.7	13.42	40.80
146	PGV2.A	Northridge	90057 Canyon Country - W Lost Cany	6.7	12.44	43.02
147	PGV2.A	Northridge	90057 Canyon Country - W Lost Cany	6.7	12.44	44.94
148	PGV2.A	Northridge	90014 Beverly Hills - 12520 Mulhol	6.7	18.36	40.74
149	PGV2.A	Northridge	24538 Santa Monica City Hall	6.7	26.45	41.54

Ek-1 Tablonun devamı						
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
150	PGV2.A	Chi Chi	TCU038N	7.6	25.44	44.92
151	PGV2.A	Chi Chi	TCU046W	7.6	16.74	40.34
152	PGV2.A	Chi Chi	TCU061N	7.6	17.19	43.60
153	PGV2.A	Chi Chi	TCU112W	7.6	27.50	41.35
154	PGV2.A	Chi Chi	TCU123W	7.6	14.93	40.59
155	PGV2.A	Chi Chi	TCU141E	7.6	24.21	43.30
156	PGV2.B	Cape Mendecino	89156 Petrolia	7.1	8.18	48.40
157	PGV2.B	Chi Chi	TCU049W	7.6	3.78	47.93
158	PGV2.B	Chi Chi	TCU051W	7.6	7.66	49.30
159	PGV2.B	Chi Chi	TCU095N	7.6	45.18	49.17
160	PGV2.B	Coyote Lake	57383 Gilroy Array #6	5.7	3.11	49.20
161	PGV2.B	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	6.5	12.85	46.84
162	PGV2.B	Imperial Valley	952 El Centro Array #5	6.5	3.95	46.84
163	PGV2.B	Imperial Valley	5028 El Centro Array #7	6.5	0.56	47.60
164	PGV2.B	Imperial Valley	958 El Centro Array #8	6.5	3.86	49.10
165	PGV2.B	Kocaeli	Düzce	7.4	15.37	46.36
166	PGV2.B	Loma Prieta	57007 Corralitos	6.9	3.85	45.16
167	PGV2.B	Superstition Hills (B)	01335 El Centro Imp. Co. Cent	6.7	18.20	46.33
168	PGV2.B	Imperial Valley	412 El Centro Array #10	6.5	6.17	47.54
169	PGV2.B	Imperial Valley	5055 Holtville Post Office	6.5	7.65	48.74
170	PGV2.B	Imperial Valley	5055 Holtville Post Office	6.5	7.65	49.80
171	PGV2.B	Nahanni, Canada	6097 Site 1	6.8	9.6	45.90
172	PGV2.B	Nahanni, Canada	6097 Site 1	6.8	9.6	46.03
173	PGV2.B	Northridge	24207 Pacoima Dam (downstr)	6.7	7.01	45.09
174	PGV2.B	Westmorland	5169 Westmorland Fire Sta	5.8	6.5	48.62
175	PGV2.B	Chi Chi	CHY025W	7.6	19.09	48.43
176	PGV2.B	Chi Chi	TCU038W	7.6	25.44	48.92
177	PGV2.B	Chi Chi	TCU048N	7.6	13.55	48.33
178	PGV2.B	Chi Chi	CHY034N	7.6	14.82	48.54
179	PGV2.B	Chi Chi	TCU104N	7.6	12.89	47.20
180	PGV2.B	Chi Chi	TCU106W	7.6	14.99	46.67
181	PGV2.B	Chi Chi	TCU107N	7.6	16.01	47.42
182	PGV2.C	Chi Chi	TCU070W	7.6	19.02	52.12
183	PGV2.C	Imperial Valley	958 El Centro Array #8	6.5	3.86	54.23
184	PGV2.C	Kocaeli	Gebze	7.4	10.92	50.27
185	PGV2.C	Landers	22074 Yermo Fire Station	7.3	23.62	51.49
186	PGV2.C	Loma Prieta	1002 APEEL 2 - Redwood City	6.9	43.23	53.59
187	PGV2.C	Loma Prieta	16 LGPC	6.9	3.88	50.93
188	PGV2.C	Northridge	24088 Pacoima Kagel Canyon	6.7	7.26	51.30
189	PGV2.C	Northridge	24278 Castaic - Old Ridge Route	6.7	20.72	51.99
190	PGV2.C	Northridge	24278 Castaic - Old Ridge Route	6.7	20.72	51.97
191	PGV2.C	Irpinia, Italy	Sturno	6.5	20.39	52.72
192	PGV2.C	Loma Prieta	13 BRAN	6.9	10.72	51.29
193	PGV2.C	Morgan Hill	57217 Coyote Lake Dam	6.2	0.53	51.60
194	PGV2.C	Northridge	00000 LA Dam	6.7	5.92	50.81
195	PGV2.C	San Fernando	279 Pacoima Dam	6.6	1.81	54.08
196	PGV2.C	Chi Chi	CHY024W	7.6	9.64	52.91
197	PGV2.C	Chi Chi	TCU029N	7.6	28.05	54.00
198	PGV2.C	Chi Chi	TCU036N	7.6	19.84	50.24
199	PGV2.C	Chi Chi	TCU039N	7.6	19.9	54.03

Ek-1 Tablonun devamı						
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
200	PGV2.C	Chi Chi	TCU039W	7.6	19.9	50.00
201	PGV2.C	Chi Chi	TCU040N	7.6	22.08	50.35
202	PGV2.C	Chi Chi	TCU040W	7.6	22.08	50.86
203	PGV2.C	Chi Chi	TCU055N	7.6	6.36	51.47
204	PGV2.C	Chi Chi	TCU064N	7.6	16.62	54.06
205	PGV2.C	Chi Chi	CHY002N	7.6	24.98	52.89
206	PGV2.C	Chi Chi	CHY104E	7.6	18.04	52.64
207	PGV2.C	Chi Chi	TCU109N	7.6	13.08	53.09
208	PGV2.C	Chi Chi	TCU109W	7.6	13.08	50.80
209	PGV2.C	Chi Chi	TCU115W	7.6	21.78	53.99
210	PGV2.C	Chi Chi	TCU117N	7.6	25.44	54.41
211	PGV2.D	Chi Chi	TCU082W	7.6	5.18	58.42
212	PGV2.D	Duzce	Düzce	7.1	6.58	59.92
213	PGV2.D	Kocaeli	Düzce	7.4	15.37	58.83
214	PGV2.D	Loma Prieta	57007 Corralitos	6.9	3.85	55.14
215	PGV2.D	Duzce	Bolu	7.1	12.04	56.39
216	PGV2.D	Northridge	24207 Pacoima Dam (upper left)	6.7	7.01	54.86
217	PGV2.D	Chi Chi	TCU036W	7.6	19.84	59.68
218	PGV2.D	Chi Chi	TCU054W	7.6	5.3	59.47
219	PGV2.D	Chi Chi	TCU059N	7.6	17.13	56.24
220	PGV2.D	Chi Chi	TCU059W	7.6	17.13	59.47
221	PGV2.D	Chi Chi	TCU063W	7.6	9.8	59.00
222	PGV2.D	Chi Chi	TCU072N	7.6	7.03	56.37
223	PGV2.D	Chi Chi	CHY006E	7.6	9.77	55.42
224	PGV2.D	Chi Chi	CHY092E	7.6	22.7	54.81
225	PGV2.D	Chi Chi	CHY104N	7.6	18.04	55.25
226	PGV2.D	Chi Chi	TCU110N	7.6	11.60	54.97
227	PGV2.D	Chi Chi	TCU111W	7.6	22.14	57.86
228	PGV2.D	Chi Chi	TCU117W	7.6	25.44	57.85
229	PGV2.D	Chi Chi	TCU136E	7.6	8.29	55.77
230	PGV3.A	Chi Chi	TCU049N	7.6	3.78	61.21
231	PGV3.A	Chi Chi	TCU070N	7.6	19.02	62.28
232	PGV3.A	Chi Chi	TCU076N	7.6	2.76	64.19
233	PGV3.A	Chi Chi	TCU076W	7.6	2.76	62.59
234	PGV3.A	Chi Chi	TCU095W	7.6	45.18	62.03
235	PGV3.A	Coalinga	1162 Pleasant Valley P.P. - yard	6.4	8.41	60.10
236	PGV3.A	Imperial Valley	942 El Centro Array #6	6.5	1.35	64.85
237	PGV3.A	Kocaeli	Yarımca	7.4	4.83	62.15
238	PGV3.A	Northridge	90053 Canoga Park - Topanga Can	6.7	14.70	60.58
239	PGV3.A	Northridge	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	6.7	12.09	61.44
240	PGV3.A	Duzce	Bolu	7.1	12.04	62.08
241	PGV3.A	Erzincan	95 Erzincan	6.9	4.38	64.32
242	PGV3.A	Loma Prieta	47524 Hollister - South & Pine	6.9	27.93	62.37
243	PGV3.A	Loma Prieta	58235 Saratoga - W Valley Coll.	6.9	9.31	61.56
244	PGV3.A	Northridge	00000 LA Dam	6.7	5.92	63.70
245	PGV3.A	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	6.7	17.15	62.84
246	PGV3.A	Chi Chi	TCU079W	7.6	10.97	61.26
247	PGV3.A	Chi Chi	TCU103W	7.6	6.10	61.92
248	PGV3.A	Chi Chi	TCU120W	7.6	7.41	63.18
249	PGV3.A	Chi Chi	TCU129W	7.6	1.84	60.03

Ek-1 Tablonun devamı						
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	M	d	PGV
250	PGV3.B	Chi Chi	CHY028N	7.6	3.14	67.00
251	PGV3.B	Chi Chi	WNTE	7.6	1.84	68.78
252	PGV3.B	Gazlı	9201 Karakyr	6.8	5.46	65.38
253	PGV3.B	Imperial Valley	5154 EC County Center FF	6.5	7.31	68.76
254	PGV3.B	Kobe	Takarazuka	6.9	0.27	68.38
255	PGV3.B	Kocaeli	Yarımca	7.4	4.83	65.68
256	PGV3.B	Northridge	90056 Newhall - W. Pico Canyon Rd.	6.7	5.48	67.40
257	PGV3.B	Chi Chi	TCU067N	7.6	0.64	66.68
258	PGV3.B	Chi Chi	TCU071N	7.6	5.31	69.38
259	PGV3.B	Chi Chi	TCU110W	7.6	11.60	67.54
260	PGV3.B	Chi Chi	TCU128N	7.6	13.15	68.82
261	PGV3.B	Chi Chi	WGKE	7.6	9.96	69.05
262	PGV3.C	Chi Chi	CHY028W	7.6	3.14	72.80
263	PGV3.C	Chi Chi	TCU074W	7.6	13.46	73.38
264	PGV3.C	Gazlı	9201 Karakyr	6.8	5.46	71.60
265	PGV3.C	Imperial Valley	5155 EC Meloland Overpass FF	6.5	0.07	71.73
266	PGV3.C	Imperial Valley	5165 El Centro Differential Array	6.5	5.09	71.20
267	PGV3.C	Palm Springs	5070 North Palm Springs	6.0	4.04	73.30
268	PGV3.C	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	6.7	17.15	74.98
269	PGV3.C	Kobe	Kjma	6.9	0.96	74.36
270	PGV3.C	Northridge	77 Rinaldi Receiving Sta	6.7	6.5	72.97
271	PGV3.C	Chi Chi	CHY101W	7.6	9.96	70.60
272	PGV3.C	Chi Chi	TCU063N	7.6	9.8	73.14
273	PGV3.C	Chi Chi	TCU072W	7.6	7.03	71.78
274	PGV3.C	Chi Chi	TCU101W	7.6	2.13	70.60
275	PGV3.C	Chi Chi	TCU128W	7.6	13.15	73.06
276	PGV3.C	Chi Chi	WGKN	7.6	9.96	74.42
277	PGV3.D	Imperial Valley	955 El Centro Array #4	6.5	7.05	76.50
278	PGV3.D	Kocaeli	Sakarya	7.4	3.12	79.46
279	PGV3.D	Northridge	24279 Newhall - Fire Sta	6.7	5.92	75.49
280	PGV3.D	Northridge	0637 Sepulveda VA	6.7	8.44	76.56
281	PGV3.D	Northridge	24514 Sylmar - Olive View Med FF	6.7	5.30	78.16
282	PGV3.D	Chi Chi	TCU065N	7.6	0.59	78.80
283	PGV3.D	Chi Chi	TCU067W	7.6	0.64	79.58
284	PGV3.D	Parkfield	1013 Cholame #2	6.1	6.28	74.98
285	PGV3.D	Northridge	0 Pardee - SCE	6.7	7.46	75.21
286	PGV3.D	Northridge	75 Sylmar - Converter Sta East	6.7	5.19	74.61
287	PGV3.D	Northridge	24436 Tarzana, Cedar Hill	6.7	15.6	77.26
288	PGV3.D	Chi Chi	TCU102N	7.6	1.51	77.21

Ek-2 Ölçeklendirilerek kullanılan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekler (PGV=cm/s)

Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	Ölçek	PGV
1	PGV2.D	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	1.229	57.59
2	PGV2.D	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	1.441	57.47
3	PGV2.D	Irpinia, Italy	Sturno	1.091	57.51
4	PGV2.D	Palm Springs	5071 Morongo Valley	1.406	57.54
5	PGV2.D	Superstition Hills (B)	01335 El Centro Imp. Co. Cent	1.239	57.42
6	PGV2.D	Superstition Hills (B)	01335 El Centro Imp. Co. Cent	1.406	57.47
7	PGV2.D	Cape Mendecino	89324 Rio Dell Overpass - FF	1.310	57.42
8	PGV2.D	Cape Mendecino	89324 Rio Dell Overpass - FF	1.366	57.26
9	PGV2.D	Landers	23 Coolwater	1.359	57.54
10	PGV2.D	Landers	22074 Yermo Fire Station	1.117	57.46
11	PGV2.D	Kocaeli	Düzce	1.239	57.49
12	PGV2.D	Kocaeli	Gebze	1.143	57.50
13	PGV3.A	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	1.335	62.55
14	PGV3.A	Imperial Valley	5055 Holtville Post Office	1.255	62.49
15	PGV3.A	Irpinia, Italy	Sturno	1.186	62.52
16	PGV3.A	Superstition Hills (B)	01335 El Centro Imp. Co. Cent	1.347	62.42
17	PGV3.A	Loma Prieta	13 BRAN	1.218	62.47
18	PGV3.A	Landers	22074 Yermo Fire Station	1.214	62.45
19	PGV3.A	Kocaeli	Düzce	1.063	62.56
20	PGV3.A	Kocaeli	Gebze	1.243	62.54
21	PGV3.A	Duzce	Bolu	1.108	62.48
22	PGV3.B	Imperial Valley	5057 El Centro Array #3	1.442	67.57
23	PGV3.B	Irpinia, Italy	Sturno	1.281	67.53
24	PGV3.B	Loma Prieta	47381 Gilroy Array #3	1.510	67.44
25	PGV3.B	Loma Prieta	13 BRAN	1.316	67.49
26	PGV3.B	Loma Prieta	47524 Hollister - South & Pine	1.082	67.48
27	PGV3.B	Landers	22074 Yermo Fire Station	1.311	67.44
28	PGV3.B	Northridge	24278 Castaic - Old Ridge Route	1.296	67.38
29	PGV3.B	Northridge	24278 Castaic - Old Ridge Route	1.293	67.20
30	PGV3.B	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.144	67.39
31	PGV3.B	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.075	67.55
32	PGV3.B	Northridge	90053 Canoga Park - Topanga Can	1.110	67.33
33	PGV3.B	Northridge	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	1.098	67.50
34	PGV3.B	Kocaeli	Düzce	1.148	67.56
35	PGV3.B	Kocaeli	Gebze	1.342	67.52
36	PGV3.B	Duzce	Bolu	1.197	67.50
37	PGV3.B	Duzce	Bolu	1.087	67.48
38	PGV3.C	Gazlı	9201 Karakyr	1.109	72.48
39	PGV3.C	Imperial Valley	5154 EC County Center FF	1.054	72.48
40	PGV3.C	Irpinia, Italy	Sturno	1.376	72.54
41	PGV3.C	Coalinga	1162 Pleasant Valley P.P. - yard	1.204	72.38
42	PGV3.C	Loma Prieta	47524 Hollister - South & Pine	1.162	72.47
43	PGV3.C	Loma Prieta	58235 Saratoga - W Valley Coll.	1.179	72.58
44	PGV3.C	Northridge	24278 Castaic - Old Ridge Route	1.389	72.19
45	PGV3.C	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.229	72.40
46	PGV3.C	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.154	72.51
47	PGV3.C	Northridge	90053 Canoga Park - Topanga Can	1.192	72.30
48	PGV3.C	Northridge	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	1.179	72.48
49	PGV3.C	Kocaeli	Düzce	1.233	72.56

Ek-2 Tablonun devamı					
Sıra	Grup	Deprem	İstasyon Adı	Ölçek	PGV
50	PGV3.C	Kocaeli	Gebze	1.441	72.50
51	PGV3.C	Kocaeli	Yarımca	1.104	72.58
52	PGV3.C	Duzce	Düzce	1.208	72.46
53	PGV3.C	Duzce	Bolu	1.285	72.47
54	PGV3.C	Duzce	Bolu	1.167	72.45
55	PGV3.D	Gazlı	9201 Karakyr	1.082	77.40
56	PGV3.D	Imperial Valley	5154 EC County Center FF	1.126	77.43
57	PGV3.D	Imperial Valley	5165 El Centro Differential Array	1.088	77.49
58	PGV3.D	Irpinia, Italy	Sturno	1.471	77.54
59	PGV3.D	Loma Prieta	13 BRAN	1.511	77.49
60	PGV3.D	Loma Prieta	58235 Saratoga - W Valley Coll.	1.260	77.57
61	PGV3.D	Landers	22074 Yermo Fire Station	1.505	77.42
62	PGV3.D	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.314	77.41
63	PGV3.D	Northridge	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	1.234	77.54
64	PGV3.D	Northridge	90053 Canoga Park - Topanga Can	1.275	77.34
65	PGV3.D	Northridge	90056 Newhall - W. Pico Canyon Rd.	1.150	77.50
66	PGV3.D	Northridge	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	1.260	77.46
67	PGV3.D	Northridge	77 Rinaldi Receiving Sta	1.062	77.49
68	PGV3.D	Kocaeli	Düzce	1.318	77.57
69	PGV3.D	Kocaeli	Gebze	1.541	77.53
70	PGV3.D	Duzce	Düzce	1.292	77.49
71	PGV3.D	Duzce	Bolu	1.374	77.48
72	PGV3.D	Duzce	Bolu	1.248	77.47

Ek-3c PGV2 grubuna ait ivme kayıtları için maksimum deplasman taleplerinin ortalaması (cm)

		V _y /W (%)																
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T(s)	0.4	9.23	7.75	6.75	6.12	5.61	5.20	4.79	4.51	4.32	4.13	3.97	3.83	3.70	3.60	3.53	3.46	3.42
	0.5	10.30	8.87	7.80	7.08	6.55	6.15	5.90	5.66	5.45	5.28	5.10	4.95	4.83	4.74	4.66	4.60	4.56
	0.6	11.23	9.99	9.19	8.47	7.94	7.53	7.19	6.90	6.62	6.40	6.23	6.09	5.99	5.89	5.78	5.68	5.59
	0.7	12.10	10.93	9.92	9.36	8.90	8.46	8.08	7.80	7.63	7.49	7.34	7.20	7.11	7.08	7.02	6.96	6.90
	0.8	13.09	11.72	10.84	10.04	9.66	9.35	9.01	8.71	8.47	8.30	8.21	8.18	8.15	8.10	8.07	8.07	8.06
	0.9	14.54	13.04	12.06	11.21	10.66	10.19	9.85	9.53	9.32	9.20	9.16	9.12	9.11	9.10	9.08	9.08	9.09
	1.0	15.29	13.82	12.89	12.17	11.60	11.30	10.97	10.70	10.51	10.37	10.22	10.18	10.19	10.22	10.29	10.40	10.45
	1.1	15.95	14.46	13.51	13.01	12.58	12.18	11.88	11.70	11.57	11.53	11.52	11.52	11.47	11.45	11.44	11.46	11.48
	1.2	16.76	15.36	14.20	13.63	13.28	12.90	12.66	12.55	12.56	12.59	12.64	12.73	12.76	12.73	12.70	12.68	12.70
	1.3	17.23	15.88	14.98	14.46	14.15	13.95	13.77	13.73	13.74	13.82	13.90	13.97	13.94	13.88	13.85	13.87	13.88
	1.4	17.73	16.18	15.53	15.30	15.15	15.00	14.82	14.75	14.82	14.98	15.08	15.14	15.16	15.21	15.23	15.24	15.21
	1.5	18.13	17.10	16.31	15.96	15.76	15.67	15.67	15.81	15.90	15.98	16.08	16.18	16.21	16.24	16.26	16.30	16.33
	1.6	18.90	17.45	16.75	16.60	16.60	16.62	16.71	16.84	16.94	16.98	16.94	16.93	16.93	16.98	17.03	17.06	17.09
	1.7	19.38	18.05	17.29	17.30	17.56	17.47	17.53	17.43	17.36	17.42	17.50	17.54	17.60	17.64	17.71	17.77	17.74
	1.8	20.05	19.10	18.25	17.89	18.05	18.18	18.11	18.06	18.13	18.18	18.24	18.25	18.30	18.34	18.36	18.42	18.41
	1.9	20.96	20.33	19.51	18.78	18.45	18.51	18.67	18.77	18.84	18.89	19.00	19.09	19.15	19.18	19.23	19.19	19.21
	2.0	21.69	21.07	20.53	20.19	20.13	20.06	20.07	20.15	20.14	20.28	20.41	20.50	20.51	20.54	20.53	20.53	20.59
	2.1	22.31	21.65	21.39	21.37	21.44	21.39	21.46	21.58	21.60	21.65	21.66	21.68	21.70	21.72	21.79	21.87	21.86
2.2	23.06	21.93	21.59	21.79	21.98	22.15	22.48	22.61	22.62	22.74	22.79	22.79	22.83	22.90	22.93	22.93	22.97	
2.3	23.38	22.36	22.17	22.58	22.97	23.24	23.35	23.46	23.59	23.82	23.85	23.93	23.98	24.02	24.04	24.05	24.05	
2.4	24.19	23.02	23.13	23.56	23.96	24.23	24.29	24.43	24.66	24.85	24.95	24.98	25.07	25.14	25.15	25.14	25.14	
2.5	25.44	24.15	24.24	24.62	25.10	25.38	25.69	25.75	25.91	25.96	26.11	26.19	26.24	26.22	26.21	26.21	26.21	
2.6	26.36	25.77	25.61	26.07	26.50	26.81	26.97	27.03	27.07	27.19	27.31	27.35	27.35	27.34	27.33	27.33	27.33	

Ek-3d PGV2 grubuna ait ivme kayıtları için maksimum deplasman taleplerinin standart sapması (cm)

		Vy/W (%)																
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T(s)	0.4	4.64	4.29	4.06	3.95	3.86	3.78	3.54	3.45	3.43	3.36	3.25	3.14	3.03	2.91	2.82	2.73	2.66
	0.5	4.96	4.76	4.46	4.34	4.26	4.16	4.06	3.84	3.65	3.51	3.37	3.20	3.07	2.96	2.87	2.77	2.69
	0.6	5.57	5.12	5.05	4.92	4.83	4.74	4.57	4.37	4.15	3.96	3.78	3.61	3.50	3.41	3.32	3.19	3.07
	0.7	5.98	5.50	5.15	5.12	5.07	4.94	4.82	4.74	4.62	4.49	4.31	4.11	3.93	3.81	3.69	3.59	3.51
	0.8	6.07	5.75	5.32	5.16	5.09	4.97	4.71	4.48	4.28	4.11	4.00	3.98	3.96	3.96	3.94	3.92	3.86
	0.9	6.63	5.97	5.74	5.52	5.30	5.07	4.84	4.69	4.56	4.35	4.21	4.14	4.12	4.07	3.97	3.94	3.92
	1.0	6.98	6.33	5.71	5.44	5.29	5.21	5.04	4.75	4.53	4.42	4.29	4.20	4.14	4.11	4.10	4.16	4.21
	1.1	7.65	6.92	6.59	6.29	5.86	5.63	5.30	5.06	4.91	4.76	4.68	4.62	4.49	4.42	4.33	4.29	4.29
	1.2	7.85	6.87	6.53	6.18	6.12	5.82	5.61	5.49	5.43	5.28	5.14	5.12	5.09	5.02	4.95	4.85	4.82
	1.3	8.10	6.79	6.39	6.26	6.10	5.93	5.76	5.70	5.63	5.60	5.58	5.58	5.48	5.33	5.23	5.22	5.18
	1.4	8.35	6.82	6.09	6.08	5.96	5.80	5.72	5.66	5.71	5.85	6.01	6.05	5.98	5.95	5.92	5.90	5.83
	1.5	8.36	7.08	6.32	5.97	5.81	5.58	5.47	5.58	5.79	5.87	5.94	6.01	5.95	5.94	5.94	6.00	6.04
	1.6	8.61	6.99	6.41	6.30	6.30	6.33	6.31	6.38	6.50	6.56	6.50	6.32	6.27	6.33	6.41	6.48	6.52
	1.7	9.88	8.14	6.85	6.66	6.70	6.75	6.82	6.75	6.68	6.75	6.80	6.89	6.96	6.98	7.10	7.17	7.11
	1.8	10.78	9.46	7.52	6.78	6.83	6.98	7.06	7.11	7.25	7.28	7.30	7.29	7.39	7.51	7.55	7.66	7.62
	1.9	10.63	10.15	8.76	7.60	6.96	7.09	7.26	7.45	7.57	7.66	7.81	8.01	8.22	8.32	8.40	8.30	8.31
	2.0	10.22	9.84	9.73	9.16	8.64	8.35	8.13	8.19	8.22	8.47	8.75	8.93	8.95	8.99	8.97	8.92	9.09
	2.1	10.44	10.18	10.03	9.94	9.70	9.41	9.25	9.35	9.38	9.44	9.52	9.49	9.50	9.54	9.69	9.87	9.85
2.2	10.51	9.61	9.37	9.31	9.41	9.48	9.82	9.91	9.91	10.12	10.17	10.15	10.25	10.40	10.45	10.47	10.57	
2.3	10.60	9.36	9.22	9.48	9.79	9.86	10.02	10.12	10.29	10.65	10.71	10.87	10.95	11.05	11.08	11.12	11.12	
2.4	10.62	9.39	9.49	9.79	10.06	10.20	10.29	10.49	10.80	11.12	11.33	11.41	11.60	11.79	11.82	11.79	11.78	
2.5	11.16	9.49	9.55	9.83	10.24	10.57	10.96	11.08	11.30	11.44	11.80	11.99	12.10	12.05	12.03	12.02	12.02	
2.6	11.68	10.19	9.79	10.31	10.79	11.13	11.35	11.43	11.52	11.78	12.07	12.19	12.21	12.17	12.15	12.14	12.14	

Ek-3e PGV3 grubuna ait ivme kayıtları için maksimum deplasman taleplerinin ortalaması (cm)

		V _y /W (%)																
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T(s)	0.4	17.11	14.81	13.10	11.86	10.91	9.97	9.20	8.57	8.08	7.66	7.36	7.14	6.95	6.72	6.47	6.25	6.02
	0.5	18.67	16.02	14.22	12.90	11.84	11.04	10.44	9.97	9.57	9.24	8.96	8.71	8.48	8.31	8.14	7.98	7.82
	0.6	20.42	17.85	16.04	14.83	13.92	13.10	12.45	11.96	11.53	11.11	10.73	10.32	9.91	9.58	9.33	9.15	9.02
	0.7	22.17	19.87	17.73	15.98	15.03	14.35	13.82	13.39	12.97	12.61	12.36	12.17	12.07	11.95	11.82	11.65	11.48
	0.8	23.59	21.19	19.38	17.89	16.54	15.48	14.81	14.35	13.97	13.63	13.36	13.20	13.04	12.96	12.95	12.98	13.01
	0.9	24.66	22.30	20.49	19.12	18.09	17.24	16.47	15.85	15.37	15.02	14.82	14.72	14.62	14.54	14.43	14.38	14.37
	1.0	25.45	23.56	21.89	20.48	19.17	18.17	17.52	16.97	16.67	16.47	16.32	16.19	16.14	16.10	16.07	16.05	16.01
	1.1	26.10	24.15	22.57	21.47	20.33	19.37	18.72	18.26	17.83	17.44	17.13	16.92	16.77	16.73	16.74	16.78	16.81
	1.2	26.78	24.31	22.92	21.98	21.52	20.99	20.52	20.20	19.99	19.80	19.48	19.17	18.87	18.63	18.44	18.29	18.19
	1.3	27.77	25.40	24.00	22.81	22.07	21.69	21.38	21.11	20.95	20.80	20.64	20.45	20.22	20.04	19.93	19.91	19.86
	1.4	28.69	26.57	25.39	24.21	22.95	22.07	21.38	21.08	21.10	21.21	21.36	21.64	21.77	21.92	22.04	22.15	22.19
	1.5	29.68	27.29	26.45	25.63	24.65	23.72	22.96	22.45	22.14	22.14	22.31	22.54	22.67	22.70	22.80	22.94	23.05
	1.6	30.46	27.89	26.70	26.23	25.70	25.19	24.75	24.26	23.95	23.80	23.71	23.63	23.66	23.74	23.89	24.05	24.18
	1.7	31.52	28.95	27.41	26.53	26.07	25.69	25.48	25.31	25.18	25.01	25.01	25.10	25.11	25.13	25.19	25.26	25.26
	1.8	32.40	29.69	28.06	27.17	26.37	25.84	25.52	25.59	25.78	25.98	26.11	26.20	26.22	26.26	26.32	26.43	26.52
	1.9	33.20	30.66	28.74	27.87	27.10	26.52	26.47	26.51	26.72	26.95	27.18	27.42	27.58	27.66	27.66	27.72	27.75
	2.0	33.93	31.54	29.93	28.84	28.29	28.36	28.52	28.54	28.58	28.68	28.76	28.93	29.14	29.36	29.51	29.67	29.74
	2.1	34.54	32.42	31.07	30.12	29.94	30.21	30.45	30.51	30.68	30.90	31.13	31.41	31.50	31.48	31.45	31.49	31.55
2.2	35.30	33.23	32.28	31.73	31.29	31.25	31.64	32.03	32.41	32.73	33.00	33.20	33.25	33.30	33.43	33.51	33.55	
2.3	36.23	34.10	33.44	33.18	33.06	33.09	33.33	33.69	34.03	34.25	34.42	34.61	34.71	34.93	35.15	35.24	35.22	
2.4	37.14	35.24	34.92	35.07	35.06	34.95	34.89	34.99	35.13	35.44	35.72	35.80	36.04	36.29	36.48	36.57	36.56	
2.5	38.09	36.30	35.84	36.12	36.23	36.20	36.43	36.62	36.65	36.75	36.80	36.88	37.06	37.29	37.51	37.57	37.58	
2.6	38.96	37.22	36.83	37.13	37.21	37.18	37.47	37.66	37.67	37.63	37.68	37.91	38.15	38.35	38.51	38.60	38.69	

Ek-3f PGV3 grubuna ait ivme kayıtları için maksimum deplasman taleplerinin standart sapması (cm)

		Vy/W (%)																
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T(s)	0.4	7.88	7.01	6.62	6.34	6.02	5.71	5.44	5.14	4.83	4.53	4.34	4.25	4.20	4.12	4.01	3.90	3.78
	0.5	8.75	7.92	7.04	6.73	6.32	6.03	5.76	5.55	5.37	5.14	4.92	4.70	4.52	4.42	4.31	4.21	4.10
	0.6	9.39	8.95	7.94	7.38	7.00	6.76	6.66	6.56	6.36	6.11	5.78	5.44	5.12	4.84	4.60	4.42	4.31
	0.7	9.77	9.64	9.13	8.40	7.75	7.34	7.13	7.06	6.99	6.94	6.87	6.72	6.54	6.38	6.24	6.10	5.99
	0.8	10.28	9.57	9.43	8.95	8.39	7.79	7.38	7.02	6.74	6.55	6.44	6.36	6.18	6.01	5.94	5.94	5.99
	0.9	10.92	9.75	9.43	9.12	8.81	8.42	7.82	7.47	7.19	6.92	6.82	6.85	6.82	6.73	6.57	6.42	6.30
	1.0	11.67	10.10	9.51	9.20	8.56	8.10	7.85	7.77	7.69	7.56	7.44	7.27	7.18	7.13	7.06	6.96	6.80
	1.1	12.30	10.50	9.88	9.38	9.10	8.84	8.71	8.66	8.48	8.18	7.92	7.62	7.36	7.17	7.11	7.11	7.08
	1.2	13.05	11.16	10.11	9.46	9.26	9.04	8.83	8.83	8.90	8.88	8.74	8.54	8.16	7.73	7.41	7.12	6.94
	1.3	13.16	11.41	10.41	9.68	8.99	8.75	8.61	8.58	8.64	8.71	8.81	8.81	8.64	8.36	8.00	7.76	7.54
	1.4	12.93	11.40	10.64	9.73	8.81	8.45	8.04	7.73	7.69	7.79	7.99	8.25	8.48	8.69	8.83	8.95	9.00
	1.5	13.17	11.15	10.88	10.54	9.71	8.98	8.39	7.84	7.50	7.45	7.60	7.81	7.94	8.00	8.11	8.25	8.36
	1.6	13.81	12.01	10.84	10.59	10.00	9.70	9.54	9.33	9.03	8.73	8.52	8.33	8.24	8.21	8.29	8.40	8.52
	1.7	14.28	12.85	11.66	10.81	9.99	9.27	9.24	9.14	9.11	9.04	9.03	9.10	9.14	9.02	8.96	8.95	8.94
	1.8	14.99	13.41	12.40	11.69	10.74	9.72	9.05	8.97	9.02	9.18	9.34	9.29	9.18	9.15	9.17	9.27	9.40
	1.9	15.77	14.22	13.03	12.54	11.74	10.86	10.45	10.16	10.28	10.34	10.35	10.31	10.27	10.26	10.27	10.36	10.40
	2.0	16.47	14.73	13.55	12.70	12.13	12.03	11.88	11.70	11.75	11.85	11.79	11.80	11.91	12.10	12.27	12.49	12.56
	2.1	17.00	15.23	13.86	12.78	12.45	12.67	12.92	13.02	13.25	13.52	13.61	13.81	13.91	13.79	13.69	13.70	13.79
2.2	17.34	15.65	14.22	13.54	13.04	12.97	13.26	13.57	13.92	14.16	14.25	14.28	14.24	14.29	14.51	14.67	14.70	
2.3	17.82	15.68	14.19	13.87	13.91	13.92	14.00	14.03	14.15	14.26	14.36	14.55	14.69	15.03	15.43	15.61	15.56	
2.4	18.38	15.53	14.15	14.08	14.35	14.28	14.12	13.91	13.88	14.12	14.42	14.55	14.95	15.38	15.74	15.96	15.93	
2.5	18.84	15.81	14.21	14.19	14.21	14.18	14.13	14.16	14.23	14.31	14.32	14.47	14.81	15.25	15.70	15.85	15.90	
2.6	18.91	16.10	14.03	13.88	14.04	14.00	14.17	14.43	14.46	14.34	14.38	14.77	15.25	15.62	15.95	16.18	16.44	

Ek-4 İncelenen binalarda hasar seviyeleri için lognormal dağılım parametreleri

Bina Kodu	MN		GV		GÇ	
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
B1	3.985	0.416	4.251	0.308	4.319	0.280
B2	3.615	0.371	4.075	0.316	4.168	0.301
B3	4.021	0.360	4.374	0.307	4.603	0.328
B4	3.972	0.398	4.221	0.292	4.268	0.228
B5	4.234	0.338	4.302	0.338	4.350	0.340
B6	3.627	0.431	4.169	0.359	4.238	0.325
B7	3.564	0.366	3.936	0.375	4.039	0.364
B8	3.754	0.362	4.157	0.297	4.246	0.318
B9	3.373	0.427	3.977	0.336	4.127	0.268
B10	3.839	0.429	4.302	0.381	4.466	0.261
B11	3.809	0.337	4.220	0.363	4.436	0.302
B12	3.795	0.452	4.138	0.342	4.220	0.329
B13	3.736	0.398	4.186	0.394	4.529	0.410
B14	3.313	0.560	3.996	0.372	4.104	0.308
B15	3.573	0.384	4.056	0.397	4.235	0.420
B16	3.879	0.399	4.083	0.374	4.149	0.348
B17	3.897	0.411	4.341	0.378	4.445	0.242
B18	3.741	0.435	4.285	0.354	4.585	0.387
B19	3.939	0.410	4.161	0.323	4.199	0.261
B20	3.542	0.389	3.997	0.389	4.218	0.453
B21	3.481	0.488	4.097	0.290	4.281	0.252
B22	3.846	0.464	4.378	0.304	4.584	0.255
B23	3.367	0.400	3.958	0.296	4.075	0.257
B24	3.580	0.383	4.132	0.320	4.315	0.390
B25	3.530	0.552	4.276	0.328	4.383	0.223
B26	3.627	0.431	3.996	0.433	4.075	0.408
B27	3.627	0.431	3.996	0.433	4.075	0.408
B28	3.835	0.479	4.274	0.324	4.351	0.284
B29	3.627	0.431	4.165	0.362	4.265	0.317
B30	3.661	0.401	4.125	0.351	4.242	0.340
B31	3.696	0.448	4.188	0.305	4.285	0.354
B32	3.955	0.402	4.123	0.354	4.150	0.348
B33	3.765	0.389	4.287	0.276	4.416	0.234
B34	3.721	0.454	4.215	0.347	4.352	0.350
B35	3.560	0.412	4.093	0.326	4.353	0.308
B36	3.849	0.379	4.390	0.244	4.481	0.187
B37	3.833	0.439	3.936	0.409	4.008	0.383
B38	3.993	0.413	4.195	0.386	4.266	0.431
B39	3.823	0.363	4.291	0.316	4.425	0.261
B40	3.642	0.366	4.150	0.308	4.344	0.401

Ek-4 Tablonun devamı						
Bina Kodu	MN		GV		GÇ	
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
B41	3.695	0.490	4.200	0.265	4.344	0.266
B42	3.473	0.531	4.125	0.302	4.292	0.253
B43	3.580	0.406	4.102	0.243	4.394	0.389
B44	3.610	0.439	4.195	0.237	4.365	0.202
B45	3.642	0.408	4.008	0.297	4.073	0.302
B46	3.832	0.419	4.152	0.274	4.195	0.223
B47	3.654	0.445	4.232	0.243	4.343	0.191
B48	3.443	0.439	4.054	0.270	4.274	0.290
B49	3.724	0.429	4.238	0.363	4.355	0.282
B50	3.665	0.357	4.156	0.310	4.371	0.275
B51	3.779	0.379	4.287	0.276	4.445	0.255
B52	3.574	0.524	4.226	0.267	4.424	0.284
B53	3.405	0.460	3.900	0.380	3.990	0.379
B54	3.715	0.409	4.256	0.198	4.451	0.188
B55	3.690	0.374	3.881	0.365	3.968	0.364
B56	3.921	0.391	4.367	0.381	4.479	0.256
B57	3.945	0.414	4.423	0.376	4.503	0.239
B58	3.945	0.414	4.423	0.376	4.503	0.239
B59	3.893	0.400	4.150	0.348	4.207	0.315
B60	3.474	0.449	3.886	0.349	3.972	0.332
B61	3.474	0.449	3.886	0.349	3.972	0.332
B62	3.474	0.449	3.886	0.349	3.972	0.332
B63	3.474	0.449	3.886	0.349	3.972	0.332
B64	3.804	0.390	4.036	0.334	4.178	0.364
B65	3.749	0.468	4.217	0.364	4.315	0.225
B66	3.911	0.415	4.309	0.314	4.422	0.201
B67	3.600	0.398	3.941	0.377	4.039	0.364
B68	3.724	0.429	4.161	0.345	4.263	0.333
B69	3.378	0.604	4.106	0.296	4.247	0.252
B70	3.266	0.457	3.990	0.318	4.215	0.253
B71	3.600	0.398	4.174	0.346	4.369	0.355
B72	3.443	0.443	3.938	0.328	4.014	0.304
B73	3.593	0.532	4.205	0.256	4.430	0.280
B74	3.576	0.413	3.923	0.456	4.026	0.443
B75	3.508	0.413	3.876	0.381	3.964	0.368
B76	3.924	0.397	4.074	0.421	4.131	0.379
B77	3.924	0.397	4.074	0.421	4.131	0.379
B78	3.650	0.353	3.950	0.359	4.030	0.362
B79	3.650	0.353	3.950	0.359	4.030	0.362
B80	3.454	0.418	3.850	0.334	3.946	0.354
B81	3.966	0.389	4.367	0.381	4.479	0.256

Ek-4 Tablonun devamı						
Bina Kodu	MN		GV		GÇ	
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
B82	3.851	0.354	3.953	0.367	4.008	0.379
B83	3.509	0.527	4.202	0.262	4.400	0.235
B84	4.052	0.334	4.142	0.329	4.204	0.320
B85	3.315	0.472	3.965	0.306	4.070	0.261
B86	3.304	0.432	3.967	0.303	4.060	0.275
B87	3.523	0.400	3.936	0.375	4.021	0.351
B88	3.609	0.433	4.077	0.335	4.155	0.277
B89	3.833	0.351	3.916	0.339	3.950	0.359
B90	3.826	0.367	3.961	0.364	4.008	0.355
B91	3.948	0.371	4.100	0.413	4.141	0.399
B92	3.367	0.400	3.958	0.296	4.075	0.257
B93	3.675	0.447	4.169	0.359	4.238	0.325
B94	3.732	0.448	3.990	0.386	4.072	0.340
B95	4.234	0.338	4.302	0.338	4.350	0.340
B96	3.861	0.413	4.026	0.399	4.073	0.380
B97	3.351	0.450	3.700	0.381	3.788	0.365
B98	3.830	0.460	3.996	0.390	4.031	0.368
B99	3.182	0.460	3.862	0.378	3.983	0.367
B100	3.703	0.388	4.030	0.362	4.115	0.393
B101	3.624	0.445	4.143	0.267	4.293	0.173
B102	3.865	0.461	4.150	0.365	4.239	0.354
B103	3.483	0.439	4.039	0.276	4.161	0.282
B104	3.685	0.417	4.000	0.335	4.075	0.300
B105	3.199	0.534	3.821	0.405	3.921	0.394
B106	3.769	0.365	4.054	0.352	4.163	0.296
B107	3.550	0.401	3.734	0.378	3.784	0.368
B108	3.923	0.378	4.001	0.363	4.049	0.360
B109	3.611	0.371	4.192	0.446	4.396	0.407
B110	3.394	0.439	4.090	0.326	4.300	0.202
B111	3.872	0.387	4.134	0.250	4.186	0.275
B112	3.547	0.411	3.947	0.352	4.028	0.340
B113	3.547	0.411	3.947	0.352	4.028	0.340
B114	3.589	0.443	3.956	0.319	4.025	0.278
B115	3.773	0.391	4.018	0.368	4.127	0.268
B116	3.555	0.402	4.004	0.404	4.080	0.393
B117	3.634	0.432	4.067	0.364	4.155	0.359
B118	3.872	0.387	4.045	0.350	4.147	0.352
B119	4.107	0.376	4.373	0.275	4.541	0.237
B120	4.260	0.268	4.601	0.265	4.710	0.161

Ek-5 İncelenen binalarda hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları

BİNA KODU	PGV=30			PGV=40			PGV=50			PGV=60		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
B1	0.08	0.00	0.00	0.24	0.03	0.01	0.43	0.14	0.07	0.60	0.31	0.21
B2	0.28	0.02	0.01	0.58	0.11	0.06	0.79	0.30	0.20	0.90	0.52	0.40
B3	0.04	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	0.38	0.07	0.02	0.58	0.18	0.06
B4	0.08	0.00	0.00	0.24	0.03	0.01	0.44	0.14	0.06	0.62	0.33	0.22
B5	0.01	0.00	0.00	0.05	0.04	0.03	0.17	0.12	0.10	0.34	0.27	0.23
B6	0.30	0.02	0.01	0.56	0.09	0.05	0.75	0.24	0.16	0.86	0.42	0.33
B7	0.33	0.08	0.04	0.63	0.26	0.17	0.83	0.47	0.36	0.93	0.66	0.56
B8	0.16	0.01	0.00	0.43	0.06	0.04	0.67	0.20	0.15	0.83	0.42	0.32
B9	0.53	0.04	0.00	0.77	0.20	0.05	0.90	0.42	0.21	0.95	0.64	0.45
B10	0.15	0.01	0.00	0.36	0.05	0.00	0.57	0.15	0.02	0.72	0.29	0.08
B11	0.11	0.01	0.00	0.36	0.07	0.01	0.62	0.20	0.04	0.80	0.36	0.13
B12	0.19	0.02	0.01	0.41	0.09	0.05	0.60	0.25	0.17	0.75	0.45	0.35
B13	0.20	0.02	0.00	0.45	0.10	0.02	0.67	0.24	0.07	0.82	0.41	0.14
B14	0.56	0.05	0.01	0.75	0.20	0.09	0.86	0.41	0.27	0.92	0.60	0.49
B15	0.33	0.05	0.02	0.62	0.18	0.10	0.81	0.36	0.22	0.91	0.54	0.37
B16	0.12	0.03	0.02	0.32	0.15	0.09	0.53	0.32	0.25	0.71	0.51	0.44
B17	0.11	0.01	0.00	0.31	0.04	0.00	0.51	0.13	0.01	0.68	0.26	0.07
B18	0.22	0.01	0.00	0.45	0.05	0.01	0.65	0.15	0.04	0.79	0.30	0.10
B19	0.09	0.01	0.00	0.27	0.07	0.03	0.47	0.22	0.14	0.65	0.42	0.34
B20	0.36	0.06	0.04	0.65	0.21	0.12	0.83	0.41	0.25	0.92	0.60	0.39
B21	0.43	0.01	0.00	0.66	0.08	0.01	0.81	0.26	0.07	0.90	0.50	0.23
B22	0.17	0.00	0.00	0.37	0.01	0.00	0.56	0.06	0.00	0.70	0.18	0.03
B23	0.53	0.03	0.00	0.79	0.18	0.07	0.91	0.44	0.26	0.97	0.68	0.53
B24	0.32	0.01	0.01	0.61	0.08	0.05	0.81	0.25	0.15	0.91	0.45	0.29
B25	0.41	0.00	0.00	0.61	0.04	0.00	0.76	0.13	0.02	0.85	0.29	0.10
B26	0.30	0.08	0.05	0.56	0.24	0.17	0.75	0.42	0.34	0.86	0.59	0.52
B27	0.30	0.08	0.05	0.56	0.24	0.17	0.75	0.42	0.34	0.86	0.59	0.52
B28	0.18	0.00	0.00	0.38	0.04	0.01	0.56	0.13	0.06	0.71	0.29	0.18
B29	0.30	0.02	0.00	0.56	0.09	0.03	0.75	0.24	0.13	0.86	0.42	0.29
B30	0.26	0.02	0.01	0.53	0.11	0.05	0.73	0.27	0.17	0.86	0.47	0.33
B31	0.26	0.00	0.01	0.49	0.05	0.05	0.68	0.18	0.15	0.81	0.38	0.30
B32	0.08	0.02	0.02	0.25	0.11	0.09	0.46	0.28	0.25	0.64	0.47	0.44
B33	0.17	0.00	0.00	0.42	0.02	0.00	0.65	0.09	0.02	0.80	0.24	0.08
B34	0.24	0.01	0.00	0.47	0.06	0.03	0.66	0.19	0.10	0.79	0.36	0.23
B35	0.35	0.02	0.00	0.62	0.11	0.02	0.80	0.29	0.08	0.90	0.50	0.20
B36	0.12	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.57	0.02	0.00	0.74	0.11	0.02
B37	0.16	0.10	0.06	0.37	0.27	0.20	0.57	0.48	0.40	0.72	0.65	0.59
B38	0.08	0.02	0.02	0.23	0.10	0.09	0.42	0.23	0.21	0.60	0.40	0.35
B39	0.12	0.00	0.00	0.36	0.03	0.00	0.60	0.12	0.02	0.77	0.27	0.10
B40	0.25	0.01	0.01	0.55	0.07	0.05	0.77	0.22	0.14	0.89	0.43	0.27
B41	0.27	0.00	0.00	0.49	0.03	0.01	0.67	0.14	0.05	0.79	0.35	0.17
B42	0.45	0.01	0.00	0.66	0.07	0.01	0.80	0.24	0.07	0.88	0.46	0.22
B43	0.33	0.00	0.01	0.61	0.04	0.03	0.79	0.22	0.11	0.90	0.49	0.22
B44	0.32	0.00	0.00	0.57	0.02	0.00	0.75	0.12	0.01	0.87	0.34	0.09
B45	0.28	0.02	0.01	0.55	0.14	0.10	0.75	0.37	0.30	0.87	0.61	0.53
B46	0.15	0.00	0.00	0.37	0.05	0.01	0.58	0.19	0.10	0.73	0.42	0.33
B47	0.29	0.00	0.00	0.53	0.01	0.00	0.72	0.09	0.01	0.84	0.29	0.10
B48	0.46	0.01	0.00	0.71	0.09	0.02	0.86	0.30	0.11	0.93	0.56	0.27
B49	0.23	0.01	0.00	0.47	0.07	0.01	0.67	0.18	0.06	0.81	0.35	0.18

Ek-5 Tablonun devamı												
BİNA	PGV=30			PGV=40			PGV=50			PGV=60		
KODU	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
B50	0.23	0.01	0.00	0.53	0.07	0.01	0.76	0.22	0.05	0.89	0.42	0.16
B51	0.16	0.00	0.00	0.41	0.02	0.00	0.64	0.09	0.02	0.80	0.24	0.08
B52	0.37	0.00	0.00	0.59	0.02	0.00	0.74	0.12	0.04	0.84	0.31	0.12
B53	0.50	0.09	0.06	0.73	0.29	0.21	0.87	0.51	0.42	0.93	0.70	0.61
B54	0.22	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.68	0.04	0.00	0.82	0.21	0.03
B55	0.22	0.09	0.06	0.50	0.30	0.22	0.72	0.53	0.44	0.86	0.72	0.64
B56	0.09	0.01	0.00	0.28	0.04	0.00	0.49	0.12	0.01	0.67	0.24	0.07
B57	0.09	0.00	0.00	0.27	0.03	0.00	0.47	0.09	0.01	0.64	0.19	0.04
B58	0.09	0.00	0.00	0.27	0.03	0.00	0.47	0.09	0.01	0.64	0.19	0.04
B59	0.11	0.02	0.01	0.31	0.09	0.05	0.52	0.25	0.17	0.69	0.44	0.36
B60	0.44	0.08	0.04	0.68	0.29	0.20	0.84	0.53	0.43	0.92	0.72	0.64
B61	0.44	0.08	0.04	0.68	0.29	0.20	0.84	0.53	0.43	0.92	0.72	0.64
B62	0.44	0.08	0.04	0.68	0.29	0.20	0.84	0.53	0.43	0.92	0.72	0.64
B63	0.44	0.08	0.04	0.68	0.29	0.20	0.84	0.53	0.43	0.92	0.72	0.64
B64	0.15	0.03	0.02	0.38	0.15	0.09	0.61	0.36	0.23	0.77	0.57	0.41
B65	0.23	0.01	0.00	0.45	0.07	0.00	0.64	0.20	0.04	0.77	0.37	0.16
B66	0.11	0.00	0.00	0.30	0.02	0.00	0.50	0.10	0.01	0.67	0.25	0.05
B67	0.31	0.08	0.04	0.59	0.25	0.17	0.78	0.47	0.36	0.89	0.66	0.56
B68	0.23	0.01	0.00	0.47	0.09	0.04	0.67	0.23	0.15	0.81	0.42	0.31
B69	0.52	0.01	0.00	0.70	0.08	0.01	0.81	0.26	0.09	0.88	0.48	0.27
B70	0.62	0.03	0.00	0.82	0.17	0.02	0.92	0.40	0.12	0.97	0.63	0.32
B71	0.31	0.01	0.00	0.59	0.08	0.03	0.78	0.22	0.10	0.89	0.41	0.22
B72	0.46	0.05	0.02	0.71	0.22	0.14	0.86	0.47	0.37	0.93	0.68	0.60
B73	0.36	0.00	0.00	0.57	0.02	0.00	0.73	0.13	0.03	0.83	0.33	0.11
B74	0.34	0.13	0.08	0.61	0.30	0.22	0.79	0.49	0.40	0.89	0.65	0.56
B75	0.40	0.11	0.06	0.67	0.31	0.23	0.84	0.54	0.44	0.92	0.72	0.64
B76	0.09	0.05	0.03	0.28	0.18	0.12	0.49	0.35	0.28	0.67	0.52	0.46
B77	0.09	0.05	0.03	0.28	0.18	0.12	0.49	0.35	0.28	0.67	0.52	0.46
B78	0.24	0.06	0.04	0.54	0.23	0.17	0.77	0.46	0.37	0.90	0.66	0.57
B79	0.24	0.06	0.04	0.54	0.23	0.17	0.77	0.46	0.37	0.90	0.66	0.57
B80	0.45	0.09	0.06	0.71	0.31	0.23	0.86	0.57	0.46	0.94	0.77	0.66
B81	0.07	0.01	0.00	0.24	0.04	0.00	0.45	0.12	0.01	0.63	0.24	0.07
B82	0.10	0.07	0.05	0.32	0.24	0.20	0.57	0.46	0.40	0.75	0.65	0.59
B83	0.42	0.00	0.00	0.63	0.03	0.00	0.78	0.13	0.02	0.87	0.34	0.10
B84	0.03	0.01	0.01	0.14	0.08	0.05	0.34	0.24	0.18	0.55	0.44	0.37
B85	0.57	0.03	0.01	0.79	0.18	0.07	0.90	0.43	0.27	0.95	0.66	0.54
B86	0.59	0.03	0.01	0.81	0.18	0.09	0.92	0.43	0.29	0.97	0.66	0.55
B87	0.38	0.08	0.04	0.66	0.26	0.17	0.83	0.47	0.38	0.92	0.66	0.58
B88	0.32	0.02	0.00	0.57	0.12	0.05	0.76	0.31	0.19	0.87	0.52	0.41
B89	0.11	0.06	0.06	0.34	0.25	0.23	0.59	0.50	0.46	0.77	0.70	0.66
B90	0.12	0.06	0.04	0.35	0.23	0.18	0.59	0.45	0.39	0.77	0.64	0.60
B91	0.07	0.05	0.03	0.24	0.16	0.13	0.46	0.32	0.28	0.65	0.49	0.45
B92	0.53	0.03	0.00	0.79	0.18	0.07	0.91	0.44	0.26	0.97	0.68	0.53
B93	0.27	0.02	0.01	0.51	0.09	0.05	0.70	0.24	0.16	0.83	0.42	0.33
B94	0.23	0.06	0.02	0.46	0.22	0.13	0.66	0.42	0.32	0.79	0.61	0.53
B95	0.01	0.00	0.00	0.05	0.04	0.03	0.17	0.12	0.10	0.34	0.27	0.23
B96	0.13	0.06	0.04	0.34	0.20	0.16	0.55	0.39	0.34	0.71	0.57	0.52
B97	0.54	0.22	0.14	0.77	0.49	0.39	0.89	0.71	0.63	0.95	0.85	0.80
B98	0.18	0.06	0.04	0.38	0.22	0.18	0.57	0.41	0.37	0.72	0.60	0.57
B99	0.68	0.11	0.06	0.86	0.32	0.21	0.94	0.55	0.42	0.98	0.73	0.62
B100	0.22	0.04	0.03	0.49	0.17	0.14	0.71	0.37	0.30	0.84	0.57	0.48

Ek-5 Tablonun devamı												
BİNA	PGV=30			PGV=40			PGV=50			PGV=60		
KODU	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
B101	0.31	0.00	0.00	0.56	0.04	0.00	0.74	0.19	0.01	0.85	0.43	0.13
B102	0.16	0.02	0.01	0.35	0.10	0.06	0.54	0.26	0.18	0.69	0.44	0.34
B103	0.43	0.01	0.00	0.68	0.10	0.05	0.84	0.32	0.19	0.92	0.58	0.41
B104	0.25	0.04	0.01	0.50	0.18	0.10	0.71	0.40	0.29	0.84	0.61	0.53
B105	0.65	0.15	0.09	0.82	0.37	0.28	0.91	0.59	0.49	0.95	0.75	0.67
B106	0.16	0.03	0.00	0.41	0.15	0.05	0.65	0.34	0.20	0.81	0.55	0.41
B107	0.36	0.19	0.15	0.64	0.45	0.40	0.82	0.68	0.64	0.91	0.83	0.80
B108	0.08	0.05	0.04	0.27	0.19	0.16	0.49	0.40	0.35	0.67	0.60	0.55
B109	0.29	0.04	0.01	0.58	0.13	0.04	0.79	0.27	0.12	0.90	0.41	0.23
B110	0.51	0.02	0.00	0.75	0.11	0.00	0.88	0.29	0.03	0.94	0.51	0.15
B111	0.11	0.00	0.00	0.32	0.04	0.04	0.54	0.19	0.16	0.72	0.44	0.37
B112	0.36	0.06	0.03	0.63	0.23	0.16	0.81	0.46	0.37	0.91	0.66	0.58
B113	0.36	0.06	0.03	0.63	0.23	0.16	0.81	0.46	0.37	0.91	0.66	0.58
B114	0.34	0.04	0.01	0.59	0.20	0.11	0.77	0.44	0.34	0.87	0.67	0.60
B115	0.17	0.05	0.00	0.41	0.19	0.05	0.64	0.39	0.21	0.79	0.58	0.45
B116	0.35	0.07	0.04	0.63	0.22	0.16	0.81	0.41	0.33	0.91	0.59	0.51
B117	0.29	0.03	0.02	0.55	0.15	0.10	0.74	0.33	0.25	0.86	0.53	0.43
B118	0.11	0.03	0.02	0.32	0.15	0.10	0.54	0.35	0.25	0.72	0.56	0.44
B119	0.03	0.00	0.00	0.13	0.01	0.00	0.30	0.05	0.00	0.49	0.16	0.03
B120	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.27	0.03	0.00

ÖZGEÇMİŞ

Ali Haydar KAYHAN, 1 Şubat 1975 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 1996 yılında Gaziantep Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümü'nden, 2001 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde İnşaat Mühendisliği-Yapı alanında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2002 yılından bu yana Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.