

154553

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ DEPREM
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ İÇİN HIZLI
DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ**

Ali Haydar KAYHAN

İnşaat Mühendisi

Yüksek Lisans Tezi

DENİZLİ – 2004

PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ İÇİN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

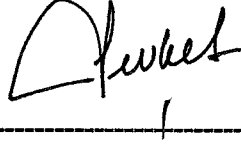
**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Ali Haydar KAYHAN

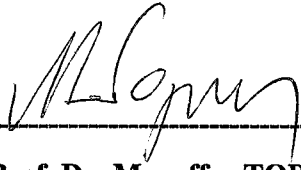
Tez Savunma Tarihi: 20.07.2004

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



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

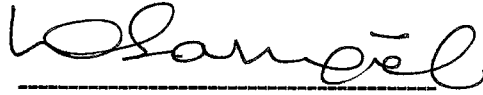


Prof. Dr. Muzaffer TOPCU
(Jüri Üyesi)



Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
10.08.2014 tarih ve 17.1.8...sayılı kararı ile onaylanmıştır



Prof. Dr. M. Ali SARIGÖL

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her anlamda desteğini yanımda hissettiğim, ekip çalışmasına, birlikte çalışma, üretme ve paylaşma felsefesinin akademik ortamda da var olmasına önem veren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL, çalışmamla ilgili bilgi ve yorumlarına sıklıkla başvurduğum ve her zaman iyi niyetle ve özveri ile bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL ve azımsanamayacak katkılarından dolayı değerli çalışma arkadaşım Araş. Gör. Salih YILMAZ başta olmak üzere İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün tüm akademik personeline teşekkürlerimi bir borç biliyorum.

Büyük özveri ve fedakarlıkla her zaman yanımda olan ve bana anlayış gösteren annem Saadet, babam Yusuf ve kardeşlerim Canan, Hanifi, İnan ve Aslı'ya, hayatıma anlam katan değerli eşim Fatma'ya, henüz bir aylık olan sevgili oğlum Ozan'a teşekkür etmek yetmez. Bu yüzden onlara teşekkür etmiyorum.

Ali Haydar KAYHAN

ÖZET

Ülkemizin büyük bir bölümü deprem riski altındadır. 1998 Adana ve 1999 Marmara depremleri sadece konutların bulunduğu yerleşim bölgelerinde değil, ülkemizin önemli yatırımlarının bulunduğu sanayi bölgelerinde de ciddi hasara sebep olmuştur.

Ülkemizde sanayi yapılarının büyük çoğunluğu prefabrik, tek katlı, birleşimi mafsallı yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıların ülke ekonomisi açısından önemi büyüktür. Yaşanan deprem felaketleri sadece binaların değil, binaların içine yatırılan çok büyük miktardaki sermaye birikiminin de kaybolmasına sebep olmaktadır. Bu durum muhtemel bir deprem felaketinden önce prefabrik sanayi yapılarının deprem davranışlarının daha ayrıntılı olarak incelenmesi, takviye gerektiren yapıların belirlenmesi için hızlı değerlendirme kriterlerinin saptanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, tek katlı, birleşimi mafsallı sanayi yapılarının deprem davranışlarının ve performanslarının belirlenebilmesi için Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler yardımı ile bu tarz yapılar için basitleştirilmiş bir hızlı değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kapasite Spektrumu Yöntemi, prefabrik yapılar, statik itirme analizi, hızlı değerlendirme, deprem performansı.

Ali Haydar KAYHAN

ABSTRACT

1998 Adana and 1999 Marmara earthquakes caused many precast industrial buildings to be damaged.

In this study, seismic behaviour of one-storey, pin connected precast industrial buildings and the effect of some structural and nonstructural parameters on this behaviour are investigated by using Capacity Spectrum Method. These parameters are building height, column dimensions, reinforcement ratio, roof girder length, concrete class and soil class.

Then, the results obtained by using Capacity Spectrum Method and seismic design provisions of current Turkish earthquake code are compared. Two types of failure criteria were used for this aim: flexural hinges at the base of the columns and pounding of the precast elements at the roof level.

Finally, a statistical study is carried out to find an equation for rapid evaluation of performance levels of one-storey, pin connected precast buildings.

Keywords: Capacity Spectrum Method, precast buildings, pushover analysis, rapid evaluation, seismic performance.

Ali Haydar KAYHAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Tez Sınav Sonuç Formu.....	III
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Abstract.....	VI
İçindekiler.....	VII
Şekiller Dizini.....	XI
Çizelgeler Dizini.....	XIII
Simgeler Dizini.....	XIV
Kısaltmalar Dizini.....	XVII

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Giriş.....	1
1.2 Problemin Tanımı.....	2
1.3 Amaç.....	3
1.4 Yöntem ve Kapsam	3
1.5 Tezin Düzeni.....	4

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Hızlı Değerlendirme Yöntemleri.....	5
2.1.1 Japon Sismik İndeks Yöntemi.....	5
2.1.2 ATC-21.....	6
2.1.3 FEMA-310.....	6

2.1.4 Diğer Çalışmalar.....	7
2.2 Prefabrik Yapılarla İlgili Çalışmalar.....	8

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PREFABRİK YAPILAR VE DEPREM

3.1 Prefabrikasyonun Tanımı.....	11
3.2 Prefabrik Yapıların Tercih Nedenleri, Avantajları.....	11
3.3 Türkiye’de Deprem ve Tek Katlı Prefabrik Yapılar.....	12

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

AFET YÖNETMELİKLERİ VE PERFORMANSA DAYALI TASARIM

4.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri.....	17
4.1.1 Enerji Sönümü ve Süneklik.....	18
4.1.2 Plastik Mafsal Kavramı.....	19
4.2 Deprem Etkisi Altında Yapısal Analiz Yöntemleri.....	22
4.2.1 Lineer Analiz Yöntemleri.....	22
4.2.2 Lineer Ötesi Analiz Yöntemleri.....	25
4.3 Performansa Dayalı Tasarım ve Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	27
4.3.1 Performans Seviyeleri.....	28
4.3.2 Talebin Belirlenmesi.....	30
4.3.3 Kapasitenin Belirlenmesi.....	31
4.3.4 Performans Noktasının Belirlenmesi.....	33
4.4 Prefabrik Yapılar Açısından AY75 ve AY98.....	35
4.4.1 1975 Tarihli Afet Yönetmeliği.....	35
4.4.2 1998 Tarihli Afet Yönetmeliği.....	36

BEŞİNCİ BÖLÜM

MODELLER VE ANALİZ

5.1 Giriş.....	39
5.2 Model Parametreleri.....	39
5.2.1 Kat yüksekliği (H).....	39
5.2.2 Zemin Sınıfı (Z).....	40
5.2.3 Beton Sınıfı (BS).....	40
5.2.4 Çatı Makası Uzunluğu (L).....	40
5.2.5 Kolon Boyutları (B).....	41
5.2.6 Kolon Boyuna Donatı Oranı (ρ_s).....	41
5.3 Modellerin Oluşturulması.....	41
5.4 Yapılan Analizler.....	48
5.4.1 Performans Noktalarının Belirlenmesi.....	48
5.4.2 AY98 Deprem Yüğü ve Görelî Ötelenme.....	49
5.4.3 Çatı Makasının Devrilmesi veya Düşmesi Kontrolü.....	49
5.4.3.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları.....	49
5.4.3.2 Afet Yönetmeliğı 1998 Sonuçları.....	51

ALTINCI BÖLÜM

ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş.....	78
6.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar.....	78
6.2.1 Üç Boyutlu Modeller İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	82
6.2.2 İki Boyutlu Modeller İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	88
6.2.3 İki ve Üç Boyutlu Modellerden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	93

6.3 AY98 ve Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	94
6.3.1 AY98'in Görelî Ötelenme Sınırı ve Yapı Performansı Seviyesi.....	94
6.3.2 Birleşimin Kesme Güvenliğı (AY98 ve KSY).....	96
6.3.3 Makasın Devrilmesi.....	99
6.4 Yapı Performans Noktalarının Tahmini İçin Bir Denklem.....	100

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Giriş.....	105
7.2 Prefabrik Tek Katlı, Mafsallı Yapıların Deprem Davranışı.....	105
7.3 AY98 ve Prefabrik Yapılar.....	107
7.4 Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi İçin Önerilen Denklem.....	108
7.5 Yapılması Önerilen Ek Çalışmalar.....	109
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1: Tipik tek katlı birleşimi mafsallı prefabrik sanayi yapısı modeli	14
Şekil 3.2: Ceyhan ve Marmara depremlerinde hasar gören bina örnekleri.	14
Şekil 3.3: Kolonlarda büyük yatay ötelenme hasarı.	15
Şekil 3.4: Trapez kirişlerde yanal ötelenme ve kolon alt ucunda mafsallaşma	16
Şekil 3.5: Pimli bağlantı ve bağlantı noktasından kopan makas	16
Şekil 4.1: Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri	19
Şekil 4.2: Betonarme kesitte moment-eğrilik ilişkisi	20
Şekil 4.3: Konsol kolonda eğilme momenti ve eğriliğin değişimi	20
Şekil 4.4: Yapıların elastik ötesi davranış kabulleri	23
Şekil 4.5: Yapının lineer ötesi davranışı	26
Şekil 4.6: Bina performans seviyeleri	29
Şekil 4.7: Elastik ivme spektrumu (%5 sönümlü)	30
Şekil 4.8: Elastik tepki spektrumundan talep spektrumunun elde edilmesi	31
Şekil 4.9: Kapasite eğrisi	32
Şekil 4.10: Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	33
Şekil 4.11: Performans noktasının bulunması	34
Şekil 5.1: X yönündeki analizlerde kullanılan üç boyutlu model	42
Şekil 5.2: Y yönündeki analizlerde kullanılan iki boyutlu model	43
Şekil 5.3: Kolon kesitlerinde boyuna donatı ve etriyenin yerleşimi	44
Şekil 5.4: Sap2000 programında plastik mafsallama penceresi	46
Şekil 5.5: Sap2000 programında plastik mafsallama için gerekli bilgiler	47
Şekil 5.6: Sap2000 programında pushover analiz tanımı ile ilgili bilgiler	47
Şekil 5.7: Kapasite eğrisi üzerinde kuvvet ve deplasman tanımları	49
Şekil 5.8: Çatı makasına gelecek deprem yükleri	52
Şekil 6.1: Maksimum ve plastik ötelenme limitlerinin ilişkisi	81
Şekil 6.2: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (X-Z2)	83
Şekil 6.3: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (X-Z3)	83

Şekil 6.4: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (X-Z2)	84
Şekil 6.5: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (X-Z3)	84
Şekil 6.6: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (X-Z2)	85
Şekil 6.7: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (X-Z3)	85
Şekil 6.8: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (X-Z2)	86
Şekil 6.9: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (X-Z3)	86
Şekil 6.10: X yönünde yapı performansının zemin sınıfına göre değişimi	87
Şekil 6.11: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (Y-Z2)	88
Şekil 6.12: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (Y-Z3)	89
Şekil 6.13: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (Y-Z2)	89
Şekil 6.14: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (Y-Z3)	90
Şekil 6.15: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (Y-Z2)	90
Şekil 6.16: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (Y-Z3)	91
Şekil 6.17: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (Y-Z2)	91
Şekil 6.18: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (Y-Z3)	92
Şekil 6.19: Y yönünde yapı performansının zemin sınıfına göre değişimi	92
Şekil 6.20: Yapı performansının analiz yönüne göre değişimi (Z2)	94
Şekil 6.21: Yapı performansının analiz yönüne göre değişimi (Z3)	94
Şekil 6.22: AY98 ve KSY göreli ötelenmeleri (2 Boyutlu Model)	95
Şekil 6.23: AY98 ve KSY göreli ötelenmeleri (3 boyutlu model)	95
Şekil 6.24: Birleşime gelen kesme kuvvetleri (L=12m)	97
Şekil 6.25: Birleşime gelen kesme kuvvetleri (L=16m)	97
Şekil 6.26: Birleşime gelen kesme kuvvetleri (L=20m)	98
Şekil 6.27: Makas devrilme momentleri	100
Şekil 6.28: KSY ve PNZ2 ile bulunan performans noktaları	103
Şekil 6.29: KSY ve PNZ3 ile bulunan performans noktaları	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1: ATC-40 yatay deformasyon limitleri	35
Çizelge 5.1: Makasların ağırlıkları	43
Çizelge 5.2: Kullanılan modellere ilişkin bina ağırlıkları	48
Çizelge 5.3: Makas-kolon birleşim bölgelerine gelen kesme kuvvetleri (AY98)	51
Çizelge 5.4: Çatı makasında devrilme kontrolü sonuçları (AY98)	54
Çizelge 5.5: Kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşturulan modeller	55
Çizelge 5.6: Kenar makas kolonlarına ait plastik mafsallık bilgileri	58
Çizelge 5.7: Orta makas kolonlarına ait plastik mafsallık bilgileri	62
Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları	66
Çizelge 5.9: AY98 deprem yükü ve göreceli ötelenme	71
Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar	73
Çizelge 6.1: Z2 sınıfı zeminlerde üç boyutlu ve iki boyutlu modellerde performans seviyeleri	79
Çizelge 6.2: Z3 sınıfı zeminlerde üç boyutlu ve iki boyutlu modellerde performans seviyeleri	80
Çizelge 6.3 KSY ve hızlı değerlendirme yöntemine göre performans seviyeleri	104

SİMGELER DİZİNİ

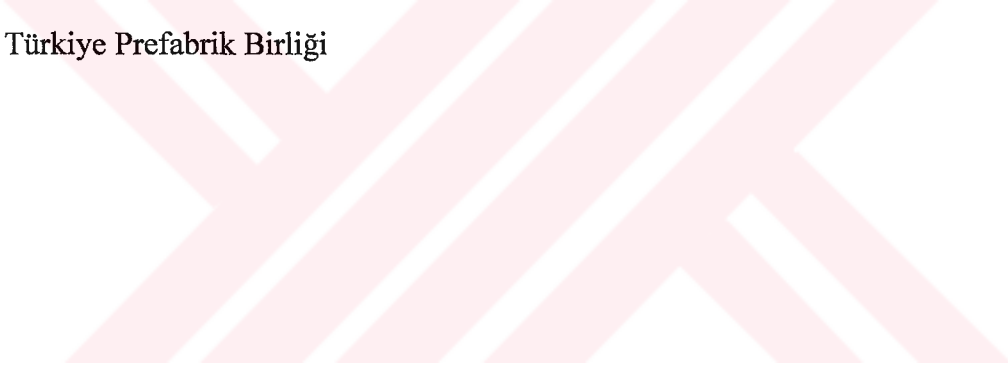
A_0	: AY98'e göre etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolon kesiti alanı
A_{pim}	: Bağlantı çubuğu kesit alanı
B	: Kolon boyutu
BS	: Beton sınıfı
C	: AY75'e göre deprem yükünün hesabında kullanılan katsayı
C_0	: AY75'e göre deprem bölgesi katsayısı
C_a, C_v	: ATC-40'a göre elastik spektrumun oluşturulmasında kullanılan sismik katsayılar
$D_{\text{çatı}}$	: Çatı yatay deplasmanı
D_{el}	: Elastik deplasman
D_i	: i mm çapında donatının güvenle taşıyabileceği kesme kuvvetinin aşıldığı deplasman
D_{ken}	: Kenar makasta devrilmeye karşı koyan momentin aşıldığı deplasman
D_{max}	: Maksimum deplasman
D_{ort}	: Orta makasta devrilmeye karşı koyan momentin aşıldığı deplasman
D_{per}	: Performans noktasının deplasman bileşeni
D_{pl}	: Plastik deplasman
D_u	: Nihai deplasman
D_y	: Akma anındaki deplasman
EI	: Yapıdaki kolonların elastik rijitliği (elastisite modülü ile atalet momentinin çarpımı)
F	: AY75'e göre binaya gelecek deprem hesap yükü
f_{cd}	: Beton hesap basınç dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$F_{\text{çatı}}$	: Makas üzerindeki yükler dolayısıyla makasta oluşan deprem kuvveti
F_{mak}	: Makas kirişi özağırlığı dolayısıyla makasta oluşan deprem kuvveti
f_{yd}	: Donatı hesap akma dayanımı

G, g	: Yapıya etkiyen ölü yük
H, h	: Kolon yüksekliği
$h_{\text{çatı}}$	: Makas kirişi üzerindeki yükler dolayısıyla makasta oluşan deprem kuvvetinin birleşim bölgesine olan dik uzaklığı
h_{mak}	: Makas kirişi özağırlığı dolayısıyla makasta oluşan deprem kuvvetinin birleşim bölgesine olan dik uzaklığı
I	: AY98'e göre bina önem katsayısı
K	: AY75'e göre yapı tipi katsayısı
L	: Çatı makası veya kiriş uzunluğu
L_p	: Plastik mafsallık boyu
m	: Kütle
M_{dev}	: Makası devirmeye çalışan toplam moment
M_{kar}	: Birleşimde devrilmeye karşı koyan moment
M_{ken}	: Kenar makas ağırlığından dolayı devrilmeye karşı koyan moment
M_{ort}	: Orta makas ağırlığından dolayı devrilmeye karşı koyan moment
M_u	: Nihai moment
M_y	: Akma anındaki moment
N	: Kolon eksenel kuvveti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
PF_1	: Birinci moda ait katılım katsayısı
PN_{Z2}	: Geliştirilen denklem ile hesaplanan performans noktası deplasmanı (Z2 için)
PN_{Z3}	: Geliştirilen denklem ile hesaplanan performans noktası deplasmanı (Z3 için)
Q, q	: Yapıya etkiyen hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S	: Spektrum katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral deplasman
T	: Yapı doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
V_b	: Birleşim bölgesine gelecek kesme kuvveti
V_{bt}	: AY98'e göre güvenlik katsayısı ile artırılmış kesme kuvveti

V_{el}	: Elastik olarak taşı
V_i	: i mm çapında donatının güvenle taşıyabileceği kesme kuvveti
V_{mak}	: Makasa gelecek toplam kesme kuvveti
V_{max}	: Maksimum kesme kuvveti
V_t	: AY98'e göre yapıya gelecek eşdeğer deprem yükü
V_y	: Akma anındaki kesme kuvveti
W	: Deprem hesabına esas bina ağırlığı
$W_{çatı}$	: Makas kirişi üzerindeki yüklerin toplamı
W_{mak}	: Makas kirişi özağırlığı
W_{top}	: Üzerindeki yükler dahil çatı makasının toplam ağırlığı
Z	: Zemin sınıfı
α_1	: Modal kütle katsayısı
Δ	: Göreli ötelenme
Φ_1	: Birinci moda ait yerdeğiştirme bileşeni
ϕ_u	: Nihai eğrilik
ϕ_y	: Akma anındaki eğrilik
μ	: Süneklik oranı
μ_D	: Deplasman sünekliği
μ_θ	: Dönme sünekliği
θ_{el}	: Elastik dönme
θ_{pl}	: Plastik dönme
θ_y	: Akma anındaki dönme
ρ_s	: Kolon boyuna donatı oranı
τ_{em}	: Bağlantı çubuğu kesme emniyet gerilmesi

KISALTMALAR DİZİNİ

ATC	: Applied Technology Council
AY75	: 1975 tarihli Afet Yönetmeliği
AY98	: 1998 tarihli Afet Yönetmeliği
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IO	: Hemen kullanım performans seviyesi
KSY	: Kapasite Spektrumu Yöntemi
LS	: Can güvenliği performans seviyesi
SS	: Yapısal stabilite performans seviyesi
TPB	: Türkiye Prefabrik Birliği



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Giriş

1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara gibi prefabrik sanayi yapılarının yoğun olduğu merkezlerde meydana gelen depremler, prefabrik 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 bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, taşıyıcı sistem ve detaylandırma koşulları ile ilgili yeni öneriler ortaya atılmış, mevcut deprem yönetmeliğimizde (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 (AY98)) yer alan prefabrik yapılarla ilgili kısımların iyileştirilmesine ve bazı özel koşulların eklenmesine yönelik fikirler ileri sürülmüştür.

Ülkemizde prefabrik yapılarla ilgili temel esaslar TS500, TS9967 ve AY98 ile tanımlanmıştır. TS500, betonarme yapı sistemlerinin ve elemanlarının kullanım amaç ve süresine uygun güvenlikle tasarlanması ve yapımı ile ilgili kuralları içerirken, TS9967, prefabrike yapı sistemlerinin ve elemanlarının hesap esasları, imalat ve montaj kurallarını içermektedir. AY98 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.

Sanayi yapılarının büyük çoğunluğu prefabrik yapılardan oluşmaktadır ve bu yapılar ülke ekonomisi açısından büyük değer taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında prefabrik sanayi yapılarının deprem davranışlarının belirlenebilmesi, gerektiğinde bazı yapıların güçlendirilmesi ve olası depremlerde bu yapılardaki hasarın istenen seviyelerde tutulabilmesi çok önemlidir.

1.2 Problemin Tanımı

Ülkemizdeki pek çok yapı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975” (AY75) hükümleri dikkate alınarak yapılmıştır. AY98 yayınlanana dek yapılan prefabrik yapılar da buna dahildir. Zamanına göre çağdaş bir yönetmelik olan AY75, aradan geçen zaman içerisinde doğal olarak geçerliliğini yitirmiş ve yerini deprem mühendisliğinde son yıllarda yaşanan gelişmelerin pek çoğunu kapsayan bir yönetmelik olan AY98’e bırakmıştır. Doğal olarak 1998 öncesi yapılan yapılar, AY98’in öngördüğü güvenlik düzeyine sahip değildir. AY98’in prefabrik yapılarla ilgili koşullarının geliştirilmesine ve değiştirilmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Olası depremlerde can ve mal kaybının önlenmesi için bu yapıların mümkün olduğu kadar hızla incelenerek deprem performanslarının detaylı olarak tespit edilmesi ve ihtiyaç duyulması halinde bu yapılardan bazılarının güçlendirilmesi gerekmektedir.

Ancak büyük bir kısmı deprem riski altında bulunan ülkemizde, mevcut yapı stoku düşünüldüğünde her bir yapı için detaylı yapısal analiz yapılması hem ekonomik hem de pratik açıdan imkansızdır. Bu sorun sadece ülkemizde yaşanan bir sorun da değildir. Bu sebeple, yapıların deprem güvenliğinin hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için hızlı değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bunun için kullanılan dünyaca kabul görmüş hızlı değerlendirme yöntemlerine Japon Sismik İndeks Yöntemi (1990), ATC-21 (1988) ve FEMA-310 (1998) örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerde amaç hangi binanın sağlam hangi binanın çürük olduğuna karar vermek değil, hangi binanın mevcut durumu ile kullanılabileceğine, hangi binanın ise daha detaylı olarak incelenmesi gerektiğine karar verebilmektir.

Hızlı değerlendirme yöntemi ile ilgili çalışmalar genelde moment taşıyan (monolitik) betonarme taşıyıcı sistemler için yapılmıştır. Prefabrik yapılar için kullanılabilecek olanları da vardır. Ancak yöntemlerin kullanılabileceği prefabrik yapı sistemleri, perdeli veya perdesiz moment aktarabilen sistemler olarak tanımlanmıştır.

1.3 Amaç

Bu çalışmada, öncelikle deprem bölgelerinde yer alan tek katlı, birleşimleri mafsallı prefabrik sanayi yapılarının deprem davranışlarını incelemek, sonuçları mevcut deprem yönetmeliğinin prefabrik yapılar için öngördüğü koşullar ile karşılaştırmak ve bu yapıların deprem performansının değerlendirilebilmesi için hızlı değerlendirme yöntemi geliştirmek amaçlanmıştır.

1.4 Yöntem ve Kapsam

Son çeyrek asırda deprem mühendisliği konusunda yaşanan gelişmeler depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde “performansa dayalı tasarım” yöntemlerinin ön plana çıkmasına sebep olmuştur.

Bu çalışmada, prefabrik yapıların deprem davranışının incelenmesi ve performans kriterlerinin belirlenmesinde, yapıların lineer ötesi davranışını gözönüne alan, metodolojisi ve ayrıntıları ATC-40’da verilen Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) kullanılmıştır. KSY’nin modeller üzerinde uygulanması için Sap2000 programından yararlanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda öncelikle prefabrik sanayi yapıları ve bu yapılarda gözlenen deprem hasarları konusunda bilgi verilmiş, AY75 ve AY98’in prefabrik yapılar için öngördüğü hesaplama yöntemleri ile performansa dayalı tasarım ilkesi açıklanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşturulan modeller hem KSY ile hem de AY98 şartlarına göre analiz edilmiştir.

Bu yapıların deprem davranışı üzerinde kat yüksekliği, kolon ebatları, kolon boyuna donatı oranı, deprem bölgesi ve zemin sınıfı ve çatı makası uzunluğu parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, bu parametrelere bağlı olarak yapının deprem performansının tahmininde kullanılabilecek istatistiksel çalışmalar yapılmıştır.

Taşıyıcı sistemin deprem performansının ve güvenliğinin irdelenmesinde a) kolon ucunda plastik mafsall oluşumu b) çatı makaslarının düzlemlerine dik doğrultudaki ya da düzlemleri doğrultusundaki depremlerde birleşim bölgesindeki yetersizlikten dolayı devrilmesi veya düşmesi hasarları dikkate alınmıştır.

1.5 Tezin Düzeni

İkinci bölümde hızlı değerlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca prefabrik yapıların deprem davranışları ile ilgili çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde Türkiye’de yaşanan son depremlerde prefabrik yapılarda görülen hasarlar ve bunların nedenleri özetlenmiştir.

Dördüncü bölümde depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi, yapıların analiz yöntemleri kısaca açıklanmış, deprem yönetmeliği, performansa dayalı tasarım ve KSY hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde analiz için kullanılacak modellerin Sap2000 programında oluşturulması, modellerde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin aldığı değerler belirtilmiştir. Yapılan analizlerle ilgili bilgi verilmiş ve analiz sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur.

Altıncı bölümde analiz sonuçları değerlendirilmiş, kullanılan parametrelerin prefabrik yapıların deprem performansına etkisi incelenmiştir. Ayrıca deprem performansının hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için istatistiksel bağıntılardan faydalanılmıştır. Performans noktasının tahminine yönelik bir denklem önerilmiştir.

Yedinci bölümde ise prefabrik yapılarda alınması gereken ek önlemler, yönetmeliklerde yapılması önerilen değişiklikler ve hızlı değerlendirme yönteminin uygulanmasına yönelik tavsiyeler yer almaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapıların deprem performanslarının hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için kullanılan yöntemler ile prefabrik yapılarla ilgili bazı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Hızlı Değerlendirme Yöntemleri

2.1.1 Japon Sismik İndeks Yöntemi

Mevcut binaların deprem dayanımlarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin uygulanabilmesi için binanın geometrisi, taşıyıcı sistemi ve yaşı belirlenmelidir. Taşıyıcı sistemi yıpranmış, 30 yıldan daha yaşlı, malzeme kalitesi düşük binalara, yangından zarar görmüş yapılara ve orjinal taşıyıcı sisteme sahip binalara uygulanmaması önerilmektedir. Düşük ve orta yükseklikteki (6 kattan daha az katlı) perdeli-çerçeve ve çerçeve binalara uygulanabilir.

Bu yöntemde her biri diğerinden daha ayrıntılı olan üç farklı seviyede taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının deprem indeksi belirlenmektedir. Deprem indeksi her bir kat ve her doğrultuda hesaplanmakta, elde edilen indeks, bir karşılaştırma indeksi ile kıyaslanarak binanın deprem davranışının güvenilir ya da belirsiz olduğuna karar verilmektedir.

Birinci seviyede betonun kesme dayanımı dikkate alınarak, kolon ve perdelerin kesit alanları ile çerçevelerin kapasiteleri hesaplanmaktadır. İkinci seviyede kolon ve perdelerin süneklik kapasiteleri, taşıma gücü ilkeleri kullanılarak hesaplanmakta, kirişlerin rijit olduğu kabul edilmektedir. Bu seviye özellikle kirişlerin rijit, kolonların

sünek olduğu sistemler için uygundur. Üçüncü seviyede ise yapının tüm göçme mekanizmaları dikkate alınmaktadır. Her bir seviye diğerinden daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

2.1.2 ATC-21

Bu yöntemde binaların depreme karşı hassasiyetlerinin belirlenmesi için her binaya bir değerlendirme puanı verilmektedir. Yöntemin amacı, depremde ciddi hasar görebilecek binaların tahmin edilebilmesidir.

Yöntemin uygulanmasında taşıyıcı sistemin davranışının belirlenmesi için bir mühendislik hesabı yapılmamaktadır. Sadece yapı ile ilgili toplanan bilgiler değerlendirilerek puanlama yapılmaktadır.

Puanlama için yapının malzeme kalitesi ve durumu, düşey düzensizlik, yumuşak kat, burulma, planda düzensizlik, kısa kolon gibi özellikleri bir hızlı değerlendirme formuna işlenir ve bu özellikler gözönüne alınarak binanın depreme dayanıklılığını temsil eden bir puan elde edilir. Bu puanın yüksek olması deprem davranışının iyiliğini yansıtır.

Yöntem betonarme perdeli yapılar, betonarme çerçeveli yapılar, prefabrik yapılar ve yığma yapılara uygulanabilir. Ancak gerek yapı tipi gerekse incelemenin yapıldığı bölgenin depremselliği puanlama esnasında dikkate alınmalıdır.

2.1.3 FEMA-310

FEMA-310'da da yapıların değerlendirilebilmesi için üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Birinci aşamada binanın yapısal veya yapısal olmayan elemanları, binanın bulunduğu bölgenin depremselliği gibi konularda gözlemlere dayanan hızlı bir değerlendirme yapılmakta, elde edilen sonuçlara göre binada bir yetersizlikle karşılaşıyorsa ikinci aşamaya geçilmektedir. İkinci aşamada yapının lineer statik veya lineer dinamik analizi öngörülmekte ve gerekiyorsa üçüncü aşamada yapının lineer ötesi analiz yöntemlerinden birisi ile analiz edilmesi önerilmektedir.

İnceleme sonucunda yöntemin uygulanan aşamaları, bölge ve yapı bilgileri (taşıyıcı sistem, kat sayısı ve bina boyutları, yapı kullanım amacı ve zemin sınıfı), malzeme için yapılan kabuller, tespit edilen yetersizlikler ve öneriler ayrıntılı biçimde bir rapor olarak sunulmaktadır.

Yöntem farklı seviyelerde deprem riski olan her bölgede ve prefabrik yapıların da içinde olduğu her türlü yapıya uygulanabilmektedir. Ancak burada bahsedilen prefabrik yapılar birleşimleri moment aktaran perdeli veya perdesiz yapılardır.

Yöntemde bina değerlendirmesi için dikkate alınan performans seviyeleri can güvenliği ve hemen kullanım performans seviyeleridir. Bu performans seviyeleri FEMA-356'da detaylı olarak verilmiştir.

2.1.4 Diğer Çalışmalar

Hassan ve Sözen (1997) monolitik betonarme yapıların depremlerde hasar görebilirliklerinin tahmin edilebilmesi için bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin temel amacı depremde daha ağır hasar görme riski olan binaları tespit edebilmek olarak açıklanmaktadır. Yöntemde efektif perde oranı (perdelerin kesit alanlarının kat alanına oranı) ve efektif kolon oranına (kolonların kesit alanları toplamının kat alanına oranı) bağlı olarak binaların hasar görebilme ihtimalleri ve bu hasarların seviyesi tahmin edilmektedir.

Gülkan ve Sözen (1999) taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon ve dolgu duvarlar) kat alanına oranları ile depremde hasar görebilme ihtimalleri arasındaki ilişkiyi teorik olarak açıklayan bir çalışma yapmışlardır. Bu amaç doğrultusunda çerçeve davranışını temsil eden kayma kirişi modeli kullanılmış ve çerçevelerin rijitliklerinin hesabında dolgu duvarlar da dikkate alınmıştır. Kat sayısı, kat yüksekliği, bina birim kütlesi, malzeme özellikleri, narinlik, kat içindeki perde ve kolon alanları parametrelerine bağlı olarak kat ötelenmeleri hesaplanmakta ve sismik hasar riski göstergesi olarak zemin kat görelî ötelenmesi kullanılmaktadır.

Betonarme binaların deprem riskinin belirlenmesi için alternatif bir yaklaşım da 1997 yılında yapılan bir çalışmada sunulmuştur (Gülkan ve diğ., 1997). Bu çalışmada, perdeli, çerçeve, perdeli-çerçeve veya dolgu duvarlı sistemler ele alınmaktadır. Ortaya sunulan yaklaşımın iki unsuru vardır: olası yer hareketlerinden yola çıkarak sistemin karşılaşacağı göreceli ötelenmelerin ortaya konulması, taşıyıcı sistemin bu talebi karşılayabilmesi için gerekli perde, kolon veya dolgu duvar alanlarının belirlenmesi. Bu amaç doğrultusunda binaların elastik ötesi yerdeğiştirmelerini periyodun fonksiyonu olarak veren bir dizi formülasyon sunulmuştur.

Pay (2001) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde binaların deprem performansının belirlenebilmesi veya hasar görme olasılığının kolay ve hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Yöntem 6 kattan daha az yükseklikte betonarme binalar için geliştirilmiştir. Kat sayısı, rijitlik, kapalı çıkma, yumuşak kat ve aksların sürekliliği parametrelerinin binanın hasar görme riski üzerindeki etkileri araştırılmış ve bu parametrelere bağlı doğrusal bir denklem ile binanın performans indisi tanımlanmıştır. Çalışma için Bolu, Düzce ve Kaynaşlı'da yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bina ve hasar verileri kullanılmıştır.

Sonuç olarak, bahsedilen çalışmaların esas amacı, mevcut yapılar içerisinde detaylı analiz gerektirmeyen yapıları mümkün olduğunca çabuk ve kolay biçimde tespit edip, bunların dışında kalan hasar görme riski olan binalar üzerinde daha fazla yoğunlaşmak için zaman kazanmak olarak özetlenebilir. Ancak bu çalışmalar ya monolitik betonarme yapılar ya da moment aktaran birleşimlere sahip prefabrik yapılar için kullanılabilmektedir.

2.2 Prefabrik Yapılarla İlgili Çalışmalar

Dünyada prefabrik konusunda yapılan en kapsamlı çalışma PRESSS programıdır (Priestley, 1996). Bu program, ABD ve Japonya'nın ortaklaşa yürüttükleri ve monolitik betonarme yapıların deprem davranışı konusunda üç aşaması başarı ile tamamlanan hem deneysel hem de teorik çalışmaları içeren araştırma programının dördüncü ve son

aşamasını oluşturmaktadır. Programın nihai amacı, değişik deprem bölgelerinde yer alan prefabrik/öngermeli betonarme yapılar için yönetmeliklerde yer alacak yol gösterici bilgileri geliştirmek şeklindedir.

Ülkemizde prefabrik yapılarla ilgili çalışmaların Mayıs 1996'dan sonra yoğunlaştığını söyleyebiliriz. 1995 yılında oluşturulan komitenin çalışmaları sonucu, Mayıs 1996'da Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yapılacak Yönetmelik 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 özellikle prefabrik yapılar için yapılan çalışmalar da yer almaktadır.

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. Örneğin yeni yönetmeliğin (AY98) tasarı 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 ve diğ. (1997) prefabrik yapıların tasarımına etkileri açısından AY75 ile yeni deprem yönetmeliği taslağını karşılaştırmış, taslak ile ilgili görüş ve önerilerini sunmuşlardır.

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.

Kahraman ve diğ. (1999) yaptığı çalışmada yeni deprem yönetmeliğinin prefabrik yapılara etkisini göstermek amacı ile İzmir-Çiğli'de yapılması düşünülen bir mafsallı

sanayi yapısını hem AY75 hem de AY98'e göre çözümlemiş ve taban kesme kuvvetinde %100'e varan oranlarda artış görülmüş, gerekli kolon kesit alanlarının da buna paralel olarak arttığı sonucuna varılmıştır.

Çolakoglu (2001) tarafından yapılan tez çalışmasında AY98, Amerikan Deprem Yönetmeliği (UBC97) ve Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliği'nde (Eurocode-8) 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 de UBC97 ve Eurocode-8'e göre hesaplanan değerlerden çok düşük olduğu belirtilmiştir.

Özmen ve Zorbozan (1998) AY98'in yürürlüğe girdiği hali ile prefabrik yapılara uygulanmasına örnek olarak iki adet prefabrik yapının tasarımını içeren bir kitap hazırlamışlar, kitapta deprem yönetmeliğinin uygulanması ile ilgili ayrıntılar üzerinde durmuşlardır.

Bu bölümde hızlı değerlendirme yöntemleri ile ilgili çalışmalar ve mevcut yönetmeliğimizin prefabrik yapılar açısından değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir. Ayrıca dünyada ve Türkiye'de tek veya çok katlı, moment aktaran prefabrik çerçeveli ya da perdeli çerçeveli sistemlerin birleşim detayları ve birleşim noktalarının davranışına ilişkin pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Tez çalışmasında ise, Türkiye'deki sanayi yapılarının tamamına yakını oluşturulan birleşimleri moment aktarmayan tek katlı prefabrik yapıların deprem davranışlarını inceleyerek ve bu yapıların deprem performanslarının belirlenebilmesi için hızlı değerlendirme yöntemi geliştirerek, yapılan çalışmalara katkıda bulunmaya çalışılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PREFABRİK YAPILAR 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 denir.

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 ise, “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 tanımlanmaktadır.

3.2 Prefabrik Yapıların Tercih Nedenleri

Prefabrikasyonda üretim fabrika koşullarında olduğundan betonun kalitesi yüksektir. Gerek duyulduğunda yüksek dayanımlı betonlar artık çok kolayca üretilabilmektedir. İnşaatın genel kalitesi de çok yüksektir. 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 etkilememektedir.

Tüm bu avantajlar bir arada düşünüldüğünde, prefabrikasyon daha ekonomiktir. Malzeme ve işçilik tasarrufu, inşaat hızı, toplam maliyetin azalmasına yol açmaktadır. Bu sebeplerden dolayı prefabrik yapılar giderek artan oranda tercih edilmektedir.

Ancak unutulmamalıdır ki, 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. 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde özellikle tek katlı prefabrik yapılarda oluşan hasarın boyutları, bu yapıların ciddi bir biçimde sorgulanmasına sebep olmuştur.

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.

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.

3.3 Türkiye’de Deprem ve Tek Katlı Prefabrik Yapılar

Ülkemizin büyük bir bölümü aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve sıklıkla ciddi can kaybı ve maddi hasarlar oluşturan depremler olmaktadır. Sanayi yapılarında hasarın ciddi olarak gözlemlendiği ilk deprem Adana-Ceyhan (1998) depremi olmuştur. Adana-Ceyhan ve ardından meydana gelen Kocaeli (Ağustos 1999) ve Düzce (Kasım

1999) depremleri sanayi yapılarının yoğun olarak bulunduğu bölgelerde meydana gelmiş, ortaya çıkan büyük ekonomik kayıpların belirli bir kısmını da prefabrik sanayi yapılarında meydana gelen hasarlara bağlı ekonomik kayıplar oluşturmuştur.

1999 Marmara depremi 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 depremde ağır ya da orta derecede hasar gördüğü belirtilmektedir.

Marmara depremi sonrası yapılan başka 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 ilerde oluşabilecek hasarların azalmasına sebep olacağını ileri sürmektedir.

Ceyhan depreminden sonra yapılan bir diğer incelemede, tek katlı prefabrik yapılarda ortaya çıkan hasarların genelde birleşim bölgelerindeki projelendirme ve detaylandırma yetersizliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Zorbozan ve diğ., 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.

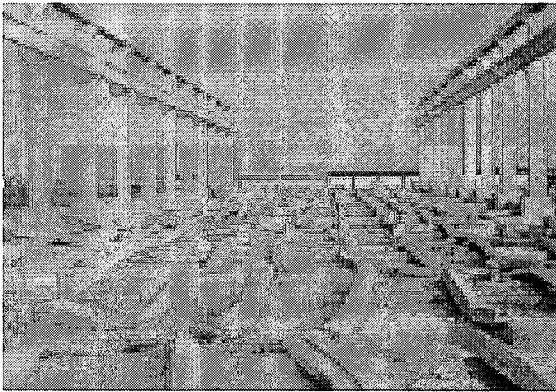
Şekil 3.1'de tipik bir prefabrik sanayi yapısı modeli görülmektedir. Ülkemizdeki tek katlı sanayi yapılarının büyük çoğunluğunu oluşturan bu taşıyıcı sistem modelinde çatı makasları ve oluk kirişleri kolonlara mafsallı olarak oturtulmaktadır. Bu tür yapılarda çatı düzlemindeki diğer bağlantılar da (çatı makası-aşık, kolon-oluk kirişi) mafsallı olarak teşkil edilmektedir. Günümüzde mafsallı bağlantılar için kullanılan bağlantı çubuğunun kiriş ile aderansını sağlayacak kaliteli dolgu ve harç malzemeleri kullanılması ve bağlantının bulonlarla desteklenmesi uygulaması ön plana çıkmakla

beraber mevcut prefabrik yapı stoğunun büyük bir kısmında pimli bağlantının herhangi bir bulonla desteklenmediği, bağlantı için genellikle bir çubuk kullanıldığı ve bağlantı çubuğu ile çatı kirişi arasında aderansın olması gereken seviyede olmadığı yerinde yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Zorbozan ve diğ., 1998).

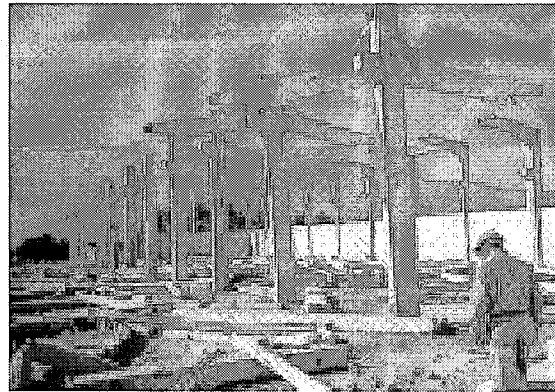


Şekil 3.1: Tipik tek katlı birleşimi mafsallı prefabrik sanayi yapısı modeli

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 ve diğ., 2000). Aynı çalışmada Marmara depremlerinde tek katlı prefabrik yapılardaki hasar türleri ve sebepleri ile alınması gereken önlemler konusunda bazı öneriler sunulmuştur.



a) Hacı Ömer Sabancı Organize Sanayi Bölgesi, Adana



b) Adapazarı Organize Sanayi Bölgesi

Şekil 3.2: Ceyhan ve Marmara depremlerinde hasar gören bina örnekleri.

Yapılan incelemeler tek katlı sanayi yapılarında gözlenen hasar türlerinin şu başlıklar altında toplandığını göstermektedir:

- Kolonlar ayakta kalmış kirişlerin tümü yere düşmüştür (Şekil 3.2).
- Kolonlarda ciddi yanal ötelenmeler gözlenmiştir (Şekil 3.3). Yanal rijitlik düşüktür.
- Kolon tabanında plastik mafsallaşma oluşmuştur (Şekil 3.4).
- Özellikle trapez kesitli çatı kirişlerinin kullanıldığı binalarda kirişlerde dönme gözlenmiştir (Şekil 3.4).

Sözü edilen hasarların sebeplerini sistemden kaynaklanan kusurlar ve detay yetersizlikleri şeklinde ayırmak mümkündür.

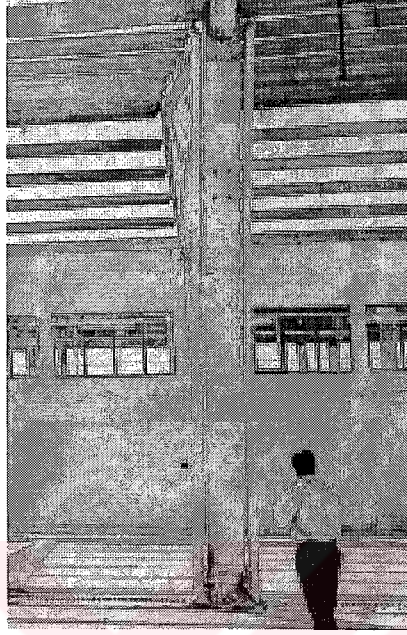


Şekil 3.3: Kolonlarda büyük yatay ötelenme hasarı.

Sistemlerin 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 olmuştur.

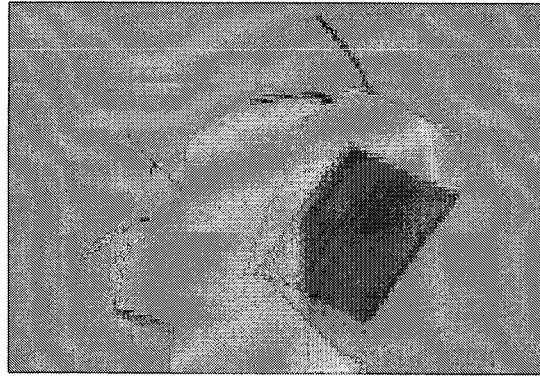
Özellikle trapez kesitli çatı makaslarının yanal stabilitesi sağlanamamıştır. Deprem etkisi ile kirişlerde oluşan dönmeyi önleyecek elemanlar olmadığından, kirişler

serbestçe dönmüş ve mesnetteki pimleri zorlayarak onları sıyırmış ya da kırmıştır (Ersoy ve diğ., 2000). Bu kusurlar sistem kusurlarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.4: Trapez kirişlerde yanıl ötelenme ve kolon alt ucunda mafsallaşma

Mafsallı bağlantılarda kullanılan tek veya çift pimin, yanıl ötelenme veya kiriş dönmesi sonucu oluşan zorlamaları karşılaması mümkün olmamış, aderans yetersizliği sebebiyle sıyrılma olmuştur (Şekil 3.5). Kolon konsolları iyi detaylandırılmadığından yerel ezilme ve kırılmalar oluşmuştur (Ersoy ve diğ., 2000). Bu kusurlar ise detay kusurlarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.5: Pimli bağlantı ve bağlantı noktasından kopan makas

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

AFET YÖNETMELİKLERİ VE PERFORMANSA DAYALI TASARIM

4.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Yapıya etkiyen deprem çok kısa süreli, dinamik bir etkidir ve yapı bu kısa zamanda önemli bir yatay kuvvet ile zorlanır. Bu etki yer hareketinin, zeminin ve yapının özelliklerine bağlıdır (kütle, sönüm, rijitlik, periyot, yer ivmesi vb.).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının ender görülebilecek şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı, çeşitli yerlerde plastik mafsall oluşumlarının yani hasarın gözleneceği öngörülmekte, ancak can güvenliğinin sağlanması için yapının kısmen veya tamamen göçmemesi yaklaşımı benimsenmektedir.

O halde tasarım için kullanılan depremlerde yapı plastik deformasyon yapacak yani hasar görecektir. Bu sayede yapı deplasman yaparak enerji tüketebilecektir. Enerji tüketimini sağlayacak plastik mafsall oluşumu ise istenen seviyelerde kalmalıdır. Yani enerji tüketim sürecinde yapıda göçme olmamalıdır. Düşük veya orta şiddetteki yer hareketleri daha sık meydana gelmektedir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hasar yaratmamalı ya da oluşacak hasar hafif ve onarılabilir olmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel felsefesi bu şekilde özetlenebilir.

Birleşimi mafsallı prefabrik yapılar, plastik mafsallın ancak kolon uçlarında oluşabileceği taşıyıcı sistemlerdir. Enerji tüketilmesi ancak kolon alt uçlarının mafsallaşması ile mümkündür. Bu durum birleşimi mafsallı prefabrik yapıları kiriş uçlarında mafsallar oluşturarak enerji sönümleyen monolitik yapılardan ayırmaktadır.

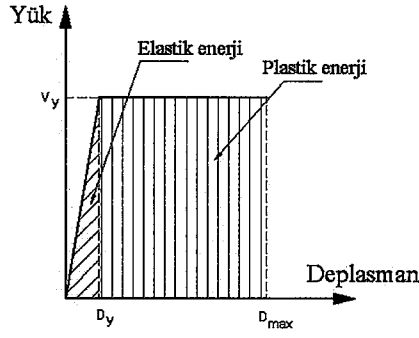
Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli koşullarından bir tanesi de yanal ötelenmenin sınırlandırılması yani yapının belirli bir rijitliğe sahip olmasıdır. Eğer herhangi bir depremde katlar arası yerdeğiştirme farkı büyük olursa yapıya etkiyecek ikinci mertebe momentleri artacak ayrıca yapısal olmayan elemanlarda oluşacak hasarın maliyeti de yükselecektir. Aynı zamanda büyük deplasman, deformasyonun yani hasarın artması demektir. Bu sebeple özellikle düşey taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında tasarımcının cömert davranması, yapının yanal rijitliğinin yüksek tutulması gerekmektedir.

4.1.1 Enerji Sönümü ve Süneklik

Yapının ve zeminin özelliklerinden dolayı, deprem etkisi ile ortaya çıkan enerji, yapılarda değişik türden sönümlerle azalır. Bu sönümler, yapının rijitliği, geometrik boyutları ve kullanılan malzemenin yanında depremin büyüklüğü ile de ilgilidir (Celep ve Kumbasar, 2000). Yapılar, elemanlarının plastik ötesi davranışının yanında, yapısal olmayan elemanlarının enerji tüketimine katkısı, temel-zemin etkileşimi gibi farklı nedenlerle de enerji tüketebilirler.

Betonarme elemanlar için yük-deformasyon eğrisinin altında kalan alan yapılan işe eşittir ve betonarme elemanın enerji tüketme gücünü göstermektedir. Betonarme elemanların elastik enerji tüketme güçleri kısıtlıdır. Plastik enerji tüketme gücü ise malzeme kalitesi ve donatı detaylarına bağlı olarak artabilmektedir. Şekil 4.1’de yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri idealize edilmiştir. Şekilde V_y ve D_y sırasıyla akma anındaki yük ve deplasman değerlerini, D_{max} ise maksimum deplasmanı ifade etmektedir.

Plastik deplasman veya plastik enerji tüketimi söz konusu olunca bir kavram daha ön plana çıkmaktadır: süneklik. Süneklik bir kesitin, bir elemanın ya da bir taşıyıcı sistemin dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, deplasman yapabilme özelliğinin ölçüsü olarak tanımlanabilir (Celep ve Kumbasar, 2000).



Şekil 4.1: Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri

Yapı ve yapı elemanlarında “süneklik oranı” (μ) bir yapı ya da yapı elemanının yapabileceği en büyük kalıcı ötelenmenin, elastik limit ötelenmesine oranı olarak da ifade edilebilir. Sünek yapı deyimi ile, depremin enerjisini kalıcı deformasyon yaparak tüketen fakat yıkılmayan yapı anlaşılmaktadır (Bayülke, 2001). Süneklik ifadesi ise Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$\mu_D = \frac{D_{\max}}{D_y} \quad (\text{Denklem 4.1})$$

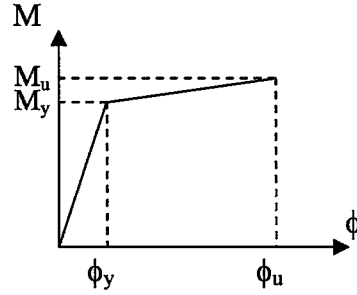
Eğer süneklik moment altında herhangi bir kesitte oluşacak eğrilik ile ifade ediliyorsa eğrilik sünekliği, yük altındaki bir elemanın şekil değiştirmesine bağlı olarak ifade ediliyorsa şekil değiştirme sünekliği, ya da kesitin dönmesi dikkate alınıyorsa dönme sünekliği olarak tanımlanır.

4.1.2 Plastik Mafsal Kavramı

Şekil 4.2’de idealize edilmiş moment-eğrilik ilişkisi incelendiğinde esas olarak iki değişim bölgesi gözlenir: elastik ve plastik bölgeler. Şekilde M_y ve ϕ_y akma anındaki moment ve eğrilik değerlerini, M_u ve ϕ_u ise nihai moment ve eğrilik değerlerini ifade etmektedir.

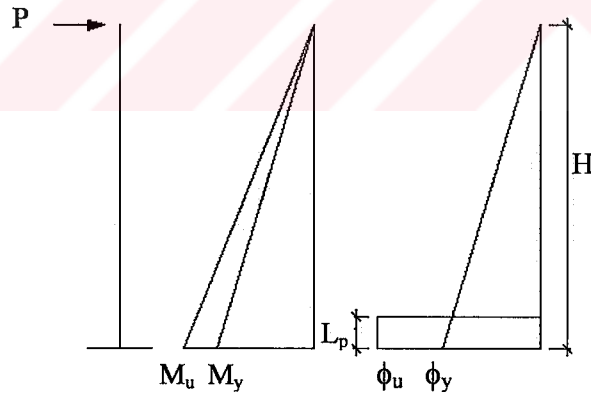
Momentin küçük değerleri için moment-eğrilik ilişkisi doğrusal ve elastik kabul edilebilir. Ancak momentin artmasıyla kesitte gerilmeler de artmakta, çekme

bölgesindeki beton çatlamaktadır. Buna bağlı olarak beton ve çeliğin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme bölgeleri kesitin davranışında etkili olmaya başlamaktadır.



Şekil 4.2: Betonarme kesitte moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 4.3'te bir konsol kolonda momentin ve eğrilik değişimi görülmektedir. Kolonda momentin artması ile mesnete yakın bir bölgede çatlaklar, boyu L_p (plastik mafsal boyu) olan bir bölgede yoğunlaşmakta ve buna bağlı olarak plastik eğrilik belirgin biçimde artmaktadır. Eğrilik, dolayısıyla plastik dönmelerin belirli bir bölgede yoğunlaşması plastik mafsal kabulü olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4.3: Konsol kolonda eğilme momenti ve eğrilik değişimi

Plastik mafsal boyu kesitin moment-eğrilik diyagramına, eğilme momentinin eleman boyunca değişimine, kesit boyutlarına ve elemana etkiyen normal kuvvete bağlıdır. Ancak yaklaşık olarak elemanın eğilmeye çalışan boyutunun yarısı alınabilmektedir (Moehle, 1992).

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 4.3). Buna göre P yükünün uygulandığı konsol ucunun dönmesinin hesabı için elastik ve plastik dönme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu iki değer toplamı ise konsol ucundaki toplam dönmeyi verir. Elastik ve plastik dönme değerleri (θ_{el} ve θ_{pl}) aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$\theta_{el} = \frac{\phi_y H}{2} \quad (\text{Denklem 4.2})$$

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

Denklem 4.3 ile elde edilen θ_{pl} aynı zamanda plastik mafsallın dönmesi olarak adlandırılmaktadır.

Elde edilen dönmelere bağlı olarak deplasmanlar da aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir:

$$D_{el} = \theta_{el} \left(\frac{2H}{3} \right) \quad (\text{Denklem 4.4})$$

$$D_{pl} = \theta_{pl} \left(H - \frac{L_p}{2} \right) \quad (\text{Denklem 4.5})$$

Konsol ucundaki toplam deplasman ise elastik ve plastik deplasmanların toplanması ile elde edilir:

$$D = D_{el} + D_{pl} \quad (\text{Denklem 4.6})$$

4.2 Deprem Etkisi Altında Yapısal Analiz Yöntemleri

Yapısal analiz yöntemlerini lineer ve lineer ötesi analiz yöntemleri olarak ikiye ayırabiliriz. İki yöntem arasındaki temel fark isimlerinden de anlaşılacağı gibi taşıyıcı sistem elemanlarının davranışına ilişkin yapılan kabuldür.

4.2.1 Lineer Analiz Yöntemleri

Lineer analiz yöntemlerine bizim yönetmeliğimizde de yer alan eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım aralığında analiz yöntemi örnek olarak verilebilir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde, yapıya etkiyeceği tahmin edilen deprem yükü eşdeğer statik yatay yüke dönüştürülmektedir. Taşıyıcı sistemi düzenli veya düzensizliği sınırlı binalar için uygulanabilir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar AY98'de belirtilmiştir.

Mod birleştirme yöntemi ise, 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 bir lineer dinamik analiz yöntemidir. Her türlü taşıyıcı sisteme uygulanabileceği öngörülse de yönetmeliklerde elde edilen sonuçların eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bulunanla karşılaştırılması istenmektedir.

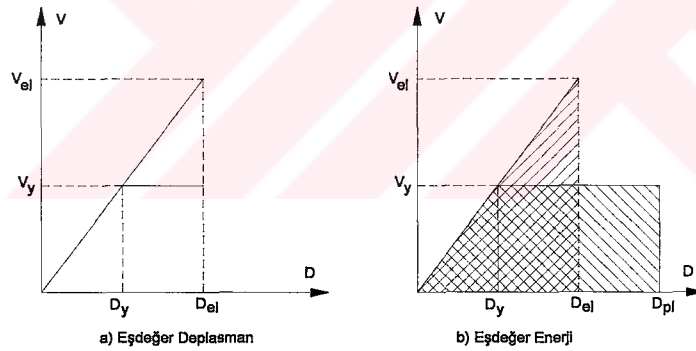
Zaman tanım aralığında analiz yönteminde ise hesaplama işlemi gerçek ya da benzetilmiş bir deprem hareketi esas alınarak yapılmaktadır. Bu çözümleme oldukça zaman alıcı olması nedeniyle genel kullanıma uygun değildir. Ancak diğer yöntemlere kıyasla daha gerçekçi sonuçları bu yöntemle elde etmek mümkündür.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

Genel olarak lineer analiz yöntemlerinde taşıyıcı sistem elemanlarının elastik olduğu kabulü ile elastik deprem spektrumlarına bağlı 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 bir katsayı ile azaltılması yöntemiyle hesaplanmakta, böylelikle yapı sistemlerinin plastik deformasyonlar yapmasına izin verilmektedir. AY98’de tasarım deprem kuvveti elastik deprem yükünün taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile bölümünden elde edilmektedir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yapının enerji tüketme kapasitesi arttıkça artmakta ve tasarım deprem yükleri azalmaktadır. Ters durumda ise azalmakta ve tasarım deprem kuvvetleri artmaktadır. Bu katsayının hesaplanmasında iki farklı yaklaşım benimsenmektedir: eşdeğer deplasman ve eşdeğer enerji yaklaşımı.

Titreşim periyodunun büyük olduğu yapılarda gerek elastik gerekse elastoplastik davranışta yapıların maksimum yerdeğiştirmesinin birbirine eşit olduğunu kabul eden yaklaşım eşdeğer deplasman yaklaşımıdır.



Şekil 4.4: Yapıların elastik ötesi davranış kabulleri

Eşdeğer deplasman yaklaşımında Şekil 4.4’te görüldüğü gibi en büyük yerdeğiştirmelerin eşitliğinden taşıyıcı sistem davranış katsayısı,

$$R = \frac{V_{el}}{V_y} \quad (\text{Denklem 4.7})$$

denklemini ile elde edilmektedir. Deplasman sünekliği ise Denklem 4.8’de verilmiştir.

$$\mu_D = \frac{D_{el}}{D_y} \quad (\text{Denklem 4.8})$$

Denklemlerde D_{el} yapının elastik kalması durumunda yapacağı maksimum deplasmanı, D_y ise akma anındaki deplasmanı belirtir. V_{el} ve V_y ise sırasıyla elastik olarak karşılanacak maksimum kuvveti ve akma anındaki kuvveti ifade etmektedir. Bu durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısı deplasman sünekliğine eşittir.

$$R = \mu_D \quad (\text{Denklem 4.9})$$

Elastoplastik davranış gösteren yapıya gelecek kuvvet ise Denklem 4.10 ile hesaplanır.

$$V_y = \frac{V_{el}}{\mu_D} \quad (\text{Denklem 4.10})$$

Eşdeğer enerji yaklaşımında ise (Şekil 4.4) elastik ve elastoplastik sistemlerin söndüreceği şekil değiştirme enerjisinin eşit olduğu kabul edilmektedir. Yapılan işin eşitliğinden elde edilen

$$\frac{1}{2} V_{el} D_{el} = \frac{1}{2} V_y \left(D_y \frac{V_{el}}{V_y} \right) = V_y \left(D_{pl} - \frac{D_y}{2} \right) \quad (\text{Denklem 4.11})$$

Denklem 4.11 düzenlenerek R , deplasman sünekliğine bağlı olarak Denklem 4.12 ile elde edilir.

$$R = \sqrt{2\mu_D - 1} \quad (\text{Denklem 4.12})$$

Denklem 4.12'de kullanılan deplasman sünekliği ifadesi eşdeğer enerji yaklaşımı için Denklem 4.13 ile elde edilmektedir.

$$\mu_D = \frac{D_{pl}}{D_y} \quad (\text{Denklem 4.13})$$

Akma anındaki kuvvet Denklem 4.14 ile elastoplastik sistemin yerdeğiştirmesi ise Denklem 4.15 ile hesaplanmaktadır.

$$V_y = \frac{V_{el}}{\sqrt{2\mu_D - 1}} \quad (\text{Denklem 4.14})$$

$$D_{pl} = \frac{\mu_D}{\sqrt{2\mu_D - 1}} D_{el} \quad (\text{Denklem 4.15})$$

4.2.2 Lineer Ötesi Analiz Yöntemleri

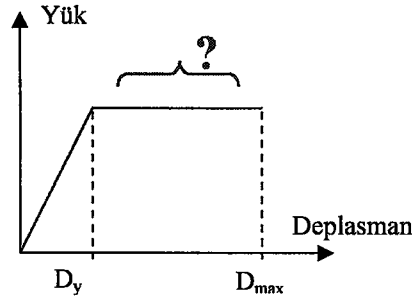
Mevcut yönetmeliklerde (AY98 dahil) depreme dayanıklı yapı tasarımı için nihai amaç; tasarım depreminde binalarda can kaybına sebep olacak kısmi veya toptan göçmenin önlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Burada bahsedilen tasarım depremi ise 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir.

Bu yaklaşımın yetersiz olduğu bugün çok açık olarak ifade edilmektedir. Bunun sebepleri olarak aşağıdaki hususlar gösterilebilir.

İnsan hayatı elbette çok önemli bir değerdir. Ancak depremlerde meydana gelen ekonomik hasarların büyüklüğü tek başına can kaybını önlemek gibi bir amacın yeterli olamayacağını göstermiştir.

Binanın kısmi veya toptan göçmesinin önlendiğı varsayılsa bile binada oluşacak hasara bağılı olarak enerji sönümlenmesi hedeflenmektedir. Ancak bu hasarın tarifi hakkında mevcut yönetmeliklerde (lineer analiz yöntemleri) hiçbir bilgi bulunmamaktadır. Farklı seviyelerdeki depremlerde oluşacak hasarın boyutları ve bu hasarın yapı içerisinde dağılımının nasıl olduğı gibi sorulara cevap verilememektedir.

Yapının elastik deplasman sınırının ötesinde bir maksimum deplasman sınırının varlığı kabul edilmekte ancak bu sınırlar arasında kalan bölge için herhangi bir yorum yapılamamaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Yapının lineer ötesi davranışı

Lineer analiz, yapıların elastik kapasitesini belirlemede veya ilk akmanın nerede oluşacağını görmede iyi bir araç olmasına rağmen, gerek hasarın oluşma mekanizması gerekse akma anından sonra kuvvetin yeniden dağılımı konusunda bize bir fikir vermemektedir.

Bu ve buna benzer sorunlar lineer ötesi çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Lineer ötesi analiz yöntemleri yapının, hasarın belirli aşamalarında ve de göçme anında nasıl davranacağını anlamamızda yardımcı olur. Bu yöntemlerde yapının lineer ötesi davranışı kritik kesitlerde tanımlanan plastik mafsallarla temsil edilmektedir.

Zaman tanım aralığında analiz yöntemi lineer sistemler için olduğu gibi daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla lineer ötesi sistemler için de uygulanabilir. Ancak oldukça zaman alıcı olması dolayısıyla, genellikle araştırma amacıyla kullanılması yanında, basit yöntemlerle yapılan çözümlerinin sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmaktadır.

Yapıların deprem davranışının değerlendirilebilmesi için son yıllarda giderek artan şekilde basitleştirilmiş lineer ötesi analiz yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu

yöntemlere Deplasman Katsayıları Yöntemi (FEMA-356), Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40), Yield Point Spektrum (Aschheim, 2000) ve Modal Pushover Analysis (Chopra and Goel, 2001) örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerin tümünde maksimum deplasmanın elde edilebilmesi için analiz aracı olarak Statik İttirme Analizi (Pushover Analysis) kullanılmaktadır.

4.3 Performans Dayalı Tasarım ve Kapasite Spektrumu Yöntemi

Depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesinden bahsederken düşük şiddetli depremlerde hasar oluşmaması, orta şiddetli depremlerde hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybının önlenmesi için kısmi veya toptan göçmenin engellenmesi yaklaşımından bahsedilmiştir. Yani mevcut yönetmeliklerde de birden fazla performans seviyesi tanımlanmıştır. Fakat tasarım “can güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesine karşılık gelen durum için yapılmaktadır.

Son yıllarda deprem mühendisliğinde yaşanan gelişmeler gerek mevcut yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde gerekse yeni yapıların tasarımında “performansa dayalı tasarım” ilkesinin ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Performansa dayalı tasarım yönteminde “can güvenliği” performans seviyesi yanında ek performans seviyeleri de dikkate alınmakta, bu seviyelerin sağlanması için gerekli tasarım yöntemleri ve sınır durumlar tanımlanmaktadır. Ayrıca bu yöntemin aracı olarak son yıllarda yaygınlaşan şekilde lineer ötesi analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla binaların performans seviyelerinin deplasmana bağlı olarak belirlenmesinde lineer ötesi deplasmanlar da dikkate alınabilmektedir.

Performansa dayalı tasarım, basit olarak belirli deprem risklerine karşılık yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi anlamına gelir. Bunun için binanın hangi performans seviyesine sahip olması gerektiği, bu performans seviyesinin sağlanması için hangi depremin esas alınacağı belirlenmelidir. Performans seviyeleri belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşması kabul edilebilen maksimum hasar ile temsil edilir.

O halde tam olarak amaç, hasarın sınırlandırılması ve böylece istenen performans amacının sağlanmasıdır.

Aynı deprem riskine maruz her binanın görmesine izin verilecek hasar, yani performans seviyesi aynı olmak zorunda değildir. Herhangi bir depremde bir konutun göstermesi gereken performans ile önemli bir sanayi yapısının göstermesi gereken performans doğal olarak aynı olmamalıdır.

Dolayısıyla yapıdan beklenen performans, yapı sahibinin isteklerine, yapının kullanım amacına göre belirlenebilir, yapının bulunduğu bölgenin depremselliğine bağlı olarak değişebilir. O halde tüm bu bahsedilen hususlar ışığında öncelikle yapı performans seviyesine karar verilmelidir.

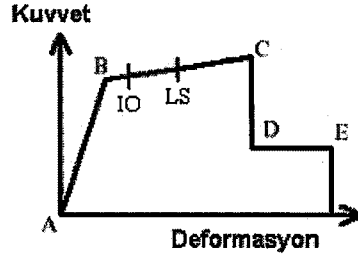
4.3.1 Performans Seviyeleri

Binaların performans seviyeleri yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonu şeklinde ifade edilmektedir. ATC-40 dökümanında yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri ile bunların kombinasyonu olarak elde edilen bina performans seviyeleri tanımlanmıştır. Bu kombinasyonlarla elde edilen bina performans seviyelerinden bazıları kısaca açıklanmıştır.

Hemen kullanım performans seviyesi (IO), yapısal elemanlarda oluşacak hasarın çok sınırlı olduğu, yapının deprem öncesi düşey ve yatay kapasitesinin hemen hemen tamamını koruduğu seviye olarak tanımlanmaktadır.

Can güvenliği performans seviyesi (LS), yapısal veya yapısal olmayan elemanlarda oluşacak hasardan dolayı meydana gelebilecek can güvenliği riskini minimum düzeyde tutmayı amaçlayan bir performans seviyesidir. Yapı ana bileşenleri yıkılmaz ya da işlevini yitirmez ancak bina içerisinde can güvenliği tehdit altındadır. Bu seviyeye ulaşmış binaların deprem sonrası tekrar kullanılabilmesi için yapısal onarım gereklidir.

Yapısal stabilite performans seviyesi (SS), deprem sonrası yapı hasarı için sınır durumdur. Düşey yük taşıyan sistem ancak ayaktaadır fakat yatay yük taşıma kapasitesi kalmamıştır.



Şekil 4.6: Bina performans seviyeleri

Şekil 4.6’da tipik bir yük-deformasyon eğrisi üzerinde örnek performans seviyeleri gösterilmektedir. Şekilde gösterilen A-B aralığı elastik sınırları, B-C aralığı yapının performansında düşme olmadan yapabileceği deformasyon kapasitesini yani plastik deformasyon kapasitesini göstermektedir. C noktasından D noktasına düşüş yatay yük taşıma kapasitesindeki azalışı göstermekte ancak yapı E noktasına kadar düşey yük taşıma kapasitesine sahip bulunmaktadır. E noktasına ulaşıldığında yapı kendi ağırlığını bile taşıyamayacak duruma gelmiş demektir. Tez çalışmasında C noktası yapısal stabilitenin bozulduğu sınır olarak alınmıştır.

Şekil 4.6’da eğrinin doğrusal davranıştan uzaklaşmasından sonra hasar ile orantılı olan plastik davranış ortaya çıkmaktadır. Yükün artması ile sistemdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu rijitlik azalmakta, periyot artmaktadır. Bununla beraber plastik şekil değiştirmeler de artarak devam etmektedir. Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların bir veya birkaçında plastik dönme kapasitesine erişilmesi sistemi taşıma gücü sınır durumuna getirebilir. Eğer plastik mafsallarda yeterli dönme kapasitesi var ise taşıyıcı sistem yapısal stabilite sınırına gelir ve güç tükenmesi ortaya çıkar.

Burada kısaca anlatılan performansa dayalı tasarım felsefesinin ortaya konmasında en büyük yardımcı bahsedildiği gibi lineer ötesi analiz yöntemleridir. Yapının yapabileceği tahmin edilen maksimum deplasman seviyesi (lineer sınırların ötesinde de olabilir) bu analiz yöntemleri ile hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada yapının tahmin

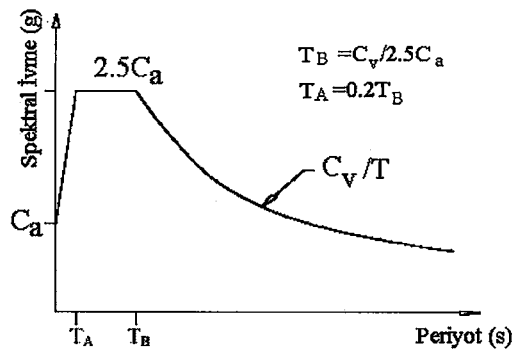
edilen maksimum deplasmanı için (performans noktası) bu yöntemlerden birisi olan Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılmıştır (ATC-40, Bölüm 8).

Kapasite Spektrumu Yöntemi için anahtar iki terim: **kapasite** ve **talep**'tir. Talep deprem yer hareketini, kapasite ise yapının depreme karşı koyabilme özelliğini ifade eder.

4.3.2 Talebin Belirlenmesi

Herhangi bir deprem anında meydana gelen yer hareketi, yapıda zamanla değişen karmaşık yatay deplasmanlar oluşturur. Yer hareketinin her anının izlenerek yapısal tasarım ihtiyacının belirlenmesi pratik değildir. Verilen bir yapı ve yer hareketi için talep, yer hareketi esnasında beklenen maksimum tepkidir. Bu ise elastik tepki spektrumları ile ifade edilmektedir.

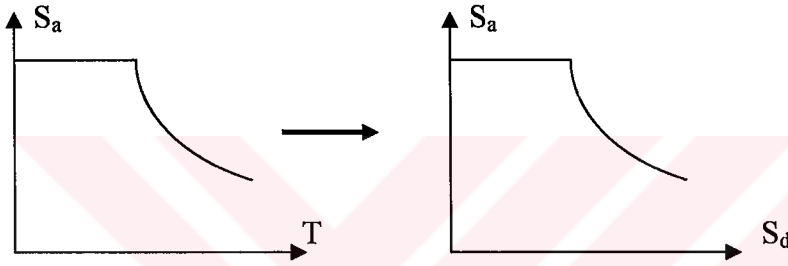
ATC-40'ta elastik tepki spektrumunu oluşturmak için önerilen yöntemler arasında C_a ve C_v sismik katsayılarının kullanılması da vardır. C_a katsayısı zeminin efektif maksimum ivme değerini göstermektedir. C_v , ise bir saniye periyotlu %5 sönümlü bir sistemin karşılığı olarak ifade edilmektedir ve periyoda bölündüğünde hız alanında ivme karşılıklarını belirlemektedir. Elastik tepki spektrumunun lineer olmayan analiz yöntemlerine kolayca katılabilmesi için standart bir şekilde tanımlanmıştır. Şekil 4.7'de elastik spektrumun C_a ve C_v katsayılarına bağlı olarak oluşturulması gösterilmiştir. Şekilde T_A ve T_B zeminin spektrum karakteristik periyotlarını göstermektedir.



Şekil 4.7: Elastik ivme spektrumu (%5 sönümlü)

Kapasite Spektrum Yöntemi'nin kullanılabilmesi için elde edilen %5 sönümlü elastik tepki spektrumu (S_a ve T eksenleri ile ifade edilen) Şekil 4.8'de görüldüğü gibi ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectra) formatında (S_a ve S_d eksenleri ile ifade edilen) talep spektrumuna dönüştürülür. Yani talep belirlenmiş olur. S_a ve S_d sırası ile spektral ivme ve spektral deplasman değerlerini, T ise periyodu ifade etmektedir. Dönüşüm için Denklem 4.16 kullanılmaktadır.

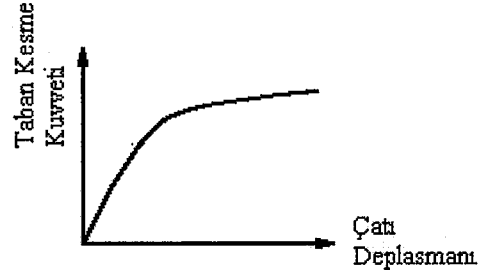
$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (\text{Denklem 4.16})$$



Şekil 4.8: Elastik tepki spektrumundan talep spektrumunun elde edilmesi

4.3.3 Kapasitenin Belirlenmesi

Yapının kapasitesi kapasite eğrisi (pushover curve) ile temsil edilir. Bu eğrinin çizimi için taban kesme kuvveti ile yapı en üst kat deplasmanının grafiği oluşturulur. Çözümde yer değiştirmenin bina yüksekliği boyunca değişiminde birinci modun etkili olacağı öngörülen yapılarda sadece en üst katın yer değiştirmesinin dikkate alınması yeterlidir. Yatay yükün uygulanması sırasında yapıda $G+Q$ yükünün olduğu kabul edilerek yatay yük adım adım arttırılır ve taşıyıcı sistem çözümü yapılır. Şekil 4.9'da kapasite eğrisi görülmektedir. Yapılan çalışmada kapasite eğrisinin hesabı için Sap2000 programı kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Kapasite eğrisi

Elde edilen kapasite eğrisi yine ADRS formatında kapasite spektrumuna dönüştürülmektedir (Şekil 4.10). Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi için aşağıdaki denklemlere ihtiyaç vardır:

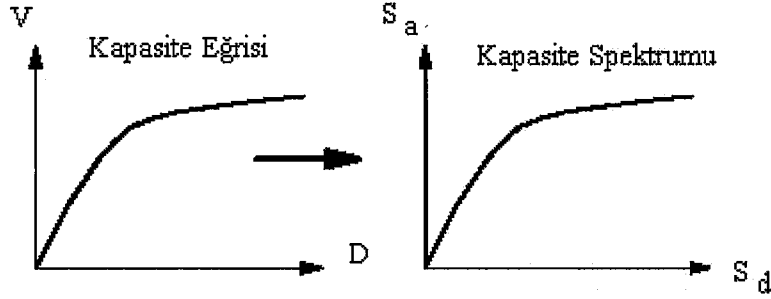
$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (W_i \Phi_{i1}^2) / g} \quad (\text{Denklem 4.17})$$

$$\alpha_1 = \frac{(\sum_{i=1}^N (W_i \Phi_{i1}) / g)^2}{\sum_{i=1}^N (W_i / g) * \sum_{i=1}^N (W_i \Phi_{i1}^2) / g} \quad (\text{Denklem 4.18})$$

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (\text{Denklem 4.19})$$

$$S_d = \frac{D_{\text{çatı}}}{PF_1 \Phi_{\text{çatı},1}} \quad (\text{Denklem 4.20})$$

Denklemlerde PF_1 birinci moda ait katılım katsayısı, α_1 modal kütle katsayısı, Φ_{i1} birinci moda ait yerdeğiştirme değeri, N kat sayısı, V taban kesme kuvveti, W yapının G ve Q dikkate alınarak hesaplanmış ağırlığı, S_a ve S_d sırasıyla spektral ivme ve spektral deplasman değerlerini, $D_{\text{çatı}}$ ise çatı deplasmanını temsil etmektedir.



Şekil 4.10: Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

4.3.4 Performans Noktasının Belirlenmesi

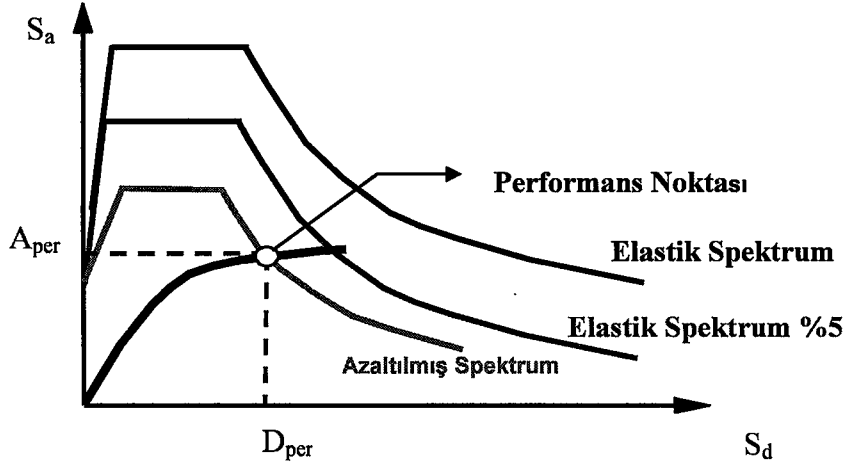
Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal deplasmanı göstermektedir.

Performans noktasının yeri iki ilişkiyi doğrulamalıdır. Verilen bir deplasman için hem kapasite spektrum eğrisi üzerinde olmalı, hem de elastik talep eğrisinin indirgenmesi ile elde edilecek olan talep spektrumu eğrisi üzerinde olmalıdır.

Kapasite spektrumu eğrisi ile talep spektrumu eğrisi üst üste çizilerek performans noktası elde edilmektedir. Kapasite eğrisi üzerinde ilerlerken sönüm artmaktadır. Buradaki sönüm akma noktasının yanında performans noktasının koordinatlarına da bağlıdır. Yapıdaki lineer ötesi davranıştan dolayı ortaya çıkacak olan sönümün dikkate alınabilmesi için efektif sönüm oranına bağlı olarak spektral talep eğrisi tekrar indirgenecek ve talep ile kapasitenin kesişim noktası olan performans noktası elde edilecektir (Şekil 4.11). Efektif sönüm oranı ise kapasite eğrisinin şekli ve tahmin edilen deplasman talebi ifadelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır (ATC-40, Bölüm 8). Bu durumda çözüme ancak iteratif bir yaklaşımla ulaşılmaktadır.

Performans noktasının yerinin belirlenmesi için ATC-40'ta üç iteratif yaklaşım önerilmektedir (Procedure A, Procedure B, Procedure C). Bu üç iterasyon yaklaşımı matematiksel bakımdan aynıdır fakat analitik veya grafiksel olmaları itibarı ile birbirlerinden ayrılırlar (ATC-40, Bölüm 8). Kapasite Spektrumu Yöntemi ile

performans noktasının belirlenmesi için Sap2000 programı “Procedure B” yi kullanmaktadır.



Şekil 4.11: Performans noktasının bulunması

Performans noktası bulunduktan sonra elde edilen maksimum deplasmanın performans seviyesi koşullarına uyup uymadığı kontrol edilir. Bu ise ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesi ile belirlenir. ATC-40'ta ayrıntıları ile verilmiş olan bu sınırlar ise elemanlar için kabul kriterleri ve bina için genel kabul kriterleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Performans noktasında her bir elemandaki gerilmeler ve şekil değiştirmeler hesaplanarak kabul edilen performans noktasının, gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Gerekli şartlar ise elemanın türüne (kolon, kiriş, perde) ve elemanın taşıma gücüne ulaşmasında etkili olacak etkinin türüne (eğilme, kesme) bağlıdır. Kiriş ve kolonlardaki plastik mafsallı dönmeleri, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısı, perdelerdeki plastik mafsallı dönmeleri, kabul şartları gözönünde tutularak kontrol edilir.

Binanın tümü için öngörülen kabul kriterleri düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası göreceli ötelenme kriterleridir. Bina performans noktasında toplam yatay yük taşıma kapasitesinin %20'den daha fazla azalmaması gerekir. Bu suretle deprem etkisindeki çevrimler sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılmış

olmaktadır. Ayrıca hasarın performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılabilmesi için katlar arası yerdeğiştirme oranının Çizelge 4.1'deki değerleri aşmaması istenir. Çizelgede görüldüğü gibi bina performansının belirlenebilmesi için hem maksimum ötelenme hem de plastik ötelenme (binanın maksimum ve plastik deplasmanının bina yüksekliğine oranı) sınırları tarif edilmiştir.

Çizelge 4.1: ATC-40 yatay deformasyon limitleri

Görelî Kat Ötelenmesi	Performans Seviyesi		
	Hemen Kullanım	Kontrollü Hasar	Can Güvenliği
Maksimum Ötelenme	0.010	0.010-0.020	0.020
Plastik Ötelenme	0.005	0.005-0.015	Limitsiz

4.4 Prefabrik Yapılar Açısından AY75 ve AY98

1975 yılından 1998 yılına kadar 1975 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik hükümleri geçerli olmuş, bu tarihten itibaren ise son çeyrek asırda deprem mühendisliğinde gelişmeler ışığında hazırlanan çağdaş bir yönetmelik 1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik hükümleri esas alınmaya başlanmıştır.

4.4.1 1975 Tarihli Afet Yönetmeliği

Bu yönetmelikte prefabrik yapılar için özel bir husus belirtilmemiştir. Binaya gelecek deprem yükü Denklem 4.21 ile hesaplanmaktadır:

$$F = CW \quad \text{(Denklem 4.21)}$$

Denklem 4.21'de F binanın depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak statik eşdeğer deprem yüküdür. C deprem katsayısı olup,

$$C = C_0 KSI \quad (\text{Denklem 4.22})$$

formülü ile hesaplanır. Burada, C_0 deprem bölgesi katsayısı, K yapı tipi katsayısı, S spektrum katsayısı, I bina önem katsayısıdır.

W yatay yükün hesaplanmasında kullanılacak toplam bina ağırlığıdır. Toplam bina ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (\text{Denklem 4.23})$$

olup W_i kat ağırlığı;

$$W_i = g_i + nq_i \quad (\text{Denklem 4.24})$$

denklemi ile hesaplanır. Burada g_i i.kattaki sabit yükler toplamı, q_i i.kattaki hareketli yükler toplamı ve n hareketli yük katılım katsayısıdır.

AY75'e göre prefabrik tek katlı sanayi yapısına gelecek maksimum yatay yük;

$$F = 0.1W \quad (\text{Denklem 4.25})$$

olarak hesaplanır.

4.4.2 1998 Tarihli Afet Yönetmeliği

AY98'de yapı elemanlarının sünek davranarak yeterli enerji tüketebileceği varsayımı ile yapıya geleceği kestirilen elastik deprem yükleri taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ile azaltılmaktadır.

Bu sebeple eğer tasarım yönetmelikteki kuvvetler kullanılarak yapılıyorsa süneklik mutlaka sağlanmalıdır. Bu koşulun sağlanabilmesi için kolon ve kiriş uçlarındaki

sarılma bölgeleri kapalı etriyelerle sarılmalıdır. Etriye aralığı sarılma bölgelerinde maksimum 100 mm ile sınırlandırılmıştır. Kiriş ve kolonlarda kesme kırılmasının oluşması önlenmelidir ve yönetmelikte öngörülen donatı sınırına mutlaka uyulmalıdır.

AY98’de mafsallı çerçevelere ancak tek katlı olması durumunda izin verilmektedir (Madde 7.12.1.2). Mafsallı çerçeveler için taşıyıcı sistem davranış katsayısının süneklik düzeyi yüksek kabul edildiğinde $R=5$ alınması öngörülmüştür. Ayrıca görelî kat ötelenmesi sınırı ise 0.0035 ya da $0.02/R$ ile sınırlandırılmıştır. Bu tür yapılarda yanal ötelenme monolitik yapılara oranla çok fazla olduğundan kolon boyutlarını genellikle görelî kat ötelenmesi sınırı belirlemektedir.

AY98’e göre yapıya gelecek eşdeğer statik deprem yükü Denklem 4.26 ile hesaplanmaktadır:

$$V_i = \frac{A_0 I S(T)}{R} W \quad \text{(Denklem 4.26)}$$

Denklemde A_0 etkin yer ivmesi katsayısıdır ve birinci derece deprem bölgeleri için 0.4 alınır. I bina önem katsayısıdır ve sanayi yapıları için 1 alınır. $S(T)$ ivme spektrumu katsayısı olup AY98’e göre,

$$S = 1 + 1.5T / T_A \quad 0 \leq T \leq T_A \quad \text{(Denklem 4.27a)}$$

$$S = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B \quad \text{(Denklem 4.27b)}$$

$$S = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad T > T_B \quad \text{(Denklem 4.27c)}$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada T yapının elastik doğal titreşim periyodu, T_A ve T_B spektrum karakteristik periyodlarıdır ve zemin sınıfına bağlı olarak değişmektedir.

Birleşim bölgelerine gelecek yükler için AY98’de Madde 6.11.1’de binalarda, balkon, parapet, baca vb. konsol olarak binanın taşıyıcı sistemine bağlı, ancak bağımsız çalışan yapısal çıkıntılara ve cephe, ara bölme panoları, vb yapısal olmayan tüm mimari

elemanlara etkiyen deprem yüklerinin $S(T)=1$ kabulü ile ilgili elemanın ağırlığı dikkate alınarak hesaplanacağı belirtilmektedir. Bu maddeye göre kolon-makas birleşimine gelecek toplam yatay yük, Denklem 4.26'da $R=1$, $S(T)=1$ alınarak ve W yerine üzerindeki yükler dahil makasın deprem hesabına esas toplam ağırlığı kullanılarak hesaplanır.

Ayrıca Madde 7.12.1.2'de kaynaklı olarak yapılan mafsallı bağlantılar, hesaplanan bağlantı kuvvetinin en az 1.5 katını, diğer mafsallı bağlantılar ise en az 1.2 katını taşıyacak yeterli dayanıma sahip olacaklardır, hükmü yer almaktadır.

Tek katlı mafsallı yapılarda kütlenin konsol gibi çalışan kolonların tepesinde toplandığı varsayımı ile yapının elastik doğal periyodu Denklem 4.28 ile hesaplanabilir.

$$T = 2\pi \left(\frac{H^3 \sum m}{3 \sum EI} \right)^{0.5} \quad (\text{Denklem 4.28})$$

Burada $\sum m$ sistemi taşıyan kolonlar üzerindeki toplam kütle, H kolon yüksekliği, $\sum EI$ sistemdeki tüm kolonların elastik rijitliğidir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

MODELLER VE ANALİZ

5.1 Giriş

Bu bölümde analiz için kullanılacak modeller, bu modellerin oluşturulmasında kullanılan parametreler, bu parametrelerin değişimi ve oluşturulan modeller için uygulanan analiz seçenekleri hakkında kısa bilgi verilmiştir.

Prefabrik yapılarda deprem esnasında oluşan hasarların büyük çoğunluğunu kolon alt bölgelerinde plastik mafsall oluşumu ve yanal ötelenme, çatı düzleminde birleşim bölgesi detaylarının yetersizliklerinden dolayı makasların devrilmesi, bağlantı çubuklarının kesilmesi sonucu makasların düşmesi hasarları oluşturmaktadır. Bu hasar türlerinin oluşum sebepleri ve oluşum mekanizmaları da değerlendirmeye alınmış bu yüzden bu konu ile ilgili analiz sonuçları da elde edilmeye çalışılmıştır.

5.2 Model Parametreleri

Tez çalışmasında taşıyıcı sistem modelleri oluşturulurken özellikle prefabrik tek katlı sanayi yapılarının deprem davranışına etkisi olduğu düşünülen bazı parametreler kullanılmış ve bu parametrelerin değişiminin davranışa olan etkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu parametreler kat yüksekliği, zemin sınıfı, beton sınıfı, çatı makası uzunluğu, kolon boyutları ve kolon boyuna donatı oranıdır.

5.2.1 Kat yüksekliği (H)

Prefabrik sanayi yapılarının davranışına etkisi olduğu düşünülen parametrelerden birisi yanal ötelenme rijitliği üzerinde önemli etkisi olan kat yüksekliğidir. Bu yüzden

modeller oluşturulurken kolon yüksekliği için 6m ve 8m olarak iki farklı değer alınmıştır.

5.2.2 Zemin Sınıfı (Z)

Depremi etkisi dikkate alınacağı zaman yapının üzerinde bulunduğu zeminin özellikleri ön plana çıkmaktadır. Zeminin sismik karakterinin yapının davranışı üzerinde önemli etkisi vardır. Analizlerde deprem bölgesi olarak sadece birinci derece deprem bölgeleri dikkate alınmış, zeminin deprem esnasındaki yapı davranışına etkisini dikkate alabilmek için iki farklı zemin sınıfı, AY98’de tarif edilen Z2 ve Z3 zemin sınıfları kullanılmıştır.

Birinci derece deprem bölgesinde Z2 ve Z3 sınıfı zeminlere ait elastik spektrumların Sap2000 programında oluşturulması için C_a ve C_v katsayılarının bilinmesi ve Sap2000 programına girilmesi gerekmektedir. Birinci derece deprem bölgesi için $C_a=0.4$ ve Z2 ve Z3 zemin sınıfları için sırası ile $C_v=0.4$ ve $C_v=0.6$ kullanılmıştır.

5.2.3 Beton Sınıfı (BS)

Prefabrik yapıların avantajlarından birisi fabrika koşullarında yüksek dayanımlı beton üretebilmek idi. Beton dayanımının davranış üzerindeki etkisini incelemek için modellerde iki farklı beton sınıfı BS20 ve BS30 kullanılmıştır. Beton sınıflarına ait hesap basınç dayanımları 20MPa ve 30MPa alınmıştır. Bu beton sınıflarına ait mühendislik özellikleri (elastisite modülü, özağırlık, özkütle vs) Sap2000 programında ayrı ayrı tanımlanmıştır.

5.2.4 Çatı Makası Uzunluğu (L)

Modeller oluşturulurken üç farklı çatı makası kullanılmıştır. Bunlar 12m, 16m ve 20m uzunluğundaki çatı makaslarıdır. Makas açıklığı, özellikle kendi düzlemlerine dik doğrultudaki depremlerde çatı makası davranışının tüm yapının davranışına etkisini

araştırmak, hem de dolaylı yoldan bina ağırlığının artışının davranışa etkisini incelemek açısından değişken bir parametre olarak kullanılmıştır.

5.2.5 Kolon Boyutları (B)

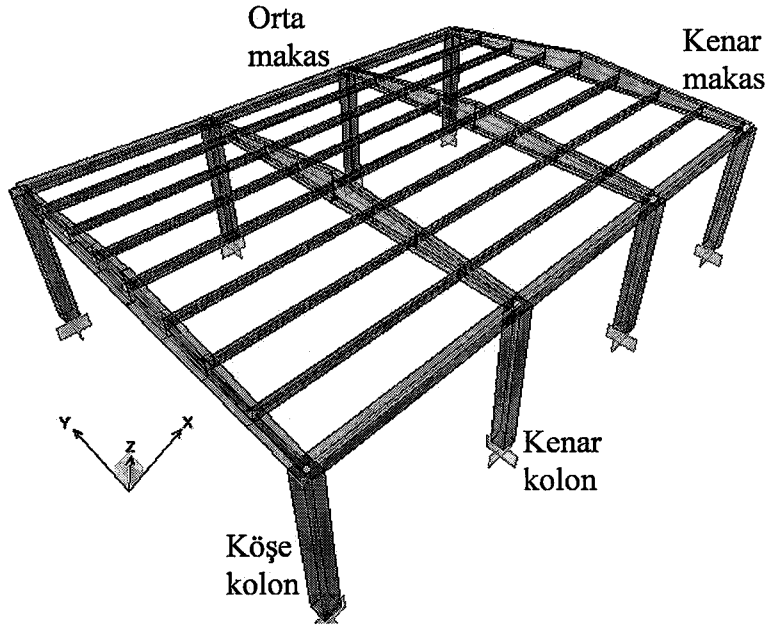
Yatay yükler altındaki davranışı etkileyen önemli özelliklerden birisi de yatay ötelenme rijitliğidir ve bu özelliği belirleyen faktörlerin başında kolonun plandaki ebatları, dolayısıyla atalet momenti gelmektedir. Bu yüzden kolon ebatları da değişken parametre olarak seçilmiş ve modeldeki toplam 8 adet kolonun tamamında aynı olmak üzere 35x35cm, 45x45cm ve 55x55cm boyutlarında 3 farklı kolon tipi kullanılmıştır.

5.2.6 Kolon Boyuna Donatı Oranı (ρ_s)

Analizler için model oluştururken davranışa etkisinin araştırılacağı son değişken parametre ise kolon boyuna donatı oranı olarak belirlenmiştir. Boyuna donatı oranı özellikle kolon kesitinin moment-eğrilik ilişkisini önemli ölçüde değiştirmektedir. Donatı oranının artışı kolonun moment taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Her bir model için tüm kolonlarda aynı olmak üzere %1, %1.5 ve %2 olarak üç farklı donatı oranı seçilmiştir. Donatı olarak BÇIII kullanılmıştır (hesap akma dayanımı $f_{yd}=420$ MPa).

5.3 Modellerin Oluşturulması

Modeller oluşturulurken değişken parametre olarak kullanılacak kat yüksekliği (6m ve 8m), beton sınıfı (BS20 ve BS30), çatı makası uzunluğu (12m, 16m ve 20m), kolon boyutları (35x35cm, 45x45cm ve 55x55cm) ve kolon boyuna donatı oranı (%1, %1.5 ve %2) parametrelerine bağlı olarak toplam 108 model oluşturulmuş ve bu modeller için her iki yönde Z2 ve Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak Kapasite Spektrumu Yöntemi ile analiz yapılmıştır. Kullanılan parametrelerin değişimine göre oluşturulan modellere verilen numaralar Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.1: X yönündeki analizlerde kullanılan üç boyutlu model

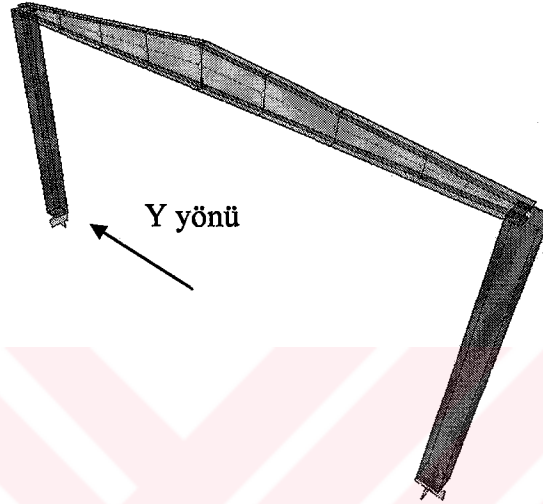
Şekil 5.1’de kolonlar üzerine oturtulmuş çatı makasları ve oluk kirişleri ile çatı makasları arasında yerleştirilen aşıklardan oluşan Sap2000 modeli görülmektedir. Tüm modellerde x yönünde üç açıklık bulunmaktadır ve bu açıklıklar 7.5m uzunluğundadır. Çatı düzlemindeki birleşimlerde moment aktarımı olmamaktadır. Kolonların alt ucu ankastre olarak tanımlanmıştır.

Analiz işlemi hazırlanan modellerin hem x hem de y yönlerinde itilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Yapının çatı düzlemindeki birleşimlerinde moment aktarımı olmamasından dolayı sistemde dinamik açıdan süreksizlik oluşmaktadır.

X yönünde aşıklar çerçevelerin bir arada çalışmasına yardımcı olmakta ayrıca bu yöndeki iki kolon aksının kütle ve rijitlik özelliklerinin eşdeğer olmasından dolayı yapının tümünü temsil eden bir mod davranışı elde edilebilmektedir. Ancak y yönünde kenar ve orta makasların titreşim periyodu farklı olmakta dolayısıyla y yönünde tüm yapıyı temsil edebilen bir moddan bahsedilememektedir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi’nin en önemli parametrelerinden birisi yapının titreşim periyodudur. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi için yapının titreşim periyoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden y yönünde yapının üç boyutlu

olarak analiz edilebilmesi uygun olmamaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek üzere, üzerindeki yük bakımından diğer kenar makaslara göre daha fazla zorlanan orta makaslardan birisi, üç boyutlu sistemdeki yüklerine eşdeğer olarak yüklenmiş ve sadece orta makas ve bu makası taşıyan iki kolondan oluşan iki boyutlu çerçevenin analizi yapılmıştır (Şekil 5.2).



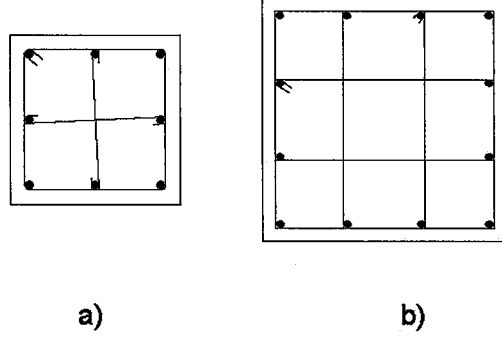
Şekil 5.2: Y yönündeki analizlerde kullanılan iki boyutlu model

Eleman özağırlıkları dışındaki kar ve çatı kaplaması yükleri TS498'e göre hesaplanarak sisteme ayrıca girilmiş ve bu yüklemelerin sebep olacağı ek kütleler de çatıdaki düğümlere noktasal kütle olarak tanımlanmıştır. Ek yük ve kütleler hesaplanırken AY98'de öngörüldüğü üzere kar yükü hareketli yük olarak düşünülmüş ve hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$ alınarak $G+nQ$ yüklemesi kullanılmıştır. Çizelge 5.1'de makas uzunluğuna bağlı olarak orta ve kenar makasların üzerindeki yükler ve bu makasların toplam ağırlıkları görülmektedir.

Çizelge 5.1: Makasların ağırlıkları (ton)

	ORTA MAKAS			KENAR MAKAS		
	L=12m	L=16m	L=20m	L=12m	L=16m	L=20m
Kar	6.38	8.93	12.75	3.19	4.46	6.38
Kaplama	1.24	1.73	2.48	0.62	0.87	1.24
Makas	4.11	6.01	8.20	4.11	6.01	8.20
Aşık	3.24	4.54	5.84	1.62	2.27	2.92
G+Q	14.96	21.21	29.26	9.54	13.61	18.73
G+nQ	10.50	14.96	20.33	7.30	10.48	14.26

Kolon kesitlerine ait sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını elde edilebilmek için Geliştirilmiş Kent-Park modeli (Park ve diğ., 1982) kullanılmıştır. Tüm modellerde paspayı 30mm kabul edilmiş ve etriye (sargı donatısı) aralığı olarak 200mm alınmıştır. Etriye donatısı 8mm çapındadır. Kolonlarda kullanılan boyuna ve enine donatı düzeni Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Kolon kesitlerinde boyuna donatı ve etriyenin yerleşimi
a) 350mm ve 450mm b) 550mm

Etriye aralığı özellikle kesitlerin sünekliklerini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Etriye aralığının azalması ile kesit sünekliği önemli ölçüde artmaktadır. Ancak pratikte çoğu zaman etriye sıklaştırması kuralına uyulmamaktadır. Bu çalışmada, mevcut yapıların deprem davranışı incelendiğinden ve güvenlik için bir alt sınır belirlenmeye çalışıldığından, AY98'de minimum etriye aralığı 100mm olmasına rağmen modellerde etriye aralığı 200mm alınmıştır. Eğer herhangi bir model için etriye aralığı 200mm iken "güvenlidir" denilebiliyorsa, 100mm etriye aralığı için de aynı şey rahatlıkla söylenebilir.

Her bir modelde kolon kesitlerine ait moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi için kullanılan kolon eksenel yükleri (N) G+Q yüklemeinden elde edilmiştir. Yani öncelikle G+Q yüklemeinden dolayı kolonlarda oluşan eksenel yükler hesaplanmış daha sonra bu eksenel yükler altında kolon kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisi elde edilmiş ve elde edilen moment-eğrilik ilişkisinden Sap2000 programında plastik mafsalları tanımlamak için gerekli olan moment-dönme ilişkisi belirlenmiştir.

Plastik mafsalın kullanıcı tanımlı olarak oluşturulması için akma anındaki dönmenin, yapısal elemanların performans seviyelerine ilişkin dönme değerlerinin ve karşılıklı etki diyagramının (akma yüzeyini oluşturacak şekilde) bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler kullanılarak Şekil 5.4'te görülen pencere yardımı ile plastik mafsal tanımlanmaktadır.

Sap2000 programında plastik mafsal tanımlamak için moment-dönme ilişkisinin ve gerekli dönme sünekliği değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

- Moment-eğrilik ilişkisi üzerinde akma noktasına karşılık gelen moment ve eğrilik tespit edilerek akma anındaki dönme hesaplanmıştır.
- Yatay yük taşıma kapasitesinin düştüğü sınır için kolon kesitinde çekirdek betonu sınırında beton gerilmesinin $0.85f_{ck}$ 'ya düşmesi ya da donatının kopması koşulları dikkate alınmıştır (f_{ck} : betonun karakteristik basınç dayanımı). Bu iki sınır durumdan hangisi önce oluşuyorsa, ona karşılık gelen eğrilik değerine bağlı olarak dönme hesaplanmıştır. Donatının kopma birim uzaması $\epsilon_{su}=0.06$ alınmıştır.
- Düşey yük taşıma kapasitesi sınırı için kolon kesitinde çekirdek betonu sınırında beton gerilmesinin $0.6f_{ck}$ 'ya düşmesi ya da donatının kopması koşulları dikkate alınmıştır. Bu iki sınır durumdan hangisi önce oluşuyorsa ona karşılık gelen eğrilik değerine bağlı olarak dönme hesaplanmıştır.
- Hesaplanan dönme değerlerine bağlı olarak (akma anındaki dönme bilindiğinden) her bir duruma ait dönme süneklikleri hesaplanmış ve Şekil 5.4'te gerekli yerlere veri olarak girilmiştir.

Üç boyutlu modellerde (x yönünde analiz) kesit özellikleri bakımından eşdeğer olan kolonların sadece eksenel yükleri farklıdır. Köşe kolonların eksenel yükleri diğer kolonların eksenel yüklerinden daha düşüktür. Bu dikkate alınmış her bir modelde farklı iki plastik mafsal kolonlara atanmıştır. Plastik mafsal boyu olarak kolonun eğilmeye

çalışan yöndeki boyutunun yarısı (modellerde tüm kolonlar kare kesitli olduğundan kolon boyutunun yarısı) alınmış, plastik mafsallar ise bu bölgenin tam ortasında noktasal olarak tanımlanmıştır (Moehle, 1992).

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-13.874
D-	-0.2	-3.55
C-	-1.02	-3.55
B-	-1	-1
A	0	0
B	1	1
C	1.02	3.55
D	0.2	3.55
E	0.2	13.874

☒ Hinge is Rigid Plastic
☐ Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment Moment SF: Positive: Negative:
☐ Use Yield Rotation Rotation SF: Positive: Negative:

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy: Positive: Negative:
Life Safety: Positive: Negative:
Collapse Prevention: Positive: Negative:

Axial Load - Displacement Relationship

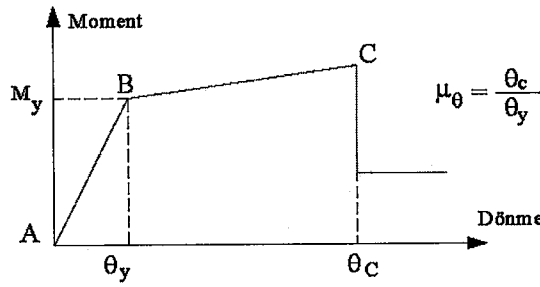
☒ Proportional to Moment - Rotation
☐ Elastic - Perfectly Plastic

Define/Show Interaction...
OK
Cancel

Şekil 5.4: Sap2000 programında plastik mafsalları tanımlama penceresi

Her modele ait plastik mafsallar ilgili kolonlara atanmıştır. Bölüm sonundaki Çizelge 5.6'da her bir modelde kenar makas kolonlarına Çizelge 5.7'de ise orta makas kolonlarına ait plastik mafsalları bilgileri verilmiştir. Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de N kolon eksenel kuvvetini, θ_y akma anındaki dönmeyi, M_y akma anındaki eğilme momentini, μ_0 ise her bir eleman için Sap2000'de plastik mafsalları tanımında kullanılan C noktasına ait dönme sünekliğini ifade etmektedir. Çizelgedeki bilgiler Şekil 5.5'te moment-dönme grafiği üzerinde gösterilmiştir.

X yönünde pushover analiz için gerekli olan yatay yük dağılımı, çatı makaslarının üzerindeki yük dikkate alınarak elde edilmiştir. Üç farklı çatı makas uzunluğu için her bir modelde çatı makası üzerindeki çizgisel düşey yük dağılımı, çatı makasını yatay olarak itmek için gerekli yük dağılımı olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.5: Sap2000 programında plastik mafsalları tanımlama için gerekli bilgiler

İki yönde de pushover analiz için gerekli tanımlamalar yapılmıştır. Analiz yapılırken düşey yükler de dikkate alınmıştır. Gerekli tanımlamalara ilişkin Sap2000 penceresi Şekil 5.6'da görülmektedir. Kapasite eğrisinin oluşturulması için üç boyutlu modelde köşe kolon tepesinin deplasmanı kontrol edilmektedir.

Oluşturulan modellere ait G+Q ve G+nQ yüklemeleri için bina ağırlıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir. X ve Y yönünde farklı iki model kullanıldığı için her bir kombinasyon için iki farklı yapıda oluşan ağırlıklar verilmiştir.

Şekil 5.6: Sap2000 programında pushover analiz tanımları ile ilgili bilgiler

Buraya kadar olan kısım Sap2000 programını kullanarak üç boyutlu ve iki boyutlu olarak yapısal modelin oluşturulması, yüklemelerin, kesitlerin, plastik mafsalların tanımlanması ve modellerin analize hazır hale getirilmesi ile ilgili kısımları özetlemektedir.

Çizelge 5.2: Kullanılan modellere ilişkin bina ağırlıkları (ton)

			H=6			H=8		
			L=12	L=16	L=20	L=12	L=16	L=20
X Yönü	G+Q	B=350	74.9	95.42	121.78	79.79	100.42	126.77
		B=450	84.58	105.21	131.56	92.84	113.47	139.82
		B=550	96.82	117.45	143.80	109.16	129.79	156.14
	G+nQ	B=350	61.40	76.68	95.00	66.40	81.68	100.00
		B=450	71.19	86.47	104.79	79.45	94.73	113.05
		B=550	83.43	98.71	117.03	95.77	111.04	129.36
Y Yönü	G+Q	B=350	22.31	28.56	36.61	23.56	29.81	37.86
		B=450	27.46	31.00	39.06	29.53	33.07	41.12
		B=550	27.82	34.06	42.12	30.90	37.15	45.20
	G+nQ	B=350	17.85	22.31	27.69	19.10	23.56	28.94
		B=450	20.30	24.76	30.13	22.36	26.82	32.20
		B=550	23.36	27.82	33.19	26.44	30.90	36.28

5.4 Yapılan Analizler

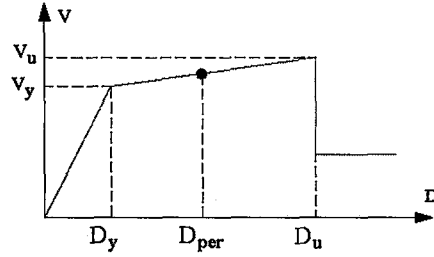
5.4.1 Performans Noktalarının Belirlenmesi

İki ve üç boyutlu olarak oluşturulan her bir model için dinamik analiz ve düşey yüklerin de dikkate alındığı statik itirme analizi (pushover analysis) yapılmıştır.

Her bir model için yapılan analiz sonucu kapasite eğrileri elde edilmiş, kapasite eğrileri ve birinci derece deprem bölgelerinde Z2 ve Z3 zeminlerine ait elastik ivme spektrumları kullanılarak performans noktaları bulunmuştur.

Çizelge 5.8’de bütün modeller için her iki yönde analiz sonucu bulunan performans noktaları ve kapasite eğrileri üzerinde belirlenen akma noktasına ve maksimum

deplasman kapasitesine (D_u) ilişkin veriler bulunmaktadır. D_y ve V_y sırasıyla akma noktasının deplasman ve kuvvet bileşenini, D_{per} performans noktasının deplasmanını vermektedir. Bazı modellerde performans noktasının deplasmanı verilmemiştir. Bu modeller deprem talebinin karşılanamadığı yani göçen modellerdir. Şekil 5.7 yardımı ile çizelgedeki değerler açıklanmıştır.



Şekil 5.7: Kapasite eğrisi üzerinde kuvvet ve deplasman tanımları ($D_{per} < D_y$ olabilir)

5.4.2 AY98 Deprem Yüğü ve Görelî Ötelenme

Her bir model için AY98'de önerilen hesap yöntemi kullanılarak deprem hesabına esas ağırlık belirlenmiştir. Titreşim periyodu (toplanmış kütle yaklaşımı ile) belirlenmiş ve birinci derece deprem bölgesinde Z2 ve Z3 zemin sınıfları üzerinde yer alan prefabrik yapılar için taban kesme kuvveti ve bu kuvvet için kolon tepesinde oluşan deplasman değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.9'da deprem yönetmeliğine göre hesaplanan elastik kuvvet (V_{el}) ve elastik maksimum deplasman (D_{el}), $R=5$ için taban kesme kuvveti ve kolon ucundaki deplasman değerleri ile her iki yönde görelî kat ötelenmesi (Δ) değerleri verilmiştir.

5.4.3 Çatı Makasının Düşmesi veya Devrilmesi Kontrolü

5.4.3.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi Sonuçları

Analiz sonucunda çatı makasına dik yöndeki (x yönü) depremler için çatı makaslarının devrilmesine yol açacak burulma momenti değerleri adım adım elde edilmiştir. Çatı makası ile kolon birleşiminde bağlantı çubuğunun bulonla desteklenmediği ve çatı makası ile bağlantı çubuğu arasında aderansın sağlanamadığı

kabulü ile çatı makaslarının devrilmesine engel olacak tek etki olarak çatı makasının ağırlığı düşünülmüştür.

Analiz sonuçları incelenerek çatı makası ucunda oluşacak burulma momentinin devrilmeye engel olacak momenti geçtiği noktada kolon tepesinin deplasmanı tespit edilmiş, diğer bir deyişle statik itirme analizinin hangi adımında çatı makasını ucundaki burulma momentinin, devrilmeye karşı koyan momenti aştığı belirlenmiştir. Bu adımdaki kolon tepe deplasmanı çatı makasının devrilebileceği deplasman olarak kabul edilmiştir. Bu kabul ile hangi modelde çatı makaslarının devrilebileceği hangi modelde ise devrilmeyeceği tahmin edilmiştir.

Çatı makası düzlemi yönünde (y yönü) ise bağlantının yine tek pimle teşkil edildiği varsayılmıştır. Pim donatısı çapının iki farklı değerde olması durumunda, birleşim noktasına gelen kesme kuvvetinin, pimlerin güvenle taşıyabileceği kesme kuvvetini aştığı deplasman not alınmıştır. Bulunan deplasman performans noktası deplasmanı ile karşılaştırılarak bağlantı çubuğunun için sınır deplasmanın aşılp aşılmadığı belirlenmiştir. Bağlantı çubuğu için güvenle taşınacak kesme kuvvetinin hesabında,

$$V = A_{pim} * \tau_{em} \quad (\text{Denklem 5.1})$$

denklemini kullanılmıştır.

Denklem 5.1’de A_{pim} , bağlantı çubuğunun kesit alanını belirtmektedir. τ_{em} ise ST52 donatısı için kayma emniyet gerilmesini ifade etmektedir ve çekme emniyet gerilmesinin 1.732 ile bölümünden elde edilmiştir. ST52 donatısı için çekme emniyet gerilmesi 2160 kg/cm² ve kayma emniyet gerilmesi 1247 kg/cm² alınmıştır.

Çizelge 5.10’da x yönünde makasların devrilip devrilmeyeceğinin tahmini için gerekli değerler, y yönünde ise bağlantı çubuğunun güvenle taşıyabileceği kesme kuvvetinin aşılp aşılmadığına ilişkin veriler her model için verilmiştir. Çizelgede D_y ve D_{per} , x ve y yönleri için kapasite eğrisi üzerinde akma noktası ve performans noktasına ait deplasmanları göstermektedir. X yönünde orta ve kenar makasların ağırlığından

dolayı devrilmeye karşı koyan momentler (M_{ort} ve M_{ken}) ile bu moment değerlerinin orta makas ve kenar makas uçlarında aşıldığı deplasman değerleri D_{ort} ve D_{ken} verilmiştir. Y yönünde ise 20mm ve 22mm çapındaki donatıların güvenle taşıyabilecekleri kesme kuvvetleri (V_{20} ve V_{22}) ile bu değerlerin aşıldığı deplasman değerleri (D_{20} ve D_{22}) verilmiştir. Makas devrilmesi ve bağlantı çubuğu kesilmesine ait deplasmanların verilmediği modeller, bahsedilen sınır değerlerin aşılmadığını yani birleşimin güvenli olduğunu göstermektedir. Sınır deplasman değerinin performans noktasından büyük olduğu modeller de makasların devrilmeyeceği ya da bağlantı çubuğu kesme güvenliğinin aşılmayacağı modellerdir. Deplasman değerlerinin koyu olarak yazıldığı modeller ise makas devrilmesi veya bağlantı çubuğu kesme emniyet sınırının aşıldığını göstermektedir.

5.4.3.2 Afet Yönetmeliği 1998 Sonuçları

AY98 açısından birleşim bölgelerine gelecek yatay yükler çatı makasının ağırlığına (çatı makası uzunluğuna) bağlı olarak değişmektedir. Buna göre Çizelge 5.1'deki makas ağırlıkları dikkate alınarak, birleşim bölgelerine gelecek kesme kuvvetleri (V_b) AY98 Madde 6.11.1'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Burada W_{top} makasın toplam ağırlığını, V_{mak} makasa gelecek toplam yatay yükü, V_b ise birleşim noktasına gelen yatay yükü ($V_{mak}/2$) ifade etmektedir. Birleşimin güvenle taşıyabileceği kesme kuvveti hesabını AY98'e göre yapan bir tasarımcı, hesaplanan V_b değerini 1.2 ile arttıracak (Madde 7.12.1.2) ve V_{bt} değerini bulacaktır.

Çizelge 5.3: Makas-kolon birleşim bölgelerine gelen kesme kuvvetleri (AY98)

L (m)	Orta Makas				Kenar Makas			
	W_{top} (kg)	V_{mak} (kg)	V_b (kg)	V_{bt} (kg)	W_{top} (kg)	V_{mak} (kg)	V_b (kg)	V_{bt} (kg)
12	10501	4200	2100	2520	7304	2921	1461	1753
16	14957	5983	2991	3589	10481	4193	2096	2515
20	20334	8134	4067	4880	14264	5706	2853	3423

Bu durumda Denklem 5.1'i kullanan tasarımcı 20mm, 22mm ya da 24mm çapında tek bağlantı çubuğu ile sırasıyla 3919kg, 4742kg ve 5644kg kesme kuvvetini güvenle taşıyabilecek (AY98'e göre) bir birleşim elde etmiş olmaktadır. 20mm'lik bir adet

bağlantı çubuğu kullanıldığında, birleşimin kesme güvenliği açısından kenar makaslarda 20m'lik modellerde bile problem görülmemektedir. Birleşim 24mm çapında iki bağlantı çubuğu ile yapılırsa, güvenli olarak taşınabilecek kesme kuvveti 11288kg olmaktadır ki, AY98'e göre birleşim bölgesi güvenliği açısından hiç bir problem kalmamaktadır. Yapılacak bu ufak düzenleme önemli bir ek maliyet getirmemektedir.

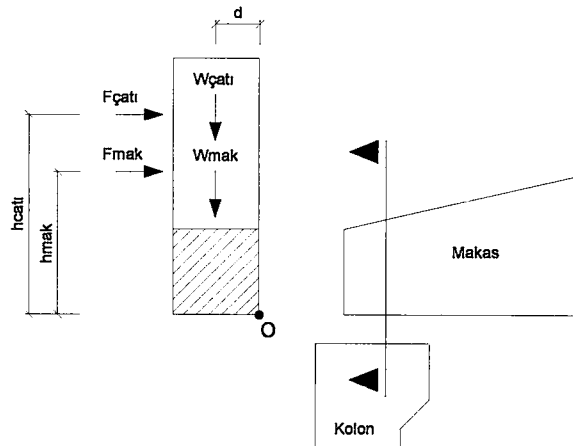
AY98'e göre birleşim bölgelerine ve makasa gelen toplam yatay yük (V_{mak}) kullanılarak, makasın kendi düzlemine dik doğrultuda devrilip devrilmeyeceğine ilişkin Zorbozan ve diğ. (1998) tarafından önerilen hesap yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem gere;

- Çizelge 5.1'de verilen makas ağırlıkları kullanılarak AY98'e göre makasa geleceği hesaplanan toplam yatay yükün, çatı ve makasın kütle dağılımına bağlı olarak düşeyde F_{mak} ve $F_{çatı}$ gibi iki bileşene ayrılacağı öngörülmektedir (Şekil 5.8). Bu değerler

$$F_{mak} = V_{mak} \frac{W_{mak}}{W_{mak} + W_{çatı}} \quad (\text{Denklem 5.2a})$$

$$F_{çatı} = V_{mak} \frac{W_{çatı}}{W_{mak} + W_{çatı}} \quad (\text{Denklem 5.2b})$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.



Şekil 5.8: Çatı makasına gelecek deprem yükleri

Hesaplanan bu iki kuvvetin ağırlık merkezlerinin mesnete olan düşey mesafeleri (h_{mak} ve $h_{çatı}$) hesaplanmakta ve makası devirmeye çalışan moment

$$M_{dev} = F_{mak} h_{mak} + F_{çatı} h_{çatı} \quad (\text{Denklem 5.3})$$

denklemini ile elde edilmektedir.

- Devrilmeye karşı koyan moment ise çatı makasının ağırlığından kaynaklanmaktadır. Buna göre karşı koyan moment Denklem 5.4 ile hesaplanır.

$$M_{kar} = (W_{mak} + W_{çatı})d \quad (\text{Denklem 5.4})$$

Burada d, ağırlık merkezi ile dönme noktası arasındaki moment kolunu ifade etmektedir. Bu çalışmada makas alt genişliği 35cm olduğundan d=17.5cm alınmıştır.

Her bir birleşim noktasına gelen moment için Denklem 5.3 ve Denklem 5.4'ten bulunan değerlerin ikiye bölünmesi gerekmektedir. Bağlantı noktasının güvenle taşınması gereken devrilme momenti ($M_{dev}-M_{kar}$) böylece elde edilmektedir. Bu değer tasarımcı açısından bulonlarla desteklenen bağlantı çubukları tarafından karşılanması gereken moment olduğu için önemlidir.

Bu çalışmada kullanılan tüm modelleri temsil eden farklı üç makas uzunluğuna bağlı olarak, kenar ve orta makaslarda devrilme tahkiki açıklanan yöntemle göre yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te (birimler ton ve cm) verilmiştir. Çizelgede Denklem 5.3 ve Denklem 5.4 ile bulunan moment değerlerinin yarısı (birleşime gelen) yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde makas ağırlığının tek başına (bağlantı çubuğu ve bulon desteği olmaksızın) hiçbir modelde, makasta devrilmeye engel olamayacağı görülmektedir. Makas ağırlığı azalınca devirmeye çalışan moment azalmış ancak devrilmeye karşı koyan moment de azalmıştır.

Elde edilen sonuçlar bağlantı çubuklarının bulonlarla desteklenmesi gereğini yine net olarak ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.4: Çatı makasında devrilme kontrolü sonuçları (AY98)

	ORTA MAKAS			KENAR MAKAS		
	$L=12m$	$L=16m$	$L=20m$	$L=12m$	$L=16m$	$L=20m$
W_{mak}	4.11	6.01	8.20	4.11	6.01	8.20
$W_{çatı}$	6.39	8.95	12.14	3.20	4.48	6.07
V_{mak}	4.20	5.98	8.13	2.92	4.19	5.71
F_{mak}	1.64	2.40	3.28	1.64	2.40	3.28
$F_{çatı}$	2.56	3.58	4.86	1.28	1.79	2.43
h_{mak}	34.0	40.0	46.1	34.0	40.0	46.1
$h_{çatı}$	65.0	75.0	85.0	65.0	75.0	85.0
M_{dev}	111.00	182.28	281.90	69.44	115.15	178.72
M_{kar}	91.88	130.87	177.92	63.91	91.71	124.81

Çizelge 5.5: Kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşturulan modeller

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s
1	20	2	12	6	350	0.010	37	20	2	20	6	350	0.010
2	20	2	12	6	350	0.015	38	20	2	20	6	350	0.015
3	20	2	12	6	350	0.020	39	20	2	20	6	350	0.020
4	20	2	12	8	350	0.010	40	20	2	20	8	350	0.010
5	20	2	12	8	350	0.015	41	20	2	20	8	350	0.015
6	20	2	12	8	350	0.020	42	20	2	20	8	350	0.020
7	20	2	12	6	450	0.010	43	20	2	20	6	450	0.010
8	20	2	12	6	450	0.015	44	20	2	20	6	450	0.015
9	20	2	12	6	450	0.020	45	20	2	20	6	450	0.020
10	20	2	12	8	450	0.010	46	20	2	20	8	450	0.010
11	20	2	12	8	450	0.015	47	20	2	20	8	450	0.015
12	20	2	12	8	450	0.020	48	20	2	20	8	450	0.020
13	20	2	12	6	550	0.010	49	20	2	20	6	550	0.010
14	20	2	12	6	550	0.015	50	20	2	20	6	550	0.015
15	20	2	12	6	550	0.020	51	20	2	20	6	550	0.020
16	20	2	12	8	550	0.010	52	20	2	20	8	550	0.010
17	20	2	12	8	550	0.015	53	20	2	20	8	550	0.015
18	20	2	12	8	550	0.020	54	20	2	20	8	550	0.020
19	20	2	16	6	350	0.010	55	30	2	12	6	350	0.010
20	20	2	16	6	350	0.015	56	30	2	12	6	350	0.015
21	20	2	16	6	350	0.020	57	30	2	12	6	350	0.020
22	20	2	16	8	350	0.010	58	30	2	12	8	350	0.010
23	20	2	16	8	350	0.015	59	30	2	12	8	350	0.015
24	20	2	16	8	350	0.020	60	30	2	12	8	350	0.020
25	20	2	16	6	450	0.010	61	30	2	12	6	450	0.010
26	20	2	16	6	450	0.015	62	30	2	12	6	450	0.015
27	20	2	16	6	450	0.020	63	30	2	12	6	450	0.020
28	20	2	16	8	450	0.010	64	30	2	12	8	450	0.010
29	20	2	16	8	450	0.015	65	30	2	12	8	450	0.015
30	20	2	16	8	450	0.020	66	30	2	12	8	450	0.020
31	20	2	16	6	550	0.010	67	30	2	12	6	550	0.010
32	20	2	16	6	550	0.015	68	30	2	12	6	550	0.015
33	20	2	16	6	550	0.020	69	30	2	12	6	550	0.020
34	20	2	16	8	550	0.010	70	30	2	12	8	550	0.010
35	20	2	16	8	550	0.015	71	30	2	12	8	550	0.015
36	20	2	16	8	550	0.020	72	30	2	12	8	550	0.020

Çizelge 5.5: Kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşturulan modeller

Model	BS (MPa)	Z (m)	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	Model	BS (MPa)	Z (m)	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s
73	30	2	16	6	350	0.010	109	20	3	12	6	350	0.010
74	30	2	16	6	350	0.015	110	20	3	12	6	350	0.015
75	30	2	16	6	350	0.020	111	20	3	12	6	350	0.020
76	30	2	16	8	350	0.010	112	20	3	12	8	350	0.010
77	30	2	16	8	350	0.015	113	20	3	12	8	350	0.015
78	30	2	16	8	350	0.020	114	20	3	12	8	350	0.020
79	30	2	16	6	450	0.010	115	20	3	12	6	450	0.010
80	30	2	16	6	450	0.015	116	20	3	12	6	450	0.015
81	30	2	16	6	450	0.020	117	20	3	12	6	450	0.020
82	30	2	16	8	450	0.010	118	20	3	12	8	450	0.010
83	30	2	16	8	450	0.015	119	20	3	12	8	450	0.015
84	30	2	16	8	450	0.020	120	20	3	12	8	450	0.020
85	30	2	16	6	550	0.010	121	20	3	12	6	550	0.010
86	30	2	16	6	550	0.015	122	20	3	12	6	550	0.015
87	30	2	16	6	550	0.020	123	20	3	12	6	550	0.020
88	30	2	16	8	550	0.010	124	20	3	12	8	550	0.010
89	30	2	16	8	550	0.015	125	20	3	12	8	550	0.015
90	30	2	16	8	550	0.020	126	20	3	12	8	550	0.020
91	30	2	20	6	350	0.010	127	20	3	16	6	350	0.010
92	30	2	20	6	350	0.015	128	20	3	16	6	350	0.015
93	30	2	20	6	350	0.020	129	20	3	16	6	350	0.020
94	30	2	20	8	350	0.010	130	20	3	16	8	350	0.010
95	30	2	20	8	350	0.015	131	20	3	16	8	350	0.015
96	30	2	20	8	350	0.020	132	20	3	16	8	350	0.020
97	30	2	20	6	450	0.010	133	20	3	16	6	450	0.010
98	30	2	20	6	450	0.015	134	20	3	16	6	450	0.015
99	30	2	20	6	450	0.020	135	20	3	16	6	450	0.020
100	30	2	20	8	450	0.010	136	20	3	16	8	450	0.010
101	30	2	20	8	450	0.015	137	20	3	16	8	450	0.015
102	30	2	20	8	450	0.020	138	20	3	16	8	450	0.020
103	30	2	20	6	550	0.010	139	20	3	16	6	550	0.010
104	30	2	20	6	550	0.015	140	20	3	16	6	550	0.015
105	30	2	20	6	550	0.020	141	20	3	16	6	550	0.020
106	30	2	20	8	550	0.010	142	20	3	16	8	550	0.010
107	30	2	20	8	550	0.015	143	20	3	16	8	550	0.015
108	30	2	20	8	550	0.020	144	20	3	16	8	550	0.020

Çizelge 5.5: Kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşturulan modeller

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s
145	20	3	20	6	350	0.010	181	30	3	16	6	350	0.010
146	20	3	20	6	350	0.015	182	30	3	16	6	350	0.015
147	20	3	20	6	350	0.020	183	30	3	16	6	350	0.020
148	20	3	20	8	350	0.010	184	30	3	16	8	350	0.010
149	20	3	20	8	350	0.015	185	30	3	16	8	350	0.015
150	20	3	20	8	350	0.020	186	30	3	16	8	350	0.020
151	20	3	20	6	450	0.010	187	30	3	16	6	450	0.010
152	20	3	20	6	450	0.015	188	30	3	16	6	450	0.015
153	20	3	20	6	450	0.020	189	30	3	16	6	450	0.020
154	20	3	20	8	450	0.010	190	30	3	16	8	450	0.010
155	20	3	20	8	450	0.015	191	30	3	16	8	450	0.015
156	20	3	20	8	450	0.020	192	30	3	16	8	450	0.020
157	20	3	20	6	550	0.010	193	30	3	16	6	550	0.010
158	20	3	20	6	550	0.015	194	30	3	16	6	550	0.015
159	20	3	20	6	550	0.020	195	30	3	16	6	550	0.020
160	20	3	20	8	550	0.010	196	30	3	16	8	550	0.010
161	20	3	20	8	550	0.015	197	30	3	16	8	550	0.015
162	20	3	20	8	550	0.020	198	30	3	16	8	550	0.020
163	30	3	12	6	350	0.010	199	30	3	20	6	350	0.010
164	30	3	12	6	350	0.015	200	30	3	20	6	350	0.015
165	30	3	12	6	350	0.020	201	30	3	20	6	350	0.020
166	30	3	12	8	350	0.010	202	30	3	20	8	350	0.010
167	30	3	12	8	350	0.015	203	30	3	20	8	350	0.015
168	30	3	12	8	350	0.020	204	30	3	20	8	350	0.020
169	30	3	12	6	450	0.010	205	30	3	20	6	450	0.010
170	30	3	12	6	450	0.015	206	30	3	20	6	450	0.015
171	30	3	12	6	450	0.020	207	30	3	20	6	450	0.020
172	30	3	12	8	450	0.010	208	30	3	20	8	450	0.010
173	30	3	12	8	450	0.015	209	30	3	20	8	450	0.015
174	30	3	12	8	450	0.020	210	30	3	20	8	450	0.020
175	30	3	12	6	550	0.010	211	30	3	20	6	550	0.010
176	30	3	12	6	550	0.015	212	30	3	20	6	550	0.015
177	30	3	12	6	550	0.020	213	30	3	20	6	550	0.020
178	30	3	12	8	550	0.010	214	30	3	20	8	550	0.010
179	30	3	12	8	550	0.015	215	30	3	20	8	550	0.015
180	30	3	12	8	550	0.020	216	30	3	20	8	550	0.020

Çizelge 5.6: Kenar makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
1	12	6	20	350	0.010	75.41	0.00278	7.62	796.06
2	12	6	20	350	0.015	75.41	0.00272	6.03	1096.94
3	12	6	20	350	0.020	75.41	0.00276	4.89	1399.48
4	12	8	20	350	0.010	81.66	0.00276	7.43	801.58
5	12	8	20	350	0.015	81.66	0.00270	5.95	1101.97
6	12	8	20	350	0.020	81.66	0.00274	4.81	1404.21
7	12	6	20	450	0.010	87.65	0.00345	3.89	1530.02
8	12	6	20	450	0.015	87.65	0.00343	3.27	2081.53
9	12	6	20	450	0.020	87.65	0.00364	2.73	2637.47
10	12	8	20	450	0.010	97.97	0.00343	3.89	1541.23
11	12	8	20	450	0.015	97.97	0.00341	3.26	2091.60
12	12	8	20	450	0.020	97.97	0.00362	2.72	2646.67
13	12	6	20	550	0.010	102.95	0.00420	5.38	3174.52
14	12	6	20	550	0.015	102.95	0.00417	3.86	4544.05
15	12	6	20	550	0.020	102.95	0.00532	2.33	6054.12
16	12	8	20	550	0.010	118.37	0.00413	5.10	3202.57
17	12	8	20	550	0.015	118.37	0.00414	3.85	4569.77
18	12	8	20	550	0.020	118.37	0.00553	2.20	6110.59
19	16	6	20	350	0.010	95.77	0.00270	7.28	813.92
20	16	6	20	350	0.015	95.77	0.00266	5.83	1113.29
21	16	6	20	350	0.020	95.77	0.00271	4.69	1414.83
22	16	8	20	350	0.010	102.02	0.00268	7.19	819.38
23	16	8	20	350	0.015	102.02	0.00264	5.76	1118.51
24	16	8	20	350	0.020	102.02	0.00269	4.55	1419.53
25	16	6	20	450	0.010	108.01	0.00339	6.19	1798.18
26	16	6	20	450	0.015	108.01	0.00409	3.95	2633.54
27	16	6	20	450	0.020	108.01	0.00453	2.87	3430.27

Çizelge 5.6: Kenar makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_θ	M_y (ton*cm)
28	16	8	20	450	0.010	118.73	0.00355	5.74	1835.59
29	16	8	20	450	0.015	118.73	0.00429	3.69	2656.85
30	16	8	20	450	0.020	118.73	0.00449	2.83	3446.94
31	16	6	20	550	0.010	123.31	0.00442	3.88	3235.34
32	16	6	20	550	0.015	123.31	0.00413	3.80	4578.01
33	16	6	20	550	0.020	123.31	0.00552	2.20	6118.30
34	16	8	20	550	0.010	138.73	0.00438	4.69	3262.28
35	16	8	20	550	0.015	138.73	0.00435	3.55	4634.49
36	16	8	20	550	0.020	138.73	0.00548	2.19	6142.34
37	20	6	20	350	0.010	121.38	0.00273	7.66	1037.63
38	20	6	20	350	0.015	121.38	0.00264	6.32	1437.39
39	20	6	20	350	0.020	121.38	0.00263	5.09	1844.27
40	20	8	20	350	0.010	127.63	0.00271	7.56	1042.66
41	20	8	20	350	0.015	127.63	0.00288	5.50	1476.36
42	20	8	20	350	0.020	127.63	0.00286	4.65	1891.22
43	20	6	20	450	0.010	133.62	0.00350	5.62	1851.73
44	20	6	20	450	0.015	133.62	0.00423	3.64	2679.57
45	20	6	20	450	0.020	133.62	0.00442	2.82	3470.10
46	20	8	20	450	0.010	143.94	0.00347	5.58	1862.88
47	20	8	20	450	0.015	143.94	0.00419	3.58	2694.98
48	20	8	20	450	0.020	143.94	0.00462	2.60	3491.99
49	20	6	20	550	0.010	148.92	0.00433	4.71	3281.03
50	20	6	20	550	0.015	148.92	0.00433	3.54	4651.42
51	20	6	20	550	0.020	148.92	0.00545	2.20	6158.74
52	20	8	20	550	0.010	164.34	0.00428	4.71	3308.11
53	20	8	20	550	0.015	164.34	0.00429	3.47	4677.02
54	20	8	20	550	0.020	164.34	0.00541	2.19	6182.84

Çizelge 5.6: Kenar makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
55	12	6	30	350	0.010	75.41	0.00263	4.13	818.86
56	12	6	30	350	0.015	75.41	0.00272	8.37	1143.93
57	12	6	30	350	0.020	75.41	0.00273	6.59	1454.21
58	12	8	30	350	0.010	81.66	0.00282	10.72	838.67
59	12	8	30	350	0.015	81.66	0.00271	8.22	1149.43
60	12	8	30	350	0.020	81.66	0.00272	6.57	1459.37
61	12	6	30	450	0.010	87.65	0.00350	4.19	1638.82
62	12	6	30	450	0.015	87.65	0.00390	3.07	2304.99
63	12	6	30	450	0.020	87.65	0.00433	2.42	2944.22
64	12	8	30	450	0.010	97.97	0.00348	4.16	1650.80
65	12	8	30	450	0.015	97.97	0.00402	2.95	2323.71
66	12	8	30	450	0.020	97.97	0.00431	2.42	2958.95
67	12	6	30	550	0.010	102.95	0.00438	7.09	3273.59
68	12	6	30	550	0.015	102.95	0.00457	4.78	4707.17
69	12	6	30	550	0.020	102.95	0.00656	2.57	6356.08
70	12	8	30	550	0.010	118.37	0.00434	7.01	3302.11
71	12	8	30	550	0.015	118.37	0.00453	4.71	4734.16
72	12	8	30	550	0.020	118.37	0.00650	2.53	6388.38
73	16	6	30	350	0.010	95.77	0.00275	10.08	852.04
74	16	6	30	350	0.015	95.77	0.00267	7.94	1161.87
75	16	6	30	350	0.020	95.77	0.00268	6.43	1471.11
76	16	8	30	350	0.010	102.02	0.00273	9.66	858.00
77	16	8	30	350	0.015	102.02	0.00265	7.83	1167.39
78	16	8	30	350	0.020	102.02	0.00267	6.34	1476.28
79	16	6	30	450	0.010	108.01	0.00366	8.73	1870.73
80	16	6	30	450	0.015	108.01	0.00370	6.22	2664.59
81	16	6	30	450	0.020	108.01	0.00411	4.39	3464.63

Çizelge 5.6: Kenar makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
82	16	8	30	450	0.010	118.73	0.00361	8.51	1888.77
83	16	8	30	450	0.015	118.73	0.00389	5.79	2688.57
84	16	8	30	450	0.020	118.73	0.00408	4.35	3481.92
85	16	6	30	550	0.010	123.31	0.00433	6.99	3311.25
86	16	6	30	550	0.015	123.31	0.00427	4.97	4709.59
87	16	6	30	550	0.020	123.31	0.00648	2.53	6398.52
88	16	8	30	550	0.010	138.73	0.00429	6.82	3339.76
89	16	8	30	550	0.015	138.73	0.00424	4.88	4736.62
90	16	8	30	550	0.020	138.73	0.00672	2.34	6436.67
91	20	6	30	350	0.010	121.38	0.00288	9.24	1072.50
92	20	6	30	350	0.015	121.38	0.00273	7.66	1476.70
93	20	6	30	350	0.020	121.38	0.00267	6.50	1883.65
94	20	8	30	350	0.010	127.63	0.00285	9.20	1077.84
95	20	8	30	350	0.015	127.63	0.00271	7.67	1481.58
96	20	8	30	350	0.020	127.63	0.00266	6.15	1888.27
97	20	6	30	450	0.010	133.62	0.00355	8.12	1913.49
98	20	6	30	450	0.015	133.62	0.00384	5.67	2712.78
99	20	6	30	450	0.020	133.62	0.00402	4.30	3505.94
100	20	8	30	450	0.010	143.94	0.00349	7.82	1932.40
101	20	8	30	450	0.015	143.94	0.00380	5.55	2729.30
102	20	8	30	450	0.020	143.94	0.00399	4.26	3522.59
103	20	6	30	550	0.010	148.92	0.00426	6.72	3358.63
104	20	6	30	550	0.015	148.92	0.00422	4.85	4754.47
105	20	6	30	550	0.020	148.92	0.00668	2.34	6457.76
106	20	8	30	550	0.010	164.34	0.00420	6.62	3387.99
107	20	8	30	550	0.015	164.34	0.00418	4.63	4782.54
108	20	8	30	550	0.020	164.34	0.00662	2.31	6489.17

Çizelge 5.7: Orta makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_θ	M_y (ton*cm)
1	12	6	20	350	0.010	111.57	0.00263	7.04	827.93
2	12	6	20	350	0.015	111.57	0.00279	5.28	1141.16
3	12	6	20	350	0.020	111.57	0.00267	4.48	1426.68
4	12	8	20	350	0.010	117.82	0.00281	6.44	845.42
5	12	8	20	350	0.015	117.82	0.00277	5.07	1146.12
6	12	8	20	350	0.020	117.82	0.00266	4.47	1431.35
7	12	6	20	450	0.010	123.80	0.00350	3.67	1584.96
8	12	6	20	450	0.015	123.80	0.00349	3.11	2133.92
9	12	6	20	450	0.020	123.80	0.00358	2.67	2669.52
10	12	8	20	450	0.010	134.13	0.00347	3.64	1596.06
11	12	8	20	450	0.015	134.13	0.00347	3.11	2143.89
12	12	8	20	450	0.020	134.13	0.00357	2.67	2678.65
13	12	6	20	550	0.010	139.10	0.00438	4.69	3262.93
14	12	6	20	550	0.015	139.10	0.00435	3.55	4635.11
15	12	6	20	550	0.020	139.10	0.00548	2.19	6142.91
16	12	8	20	550	0.010	154.52	0.00431	4.71	3290.87
17	12	8	20	550	0.015	154.52	0.00431	3.49	4660.72
18	12	8	20	550	0.020	154.52	0.00543	2.19	6167.50
19	16	6	20	350	0.010	142.78	0.00271	5.97	867.28
20	16	6	20	350	0.015	142.78	0.00270	4.92	1166.19
21	16	6	20	350	0.020	142.78	0.00276	4.06	1467.87
22	16	8	20	350	0.010	149.03	0.00269	5.96	872.71
23	16	8	20	350	0.015	149.03	0.00268	4.90	1171.16
24	16	8	20	350	0.020	149.03	0.00274	3.97	1472.51
25	16	6	20	450	0.010	155.02	0.00344	5.49	1874.84
26	16	6	20	450	0.015	155.02	0.00415	3.52	2711.31
27	16	6	20	450	0.020	155.02	0.00457	2.57	3509.21

Çizelge 5.7: Orta makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	Ps	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
28	16	8	20	450	0.010	165.34	0.00341	5.39	1886.08
29	16	8	20	450	0.015	165.34	0.00433	3.23	2734.31
30	16	8	20	450	0.020	165.34	0.00452	2.58	3525.18
31	16	6	20	550	0.010	170.31	0.00426	4.66	3318.60
32	16	6	20	550	0.015	170.31	0.00427	3.41	4686.93
33	16	6	20	550	0.020	170.31	0.00539	2.19	6192.16
34	16	8	20	550	0.010	185.74	0.00421	4.65	3345.68
35	16	8	20	550	0.015	185.74	0.00424	3.36	4712.50
36	16	8	20	550	0.020	185.74	0.00536	2.15	6216.23
37	20	6	20	350	0.010	183.06	0.00273	6.16	1111.77
38	20	6	20	350	0.015	183.06	0.00268	5.03	1515.64
39	20	6	20	350	0.020	183.06	0.00269	4.32	1927.18
40	20	8	20	350	0.010	189.30	0.00269	6.09	1116.70
41	20	8	20	350	0.015	189.30	0.00266	5.04	1520.09
42	20	8	20	350	0.020	189.30	0.00268	4.31	1931.36
43	20	6	20	450	0.010	195.29	0.00351	4.71	1943.37
44	20	6	20	450	0.015	195.29	0.00444	3.00	2785.37
45	20	6	20	450	0.020	195.29	0.00462	2.42	3576.54
46	20	8	20	450	0.010	205.62	0.00348	4.65	1954.66
47	20	8	20	450	0.015	205.62	0.00440	2.99	2800.56
48	20	8	20	450	0.020	205.62	0.00458	2.39	3591.53
49	20	6	20	550	0.010	210.59	0.00413	4.58	3389.11
50	20	6	20	550	0.015	210.59	0.00417	3.36	4753.64
51	20	6	20	550	0.020	210.59	0.00553	2.05	6285.62
52	20	8	20	550	0.010	226.01	0.00436	4.22	3439.87
53	20	8	20	550	0.015	226.01	0.00414	3.31	4778.86
54	20	8	20	550	0.020	226.01	0.00550	2.04	6309.56

Çizelge 5.7: Orta makas kolonlarına ait plastik mafsall bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
55	12	6	30	350	0.010	111.57	0.00269	9.11	867.13
56	12	6	30	350	0.015	111.57	0.00263	6.19	1175.82
57	12	6	30	350	0.020	111.57	0.00265	6.23	1484.19
58	12	8	30	350	0.010	117.82	0.00267	9.06	873.10
59	12	8	30	350	0.015	117.82	0.00278	6.76	1197.67
60	12	8	30	350	0.020	117.82	0.00264	6.08	1489.36
61	12	6	30	450	0.010	123.80	0.00342	4.09	1681.04
62	12	6	30	450	0.015	123.80	0.00395	2.93	2362.65
63	12	6	30	450	0.020	123.80	0.00424	2.46	2993.47
64	12	8	30	450	0.010	134.13	0.00339	4.06	1693.21
65	12	8	30	450	0.015	134.13	0.00407	2.83	2381.24
66	12	8	30	450	0.020	134.13	0.00423	2.45	3003.17
67	12	6	30	550	0.010	139.10	0.00429	6.82	3340.46
68	12	6	30	550	0.015	139.10	0.00424	4.88	4737.27
69	12	6	30	550	0.020	139.10	0.00672	2.34	6437.44
70	12	8	30	550	0.010	154.52	0.00425	6.69	3368.99
71	12	8	30	550	0.015	154.52	0.00421	4.78	4764.29
72	12	8	30	550	0.020	154.52	0.00666	2.34	6469.24
73	16	6	30	350	0.010	142.78	0.00277	8.14	910.11
74	16	6	30	350	0.015	142.78	0.00272	6.62	1219.49
75	16	6	30	350	0.020	142.78	0.00274	5.42	1528.74
76	16	8	30	350	0.010	149.03	0.00275	8.06	916.01
77	16	8	30	350	0.015	149.03	0.00270	6.55	1224.93
78	16	8	30	350	0.020	149.03	0.00273	5.36	1533.86
79	16	6	30	450	0.010	155.02	0.00344	7.33	1950.91
80	16	6	30	450	0.015	155.02	0.00377	5.46	2746.87
81	16	6	30	450	0.020	155.02	0.00418	3.98	3546.86

Çizelge 5.7: Orta makas kolonlarına ait plastik mafsalları bilgileri

Model	L (m)	H (m)	BS (MPa)	B (mm)	ρ_s	N (kN)	θ_y (rad)	μ_0	M_y (ton*cm)
82	16	8	30	450	0.010	165.34	0.00341	7.33	1963.93
83	16	8	30	450	0.015	165.34	0.00374	5.16	2763.07
84	16	8	30	450	0.020	165.34	0.00414	3.92	3563.49
85	16	6	30	550	0.010	170.31	0.00418	6.53	3399.06
86	16	6	30	550	0.015	170.31	0.00416	4.62	4793.05
87	16	6	30	550	0.020	170.31	0.00660	2.32	6501.18
88	16	8	30	550	0.010	185.74	0.00414	6.02	3427.69
89	16	8	30	550	0.015	185.74	0.00413	4.57	4820.21
90	16	8	30	550	0.020	185.74	0.00655	2.32	6531.98
91	20	6	30	350	0.010	183.06	0.00286	7.33	1151.29
92	20	6	30	350	0.015	183.06	0.00276	6.36	1558.95
93	20	6	30	350	0.020	183.06	0.00274	5.62	1971.12
94	20	8	30	350	0.010	189.30	0.00284	7.35	1156.81
95	20	8	30	350	0.015	189.30	0.00274	6.26	1563.91
96	20	8	30	350	0.020	189.30	0.00273	5.60	1975.63
97	20	6	30	450	0.010	195.29	0.00352	6.76	2023.52
98	20	6	30	450	0.015	195.29	0.00386	4.80	2817.71
99	20	6	30	450	0.020	195.29	0.00404	3.71	3611.19
100	20	8	30	450	0.010	205.62	0.00349	6.72	2038.39
101	20	8	30	450	0.015	205.62	0.00381	4.78	2836.01
102	20	8	30	450	0.020	205.62	0.00422	3.53	3634.54
103	20	6	30	550	0.010	210.59	0.00435	5.59	3500.21
104	20	6	30	550	0.015	210.59	0.00433	4.31	4896.28
105	20	6	30	550	0.020	210.59	0.00563	2.66	6459.91
106	20	8	30	550	0.010	226.01	0.00431	5.55	3528.72
107	20	8	30	550	0.015	226.01	0.00430	4.26	4923.31
108	20	8	30	550	0.020	226.01	0.00560	2.62	6485.24

Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
							D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)	D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)
1	20	2	12	6	350	0.010	3.0	10242	6.5	12.3	3.0	2668	8.1	12.2
2	20	2	12	6	350	0.015	4.1	14210	5.7	11.1	4.0	3729	6.7	11.1
3	20	2	12	6	350	0.020	5.0	17828	5.7	10.8	5.0	4686	6.8	10.8
4	20	2	12	8	350	0.010	5.0	7583	10.3	17.3	5.1	1993	12.2	17.3
5	20	2	12	8	350	0.015	7.0	10439	9.6	16.3	7.0	2701	10.6	16.2
6	20	2	12	8	350	0.020	8.7	13147	9.9	16.7	8.6	3367	10.9	16.6
7	20	2	12	6	450	0.010	2.1	20486	3.3	7.5	2.0	5326	4.5	7.5
8	20	2	12	6	450	0.015	2.7	27253	2.8	7.1	2.7	7191	4.1	7.0
9	20	2	12	6	450	0.020	3.4	34321	2.9	7.0	3.6	9064	4.3	7.0
10	20	2	12	8	450	0.010	3.6	15160	5.9	10.8	3.7	3984	6.9	10.8
11	20	2	12	8	450	0.015	4.9	20709	5.8	10.6	4.8	5340	6.7	10.6
12	20	2	12	8	450	0.020	6.0	25842	6.1	10.9	6.2	6678	7.0	10.8
13	20	2	12	6	550	0.010	1.9	43080	1.4	11.3	2.0	11250	2.7	11.3
14	20	2	12	6	550	0.015	2.6	59246	1.4	9.1	2.6	15530	2.9	9.2
15	20	2	12	6	550	0.020	3.5	79773	1.4	7.3	3.6	20905	3.1	7.3
16	20	2	12	8	550	0.010	3.6	32428	3.6	15.9	3.5	8288	4.7	15.8
17	20	2	12	8	550	0.015	4.9	46000	3.6	13.2	5.0	11807	5.1	13.1
18	20	2	12	8	550	0.020	6.2	61006	3.6	11.3	6.2	15575	5.7	11.3
19	20	2	16	6	350	0.010	3.0	9972	7.1	11.1	3.1	2814	10.0	11.0
20	20	2	16	6	350	0.015	4.1	13581	5.8	10.6	4.1	3779	7.9	10.4
21	20	2	16	6	350	0.020	5.2	17235	5.5	10.4	5.1	4726	7.6	10.2
22	20	2	16	8	350	0.010	5.2	7281	12.2	16.2	5.5	2029	15.2	16.1
23	20	2	16	8	350	0.015	7.2	10034	10.5	15.9	7.0	2686	12.4	15.6
24	20	2	16	8	350	0.020	9.1	12725	10.4	16.1	8.9	3415	12.2	15.9
25	20	2	16	6	450	0.010	2.4	23002	2.2	11.5	2.5	6307	4.9	11.4
26	20	2	16	6	450	0.015	3.6	33560	2.2	9.6	3.5	9017	4.7	9.5
27	20	2	16	6	450	0.020	4.6	43251	2.2	8.7	4.6	11671	5.0	8.6
28	20	2	16	8	450	0.010	4.3	17428	5.5	16.2	4.3	4634	7.5	16.1
29	20	2	16	8	450	0.015	6.3	25253	5.2	14.1	6.2	6739	7.6	13.9
30	20	2	16	8	450	0.020	8.1	32691	5.2	13.9	7.8	8617	8.3	13.7
31	20	2	16	6	550	0.010	1.9	41109	1.0	9.3	2.1	11323	3.2	11.0
32	20	2	16	6	550	0.015	2.9	59483	1.0	8.8	2.9	16071	3.3	8.8
33	20	2	16	6	550	0.020	3.6	78346	1.0	7.5	3.7	20875	3.7	7.2
34	20	2	16	8	550	0.010	3.5	31764	2.6	15.5	3.5	8477	5.1	15.5
35	20	2	16	8	550	0.015	4.9	44974	2.6	12.7	4.8	11771	5.5	12.6
36	20	2	16	8	550	0.020	6.4	59299	2.6	11.4	6.3	15545	6.2	11.2
37	20	2	20	6	350	0.010	4.0	11292	6.4	12.6	3.9	3536	10.3	12.2
38	20	2	20	6	350	0.015	5.5	15505	4.9	12.0	5.5	4832	8.7	11.6
39	20	2	20	6	350	0.020	6.9	19733	4.9	12.6	6.7	6148	8.7	12.1
40	20	2	20	8	350	0.010	6.7	8206	12.9	18.0	6.7	2496	16.8	17.6
41	20	2	20	8	350	0.015	9.5	11573	11.0	18.4	9.1	3401	14.0	17.7
42	20	2	20	8	350	0.020	12.2	14954	10.7	19.9	11.7	4334	14.3	19.1
43	20	2	20	6	450	0.010	2.6	21169	1.9	10.3	2.7	6510	5.8	10.2
44	20	2	20	6	450	0.015	3.7	30405	1.9	9.0	3.7	9238	5.2	8.8
45	20	2	20	6	450	0.020	4.8	39327	1.9	8.7	4.8	11871	5.4	8.3
46	20	2	20	8	450	0.010	4.6	16521	4.4	14.6	4.5	4699	8.8	14.3

Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
							D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)	D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)
47	20	2	20	8	450	0.015	6.6	23689	4.4	13.5	6.3	6783	8.4	13.1
48	20	2	20	8	450	0.020	8.4	30565	4.4	13.6	8.1	8758	9.0	13.2
49	20	2	20	6	550	0.010	2.0	37137	0.9	13.4	2.0	11569	3.7	10.6
50	20	2	20	6	550	0.015	2.8	50242	0.9	8.5	2.7	16063	3.6	8.5
51	20	2	20	6	550	0.020	3.3	63299	0.9	6.8	3.7	21423	3.9	7.0
52	20	2	20	8	550	0.010	3.6	30059	2.0	14.8	3.7	8668	5.6	14.6
53	20	2	20	8	550	0.015	5.1	42402	2.0	12.6	4.9	11972	5.9	12.4
54	20	2	20	8	550	0.020	6.5	55300	2.0	11.4	6.4	15719	6.6	10.9
55	30	2	12	6	350	0.010	2.8	10718	6.0	15.2	2.7	2843	7.6	15.4
56	30	2	12	6	350	0.015	3.7	14660	5.3	11.8	3.5	3839	6.3	11.8
57	30	2	12	6	350	0.020	4.5	18796	5.2	13.0	4.5	4826	6.2	12.8
58	30	2	12	8	350	0.010	4.7	7941	9.8	21.5	4.7	2073	11.6	21.6
59	30	2	12	8	350	0.015	6.7	11497	9.0	19.3	6.5	2839	10.0	19.1
60	30	2	12	8	350	0.020	8.2	13839	9.2	19.1	7.9	3519	10.1	18.9
61	30	2	12	6	450	0.010	2.0	21860	2.9	8.1	2.0	5697	4.2	8.1
62	30	2	12	6	450	0.015	2.8	30601	2.5	7.1	2.8	7923	3.9	7.1
63	30	2	12	6	450	0.020	3.4	38736	2.5	6.9	3.5	10061	4.0	6.9
64	30	2	12	8	450	0.010	3.5	16393	5.4	11.5	3.3	4209	6.4	11.5
65	30	2	12	8	450	0.015	4.7	22768	5.3	10.5	4.8	5864	6.2	10.5
66	30	2	12	8	450	0.020	6.0	29134	5.6	10.7	5.9	7397	6.6	10.6
67	30	2	12	6	550	0.010	1.9	43856	1.2	16.0	1.9	11479	2.3	16.1
68	30	2	12	6	550	0.015	2.5	62584	1.2	11.9	2.6	16313	2.5	11.9
69	30	2	12	6	550	0.020	3.4	85569	1.2	8.4	3.3	21872	2.7	8.4
70	30	2	12	8	550	0.010	2.9	32140	3.2	21.9	3.0	8577	4.3	21.8
71	30	2	12	8	550	0.015	4.2	46553	3.2	16.8	4.4	12073	4.7	16.6
72	30	2	12	8	550	0.020	5.8	63740	3.2	12.8	5.9	16390	5.3	12.7
73	30	2	16	6	350	0.010	2.8	10677	6.7	14.5	2.7	2933	9.7	14.3
74	30	2	16	6	350	0.015	3.8	14470	5.3	13.0	4.0	3988	7.5	12.8
75	30	2	16	6	350	0.020	4.6	17757	4.9	12.0	4.7	4997	7.0	12.0
76	30	2	16	8	350	0.010	5.1	7837	11.6	20.2	4.8	2119	15.0	20.1
77	30	2	16	8	350	0.015	6.7	10643	9.8	18.7	6.6	2880	11.6	18.5
78	30	2	16	8	350	0.020	8.2	13277	9.5	18.2	8.2	3592	11.3	17.9
79	30	2	16	6	450	0.010	2.3	24042	1.9	14.9	2.4	6584	4.7	14.9
80	30	2	16	6	450	0.015	3.2	34081	1.9	12.8	3.2	9109	4.4	12.8
81	30	2	16	6	450	0.020	4.2	44171	1.9	11.4	4.0	11848	4.6	11.2
82	30	2	16	8	450	0.010	4.0	18153	5.0	21.0	4.0	4810	7.1	20.7
83	30	2	16	8	450	0.015	5.6	25550	4.5	17.8	5.5	6842	7.0	17.6
84	30	2	16	8	450	0.020	7.1	33169	4.5	16.9	6.9	8747	7.6	16.4
85	30	2	16	6	550	0.010	1.7	42140	0.9	15.2	1.8	11593	3.1	15.1
86	30	2	16	6	550	0.015	2.4	60000	0.9	11.1	2.5	16370	2.9	11.1
87	30	2	16	6	550	0.020	3.2	79582	0.9	8.5	3.4	22352	3.3	8.4
88	30	2	16	8	550	0.010	3.4	32866	2.2	19.4	3.1	8596	4.8	19.2
89	30	2	16	8	550	0.015	4.5	45807	2.2	16.0	4.4	12041	5.0	15.7
90	30	2	16	8	550	0.020	5.9	62706	2.2	12.8	5.6	16058	5.8	12.5
91	30	2	20	6	350	0.010	3.9	11926	5.5	14.7	3.5	3713	9.9	14.2
92	30	2	20	6	350	0.015	4.9	16150	4.3	14.0	4.7	5043	8.2	13.5

Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
							D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)	D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)
93	30	2	20	6	350	0.020	6.2	20455	4.3	14.0	6.2	6319	8.1	13.4
94	30	2	20	8	350	0.010	6.5	8946	11.7	20.8	6.3	2636	15.5	20.4
95	30	2	20	8	350	0.015	8.7	12086	9.9	20.3	8.3	3550	13.0	19.7
96	30	2	20	8	350	0.020	11.0	15357	9.5	21.2	10.6	4501	13.2	20.5
97	30	2	20	6	450	0.010	2.4	22103	1.6	14.5	2.5	6796	5.5	14.1
98	30	2	20	6	450	0.015	3.5	31592	1.6	11.9	3.3	9371	4.9	11.7
99	30	2	20	6	450	0.020	4.2	40135	1.6	11.0	4.2	12097	5.0	10.5
100	30	2	20	8	450	0.010	4.2	17178	3.8	19.9	3.9	4904	8.2	19.7
101	30	2	20	8	450	0.015	5.8	24110	3.8	17.2	5.7	6910	7.8	16.9
102	30	2	20	8	450	0.020	7.3	30604	3.8	16.2	7.0	8799	8.2	15.5
103	30	2	20	6	550	0.010	1.8	38000	0.7	13.4	2.0	11956	3.5	13.4
104	30	2	20	6	550	0.015	2.3	50001	0.7	10.7	2.8	16745	3.4	10.9
105	30	2	20	6	550	0.020	2.9	64109	0.7	8.1	3.4	21793	3.6	8.7
106	30	2	20	8	550	0.010	3.2	31004	1.8	18.8	3.2	8854	5.3	18.4
107	30	2	20	8	550	0.015	4.6	44080	1.8	15.7	4.4	12285	5.4	15.3
108	30	2	20	8	550	0.020	5.8	56963	1.8	12.8	5.8	16288	6.0	12.9
109	20	3	12	6	350	0.010	3.0	10242		12.3	3.0	2668		12.2
110	20	3	12	6	350	0.015	4.1	14210	9.8	11.1	4.0	3729		11.1
111	20	3	12	6	350	0.020	5.0	17828	8.6	10.8	5.0	4686	10.6	10.8
112	20	3	12	8	350	0.010	5.0	7583		17.3	5.1	1993		17.3
113	20	3	12	8	350	0.015	7.0	10439	15.8	16.3	7.0	2701		16.2
114	20	3	12	8	350	0.020	8.7	13147	14.3	16.7	8.6	3367	16.3	16.6
115	20	3	12	6	450	0.010	2.1	20486	6.7	7.5	2.0	5326		7.5
116	20	3	12	6	450	0.015	2.7	27253	5.2	7.1	2.7	7191		7.0
117	20	3	12	6	450	0.020	3.4	34321	4.6	7.0	3.6	9064	5.6	7.0
118	20	3	12	8	450	0.010	3.6	15160		10.8	3.7	3984		10.8
119	20	3	12	8	450	0.015	4.9	20709	9.0	10.6	4.8	5340		10.6
120	20	3	12	8	450	0.020	6.0	25842	8.6	10.9	6.2	6678	9.9	10.8
121	20	3	12	6	550	0.010	1.9	43080	2.2	11.3	2.0	11250	2.7	11.3
122	20	3	12	6	550	0.015	2.6	59246	1.9	9.1	2.6	15530	2.9	9.2
123	20	3	12	6	550	0.020	3.5	79773	1.9	7.3	3.6	20905	3.1	7.3
124	20	3	12	8	550	0.010	3.6	32428	6.0	15.9	3.5	8288	7.6	15.8
125	20	3	12	8	550	0.015	4.9	46000	5.4	13.2	5.0	11807	6.8	13.1
126	20	3	12	8	550	0.020	6.2	61006	5.4	11.3	6.2	15575	7.1	11.3
127	20	3	16	6	350	0.010	3.0	9972		11.1	3.1	2814		11.0
128	20	3	16	6	350	0.015	4.1	13581		10.6	4.1	3779		10.4
129	20	3	16	6	350	0.020	5.2	17235	9.2	10.4	5.1	4726		10.2
130	20	3	16	8	350	0.010	5.2	7281		16.2	5.5	2029		16.1
131	20	3	16	8	350	0.015	7.2	10034		15.9	7.0	2686		15.6
132	20	3	16	8	350	0.020	9.1	12725	15.9	16.1	8.9	3415		15.9
133	20	3	16	6	450	0.010	2.4	23002	5.7	11.5	2.5	6307	10.1	11.4
134	20	3	16	6	450	0.015	3.6	33560	3.3	9.6	3.5	9017	7.6	9.5
135	20	3	16	6	450	0.020	4.6	43251	3.3	8.7	4.6	11671	7.0	8.6
136	20	3	16	8	450	0.010	4.3	17428	10.4	16.2	4.3	4634	14.5	16.1
137	20	3	16	8	450	0.015	6.3	25253	8.3	14.1	6.2	6739	11.3	13.9

Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
							D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)	D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)
138	20	3	16	8	450	0.020	8.1	32691	7.7	13.9	7.8	8617	11.1	13.7
139	20	3	16	6	550	0.010	1.9	41109	1.5	9.3	2.1	11323	3.8	11.0
140	20	3	16	6	550	0.015	2.9	59483	1.5	8.8	2.9	16071	3.3	8.8
141	20	3	16	6	550	0.020	3.6	78346	1.5	7.5	3.7	20875	3.7	7.2
142	20	3	16	8	550	0.010	3.5	31764	5.0	15.5	3.5	8477	8.8	15.5
143	20	3	16	8	550	0.015	4.9	44974	3.9	12.7	4.8	11771	7.7	12.6
144	20	3	16	8	550	0.020	6.4	59299	3.9	11.4	6.3	15545	7.9	11.2
145	20	3	20	6	350	0.010	4.0	11292		12.6	3.9	3536		12.2
146	20	3	20	6	350	0.015	5.5	15505	10.6	12.0	5.5	4832		11.6
147	20	3	20	6	350	0.020	6.9	19733	8.7	12.6	6.7	6148		12.1
148	20	3	20	8	350	0.010	6.7	8206		18.0	6.7	2496		17.6
149	20	3	20	8	350	0.015	9.5	11573		18.4	9.1	3401		17.7
150	20	3	20	8	350	0.020	12.2	14954	16.9	19.9	11.7	4334		19.1
151	20	3	20	6	450	0.010	2.6	21169	5.1	10.3	2.7	6510		10.2
152	20	3	20	6	450	0.015	3.7	30405	2.8	9.0	3.7	9238		8.8
153	20	3	20	6	450	0.020	4.8	39327	2.8	8.7	4.8	11871	7.9	8.3
154	20	3	20	8	450	0.010	4.6	16521	11.6	14.6	4.5	4699		14.3
155	20	3	20	8	450	0.015	6.6	23689	8.0	13.5	6.3	6783		13.1
156	20	3	20	8	450	0.020	8.4	30565	6.6	13.6	8.1	8758	12.3	13.2
157	20	3	20	6	550	0.010	2.0	37137	1.3	13.4	2.0	11569	7.0	10.6
158	20	3	20	6	550	0.015	2.8	50242	1.3	8.5	2.7	16063	4.1	8.5
159	20	3	20	6	550	0.020	3.3	63299	1.3	6.8	3.7	21423	4.2	7.0
160	20	3	20	8	550	0.010	3.6	30059	3.1	14.8	3.7	8668	10.2	14.6
161	20	3	20	8	550	0.015	5.1	42402	3.1	12.6	4.9	11972	8.6	12.4
162	20	3	20	8	550	0.020	6.5	55300	3.1	11.4	6.4	15719	8.6	10.9
163	30	3	12	6	350	0.010	2.8	10718	13.5	15.2	2.7	2843		15.4
164	30	3	12	6	350	0.015	3.7	14660	9.5	11.8	3.5	3839		11.8
165	30	3	12	6	350	0.020	4.5	18796	8.1	13.0	4.5	4826	10.2	12.8
166	30	3	12	8	350	0.010	4.7	7941		21.5	4.7	2073		21.6
167	30	3	12	8	350	0.015	6.7	11497	14.0	19.3	6.5	2839	18.3	19.1
168	30	3	12	8	350	0.020	8.2	13839	13.4	19.1	7.9	3519	15.4	18.9
169	30	3	12	6	450	0.010	2.0	21860	5.9	8.1	2.0	5697		8.1
170	30	3	12	6	450	0.015	2.8	30601	4.6	7.1	2.8	7923	6.4	7.1
171	30	3	12	6	450	0.020	3.4	38736	4.0	6.9	3.5	10061	4.8	6.9
172	30	3	12	8	450	0.010	3.5	16393	10.3	11.5	3.3	4209		11.5
173	30	3	12	8	450	0.015	4.7	22768	8.3	10.5	4.8	5864	9.9	10.5
174	30	3	12	8	450	0.020	6.0	29134	7.9	10.7	5.9	7397	9.2	10.6
175	30	3	12	6	550	0.010	1.9	43856	1.6	16.0	1.9	11479	2.3	16.1
176	30	3	12	6	550	0.015	2.5	62584	1.6	11.9	2.6	16313	2.5	11.9
177	30	3	12	6	550	0.020	3.4	85569	1.6	8.4	3.3	21872	2.7	8.4
178	30	3	12	8	550	0.010	2.9	32140	5.6	21.9	3.0	8577	7.3	21.8
179	30	3	12	8	550	0.015	4.2	46553	4.9	16.8	4.4	12073	6.0	16.6
180	30	3	12	8	550	0.020	5.8	63740	4.8	12.8	5.9	16390	6.3	12.7
181	30	3	16	6	350	0.010	2.8	10677		14.5	2.7	2933		14.3
182	30	3	16	6	350	0.015	3.8	14470	10.6	13.0	4.0	3988		12.8
183	30	3	16	6	350	0.020	4.6	17757	8.7	12.0	4.7	4997		12.0

Çizelge 5.8: Modellere ait performans noktaları

Model	BS (MPa)	Z	L (m)	H (m)	B (mm)	ρ_s	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
							D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)	D_y (cm)	V_y (kg)	D_{per} (cm)	D_u (cm)
184	30	3	16	8	350	0.010	5.1	7837		20.2	4.8	2119		20.1
185	30	3	16	8	350	0.015	6.7	10643	18.5	18.7	6.6	2880		18.5
186	30	3	16	8	350	0.020	8.2	13277	15.1	18.2	8.2	3592		17.9
187	30	3	16	6	450	0.010	2.3	24042	5.1	14.9	2.4	6584	9.6	14.9
188	30	3	16	6	450	0.015	3.2	34081	2.8	12.8	3.2	9109	7.3	12.8
189	30	3	16	6	450	0.020	4.2	44171	2.8	11.4	4.0	11848	6.1	11.2
190	30	3	16	8	450	0.010	4.0	18153	9.9	21.0	4.0	4810	14.2	20.7
191	30	3	16	8	450	0.015	5.6	25550	7.7	17.8	5.5	6842	10.9	17.6
192	30	3	16	8	450	0.020	7.1	33169	6.8	16.9	6.9	8747	10.4	16.4
193	30	3	16	6	550	0.010	1.7	42140	1.3	15.2	1.8	11593	3.2	15.1
194	30	3	16	6	550	0.015	2.4	60000	1.3	11.1	2.5	16370	2.9	11.1
195	30	3	16	6	550	0.020	3.2	79582	1.3	8.5	3.3	22352	3.3	8.4
196	30	3	16	8	550	0.010	3.4	32866	4.4	19.4	3.1	8596	8.6	19.2
197	30	3	16	8	550	0.015	4.5	45807	3.4	16.0	4.4	12041	7.2	15.7
198	30	3	16	8	550	0.020	5.9	62706	3.4	12.8	5.6	16058	7.3	12.5
199	30	3	20	6	350	0.010	3.9	11926	13.5	14.7	3.5	3713		14.2
200	30	3	20	6	350	0.015	4.9	16150	9.3	14.0	4.7	5043		13.5
201	30	3	20	6	350	0.020	6.2	20455	8.1	14.0	6.2	6319	13.3	13.4
202	30	3	20	8	350	0.010	6.5	8946		20.8	6.3	2636		20.4
203	30	3	20	8	350	0.015	8.7	12086	19.0	20.3	8.3	3550		19.7
204	30	3	20	8	350	0.020	11.0	15357	15.9	21.2	10.6	4501		20.5
205	30	3	20	6	450	0.010	2.4	22103	4.5	14.5	2.5	6796	11.9	14.1
206	30	3	20	6	450	0.015	3.5	31592	2.5	11.9	3.3	9371	8.7	11.7
207	30	3	20	6	450	0.020	4.2	40135	2.5	11.0	4.2	12097	7.5	10.5
208	30	3	20	8	450	0.010	4.2	17178	10.3	19.9	3.9	4904	17.5	19.7
209	30	3	20	8	450	0.015	5.8	24110	5.9	17.2	5.7	6910	12.9	16.9
210	30	3	20	8	450	0.020	7.3	30604	5.7	16.2	7.0	8799	11.6	15.5
211	30	3	20	6	550	0.010	1.8	38000	1.1	13.4	2.0	11956	6.8	13.4
212	30	3	20	6	550	0.015	2.3	50001	1.1	10.7	2.8	16745	3.5	10.9
213	30	3	20	6	550	0.020	2.9	64109	1.1	8.1	3.4	21793	3.7	8.7
214	30	3	20	8	550	0.010	3.2	31004	2.7	18.8	3.2	8854	10.0	18.4
215	30	3	20	8	550	0.015	4.6	44080	2.7	15.7	4.4	12285	8.2	15.3
216	30	3	20	8	550	0.020	5.8	56963	2.7	12.8	5.8	16288	8.0	12.9

Çizelge 5.9: AY98 deprem yükü ve görelî ötelenme

Model	X YÖNÜ (3 Boyutlu Model)					Y YÖNÜ (2 Boyutlu Model)				
	V _{el} (ton)	D _{el} (cm)	V _{R=5} (ton)	D _{R=5} (cm)	Δ _x	V _{el} (ton)	D _{el} (cm)	V _{R=5} (ton)	D _{R=5} (cm)	Δ _y
1	35.641	8.98	7.128	1.80	0.0030	9.666	9.75	1.933	1.95	0.0032
4	26.449	15.80	6.640	3.97	0.0050	7.193	17.19	1.910	4.56	0.0057
7	58.226	5.37	11.645	1.07	0.0018	15.751	5.81	3.150	1.16	0.0019
10	44.035	9.63	8.807	1.93	0.0024	11.820	10.34	2.364	2.07	0.0026
13	83.430	3.45	16.686	0.69	0.0011	23.357	3.86	4.671	0.77	0.0013
16	67.905	6.65	13.581	1.33	0.0017	18.018	7.06	3.604	1.41	0.0018
19	40.723	10.26	8.145	2.05	0.0034	11.150	11.24	2.231	2.25	0.0037
22	29.947	17.89	8.168	4.88	0.0061	8.158	19.50	2.356	5.63	0.0070
25	65.430	6.04	13.086	1.21	0.0020	17.744	6.55	3.549	1.31	0.0022
28	48.935	10.70	9.787	2.14	0.0027	13.182	11.53	2.682	2.35	0.0029
31	97.657	4.04	19.531	0.81	0.0013	26.233	4.34	5.247	0.87	0.0014
34	74.211	7.27	14.842	1.45	0.0018	19.784	7.75	3.957	1.55	0.0019
37	46.308	11.67	9.500	2.39	0.0040	12.693	12.80	2.769	2.79	0.0047
40	33.813	20.20	10.000	5.97	0.0075	9.228	22.06	2.894	6.92	0.0086
43	73.425	6.77	14.685	1.35	0.0023	19.965	7.37	3.993	1.47	0.0025
46	54.411	11.90	11.305	2.47	0.0031	14.710	12.87	3.220	2.82	0.0035
49	108.159	4.47	21.632	0.89	0.0015	29.168	4.82	5.834	0.96	0.0016
52	81.332	7.97	16.266	1.59	0.0020	21.783	8.54	4.357	1.71	0.0021
55	37.596	8.29	7.519	1.66	0.0028	10.196	9.00	2.039	1.80	0.0030
58	27.900	14.59	6.640	3.47	0.0043	7.587	15.87	1.910	3.99	0.0050
61	61.421	4.96	12.284	0.99	0.0017	16.615	5.36	3.323	1.07	0.0018
64	46.451	8.89	9.290	1.78	0.0022	12.469	9.54	2.494	1.91	0.0024
67	83.430	3.02	16.686	0.60	0.0010	23.357	3.38	4.671	0.68	0.0011
70	71.631	6.14	14.326	1.23	0.0015	19.007	6.52	3.801	1.30	0.0016
73	42.957	9.47	8.591	1.89	0.0032	11.762	10.38	2.352	2.08	0.0035
76	31.590	16.52	8.168	4.27	0.0053	8.605	18.00	2.356	4.93	0.0062
79	69.020	5.57	13.804	1.11	0.0019	18.717	6.04	3.743	1.21	0.0020
82	51.620	9.88	10.324	1.98	0.0025	13.906	10.64	2.781	2.13	0.0027
85	98.706	3.57	19.741	0.71	0.0012	27.672	4.00	5.534	0.80	0.0013
88	78.283	6.71	15.657	1.34	0.0017	20.869	7.16	4.174	1.43	0.0018
91	48.849	10.77	9.770	2.15	0.0036	13.389	11.81	2.769	2.44	0.0041
94	35.669	18.65	10.000	5.23	0.0065	9.735	20.36	2.894	6.05	0.0076
97	77.454	6.25	15.491	1.25	0.0021	21.060	6.80	4.212	1.36	0.0023
100	57.396	10.98	11.479	2.20	0.0027	15.517	11.87	3.220	2.46	0.0031
103	114.094	4.13	22.819	0.83	0.0014	30.768	4.45	6.154	0.89	0.0015
106	85.794	7.36	17.159	1.47	0.0018	22.979	7.88	4.596	1.58	0.0020
109	49.297	12.43	9.859	2.49	0.0041	13.369	13.48	2.674	2.70	0.0045
112	36.583	21.86	7.317	4.37	0.0055	9.949	23.78	1.990	4.76	0.0059
115	71.193	6.57	14.239	1.31	0.0022	20.298	7.49	4.060	1.50	0.0025
118	60.907	13.32	12.181	2.66	0.0033	16.349	14.30	3.270	2.86	0.0036
121	83.430	3.45	16.686	0.69	0.0011	23.357	3.86	4.671	0.77	0.0013
124	93.924	9.20	18.785	1.84	0.0023	24.922	9.77	4.984	1.95	0.0024
127	56.326	14.20	11.265	2.84	0.0047	15.423	15.55	3.085	3.11	0.0052
130	41.422	24.75	8.284	4.95	0.0062	11.283	26.97	2.356	5.63	0.0070

Çizelge 5.9: AY98 deprem yükü ve görelî ötelenme

Model	X YÖNÜ (3 Boyutlu Model)					Y YÖNÜ (2 Boyutlu Model)				
	V _{el} (ton)	D _{el} (cm)	V _{R=5} (ton)	D _{R=5} (cm)	Δ _x	V _{el} (ton)	D _{el} (cm)	V _{R=5} (ton)	D _{R=5} (cm)	Δ _y
133	86.470	7.98	17.294	1.60	0.0027	24.542	9.06	4.908	1.81	0.0030
136	67.685	14.80	13.537	2.96	0.0037	18.233	15.95	3.647	3.19	0.0040
139	98.706	4.08	19.741	0.82	0.0014	27.815	4.60	5.563	0.92	0.0015
142	102.646	10.06	20.529	2.01	0.0025	27.364	10.73	5.473	2.15	0.0027
145	64.052	16.15	12.810	3.23	0.0054	17.556	17.70	3.511	3.54	0.0059
148	46.769	27.94	10.000	5.97	0.0075	12.764	30.51	2.894	6.92	0.0086
151	101.559	9.37	20.312	1.87	0.0031	27.614	10.19	5.523	2.04	0.0034
154	75.259	16.46	15.052	3.29	0.0041	20.346	17.79	4.069	3.56	0.0044
157	117.025	4.84	23.405	0.97	0.0016	33.193	5.49	6.639	1.10	0.0018
160	112.495	11.02	22.499	2.20	0.0028	30.130	11.81	6.026	2.36	0.0030
163	52.001	11.47	10.400	2.29	0.0038	14.103	12.44	2.821	2.49	0.0041
166	38.590	20.17	7.718	4.03	0.0050	10.495	21.95	2.099	4.39	0.0055
169	71.193	5.75	14.239	1.15	0.0019	20.298	6.55	4.060	1.31	0.0022
172	64.249	12.29	12.850	2.46	0.0031	17.246	13.20	3.449	2.64	0.0033
175	83.430	3.02	16.686	0.60	0.0010	23.357	3.38	4.671	0.68	0.0011
178	95.768	8.21	19.154	1.64	0.0021	26.290	9.02	5.258	1.80	0.0023
181	59.416	13.10	11.883	2.62	0.0044	16.269	14.35	3.254	2.87	0.0048
184	43.695	22.84	8.739	4.57	0.0057	11.902	24.89	2.380	4.98	0.0062
187	86.470	6.98	17.294	1.40	0.0023	24.756	7.99	4.951	1.60	0.0027
190	71.399	13.66	14.280	2.73	0.0034	19.234	14.72	3.847	2.94	0.0037
193	98.706	3.57	19.741	0.71	0.0012	27.815	4.02	5.563	0.80	0.0013
196	108.278	9.28	21.656	1.86	0.0023	28.866	9.90	5.773	1.98	0.0025
199	67.566	14.90	13.513	2.98	0.0050	18.519	16.34	3.704	3.27	0.0054
202	49.335	25.79	10.000	5.23	0.0065	13.465	28.16	2.894	6.05	0.0076
205	104.789	8.46	20.958	1.69	0.0028	29.129	9.40	5.826	1.88	0.0031
208	79.389	15.19	15.878	3.04	0.0038	21.462	16.42	4.292	3.28	0.0041
211	117.025	4.23	23.405	0.85	0.0014	33.193	4.80	6.639	0.96	0.0016
214	118.667	10.17	23.733	2.03	0.0025	31.783	10.90	6.357	2.18	0.0027

Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar

Model	X Yönü Makas Düşmesi						Y Yönü Makas Devrilmesi							
	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	M _{ort} (kg*cm)	M _{ken} (kg*cm)	D _{ort} (cm)	D _{ken} (cm)	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	V ₂₀ (kg)	V ₂₂ (kg)	D ₂₀ (cm)	D ₂₂ (cm)
1	3.0	10242	6.5	91884	63910			3.0	2668	8.1	3919	4743		
2	4.1	14210	5.7	91884	63910			4.0	3729	6.7	3919	4743		
3	5.0	17828	5.7	91884	63910			5.0	4686	6.8	3919	4743		
4	5.0	7583	10.3	91884	63910			5.1	1993	12.2	3919	4743		
5	7.0	10439	9.6	91884	63910			7.0	2701	10.6	3919	4743		
6	8.7	13147	9.9	91884	63910			8.6	3367	10.9	3919	4743		
7	2.1	20486	3.3	91884	63910			2.0	5326	4.5	3919	4743		
8	2.7	27253	2.8	91884	63910			2.7	7191	4.1	3919	4743		
9	3.4	34321	2.9	91884	63910	4.1	2.8	3.6	9064	4.3	3919	4743	2.9	6.1
10	3.6	15160	5.9	91884	63910			3.7	3984	6.9	3919	4743		
11	4.9	20709	5.8	91884	63910			4.8	5340	6.7	3919	4743		
12	6.0	25842	6.1	91884	63910			6.2	6678	7.0	3919	4743		
13	1.9	43080	1.4	91884	63910	1.7	1.4	2.0	11250	2.7	3919	4743	1.3	1.6
14	2.6	59246	1.4	91884	63910	1.7	1.4	2.6	15530	2.9	3919	4743	1.3	1.6
15	3.5	79773	1.4	91884	63910	1.7	1.4	3.6	20905	3.1	3919	4743	1.3	1.6
16	3.6	32428	3.6	91884	63910			3.5	8288	4.7	3919	4743	3.1	
17	4.9	46000	3.6	91884	63910	4.4	3.6	5.0	11807	5.1	3919	4743	3.1	3.7
18	6.2	61006	3.6	91884	63910	4.4	3.6	6.2	15575	5.7	3919	4743	3.1	3.7
19	3.0	9972	7.1	130874	91709			3.1	2814	10.0	3919	4743		
20	4.1	13581	5.8	130874	91709			4.1	3779	7.9	3919	4743		
21	5.2	17235	5.5	130874	91709		4.4	5.1	4726	7.6	3919	4743		
22	5.2	7281	12.2	130874	91709			5.5	2029	15.2	3919	4743		
23	7.2	10034	10.5	130874	91709			7.0	2686	12.4	3919	4743		
24	9.1	12725	10.4	130874	91709			8.9	3415	12.2	3919	4743		
25	2.4	23002	2.2	130874	91709	2.2	2.0	2.5	6307	4.9	3919	4743		
26	3.6	33560	2.2	130874	91709	2.2	2.0	3.5	9017	4.7	3919	4743	2.9	
27	4.6	43251	2.2	130874	91709	2.2	2.0	4.6	11671	5.0	3919	4743	2.9	3.5
28	4.3	17428	5.5	130874	91709			4.3	4634	7.5	3919	4743		
29	6.3	25253	5.2	130874	91709	5.3	4.8	6.2	6739	7.6	3919	4743		
30	8.1	32691	5.2	130874	91709	5.3	4.8	7.8	8617	8.3	3919	4743	6.9	
31	1.9	41109	1.0	130874	91709	1.1	0.9	2.1	11323	3.2	3919	4743	1.3	1.6
32	2.9	59483	1.0	130874	91709	1.1	0.9	2.9	16071	3.3	3919	4743	1.3	1.6
33	3.6	78346	1.0	130874	91709	1.1	0.9	3.7	20875	3.7	3919	4743	1.3	1.6
34	3.5	31764	2.6	130874	91709	2.7	2.4	3.5	8477	5.1	3919	4743	3.1	0.0
35	4.9	44974	2.6	130874	91709	2.7	2.4	4.8	11771	5.5	3919	4743	3.1	3.7
36	6.4	59299	2.6	130874	91709	2.7	2.4	6.3	15545	6.2	3919	4743	3.1	3.7
37	4.0	11292	6.4	177923	124810	3.5	3.3	3.9	3536	10.3	3919	4743		
38	5.5	15505	4.9	177923	124810	3.5	3.3	5.5	4832	8.7	3919	4743		
39	6.9	19733	4.9	177923	124810	3.5	3.3	6.7	6148	8.7	3919	4743		
40	6.7	8206	12.9	177923	124810			6.7	2496	16.8	3919	4743		
41	9.5	11573	11.0	177923	124810	8.0	7.5	9.1	3401	14.0	3919	4743		
42	12.2	14954	10.7	177923	124810	8.0	7.5	11.7	4334	14.3	3919	4743		
43	2.6	21169	1.9	177923	124810	1.4	1.3	2.7	6510	5.8	3919	4743		
44	3.7	30405	1.9	177923	124810	1.4	1.3	3.7	9238	5.2	3919	4743	2.9	3.5
45	4.8	39327	1.9	177923	124810	1.4	1.3	4.8	11871	5.4	3919	4743	2.9	3.5

Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar

Model	X Yönü Makas Düşmesi						Y Yönü Makas Devrilmesi							
	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	M _{ort} (kg*cm)	M _{ken} (kg*cm)	D _{ort} (cm)	D _{ken} (cm)	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	V ₂₀ (kg)	V ₂₂ (kg)	D ₂₀ (cm)	D ₂₂ (cm)
46	4.6	16521	4.4	177923	124810	3.2	3.0	4.5	4699	8.8	3919	4743		
47	6.6	23689	4.4	177923	124810	3.2	3.0	6.3	6783	8.4	3919	4743		
48	8.4	30565	4.4	177923	124810	3.2	3.0	8.1	8758	9.0	3919	4743	6.8	
49	2.0	37137	0.9	177923	124810	0.7	0.6	2.0	11569	3.7	3919	4743	1.3	1.6
50	2.8	50242	0.9	177923	124810	0.7	0.6	2.7	16063	3.6	3919	4743	1.3	1.6
51	3.3	63299	0.9	177923	124810	0.7	0.6	3.7	21423	3.9	3919	4743	1.3	1.6
52	3.6	30059	2.0	177923	124810	1.6	1.5	3.7	8668	5.6	3919	4743	3.1	
53	5.1	42402	2.0	177923	124810	1.6	1.5	4.9	11972	5.9	3919	4743	3.1	3.7
54	6.5	55300	2.0	177923	124810	1.6	1.5	6.4	15719	6.6	3919	4743	3.1	3.7
55	2.8	10718	6.0	91884	63910			2.7	2843	7.6	3919	4796		
56	3.7	14660	5.3	91884	63910			3.5	3839	6.3	3919	4797		
57	4.5	18796	5.2	91884	63910			4.5	4826	6.2	3919	4798		
58	4.7	7941	9.8	91884	63910			4.7	2073	11.6	3919	4799		
59	6.7	11497	9.0	91884	63910			6.5	2839	10.0	3919	4800		
60	8.2	13839	9.2	91884	63910			7.9	3519	10.1	3919	4801		
61	2.0	21860	2.9	91884	63910			2.0	5697	4.2	3919	4802		
62	2.8	30601	2.5	91884	63910		2.4	2.8	7923	3.9	3919	4803	2.5	
63	3.4	38736	2.5	91884	63910	3.0	2.4	3.5	10061	4.0	3919	4804	2.5	3.0
64	3.5	16393	5.4	91884	63910			3.3	4209	6.4	3919	4805		
65	4.7	22768	5.3	91884	63910			4.8	5864	6.2	3919	4806		
66	6.0	29134	5.6	91884	63910			5.9	7397	6.6	3919	4807		
67	1.9	43856	1.2	91884	63910	1.5	1.2	1.9	11479	2.3	3919	4808	1.2	1.4
68	2.5	62584	1.2	91884	63910	1.5	1.2	2.6	16313	2.5	3919	4809	1.2	1.4
69	3.4	85569	1.2	91884	63910	1.5	1.2	3.3	21872	2.7	3919	4810	1.2	1.4
70	2.9	32140	3.2	91884	63910			3.0	8577	4.3	3919	4811	2.7	
71	4.2	46553	3.2	91884	63910	3.8	3.1	4.4	12073	4.7	3919	4812	2.7	3.2
72	5.8	63740	3.2	91884	63910	3.8	3.1	5.9	16390	5.3	3919	4813	2.7	3.2
73	2.8	10677	6.7	130874	91709			2.7	2933	9.7	3919	4814		
74	3.8	14470	5.3	130874	91709			4.0	3988	7.5	3919	4815		
75	4.6	17757	4.9	130874	91709		4.3	4.7	4997	7.0	3919	4816		
76	5.1	7837	11.6	130874	91709			4.8	2119	15.0	3919	4817		
77	6.7	10643	9.8	130874	91709			6.6	2880	11.6	3919	4818		
78	8.2	13277	9.5	130874	91709			8.2	3592	11.3	3919	4819		
79	2.3	24042	1.9	130874	91709	1.9	1.7	2.4	6584	4.7	3919	4820		
80	3.2	34081	1.9	130874	91709	1.9	1.7	3.2	9109	4.4	3919	4821	2.5	
81	4.2	44171	1.9	130874	91709	1.9	1.7	4.0	11848	4.6	3919	4822	2.5	3.1
82	4.0	18153	5.0	130874	91709			4.0	4810	7.1	3919	4823		
83	5.6	25550	4.5	130874	91709	4.7	4.2	5.5	6842	7.0	3919	4824		
84	7.1	33169	4.5	130874	91709	4.7	4.2	6.9	8747	7.6	3919	4825	6.0	
85	1.7	42140	0.9	130874	91709	0.9	0.8	1.8	11593	3.1	3919	4826	1.2	1.4
86	2.4	60000	0.9	130874	91709	0.9	0.8	2.5	16370	2.9	3919	4827	1.2	1.4
87	3.2	79582	0.9	130874	91709	0.9	0.8	3.4	22352	3.3	3919	4828	1.2	1.4
88	3.4	32866	2.2	130874	91709	2.3	2.1	3.1	8596	4.8	3919	4829	2.7	
89	4.5	45807	2.2	130874	91709	2.3	2.1	4.4	12041	5.0	3919	4830	2.7	3.3
90	5.9	62706	2.2	130874	91709	2.3	2.1	5.6	16058	5.8	3919	4831	2.7	3.3

Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar

Model	X Yönü Makas Düşmesi						Y Yönü Makas Devrilmesi							
	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	M _{ort} (kg*cm)	M _{ken} (kg*cm)	D _{ort} (cm)	D _{ken} (cm)	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	V ₂₀ (kg)	V ₂₂ (kg)	D ₂₀ (cm)	D ₂₂ (cm)
91	3.9	11926	5.5	177923	124810	3.1	2.9	3.5	3713	9.9	3919	4832		
92	4.9	16150	4.3	177923	124810	3.1	2.9	4.7	5043	8.2	3919	4833		
93	6.2	20455	4.3	177923	124810	3.1	2.9	6.2	6319	8.1	3919	4834		
94	6.5	8946	11.7	177923	124810			6.3	2636	15.5	3919	4835		
95	8.7	12086	9.9	177923	124810	7.0	6.6	8.3	3550	13.0	3919	4836		
96	11.0	15357	9.5	177923	124810	7.0	6.6	10.6	4501	13.2	3919	4837		
97	2.4	22103	1.6	177923	124810	1.2	1.1	2.5	6796	5.5	3919	4838		
98	3.5	31592	1.6	177923	124810	1.2	1.1	3.3	9371	4.9	3919	4839	2.5	3.1
99	4.2	40135	1.6	177923	124810	1.2	1.1	4.2	12097	5.0	3919	4840	2.5	3.1
100	4.2	17178	3.8	177923	124810	2.8	2.7	3.9	4904	8.2	3919	4841		
101	5.8	24110	3.8	177923	124810	2.8	2.7	5.7	6910	7.8	3919	4842		
102	7.3	30604	3.8	177923	124810	2.8	2.7	7.0	8799	8.2	3919	4843	6.0	
103	1.8	38000	0.7	177923	124810	0.6	0.6	2.0	11956	3.5	3919	4844	1.2	1.4
104	2.3	50001	0.7	177923	124810	0.6	0.6	2.8	16745	3.4	3919	4845	1.2	1.4
105	2.9	64109	0.7	177923	124810	0.6	0.6	3.4	21793	3.6	3919	4846	1.2	1.4
106	3.2	31004	1.8	177923	124810	1.4	1.3	3.2	8854	5.3	3919	4847	2.7	
107	4.6	44080	1.8	177923	124810	1.4	1.3	4.4	12285	5.4	3919	4848	2.7	3.2
108	5.8	56963	1.8	177923	124810	1.4	1.3	5.8	16288	6.0	3919	4849	2.7	3.2
109	3.0	10242		91884	63910			3.0	2668		3919	4743		
110	4.1	14210	9.8	91884	63910			4.0	3729		3919	4744		
111	5.0	17828	8.6	91884	63910			5.0	4686	10.6	3919	4745		
112	5.0	7583		91884	63910			5.1	1993		3919	4746		
113	7.0	10439	15.8	91884	63910			7.0	2701		3919	4747		
114	8.7	13147	14.3	91884	63910			8.6	3367	16.3	3919	4748		
115	2.1	20486	6.7	91884	63910			2.0	5326		3919	4749		
116	2.7	27253	5.2	91884	63910			2.7	7191		3919	4750		
117	3.4	34321	4.6	91884	63910	4.1	2.8	3.6	9064	5.6	3919	4751	2.9	6.1
118	3.6	15160		91884	63910			3.7	3984		3919	4752		
119	4.9	20709	9.0	91884	63910			4.8	5340		3919	4753		
120	6.0	25842	8.6	91884	63910			6.2	6678	9.9	3919	4754		
121	1.9	43080	2.2	91884	63910	1.7	1.4	2.0	11250	2.7	3919	4755	1.3	1.6
122	2.6	59246	1.9	91884	63910	1.7	1.4	2.6	15530	2.9	3919	4756	1.3	1.6
123	3.5	79773	1.9	91884	63910	1.7	1.4	3.6	20905	3.1	3919	4757	1.3	1.6
124	3.6	32428	6.0	91884	63910			3.5	8288	7.6	3919	4758	3.1	
125	4.9	46000	5.4	91884	63910	4.4	3.6	5.0	11807	6.8	3919	4759	3.1	3.7
126	6.2	61006	5.4	91884	63910	4.4	3.6	6.2	15575	7.1	3919	4760	3.1	3.7
127	3.0	9972		130874	91709			3.1	2814		3919	4761		
128	4.1	13581		130874	91709			4.1	3779		3919	4762		
129	5.2	17235	9.2	130874	91709		4.4	5.1	4726		3919	4763		
130	5.2	7281		130874	91709			5.5	2029		3919	4764		
131	7.2	10034		130874	91709			7.0	2686		3919	4765		
132	9.1	12725	15.9	130874	91709			8.9	3415		3919	4766		
133	2.4	23002	5.7	130874	91709	2.2	2.0	2.5	6307	10.1	3919	4767		
134	3.6	33560	3.3	130874	91709	2.2	2.0	3.5	9017	7.6	3919	4768	2.9	
135	4.6	43251	3.3	130874	91709	2.2	2.0	4.6	11671	7.0	3919	4769	2.9	3.5

Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar

Model	X Yönü Makas Düşmesi							Y Yönü Makas Devrilmesi						
	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	M _{ort} (kg*cm)	M _{ken} (kg*cm)	D _{ort} (cm)	D _{ken} (cm)	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	V ₂₀ (kg)	V ₂₂ (kg)	D ₂₀ (cm)	D ₂₂ (cm)
136	4.3	17428	10.4	130874	91709			4.3	4634	14.5	3919	4770		
137	6.3	25253	8.3	130874	91709	5.3	4.8	6.2	6739	11.3	3919	4771		
138	8.1	32691	7.7	130874	91709	5.3	4.8	7.8	8617	11.1	3919	4772	6.9	
139	1.9	41109	1.5	130874	91709	1.1	0.9	2.1	11323	3.8	3919	4773	1.3	1.6
140	2.9	59483	1.5	130874	91709	1.1	0.9	2.9	16071	3.3	3919	4774	1.3	1.6
141	3.6	78346	1.5	130874	91709	1.1	0.9	3.7	20875	3.7	3919	4775	1.3	1.6
142	3.5	31764	5.0	130874	91709	2.7	2.4	3.5	8477	8.8	3919	4776	3.1	
143	4.9	44974	3.9	130874	91709	2.7	2.4	4.8	11771	7.7	3919	4777	3.1	3.7
144	6.4	59299	3.9	130874	91709	2.7	2.4	6.3	15545	7.9	3919	4778	3.1	3.7
145	4.0	11292		177923	124810	3.5	3.3	3.9	3536		3919	4779		
146	5.5	15505	10.6	177923	124810	3.5	3.3	5.5	4832		3919	4780		
147	6.9	19733	8.7	177923	124810	3.5	3.3	6.7	6148		3919	4781		
148	6.7	8206		177923	124810			6.7	2496		3919	4782		
149	9.5	11573		177923	124810	8.0	7.5	9.1	3401		3919	4783		
150	12.2	14954	16.9	177923	124810	8.0	7.5	11.7	4334		3919	4784		
151	2.6	21169	5.1	177923	124810	1.4	1.3	2.7	6510		3919	4785		
152	3.7	30405	2.8	177923	124810	1.4	1.3	3.7	9238		3919	4786	2.9	3.5
153	4.8	39327	2.8	177923	124810	1.4	1.3	4.8	11871	7.9	3919	4787	2.9	3.5
154	4.6	16521	11.6	177923	124810	3.2	3.0	4.5	4699		3919	4788		
155	6.6	23689	8.0	177923	124810	3.2	3.0	6.3	6783		3919	4789		
156	8.4	30565	6.6	177923	124810	3.2	3.0	8.1	8758	12.3	3919	4790	6.8	
157	2.0	37137	1.3	177923	124810	0.7	0.6	2.0	11569	7.0	3919	4791	1.3	1.6
158	2.8	50242	1.3	177923	124810	0.7	0.6	2.7	16063	4.1	3919	4792	1.3	1.6
159	3.3	63299	1.3	177923	124810	0.7	0.6	3.7	21423	4.2	3919	4793	1.3	1.6
160	3.6	30059	3.1	177923	124810	1.6	1.5	3.7	8668	10.2	3919	4794	3.1	
161	5.1	42402	3.1	177923	124810	1.6	1.5	4.9	11972	8.6	3919	4795	3.1	3.7
162	6.5	55300	3.1	177923	124810	1.6	1.5	6.4	15719	8.6	3919	4796	3.1	3.7
163	2.8	10718	13.5	91884	63910			2.7	2843		3919	4849		
164	3.7	14660	9.5	91884	63910			3.5	3839		3919	4850		
165	4.5	18796	8.1	91884	63910			4.5	4826	10.2	3919	4851		
166	4.7	7941		91884	63910			4.7	2073		3919	4852		
167	6.7	11497	14.0	91884	63910			6.5	2839	18.3	3919	4853		
168	8.2	13839	13.4	91884	63910			7.9	3519	15.4	3919	4854		
169	2.0	21860	5.9	91884	63910			2.0	5697		3919	4855		
170	2.8	30601	4.6	91884	63910		2.4	2.8	7923	6.4	3919	4856	2.5	
171	3.4	38736	4.0	91884	63910	3.0	2.4	3.5	10061	4.8	3919	4857	2.5	3.0
172	3.5	16393	10.3	91884	63910			3.3	4209		3919	4858		
173	4.7	22768	8.3	91884	63910			4.8	5864	9.9	3919	4859		
174	6.0	29134	7.9	91884	63910			5.9	7397	9.2	3919	4860		
175	1.9	43856	1.6	91884	63910	1.5	1.2	1.9	11479	2.3	3919	4861	1.2	1.4
176	2.5	62584	1.6	91884	63910	1.5	1.2	2.6	16313	2.5	3919	4862	1.2	1.4
177	3.4	85569	1.6	91884	63910	1.5	1.2	3.3	21872	2.7	3919	4863	1.2	1.4
178	2.9	32140	5.6	91884	63910			3.0	8577	7.3	3919	4864	2.7	
179	4.2	46553	4.9	91884	63910	3.8	3.1	4.4	12073	6.0	3919	4865	2.7	3.2
180	5.8	63740	4.8	91884	63910	3.8	3.1	5.9	16390	6.3	3919	4866	2.7	3.2

Çizelge 5.10: Makas devrilmesi ve makas düşmesine ait sonuçlar

Model	X Yönü Makas Düşmesi						Y Yönü Makas Devrilmesi							
	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	M _{ort} (kg*cm)	M _{ken} (kg*cm)	D _{ort} (cm)	D _{ken} (cm)	D _y (cm)	V _y (kg)	D _{per} (cm)	V ₂₀ (kg)	V ₂₂ (kg)	D ₂₀ (cm)	D ₂₂ (cm)
181	2.8	10677		130874	91709			2.7	2933		3919	4867		
182	3.8	14470	10.6	130874	91709			4.0	3988		3919	4868		
183	4.6	17757	8.7	130874	91709		4.3	4.7	4997		3919	4869		
184	5.1	7837		130874	91709			4.8	2119		3919	4870		
185	6.7	10643	18.5	130874	91709			6.6	2880		3919	4871		
186	8.2	13277	15.1	130874	91709			8.2	3592		3919	4872		
187	2.3	24042	5.1	130874	91709	1.9	1.7	2.4	6584	9.6	3919	4873		
188	3.2	34081	2.8	130874	91709	1.9	1.7	3.2	9109	7.3	3919	4874	2.5	
189	4.2	44171	2.8	130874	91709	1.9	1.7	4.0	11848	6.1	3919	4875	2.5	3.1
190	4.0	18153	9.9	130874	91709			4.0	4810	14.2	3919	4876		
191	5.6	25550	7.7	130874	91709	4.7	4.2	5.5	6842	10.9	3919	4877		
192	7.1	33169	6.8	130874	91709	4.7	4.2	6.9	8747	10.4	3919	4878	6.0	
193	1.7	42140	1.3	130874	91709	0.9	0.8	1.8	11593	3.2	3919	4879	1.2	1.4
194	2.4	60000	1.3	130874	91709	0.9	0.8	2.5	16370	2.9	3919	4880	1.2	1.4
195	3.2	79582	1.3	130874	91709	0.9	0.8	3.3	22352	3.3	3919	4881	1.2	1.4
196	3.4	32866	4.4	130874	91709	2.3	2.1	3.1	8596	8.6	3919	4882	2.7	
197	4.5	45807	3.4	130874	91709	2.3	2.1	4.4	12041	7.2	3919	4883	2.7	3.3
198	5.9	62706	3.4	130874	91709	2.3	2.1	5.6	16058	7.3	3919	4884	2.7	3.3
199	3.9	11926	13.5	177923	124810	3.1	2.9	3.5	3713		3919	4885		
200	4.9	16150	9.3	177923	124810	3.1	2.9	4.7	5043		3919	4886		
201	6.2	20455	8.1	177923	124810	3.1	2.9	6.2	6319	13.3	3919	4887		
202	6.5	8946		177923	124810			6.3	2636		3919	4888		
203	8.7	12086	19.0	177923	124810	7.0	6.6	8.3	3550		3919	4889		
204	11.0	15357	15.9	177923	124810	7.0	6.6	10.6	4501		3919	4890		
205	2.4	22103	4.5	177923	124810	1.2	1.1	2.5	6796	11.9	3919	4891		
206	3.5	31592	2.5	177923	124810	1.2	1.1	3.3	9371	8.7	3919	4892	2.5	3.1
207	4.2	40135	2.5	177923	124810	1.2	1.1	4.2	12097	7.5	3919	4893	2.5	3.1
208	4.2	17178	10.3	177923	124810	2.8	2.7	3.9	4904	17.5	3919	4894		
209	5.8	24110	5.9	177923	124810	2.8	2.7	5.7	6910	12.9	3919	4895		
210	7.3	30604	5.7	177923	124810	2.8	2.7	7.0	8799	11.6	3919	4896	6.0	
211	1.8	38000	1.1	177923	124810	0.6	0.6	2.0	11956	6.8	3919	4897	1.2	1.4
212	2.3	50001	1.1	177923	124810	0.6	0.6	2.8	16745	3.5	3919	4898	1.2	1.4
213	2.9	64109	1.1	177923	124810	0.6	0.6	3.4	21793	3.7	3919	4899	1.2	1.4
214	3.2	31004	2.7	177923	124810	1.4	1.3	3.2	8854	10.0	3919	4900	2.7	
215	4.6	44080	2.7	177923	124810	1.4	1.3	4.4	12285	8.2	3919	4901	2.7	3.2
216	5.8	56963	2.7	177923	124810	1.4	1.3	5.8	16288	8.0	3919	4902	2.7	3.2

ALTINCI BÖLÜM

ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş

Bu bölümde, elde edilen analiz sonuçları incelenmiş, yapının her iki doğrultudaki deprem davranışı ve kullanılan model parametrelerinin yapı davranışına etkisi değerlendirilmiştir. Her iki yönde bina performans seviyeleri kolon tepesi deplasmanına bağlı olarak belirlenmiş ve modeller belirlenen performans seviyelerine göre gruplandırılmıştır. AY98 ve Kapasite Spektrumu Yöntemi sonuçları hem göreceli ötelenmeler açısından hem de birleşime gelen yükler açısından karşılaştırılmıştır. Performans noktasının hesabı için basitleştirilmiş istatistiksel bir bağıntı önerilmiştir.

6.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar

Performansa dayalı tasarım yönteminde performans seviyeleri, deplasman sınırları ile belirlenmiş hasar durumlarına bağlı olarak tanımlanmakta idi. Prefabrik yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi için analizlerden elde edilen performans noktalarına ait deplasmanlar ATC-40 Bölüm 11’de verilen global bina deplasman limitleri (Çizelge 4.1) ile karşılaştırılmıştır. Bina performans seviyelerinin belirlenmesi için sadece bina global deplasman limitleri kullanılmıştır. Her bir model için performans seviyesi belirlenmiş ve modeller performans seviyelerine göre gruplandırılmıştır.

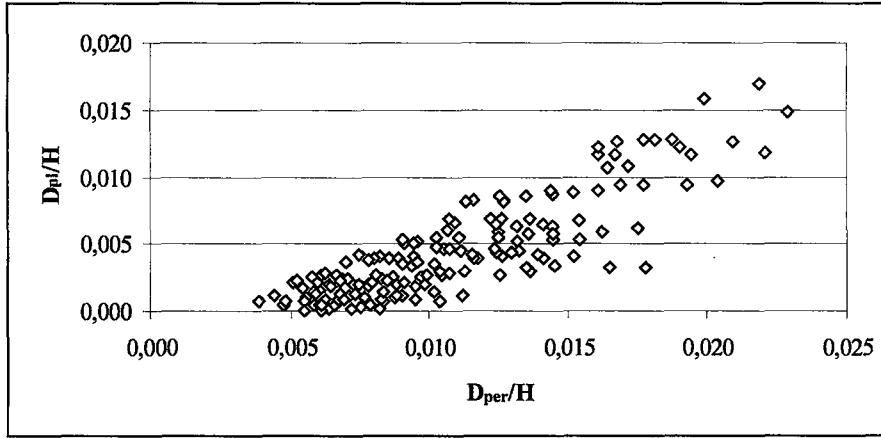
Birinci derece deprem bölgelerinde, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerde yapılan analiz sonucu elde edilen bina performans seviyeleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Z2 sınıfı zeminlerde üç boyutlu ve iki boyutlu modellerde performans seviyeleri

[illegible]

Çizelge 6.2: Z3 sınıfı zeminlerde üç boyutlu ve iki boyutlu modellerde performans seviyeleri

Zemin Sınıfı: Z3		Model Sayısı	BS (MPa)		L (m)			H (m)			B (mm)			ρ _s		
			20	30	12	16	20	6	8	350	450	550	0.010	0.015	0.020	
3 Boyutlu Modeller (X Yönü)	Maksimum Ötelenme	Hemen Kullanım	60	28	32	18	21	21	35	25	0	24	36	17	20	23
		Kontrollü Hasar	29	15	14	13	8	8	12	17	18	11	0	6	11	12
		Can Güvenliği	5	1	4	1	1	3	2	3	5	0	0	2	2	1
		Göçenler	14	10	4	4	6	4	5	9	13	1	0	11	3	0
	Plastik Ötelenme	Hemen Kullanım	64	31	33	19	21	24	35	29	2	26	36	15	23	26
		Kontrollü Hasar	28	13	15	12	9	7	12	16	19	9	0	8	10	10
İki Boyutlu Modeller (Y Yönü)	Maksimum Ötelenme	Can Güvenliği	2	0	2	1	0	1	2	0	2	0	0	2	0	0
		Hemen Kullanım	29	14	15	14	10	5	18	11	0	2	27	6	10	13
		Kontrollü Hasar	35	15	20	7	14	14	15	20	3	23	9	11	10	14
		Can Güvenliği	4	1	3	2	0	2	1	3	3	1	0	1	1	2
	Plastik Ötelenme	Göçenler	40	24	16	13	12	15	20	20	30	10	0	18	15	7
		Hemen Kullanım	36	18	18	14	14	8	20	16	0	8	28	4	12	20
	Kontrollü Hasar	30	12	18	18	9	10	11	13	17	6	16	8	12	9	9
	Can Güvenliği	2	0	2	0	0	2	1	1	0	2	0	2	0	0	0



Şekil 6.1: Maksimum ve plastik ötelenme limitlerinin ilişkisi (Y Yönü)

Şekil 6.1’de Y yönünde yapılan analiz sonuçlarına göre göçmeyen modeller için elde edilen maksimum ötelenme (D_{per}/H) ve plastik ötelenme (D_{pl}/H) değerlerinin dağılımı görülmektedir. Genel olarak bu iki değer arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Buna ilave olarak şekilde, ATC-40’ta yatay ötelenme limiti olarak verilen bu iki kriterden (Çizelge 4.1) maksimum ötelenme kriterinin daha kritik olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle hemen kullanım performans seviyesi açısından bakıldığında, maksimum ötelenme sınırını aşmayan (0.010) yapılardan sadece dört tanesi plastik ötelenme sınırını (0.005) aşmıştır. Oysa plastik öteleme sınırını aşmayan fakat maksimum ötelenme sınırını aşan pek çok yapı vardır. Genel olarak bina performans seviyelerinin tespiti için bu iki sınırın da kullanılması gerekmektedir. Ancak bu çalışmada yatay ötelenme kriterlerine bağlı olarak binaların performans seviyelerine göre sınıflandırılmasında daha kritik olan maksimum ötelenme sınırı kullanılmıştır.

Kullanılan parametrelerden beton sınıfı, bina yüksekliği ve makas uzunluğu parametrelerinin performans noktaları üzerindeki etkisi gerek Çizelge 5.7’den gerekse Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de incelenebilir.

Beklendiği gibi beton kalitesinin artması binanın performansını olumlu olarak etkilemekte, deprem talebine bina daha düşük deplasman ile karşılık verebilmektedir. Diğer parametrelerin sabit tutulması halinde beton kalitesinin artması performans noktasının deplasman bileşeninin azalmasını sağlamaktadır. Ancak bu etki diğer parametrelerin etkisinin yanında çok küçük kalmaktadır.

Bina yüksekliğinin artması ise kolon rijitliğinin dolayısıyla bina yanal rijitliğinin azalmasına sebep olmakta ve performans noktasının deplasman bileşeni artmaktadır. Analizlerde kullanılan modellerde eksenel yük seviyesinin düşük olmasından dolayı (hiçbir modelde $0.1 \cdot A_c \cdot f_{ck}$ değeri aşılmamıştır. A_c : Kolon kesit alanı, f_{ck} : beton karakteristik basınç dayanımı) düşey taşıyıcı elemanlarda eğilme davranışının hakim olması beklenmektedir.

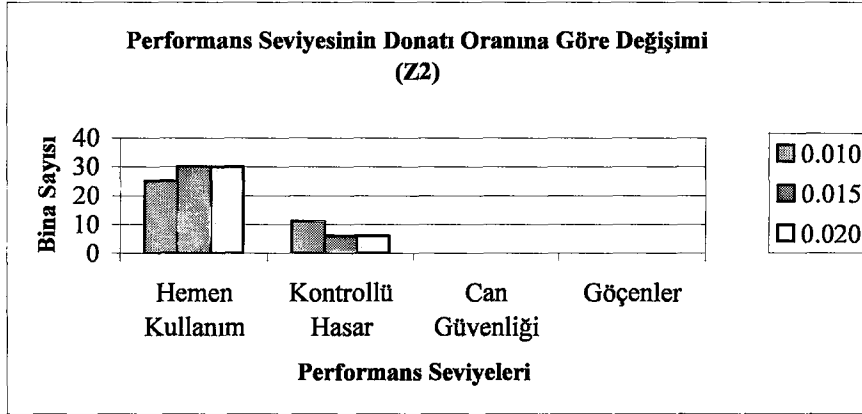
Çatı makası uzunluğunun artması bina ağırlığının dolaylı olarak artmasına, kolon eksenel yüklerinin büyümesine sebep olmaktadır. Ayrıca özellikle çatı makasına dik deprem davranışı üzerinde makas uzunluğunun çok büyük etkisi vardır. Makasın yanal ötelenmesi hem yapının periyodunu etkilemekte, hem de makasın devrilme riskini arttırmaktadır.

Zemin sınıfının Z2'den Z3'e değişmesi depremin deplasman talebini arttırmakta, her iki yönde de performans noktasının deplasman bileşeninin artmasına sebep olmaktadır.

Kolon boyutları ve kolon boyuna donatısının artması da yapının yanal rijitliğinin ve kesme kuvveti kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır. Bu ise deprem performansının artmasına, performans noktasının deplasman bileşeninin azalmasına sebep olmaktadır.

6.2.1 Üç Boyutlu Modeller İçin Elde Edilen Sonuçlar

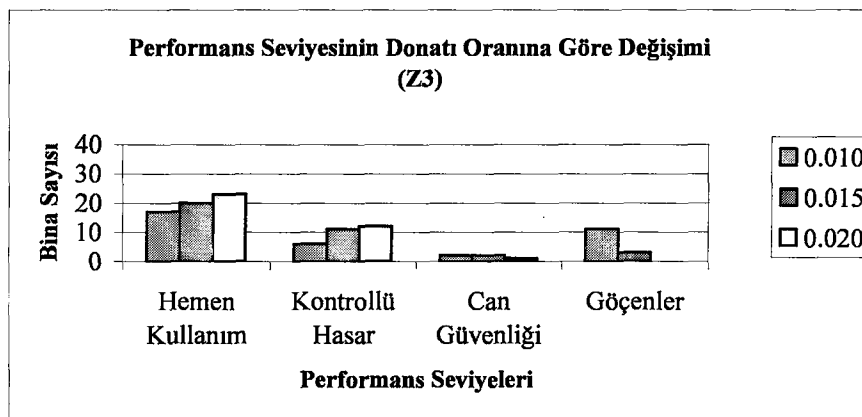
Üç boyutlu modeller üzerinde çatı makası düzlemine dik doğrultuda yapılan analiz sonuçları iki kısımda incelenmiştir: performans noktalarına bağlı yapı performans seviyeleri ve çatı makasının devrilmesi. Performans seviyelerine göre binaların sınıflandırılmasında, parametrelerin davranış üzerindeki etkisini inceleyebilmek için sadece toplam görelî ötelenme kriteri kullanılmıştır.



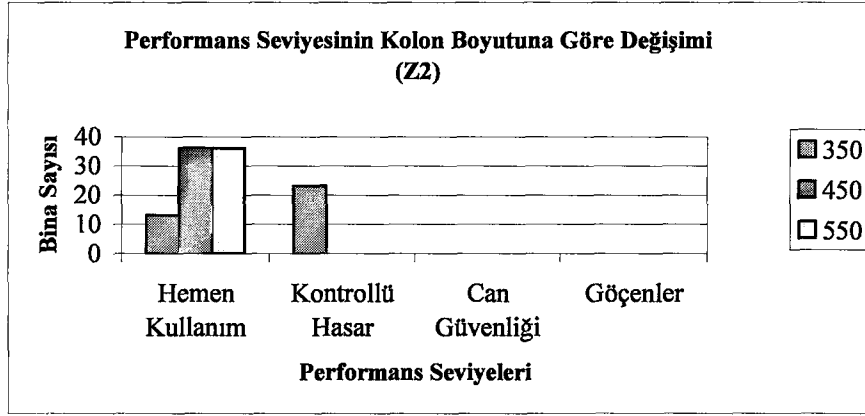
Şekil 6.2: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (X-Z2)

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te yapıların performansları üzerinde donatı oranının etkisi görülmektedir. Z2 zemin sınıfı için hiçbir modelde can güvenliği sınırı aşılmamıştır. Hemen kullanım performans seviyesine sahip modeller içerisinde %1.5 ve %2 donatı oranına sahip daha fazla model vardır.

Z3 için %1 donatı oranına sahip 36 modelden 13'ünde can güvenliği sınırı aşılmışken, %2 donatı oranına modeller içerisinde bu sayı 1'dir. Ayrıca göçen modeller içerisinde donatı oranı %2 olan yoktur. Donatı oranının artması performansı olumlu olarak etkilemektedir.

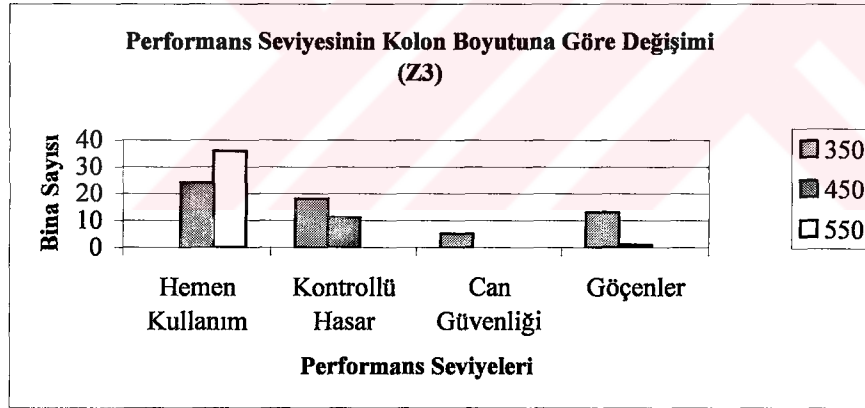


Şekil 6.3: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (X-Z3)



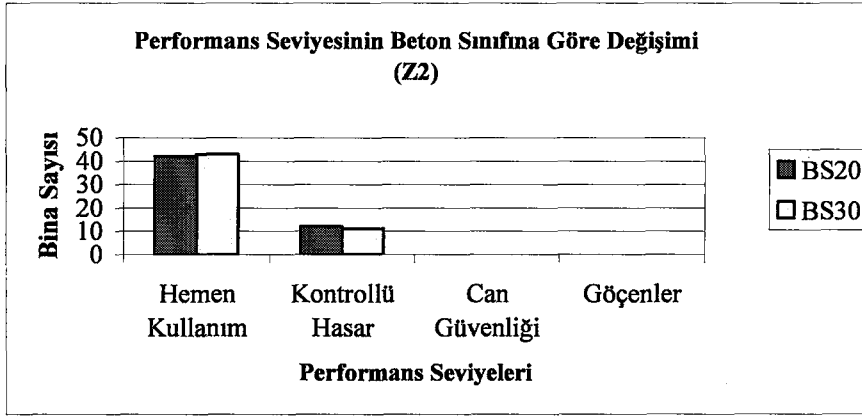
Şekil 6.4: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (X-Z2)

Z2 sınıfı zeminlerde 450mm ve 550mm boyutunda kolona sahip toplam 72 binanın tamamı hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır (Şekil 6.4). 350mm kolon boyuna sahip 36 modelden hemen kullanım performans seviyesine sahip model sayısı 13 iken kalan 23 model kontrollü hasar bölgesindedir.



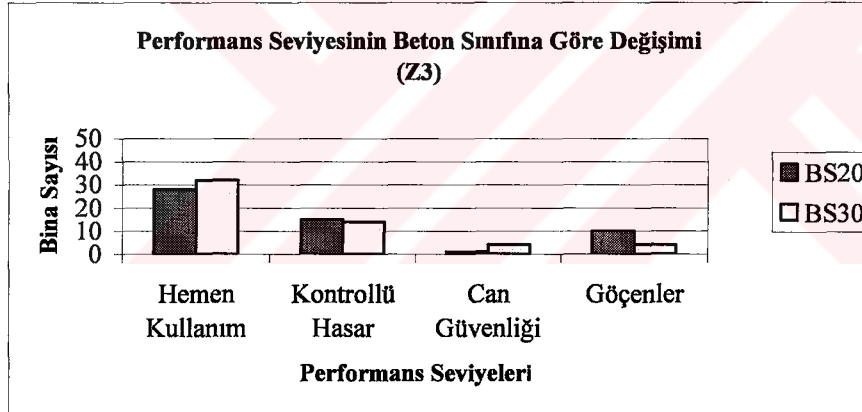
Şekil 6.5: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (X-Z3)

Z3 sınıfı zeminlerde kolon boyutunun performansa etkisi daha net olarak görülmektedir. 550mm boyutunda kolona sahip modellerin tamamı hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. 350mm boyutunda kolona sahip binalarda ise hemen kullanım performans seviyesini sağlayan yoktur (Şekil 6.5). Binanın yanal ötelenme rijitliği üzerinde çok etkili olan kolon boyutunun performansa etkisi çok açık olarak görülmektedir.



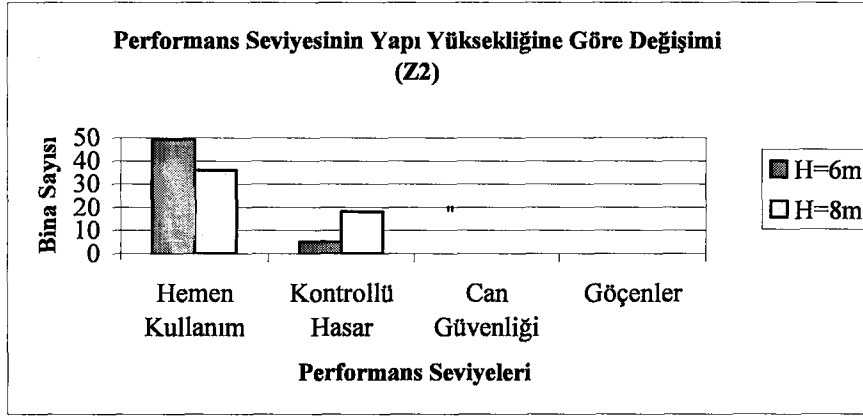
Şekil 6.6: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (X-Z2)

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de performans seviyelerinin beton sınıfına göre dağılımı görülmektedir. Çok belirgin olmamakla beraber, beton kalitesindeki artışın, performansa olumlu yansıdığı görülmektedir.



Şekil 6.7: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (X-Z3)

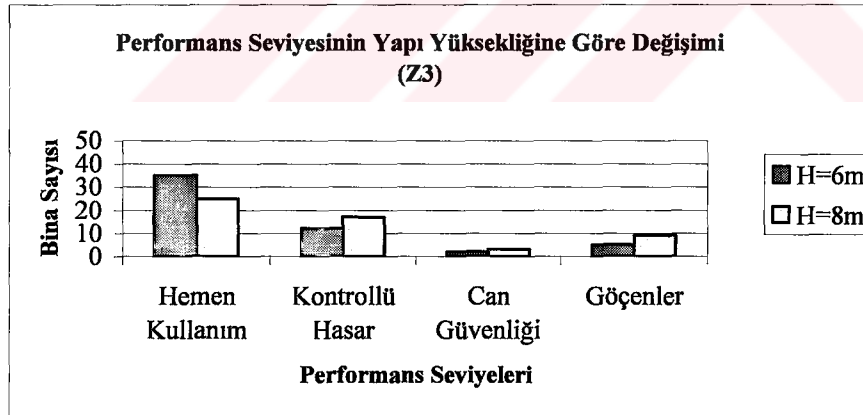
Z3 sınıfı zeminler için 108 binadan can güvenliği sınırını aşan bina sayısı 19’dur ve bunların 11’inde beton sınıfı BS20’dir.



Şekil 6.8: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (X-Z2)

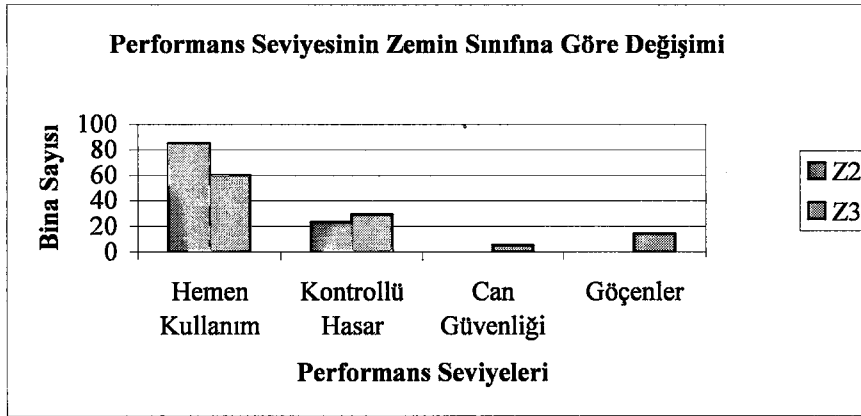
Z2 sınıfı zeminlerde, hemen kullanım performans seviyesini sağlayan modeller içerisinde yüksekliği 6m olanlar daha fazladır. (Şekil 6.8).

Şekil 6.9'da görülebileceği gibi Z3 sınıfı zeminlerdeki modellerde hemen kullanım performans seviyesini aşan 60 binadan 25'unun yüksekliği 8m, 35'inin yüksekliği 6m'dir. Can güvenliği sınırını aşanlar içerisinde bu sayılar sırası ile 12 ve 7'dir



Şekil 6.9: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (X-Z3)

Zemin sınıfının davranışa olan etkisi Şekil 6.10'da görülmektedir. Toplam 108 modelden hemen kullanım performans seviyesine sahip bina sayısı Z2 için 85, Z3 için 60 iken, can güvenliği sınırını aşan bina sayısı Z3 için 19'dur. Z2 sınıfı zemin için can güvenliği sınırını aşan model yoktur.



Şekil 6.10: X yönünde yapı performansının zemin sınıfına göre değişimi

Genel hatları ile bina performansı üzerinde model parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Üç boyutlu modellerde ayrıca çatı makaslarının düzlemlerine dik doğrultudaki depremlerde devrilmesine ilişkin sonuçlar da alınmıştır.

Analiz sonuçlarına göre kenar makaslarda oluşan devrilme momenti (burulma momenti) orta makaslarda oluşan devrilme momentinden daha büyüktür. Ancak Çizelge 5.6'da verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere, orta makas ağırlığı da kenar makas ağırlığından daha büyüktür. Bu durum orta makasta ağırlık sebebiyle ortaya çıkan ve devrilmeye karşı koyan momentin büyümesine, kenar makasların devrilme açısından daha kritik sonuçlar vermesine sebep olmaktadır. Hem kenar hem de orta makasın devrilebileceği deplasman tahminleri Çizelge 5.6'da verilmiştir ve ilk önce devrilecek makasın deplasmanı (kenar makas) sınır durum için ele alınmıştır.

İlginçtir ki, kolon alt ucunda plastik mafsallaşma açısından avantajlı olarak görülen büyük kolon boyutlarına ve donatı oranına sahip modeller, çatı devrilmesi açısından dezavantajlı olmaktadır. Çünkü kolon kapasitelerine bağlı olarak kesme kuvveti artmakta, bu da burulma momentinin artmasına sebep olmaktadır. Aslında birleşim bölgelerinin güvenli olarak teşkili ile bu dezavantaj ortadan kaldırılabilmektedir.

Kolonlar açısından bakıldığında göçmeyeceği öngörülen modeller içerisinde, Z2 sınıfı zeminler için 71, Z3 sınıfı zeminler için 69 modelde makasların devrileceği sonucu elde edilmiştir.

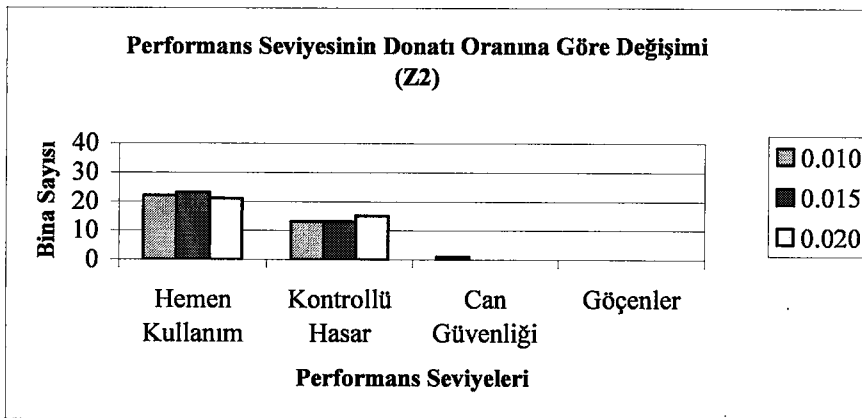
Z2 sınıfı zeminler için makasın devrileceği öngörülen modellerin 13'ünde $L=12m$, 24'ünde $L=16m$ ve 34'ünde ise $L=20m$ 'dir. $L=12m$ olan modeller arasında $B=350mm$ olan model yoktur, $L=16m$ olanlar içerisinde ise $B=350mm$ olan 2 model vardır.

Z3 sınıfı zeminler için makasın devrileceği öngörülen modellerin 13'ünde $L=12m$, 24'ünde $L=16m$ ve 32'ünde ise $L=20m$ 'dir. Yine devrileceği öngörülen modellerin 10'unda $B=350mm$, 25'inde $B=450mm$ ve 34'ünde $B=550mm$ 'dir.

Yukarıda verilen değerler, kolon kapasitesinin artması ile yanal ötelenme ve performans noktası açısından rahatlayan modellerin daha fazla makas devrilme riski (önlem alınmamış ya da uygun detaylandırılmamış birleşimler için) ile karşılaştığını göstermektedir.

6.2.2 İki Boyutlu Modeller İçin Elde Edilen Sonuçlar

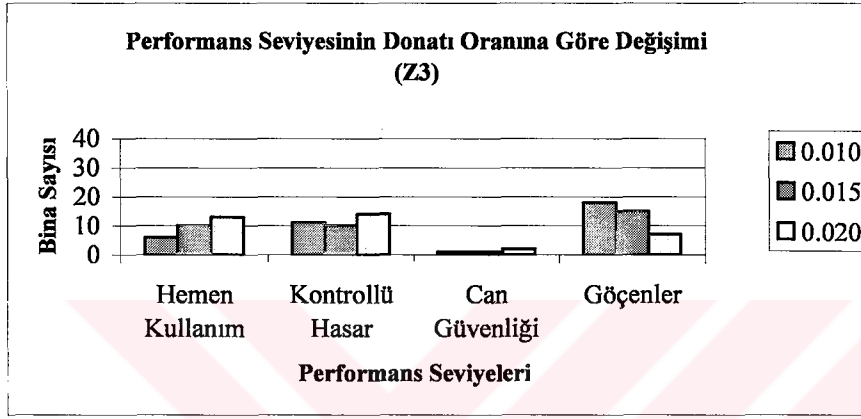
İki boyutlu modeller üzerinde çatı makası düzlemi doğrultusunda yapılan analiz sonuçları, performans noktalarına bağlı yapı performans seviyeleri ve bağlantı çubuğunun kayma emniyet gerilmesinin aşılması olmak üzere iki başlıkta incelenecektir.



Şekil 6.11: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (Y-Z2)

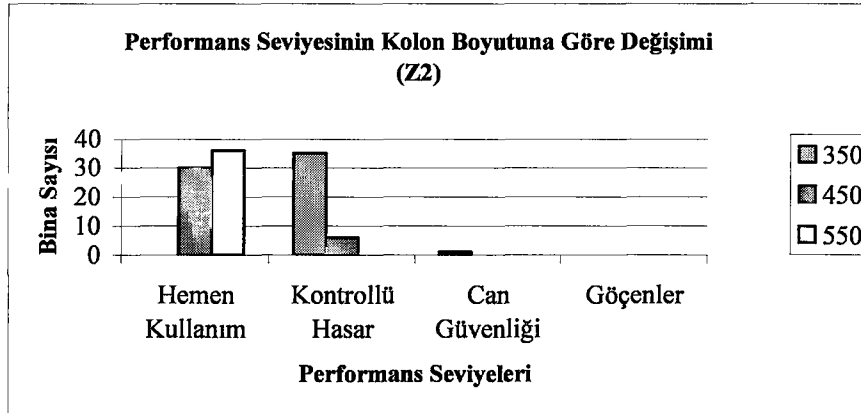
Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de incelenen yapıların performansları üzerinde donatı oranının etkisi görülmektedir. Z2 zemin sınıfı için can güvenliği sınırının aşıldığı tek model %1 donatı oranına sahip modeldir.

Z3 sınıfı zeminlerde ise toplam 108 modelden can güvenliği sınırını aşanların sayısı %1 donatı oranına sahip binalarda 19, %2 donatı oranına sahip binalarda 9’dur.



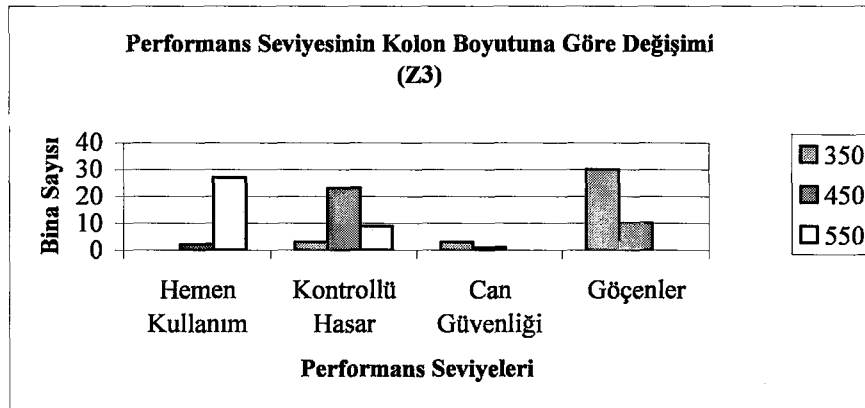
Şekil 6.12: Yapı performansının donatı oranına göre değişimi (Y-Z3)

Z2 sınıfı zeminlerde 550mm boyutunda kolona sahip toplam 36 binanın tamamı hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır (Şekil 6.13). 350mm kolon boyuna sahip binaların ise hiçbirisi aynı performans seviyesini sağlamamaktadır.



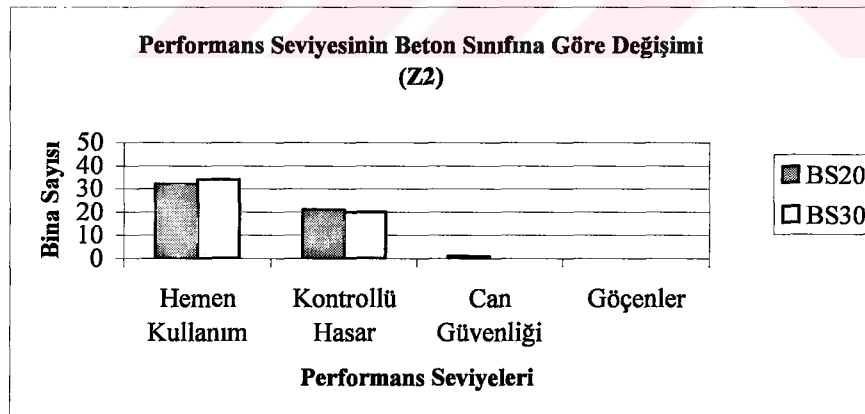
Şekil 6.13: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (Y-Z2)

Z3 sınıfı zeminlerde de kolon boyutunun performansa etkisi net olarak görülmektedir. 550mm boyutunda kolona sahip modeller can güvenliği sınırını aşmamaktadır. 350mm boyutunda kolona sahip modellerde ise hemen kullanım performans seviyesini hiçbir model sağlamamaktadır ve bu modellerin 30'u göçmüştür (Şekil 6.14).



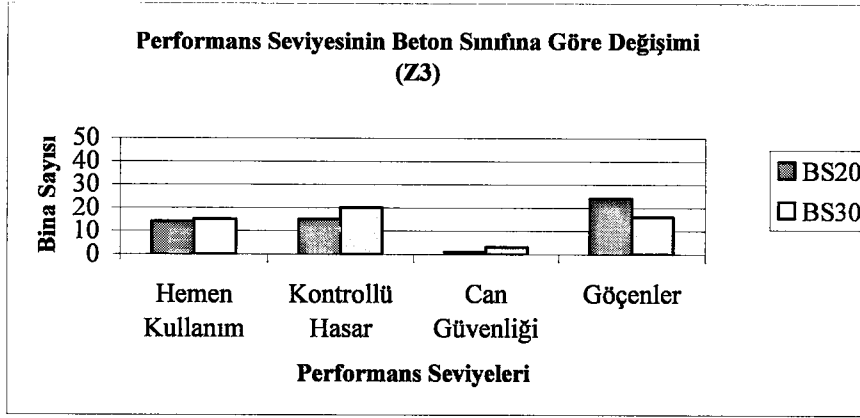
Şekil 6.14: Yapı performansının kolon boyutuna göre değişimi (Y-Z3)

Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'de performans seviyelerinin beton sınıfına göre dağılımı görülmektedir. Beton kalitesinin artışı performansa olumlu olarak etkimektedir.



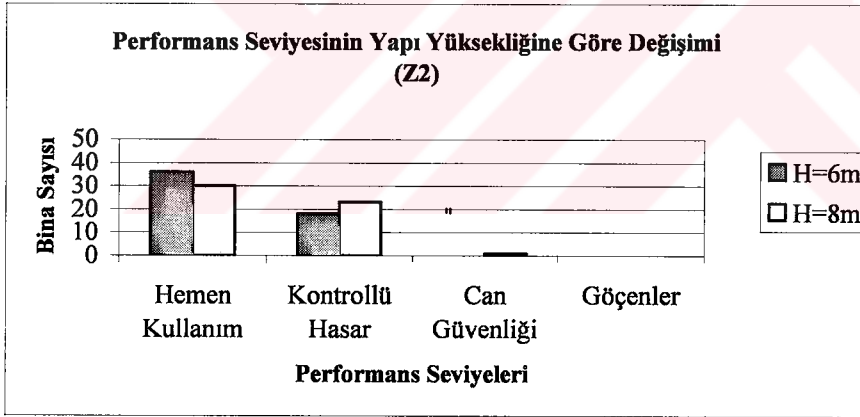
Şekil 6.15: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (Y-Z2)

Z2 sınıfı zeminlerde hemen kullanım seviyesini sağlayan model sayısı BS20 ve BS30 için sırasıyla 32 ve 34'tür. Göçen tek modelin beton sınıfı BS20'dir. Z3 sınıfı zeminlerde göçen 40 modelden 24'ünün beton sınıfı BS20'dir.



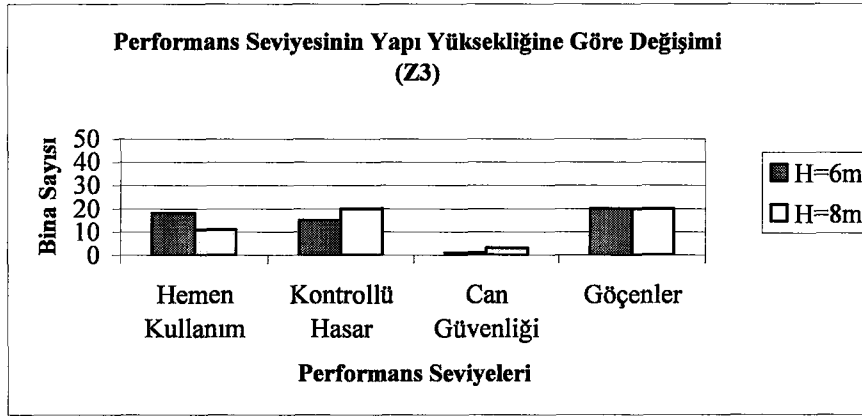
Şekil 6.16: Yapı performansının beton sınıfına göre değişimi (Y-Z3)

Z2 sınıfı zeminlerde yer alan modellerden can güvenliği sınırını aşan bir binanın yüksekliği 8m'dir. Ayrıca H=6m olan binalarda hemen kullanım performans seviyesine sahip bina sayısının H=8m olan binalara göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 6.17).



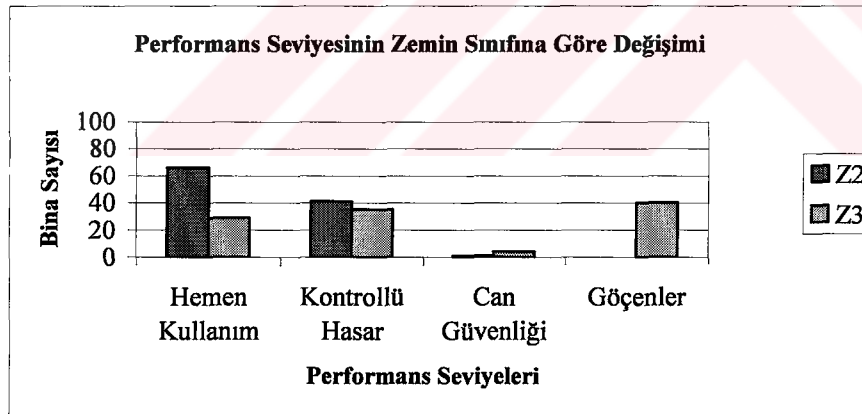
Şekil 6.17: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (Y-Z2)

Şekil 6.18'de görülebileceği gibi Z3 sınıfı zeminlerde göçen toplam 40 binanın yapı yüksekliğine göre eşit dağılmıştır. Kontrollü hasar sınırını aşmayan 64 modelin 33'ünde yapı yüksekliği 6m'dir. Yine hemen kullanım performans seviyesini sağlayan 29 modelin 18'inin yapı yüksekliği 6m'dir.



Şekil 6.18: Yapı performansının yüksekliğe göre değişimi (Y-Z3)

Diğer parametrelerin davranışa etkisi incelenirken dolaylı olarak zemin sınıfının da etkisi görülmüştür. Çizelge 6.18’de ise bu etki daha net olarak görülebilmektedir. Z2 sınıfı zeminlerde göçen yapı yok iken, Z3 sınıfı zeminlerde 40 yapı göçmektedir. Bu rakam analizi yapılan 108 binanın %37’sini oluşturmaktadır. Buna karşılık Z2 sınıfı zeminlerde toplam 107 yapı, can güvenliği sınırını dahi aşmamıştır.



Şekil 6.19: Y yönünde yapı performansının zemin sınıfına göre değişimi

İki boyutlu modellerde ayrıca çatı makaslarının düzlemindeki depremlerde bağlantı çubuğunun kesilmesi ihtimali de incelenmiştir.

Bağlantıların tek pimli olarak yapılması durumunda, iki farklı donatı çapı için (20mm ve 22mm) bağlantı çubuklarında kayma emniyet gerilmesinin aşıp aşılmadığı kontrol edilmiştir. Analiz neticesinde modellerin büyük çoğunluğunda kayma emniyet

gerilmesinin aşıldığı gözlenmiştir (Çizelge 5.9). Çatı makasının devrilmesine sebep olan durum burada da kendisini göstermektedir. Kolon kapasitesinin artması ile kolonlara gelen kesme kuvvetleri artmakta bu da birleşim bölgesinde bağlantı çubuğunun emniyetle taşıyabileceği kesme kuvvetinin aşılmasına sebep olmaktadır.

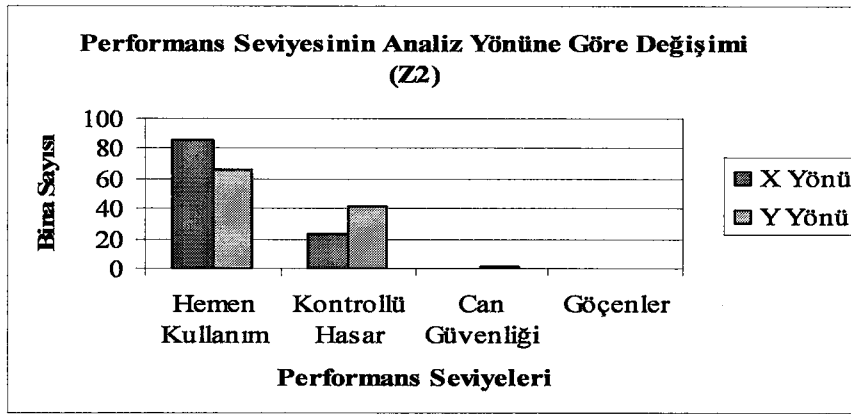
Donatı çapı 20mm olduğunda 51 modelde Z2, 50 modelde ise Z3 sınıfı zeminlerde yapılan analizlerde kayma emniyet gerilmesi aşılmaktadır. Yine modellerin tamamında bina akma deplasmanı aşılmadan önce bağlantı çubuklarının kayma emniyet gerilmesi aşılmaktadır. Beklenen bir sonuç olarak kayma güvenliğinin aşıldığı modeller içerisinde kolon boyutu 350mm olan yoktur.

Donatı çapı 22mm olduğunda bile kayma emniyet gerilmesinin aşıldığı model sayısı Z2 için 38, Z3 için 37'dir. Bu modeller içerisinde B=350mm olan model yok iken, B=450mm olan model sayısı ise Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için sırası ile 8 ve 7'dir. Bina yüksekliği açısından bakıldığında her iki zemin sınıfı için H=8m olan 12 model vardır. 8m'lik modellerin tamamı kolon boyutlarının 550mm olduğu modellerdir ve aralarında donatı oranının %1 olduğu model yoktur. Bütün bu veriler kapasite artışının birleşim bölgesi üzerindeki olumsuz etkisini açık olarak ortaya koymaktadır.

6.2.3 İki ve Üç Boyutlu Modellerden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

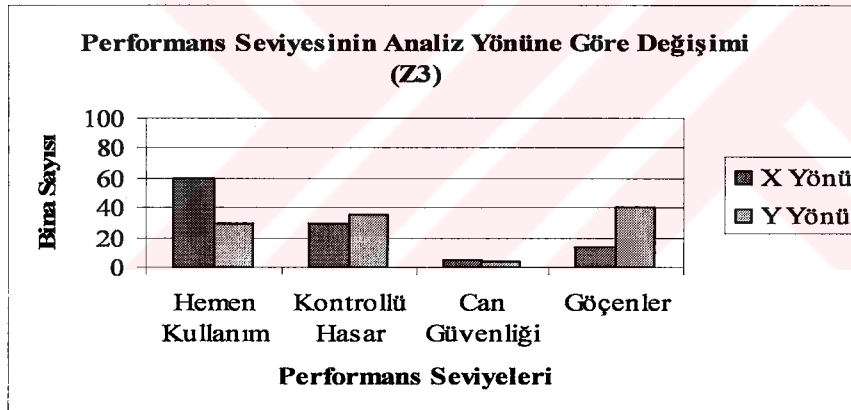
Analiz sonuçları incelendiğinde net olarak görülen sonuçlardan bir tanesi de yapıların y yönünde daha fazla zorlanmasıdır. Tüm modellerde y yönündeki analiz için elde edilen performans noktasının deplasman bileşeni, x yönünde elde edilenden daha büyüktür.

Şekil 6.20'da görüldüğü gibi Z2 sınıfı zemin için analiz yapılan 108 modelden x yönünde hemen kullanım seviyesini sağlayan model sayısı 85 iken y yönünde bu sayı 66'ya düşmektedir.



Şekil 6.20: Yapı performansının analiz yönüne göre değişimi (Z2)

Z3 sınıfı zeminler için ise hemen kullanım performans seviyesini sağlayan model sayısı x yönünde 60, y yönünde ise 29'dur. Buna karşılık can güvenliği sınırını aşan bina sayısı x yönünde 19, y yönünde 44'tür (Şekil 6.21).



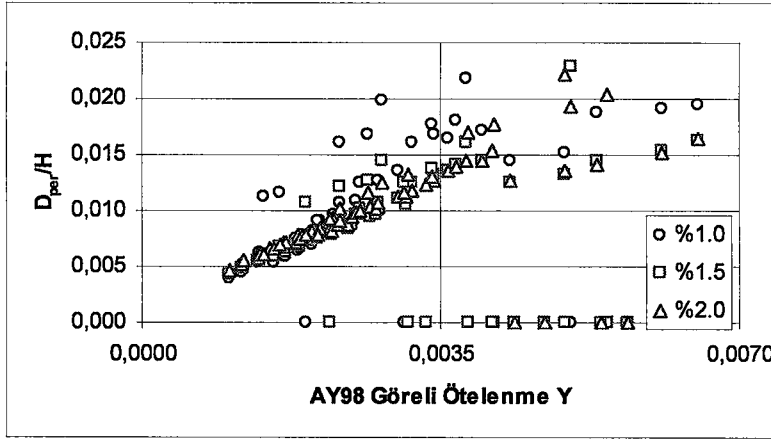
Şekil 6.21: Yapı performansının analiz yönüne göre değişimi (Z3)

6.3 AY98 ve Kapasite Spektrumu Yöntemi

6.3.1 AY98'in Göreli Ötelenme Sınırı ve Yapı Performansı Seviyesi

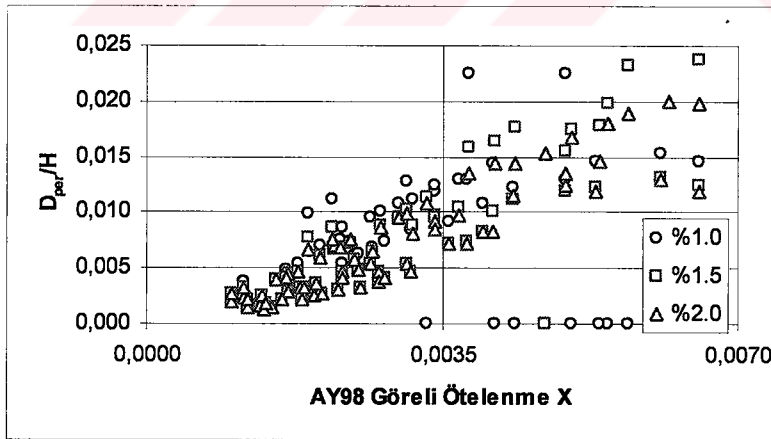
Bilindiği gibi AY98'de tasarım depreminde binada can kaybını önlemek amacı ile kısmi ya da tümünden göçmenin önlenmesi koşulu yer almaktadır. Bunun için öne sürülen en önemli koşul ise göreli kat ötelenmesi sınırındır. Prefabrik yapılar için bu sınır 0.0035

etkidiğinde görelî kat ötelenmesi 0.0035 değerini aşmamalıdır. AY98'e göre elde edilen görelî ötelenme değeri ile bina performans seviyeleri arasındaki ilişki nasıldır?



Şekil 6.22: AY98 ve KSY görelî ötelenmeleri (2 boyutlu modeller)

AY98'in görelî kat ötelenmesi sınırı ile lineer ötesi analiz sonucunda elde edilen maksimum yatay ötelenme seviyeleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te iki ve üç boyutlu modeller üzerinde AY98'e göre yapılan hesap sonucu elde edilen görelî ötelenme ile lineer ötesi analizle elde edilen maksimum ötelenme ilişkisi görülmektedir.



Şekil 6.23: AY98 ve KSY görelî ötelenmeleri (3 boyutlu modeller)

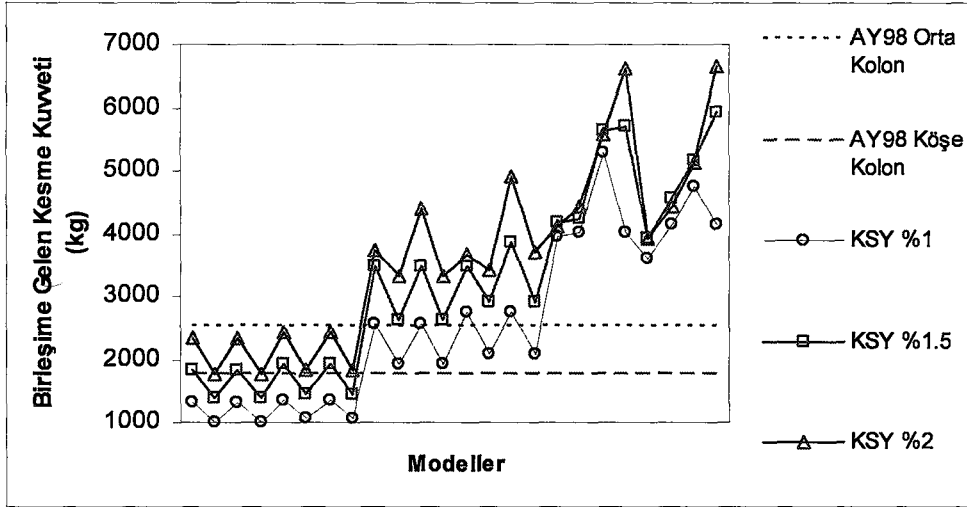
AY98'in görelî ötelenme sınırını sağlayan modellerin KSY ile yapılan analizi sonucunda, maksimum ötelenmenin X yönü için 0.015'i geçmediği, Y yönü için ise 0.020 değerini (can güvenliği sınırı) sadece bir modelde geçtiği görülmektedir.

AY98’de görelî kat ötelenmesi hesabında donatı oranı dikkate alınmamaktadır. Kapasite Spektrumu Yöntemi’nde ise donatı oranı performans noktası üzerinde etkilidir. Bu yüzden grafiklerde donatı oranları da özellikle belirtilmiştir. Bu grafiklerde D_{per}/H değerinin “sıfır” olduğu modeller göçen modelleri göstermektedir.

Yapılan 432 analiz sonucunda X yönünde AY98 sınırının sağlandığı modellerden 1’inin, Y yönünde AY98 sınırının sağlandığı modellerden 6’sının göçtüğü belirlenmiştir. Bunun sebeplerinden birisi modellerde kullanılan etriye aralığının 200mm olması olabilir. Çalışmada etriye aralığının AY98 koşuluna uygun olduğu modeller olmadığından bu konuda kesin bir şey söylemek yanlış olur ancak etriye aralığının azaltılması yapısal elemanların sünekliğini arttıracığından bazı modeller göçmeyebilirdi. Yine de ekonomik önemleri düşünüldüğünde prefabrik tek katlı yapılar için görelî ötelenme sınırının daha aşağıya çekilmesi ve dolaylı yoldan yanall ötelenme rijitliğinin biraz daha artırılması önerilebilir.

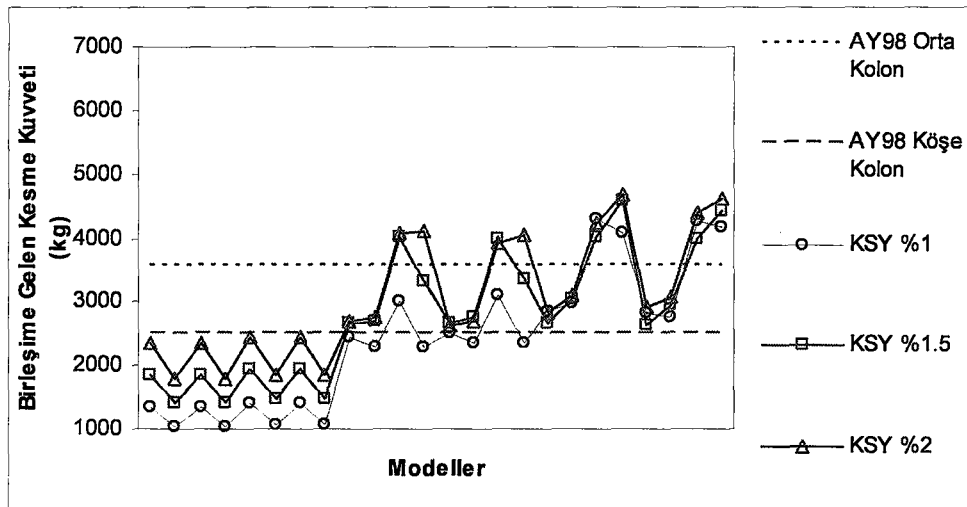
6.3.2 Birleşimin Kesme Güvenliği (AY98 ve KSY)

AY98’e göre birleşim bölgelerine gelecek arttırılmış kesme kuvveti (V_{bt}) makasın toplam ağırlığı dışında, modellerde kullanılan diğer parametrelerden etkilenmemektedir. Bu sebeple orta ve kenar makaslar ile kolonların birleşim bölgelerine gelecek kesme kuvveti, makas uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). KSY ile hesaplanan kesme kuvveti ise özellikle kolon boyutu ve kolon boyuna donatı oranından etkilenmektedir (kolon kapasitesine bağlı olarak artmaktadır). Bu sebeple KSY sonuçlarının kolon boyutu ve donatı oranına bağlı olarak değişimi (orta kolonlar için) ile AY98 ile orta ve köşe kolonların makaslarla birleşim bölgelerinde elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26’de sunulmuştur.



Şekil 6.24: Birleşime gelen kesme kuvvetleri (L=12m)

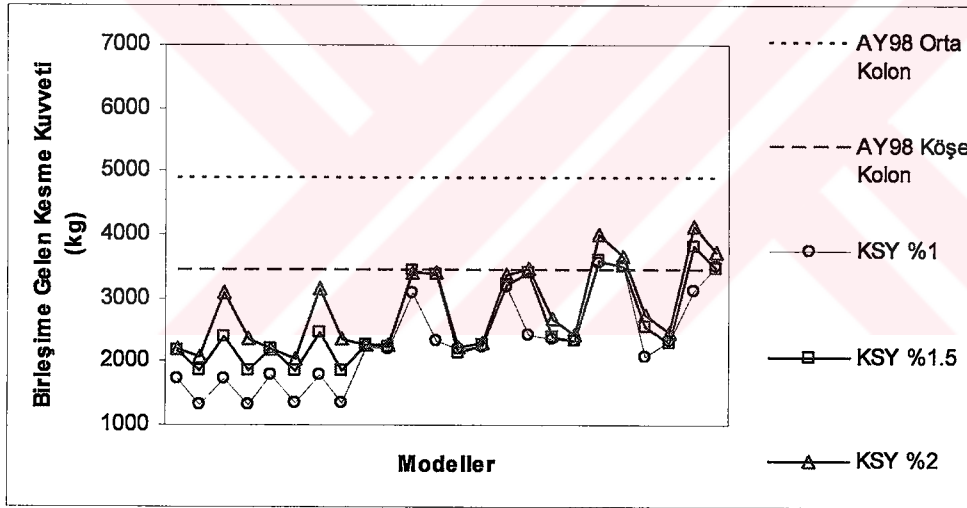
L=12m makas uzunluğuna sahip modeller için AY98'e göre birleşime gelecek olan kesme kuvvetleri orta ve kenar makaslarda sırasıyla 2520kg ve 1753kg olarak hesaplanmıştır. KSY ile elde edilen sonuçlar ise birleşime gelen kesme kuvvetinin kolon kapasitesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. KSY sonuçlarındaki sıçramalar kolon boyutundaki değişimi ifade etmektedir, soldan sağa doğru gidildikçe kolon boyutları 350mm, 450mm ve 550mm olmaktadır ve birleşime gelen kesme kuvvetleri artmaktadır (Şekil 6.24). 450mm ve 550mm kolon boyutuna sahip modellerde %1 donatı oranı için bile AY98'in öngördüğü kesme kuvveti değerleri aşılmaktadır.



Şekil 6.25: Birleşime gelen kesme kuvvetleri (L=16m)

Şekil 6.25’de görüldüğü gibi makas uzunluğunun 16m’ye çıkması yani makas ağırlığının artması AY98 ile hesaplanan kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur (orta kolonda 3590kg, köşe kolonda 2515kg). 350mm kolon boyutuna sahip modellerde donatı oranı %2 olsa bile, KSY ile hesaplanan kesme kuvvetinin AY98’in kenar makasların birleşim bölgeleri için öngördüğü değerden de (kenar makas ağırlığı daha az, AY98’in öngördüğü birleşim kesme kuvveti kenar makaslar için daha düşük) küçük çıkması göze çarpmaktadır.

Şekil 6.26’de ise AY98’e göre hesaplanan kesme kuvvetlerinin $L=20$ olmasından dolayı iyice arttığı (orta kolonda 4880kg, köşe kolonda 3423kg) görülmektedir. Hiçbir modelde AY98’in orta kolonlar için öngördüğü hesap kesme kuvveti aşılamamış, sadece birkaç model için köşe makaslara geleceği öngörülen değer aşılmıştır.



Şekil 6.26: Birleşime gelen kesme kuvvetleri ($L=20m$)

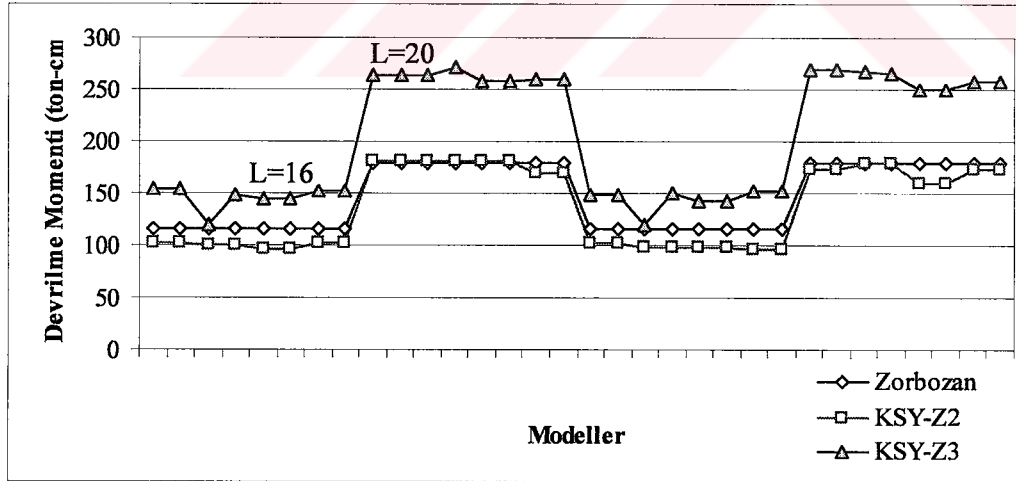
Bu çalışmada boyuna donatı oranı %1, %1.5 ve %2 olarak değişiklik göstermektedir. Piyasada yapılan tasarımlarda tek katlı prefabrik yapılar için, seçilen kolon boyutlarına bağlı olarak boyuna donatı oranının nadiren %1.5’i geçtiği bilinmektedir. Kolon kapasitesi ise kolon boyutuna bağlı olarak artmakta, bunun birleşime gelen kesme kuvveti üzerindeki etkisi ise şekillerden net olarak görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sadece makas ağırlığını göz önüne alarak yapılan hesaplama yöntemlerinin yeterli olmadığı, birleşime gelen yükün hesabında kolon kapasitelerinin de dikkate alınması gerekliliği açıkça görülmektedir.

6.3.3 Makasın Devrilmesi

Zorbozan ve dig. (1998) tarafından önerilen devrilme tahkiki yöntemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmişti. Bu çizelgede M_{dev} , bahsedilen yöntemle elde edilen makas devrilme momentini göstermektedir. KSY ile elde edilen sonuçlar kenar makasların orta makaslardan önce devrileceğini göstermiştir (Çizelge 5.9). Bu yüzden karşılaştırma için kenar makaslar kullanılacaktır.

KSY'ne göre de diğer parametrelere bağlı olmakla beraber özellikle makas uzunluğu ve zemin sınıfı (dolayısıyla performans noktası) devrilme momenti üzerinde büyük etki yapmaktadır. KSY ve Zorbozan tarafından önerilen yöntemle elde edilen devrilme momenti arasındaki ilişki Şekil 6.27'de verilmiştir. Şekilde B=450mm ve B=550mm ile L=16m ve L=20m olan modeller kullanılmıştır.



Şekil 6.27: Makas devrilme momentleri

L=16m için, KSY'ne göre performans noktasına karşılık gelen kenar makas ucunda burulma momenti Z2 sınıfı zeminlerde 100 ton-cm civarında iken Z3 sınıfı zeminlerde %50 artmaktadır. L=20m için ise bu değerler 180 ton-cm ve 260 ton-cm civarındadır.

Diğer parametrelerin de KSY ile bulunan devrilme momenti üzerinde bir etkisi olduğu görülse de bu etki makas uzunluğu ve zemin sınıfı parametrelerinin yanında çok düşüktür.

Zorbozan tarafından önerilen yöntemle hesaplanan devrilme momenti AY98'e göre makasa geleceği hesaplanan toplam yatay yüke bağlıdır. KSY'ne göre makasa gelen yük kapasiteye bağlı olarak arttığından, devrilme momenti de özellikle Z3 için Zorbozan tarafından önerilen yöntemle göre bulunan devrilme momentinin çok üstünde olmaktadır.

6.4 Yapı Performans Noktalarının Tahmini İçin Bir Denklem

Çalışmanın amaçlarından biri de yapıların deprem performanslarını hızlı bir şekilde değerlendirmektir. Bunun için yapıların lineer ötesi analiz sonucunda bulunan performans noktalarını hızlı bir şekilde tahmin edebilmek için bir denklem geliştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır ki, prefabrik yapılar çatı makası düzleminde meydana gelen depremlerde daha fazla zorlanmaktadır. Her bir modelde x yönüne göre y yönünün yapı performans seviyesi açısından daha kritik olmasından dolayı, yapıların y yönündeki performans seviyeleri dikkate alınmıştır.

Ayrıca bina performans seviyelerinin tahmini için ATC-40'ta önerilen iki kriterden (maksimum görelî ötelenme ve plastik görelî ötelenme) maksimum görelî ötelenme daha kritiktir.

İki boyutlu modellerde (çatı makası düzleminde performans noktası) maksimum görelî ötelenmenin belirlenmesi için performans noktaları, her bir zemin sınıfına ait ayrı bir denklem ile hesaplanabilmektedir.

Binanın yatay ötelenme rijitliği $\frac{3\sum I}{H^3}$, beton sınıfı (BS), kolon boyuna donatı oranı (ρ_s) ve binanın deprem hesabına esas ağırlığına (W) bağlı olarak performans noktasının deplasmanını cm olarak veren bir denklem geliştirilmiştir. Yatay ötelenme rijitliğinin hesabı için kullanılan kolon atalet momentinin birimi cm^4 ve kolon yüksekliğinin birimi cm'dir. Beton sınıfı, karakteristik dayanım ile ifade edilmektedir ve birimi MPa'dır. Bina ağırlığının birimi ise ton'dur.

Her bir zemin sınıfı için;

$$PN = a * \rho_s^b + c * BS^d + e * \left(\frac{3\sum I}{H^3} \right)^f + g * W^h \quad (\text{Denklem 6.1})$$

modeli öngörülmüş ve a, b, c, d, e, f, g, h katsayılarının elde edilmesi için KSY ile bulunan performans noktaları ile Denklem 6.1'den elde edilen performans noktaları arasındaki hataların karelerinin toplamının minimum yapılması yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile KSY sonuçlarına göre Z2 için 108 ve Z3 için göçmeyen 68 model kullanılarak elde edilen Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 aşağıda verilmiştir. Bulunan katsayılar bakıldığında beton sınıfının etkisinin, performans noktasının tahmininde ihmal edilebileceği sonucu çıkmaktadır.

$$PN_{Z2} = 1.003 * \rho_s^{-0.249} + 76.345 * BS^{-49.456} + 0.689 * \left(\frac{3\sum I}{H^3} \right)^{-0.465} - 75.863 * W^{-0.896}$$

$$PN_{Z3} = 0.034 * \rho_s^{-1.041} + 7.392 * BS^{-5.161} + 12.526 * \left(\frac{3\sum I}{H^3} \right)^{-0.181} - 49.054 * W^{-0.210}$$

Denklem 6.2 ve Denklem 6.3'ten BS değişkeni çıkarılarak elde edilecek Denklem 6.4 ve Denklem 6.5 performans noktasının tahmini için kullanılabilir.

$$PN_{Z2} = 1.003 * \rho_s^{-0.249} + 0.689 * \left(\frac{3\sum I}{H^3} \right)^{-0.465} - 75.863 * W^{-0.896} \quad (\text{Denklem 6.4})$$

$$PN_{Z3} = 0.034 * \rho_s^{-1.041} + 12.526 * \left(\frac{3\sum I}{H^3}\right)^{-0.181} - 49.054 * W^{-0.210} \quad (\text{Denklem 6.5})$$

Birinci derece deprem bölgesinde yer alan Z2 veya Z3 sınıfı üzerindeki tek katlı, mafsallı prefabrik sanayi yapılarının performans noktasının yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi için beton sınıfı, kolon donatı oranı (minimum sınır olduğu için ilk etapta 0.01 alınabilir) yapı yüksekliği ve kolon boyutları parametrelerine bağlı olarak PN_{Z2} ve PN_{Z3} kullanılabilir.

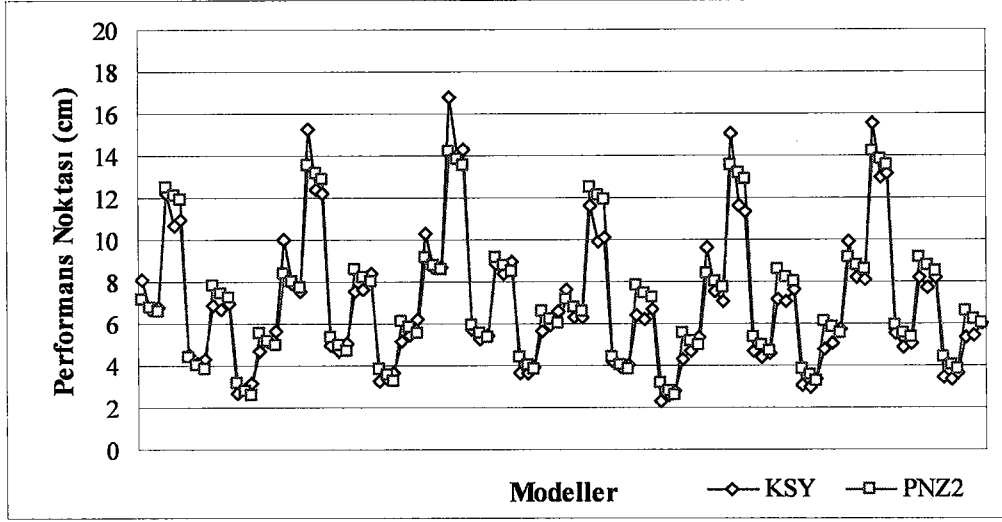
PN_{Z2} ve PN_{Z3} ile elde edilen performans noktaları ve KSY ile elde edilen performans noktaları arasındaki ilişki Şekil 6.30 ve Şekil 6.31’de verilmiştir.

Mevcut yapılar için kabul edilebilecek güvenlik kriteri günümüzde tartışılmaktadır. Bu çalışmada, prefabrik yapıların hızlı bir şekilde gözden geçirilmesi amacıyla Denklem 6.4 ve Denklem 6.5’in kullanılarak performans noktasının belirlenmesi, buna bağlı olarak hemen kullanım performans seviyesini sağlayan binaların “tekrar detaylı analizine gerek kalmadan kullanılmasına devam edilebilecek binalar” olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. Bina performans seviyeleri AY98’in tasarım depremi için elde edilmiştir. Yani tasarım depreminde bile hemen kullanım performans seviyesine sahip binalar için “güvenilir” denebilir. Yeri gelmişken tekrar etmekte fayda vardır ki, bu değerlendirme ancak birleşim bölgeleri güvenli yapılar için geçerli olmalıdır. Başka bir deyişle yapı performans seviyesi ne olursa olsun birleşim bölgelerinin mutlaka gözden geçirilmesi ve gerekiyorsa takviye edilmesi gerekmektedir.

Önerilen yöntem adım adım şu şekilde özetlenebilir:

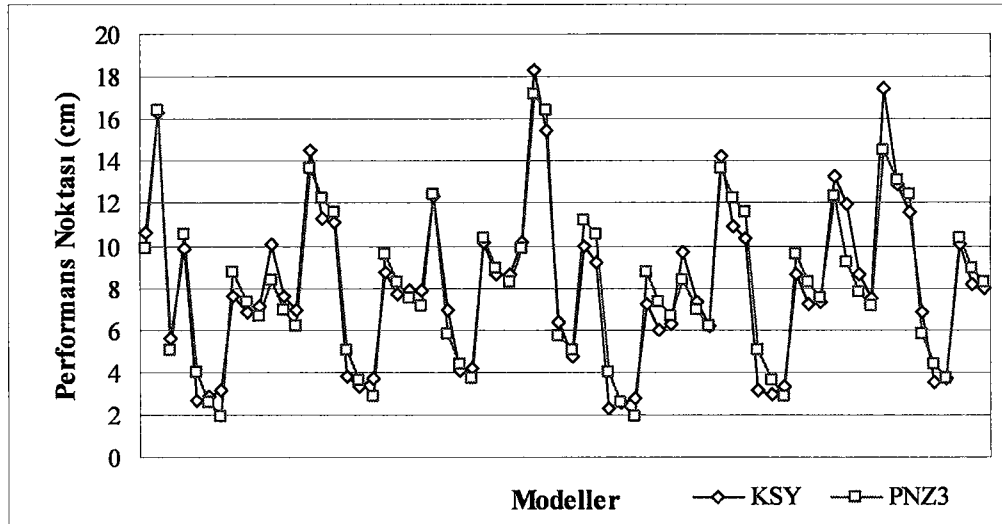
- Binaya ve binanın bulunduğu yerin depremselliğine ilişkin verilerin elde edilmesi
- Denklem 6.4 veya Denklem 6.5 yardımı ile performans noktasının belirlenmesi
- Bina performans seviyesinin belirlenmesi

- Detaylı analiz gerekip gerekmediğine karar verilmesi



Şekil 6.28: KSY ve PNZ2 ile bulunan performans noktaları

İki boyutlu modellerden için performans seviyeleri belirlenmiş ve modeller bu seviyelere göre gruplandırılmıştı. Aynı işlem Denklem 6.3 ve Denklem 6.4'ten edilen performans noktaları yardımı ile yapılmıştır. KSY ve önerilen denklemlerle elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki Çizelge 6.4'te verilmiştir. Her bir hücrede parantez dışındaki değerler KSY ile bulunan sonuçları, parantez içerisinde verilen değerler önerilen denklemler ile elde edilen sonuçları göstermektedir.



Şekil 6.29: KSY ve PNZ3 ile bulunan performans noktaları

Çizelge 6.4: KSY ve hızlı değerlendirme yöntemine göre yapı performans seviyeleri

BİNA SAYISI *	Toplam	BS (MPa)			L (m)			H (m)			B (mm)			ρ_s		
		20	30		12	16	20	6	8		350	450	550	0.010	0.015	0.020
Z2	Hemen Kullanım	66 (62)	32 (31)	34 (31)	24 (24)	23 (20)	19 (18)	36 (36)	30 (26)		0 (0)	30 (26)	36 (36)	22 (20)	23 (20)	21 (22)
	Kontrollü Hasar	41 (46)	21 (23)	20 (23)	12 (12)	13 (16)	16 (18)	18 (18)	23 (28)		35 (36)	6 (10)	0 (0)	13 (16)	13 (16)	15 (14)
	Can Güvenliği	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (0)		1 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
	Göçenler	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Z3	Hemen Kullanım	84 (75)	42 (39)	42 (36)	32 (27)	28 (24)	24 (24)	42 (40)	42 (35)		16 (11)	32 (28)	36 (36)	20 (16)	28 (25)	36 (34)
	Kontrollü Hasar	24 (33)	12 (15)	12 (18)	4 (9)	8 (12)	12 (12)	12 (14)	12 (19)		20 (25)	4 (8)	0 (0)	16 (20)	8 (11)	0 (2)
	Can Güvenliği	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	Göçenler	29 (27)	14 (13)	15 (14)	14 (13)	10 (8)	5 (6)	18 (21)	11 (6)		0 (0)	2 (3)	27 (24)	6 (6)	10 (9)	13 (12)
Z3	Hemen Kullanım	35 (37)	15 (16)	20 (21)	7 (7)	14 (16)	14 (14)	15 (12)	20 (25)		3 (2)	23 (23)	9 (12)	11 (12)	10 (11)	14 (14)
	Kontrollü Hasar	4 (4)	1 (1)	3 (3)	2 (3)	0 (0)	2 (1)	1 (1)	3 (3)		3 (4)	1 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (1)	2 (3)
	Can Güvenliği	40 (40)	24 (24)	16 (16)	13 (13)	12 (12)	15 (15)	20 (20)	20 (20)		30 (30)	10 (10)	0 (0)	18 (18)	15 (15)	7 (7)
	Göçenler	36 (33)	18 (17)	18 (16)	14 (13)	14 (12)	8 (8)	20 (22)	16 (11)		0 (0)	8 (8)	28 (25)	4 (3)	12 (11)	20 (19)
Z3	Hemen Kullanım	30 (35)	12 (13)	18 (22)	9 (10)	10 (12)	11 (13)	13 (12)	17 (23)		6 (6)	16 (18)	8 (11)	12 (15)	9 (10)	9 (10)
	Kontrollü Hasar	2 (0)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)		0 (0)	2 (0)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	0 (0)
	Can Güvenliği															
	Göçenler															

* Her bir hücrede parantez dışındaki değerler KSY kullanılarak bulunan sonuçları, parantez içindeki değerler ise hızlı değerlendirme denklemleri ile elde edilen sonuçları göstermektedir.

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1 Giriş

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda kolon boyutu, beton sınıfı, yapı yüksekliği, kolon boyuna donatı oranı, çatı makası uzunluğu parametrelerine bağlı olarak toplam 108 model oluşturulmuştur. Her bir model Z2 ve Z3 sınıfı zeminler üzerinde iki yönde analiz edilmiş (çatı makası düzlemine dik ve çatı düzlemi doğrultusunda), toplam 432 analiz sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlar üzerinde kullanılan parametrelerin etkisi incelenmiştir.

Modeller hem AY98 hükümlerine göre, hem de lineer ötesi analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrumu Yöntemi'ne göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilmiş bulunan sonuçlar hem bina görelî ötelenmesi hem de birleşime gelen yükler ve makas devrilmesi açısından karşılaştırılmıştır.

Kapasite Spektrumu Yöntemi ile elde edilen performans noktalarının, detaylı yapısal analize gerek kalmaksızın, hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesi için denklemler geliştirilmiştir. Prefabrik tek katlı mafsallı yapıların deprem performansları bu denklemlerle hızlı bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

7.2 Prefabrik Tek Katlı, Mafsallı Yapıların Deprem Davranışı

Lineer ötesi analiz sonucu prefabrik yapıların deprem davranışı konusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Prefabrik sanayi yapılarının yüksekliğinin fazla olması ve birleşimlerinin mafsallı olması titreşim periyotlarının büyük olmasına neden olmaktadır. Makas

açıklığının artması çatı makasına dik yönde makasın esneme davranışını daha belirgin hale getirmekte, titreşim periyodu bu yönde daha da büyükmektedir.

- Birleşimlerin moment aktarmamasından dolayı yapıda süreksizlik meydana gelmekte ve çerçeveler arası uyum oluşmamaktadır. Her bir çerçevenin davranışı diğerlerinden bağımsız olmaktadır.
- Çatı makasına dik yönde hem aşıkların katkısı hem de kolon akslarının kütle ve rijitlik bakımından eşdeğer olmasından dolayı tüm yapıyı temsil eden bir titreşim modundan bahsedilmekte ancak çatı makasının yanal deplasmanı bu davranış üzerinde etkili olmaktadır. Çatı makası düzleminde ise farklı kütleye sahip çerçeveler birbirinden ayrı olarak titreşim göstermekte, bu yön için tüm yapıyı temsil eden bir titreşim modundan bahsedilememektedir. Bu durumda bağlantı çubuklarının kesme güvenliğinin aşılması riski yanında çerçevelerin titreşim modlarının ayrı olmasından dolayı özellikle aşıkların bağlantı noktalarından ayrılarak düşmesi riski oluşmaktadır.

Çatı makası düzleminde iki yönde de rijit diyafram davranışı oluşturabilecek ya da çerçevelerin beraber hareket edebilmelerini sağlayacak önlemler bu sorunların önüne geçebilmek için çözüm yolu olarak görünmektedirler.

- Yapının yanal rijitliğinin düşük olması, kolonlarda plastik deplasmanların ve deformasyonların artmasına ve yapının göçmesine neden olmaktadır. Kolon rijitliğinin ve kapasitesinin artması kolon yanal deplasmanların sınırlandırılması açısından olumlu bir etki yapmakla beraber, kolonlara ve birleşimlere gelecek kesme kuvvetleri artmakta, birleşimler daha da kritik hale gelmektedir. Buna bağlı olarak çatı makasının devrilmesi ya da bağlantı çubuklarının kesilmesi sonucu makasın düşmesi ihtimali artmaktadır. Yine de birleşimlerde gerekli önlemlerin alınması koşulu ile yapı yanal rijitliğinin arttırılması önerilmektedir.
- Yapılar çatı makası düzleminde diğer yöne göre daha fazla zorlanmaktadır. Yapıya giren deprem enerjisinin bir kısmı çatı makasının yanal deplasmanı ile

sönümlenmektedir. Ancak çatı makası düzlemi yönünde buna benzer rahatlatıcı bir davranış olmadığından bu yöndeki deprem davranışı kolon deplasmanları ve birleşime gelen kesme kuvveti açısından daha kritiktir.

7.3 AY98 ve Prefabrik Yapılar

Kapasite Spektrumu Yöntemi ve AY98 ile yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiş ve AY98’de tek katlı mafsallı yapılar için öngörülen koşullar için aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Kapasite Spektrumu Yöntemi ile yapılan analizlerde yapılara gelen taban kesme kuvvetinin AY98’in öngördüğünden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yeni yapıların tasarımı aşamasında, yapı yanal rijitliğinin artırılmasını sağlayıcı önlemler alınmalı (görelî ötelenme sınırının daha aşağıya çekilmesi ve/veya taşıyıcı sistem davranış katsayısının azaltılması ile yapıya gelmesi öngörülen taban kesme kuvvetinin artırılması) ve böylelikle kolonların plastik deformasyonları azaltılmalıdır.
- Birleşimlere gelen kesme kuvveti kolonların moment taşıma kapasiteleri ile doğru orantılıdır. AY98’de birleşimlere gelecek kuvvet net olarak ifade edilmemiş, net bir hesap yöntemi önerilmemiştir. Bu sebeple piyasada Madde 6.11.1’e göre hesaplanan yatay yükün birleşimlere paylaştırılması şeklinde bir eğilim vardır. Bazı modeller için piyasada kullanılan kesme kuvveti ve ona bağlı olarak hesaplanan makas devrilme momenti değerlerinden çok daha fazla kesme kuvveti ve makas devrilme momenti elde edilmiştir.

Gerek birleşimlere gelecek kesme kuvveti, gerekse devrilme momenti hesabı açık olarak yönetmelikte yer almalı, eğer günümüzde piyasada kullanılan eğilim benzeri bir öneri ortaya konulacaksa bile uygun bir güvenlik faktörü kullanılmalıdır.

- Birleşimlerin detaylandırılmasına yönelik minimum koşullar ortaya konulmalıdır (örneğin en az iki bağlantı çubuğu, bağlantı çubuklarının çapı ve boyu, bulon ve aderans harcı nitelikleri gibi...). Yeni yapılacak yapılar için birleşim bölgelerinde bu tür önlemlerin alınması ek bir maliyet getirmemektedir.
- Özellikle AY98'in yürürlüğe girmesinden önce inşa edilen yapıların AY98'in öngördüğü güvenlik düzeyinde olması beklenmemelidir. AY98'e eklenmesi beklenen "mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi" ile ilgili bölümde tüm yapılar için (prefabrik yapılar ayrı başlıkta olmak üzere) mevcut durumun değerlendirilmesinde göz önüne alınacak güvenlik kriterlerinin net olarak belirlenmesi gerekmektedir.
- Analizler sonucunda kolonlar açısından güvenli çoğu yapının birleşimlerinde problem olduğu belirlenmiştir. Çoğu tek bağlantı çubuğu ile teşkil edilen ve bulon desteğinden yoksun yapıların birleşimlerinin rehabilitasyonu için öneriler yer almalıdır.
- Çatı makası düzleminde rijit diyafram davranışının sağlanabilmesi için gerekli öneriler açık olarak yönetmeliklerde yer almalıdır.

7.4 Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi İçin Önerilen Denklem

Kullanılan parametrelerin, prefabrik tek katlı yapıların performanslarına etkisi değerlendirilmiş ve mevcut prefabrik yapıların performans noktalarının yapısal parametrelere bağlı olarak kolay ve hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesi için denklemler geliştirilmiştir

Denklemlerin birinci derece deprem bölgelerinde yer alan tek katlı, birleşimleri mafsallı, çatı makasına dik yönde çok, çatı makası düzleminde tek açıklıklı prefabrik yapılara uygulanması önerilmektedir.

Bu denklemleri kullanabilmek için öncelikle yapının denklem için kullanılacak parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler, kolon boyutu, yapı yüksekliği, beton sınıfı, bina ağırlığı, kolon boyuna donatı oranı (ilk etapta minimum oran olan 0.01 alınabilir) ve zemin sınıfıdır. Yöntemin kullanılması için şu sıra izlenmelidir:

- Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapının hangi zemin sınıfı üzerinde olduğu belirlenmelidir. Zemin sınıfına göre kullanılacak denklem değişmektedir.
- Binada bulunan kolonların boyutu, boyuna donatı oranı, beton sınıfı ve yapı yüksekliği belirlenmelidir..
- Binanın deprem hesabına esas ağırlığı hesaplanmalıdır.
- Denklem 6.4 veya Denklem 6.5 ile performans noktası hesaplanmalıdır.
- Performans noktasına bağlı olarak binanın görelî ötelenmesi ve performans seviyesi tespit edilmelidir..
- Bina performans seviyesinin öngörülen güvenlik kriterini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.
- Binanın deprem performansının güvenilir ya da belirsiz olduğuna, başka bir deyişle binanın detaylı analize gerek kalmadan kullanıma devam edilmesine ya da daha detaylı yapısal analizinin gerekliliğine karar verilmelidir.

7.5 Yapılması Önerilen Ek Çalışmalar

Bu çalışmada kat yüksekliği, kolon boyutu, kolon donatı oranı, zemin sınıfı, çatı makası uzunluğu, beton sınıfı gibi parametrelerin, tek katlı birleşimi mafsallı prefabrik

yapıların davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma her iki yönde çok açıklıklı sistemler, ara katlı sistemler için genişletilebilir.

Prefabrik yapıların temel-kolon bağlantılarının ve zemin yapı etkileşiminin deprem davranışına etkisi incelenebilir.

Çoğu prefabrik yapıda birleşim bölgelerinin sıkıntılı olduğu bilinmektedir. Mevcut yapıların birleşim bölgelerinin güçlendirilmesine yönelik teorik ve deneysel çalışmalar yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Aschheim, B., (2000), Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation, Earthquake Spectra, Vol.16, May.
- Ataköy, H., (1999), 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve TPB Üyelerince Yapılan Prefabrike Yapılar, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Yıl 14, Sayı:52-53.
- ATC-21, (1988), Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, A Handbook, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- ATC-40, (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1975), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Bayülke, N., (2001), Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No:39, 261 s., İzmir.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2000), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, 596 s., İstanbul.
- Chopra, A., and Goel, R., (2001), A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demand for Buildings, PEER 2001/3, January.
- Çolakoğlu, H. K., (2001), Seismic Resistant Design of Precast Industrial Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Ersoy, U., (1997), Prefabrik Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/KT 97-002, Sayfa 57, İstanbul.

Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T., (2000), 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, 10.Prefabrikasyon Sempozyum Bildirileri Kitabı, Deprem ve Prefabrikasyon, Sayfa 1, İstanbul.

FEMA-310, (1998), Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandart, Federal Emergency Management Agency, Washington.

FEMA-356, (2000), Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.

Gülkan, P. and Sözen, M.A., (1999), Procedure for Detemining Seismic Vulnerability of Building Structures, Structural Journal of American Concrete Institute, Vol. 96(3), 336-342.

Gülkan, P., Sözen, M. A., Ersoy, U., Yorulmaz, M. ve Aşkar, G., (1997), Betonarme Binaların Güvenliğinin Tespiti İçin Alternatif Bir Yaklaşım, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/TR 97-011, İstanbul.

Hassan, A. F., and Sözen, M. A., (1997), Seismic Vulnerability Assesment of Low-Rise Buildings in Region with Infrequent Earthquakes, Structural Journal of American Concrete Institute, Vol.94(1), 31-39.

Kahraman, S., Şakar, G. ve Işıkdag, Ç., (1999), Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılara Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisleri 15.Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Bildiri No:9, Sayfa 147, Ankara.

Moehle, J., P., (1992), Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, Earthquake Spectra, 8(3), 403-428.

- Özden, K., (1997), Prefabrike İnşaat Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/KT 97-002, Sayfa 29, İstanbul.
- Özmen, G., Yüzügüllü, O. ve Zorbozan, M., (1997), Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılar Bakımından İrdelenmesi, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/TR 97-006, İstanbul.
- Özmen, G. ve Zorbozan M., (1998), Prefabrike Yapı Tasarımı Örnekleri, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/KT 007-29, İstanbul.
- 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, April.
- Pay, A. C., (2001), A New Methodology for The Seismic Vulnerability Assesment of Existing Buildings in Turkey, Yüksek Lisans Tezi, ODTU, Ankara.
- Posada, M. and Wood, S., L., (2002), Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 21-25 July, Boston.
- Priestley, M. J., (1996). The PRESSS Program, Current Status and Proposed Plans for Phase III, Special Report, PCI, March-April.
- Sap2000 Manual, Computers and Structures, www.csiberkeley.com.
- Standart for Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings, Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, 1990.
- TS498, (1987), Yapı elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS500, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS9967, (1992), Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar (Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan) Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakıoğlu, F., (1998), Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Ekim 1998, Sayı 48.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Haydar KAYHAN

Ana Adı : Saadet

Baba Adı : Yusuf

Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep, 01.02.1975

Lisans Eğitimi ve : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Mezuniyet Tarihi : İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2001

Çalıştığı Yer : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Bildiği Yabancı Dil : İngilizce