

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALMIŞ
BİR BİNANIN YAPI TANILAMA SONUÇLARIYLA
GÜNCELLENMİŞ MODELİNİN ANALİTİK ANALİZİ**

ÖMER FATİH SAK

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ




17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALMIŞ
BİR BİNANIN YAPI TANILAMA SONUÇLARIYLA
GÜNCELLENMİŞ MODELİNİN ANALİTİK ANALİZİ

ÖMER FATİH SAK

Doç.Dr. Kemal BEYEN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Beyza TAŞKIN AKGÜL
Jüri Üyesi, İTÜ

Doç.Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu lisansüstü öğrenimim süresince emeklerini ve fikrini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kemal BEYEN hocama ve desteklerinden dolayı sevgili eşim Tuğba SAK'a ve kızım Reyyan SAK'a ve bana büyük emekler, koruma ve ihtimam gösteren ve ilgilerini arttırmakla devam ettiren anneme ve babama teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca İngilizce metinleri çeviri konusunda yardımlarını esirgemeyen öğretmen adayı kardeşim Hatice SAK'a teşekkür ederim.

Mayıs-2013

Ömer Fatih SAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	viii
ÖZET.....	x
İNGİLİZCE ÖZET.....	xi
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Amaç.....	2
1.2. Geçmiş Çalışmalar.....	2
1.2.1. Mühendislik problemi olarak yapıların davranışı ve hasar görebilirlik.....	4
1.2.2. Yönetmeliklerin getirdiği yapı davranışı ve hasar görebilirlik.....	6
1.3. Yeni Nesil Yönetmelikler ve Bakış Açısı.....	7
1.4. Analiz Tekniğinde Gözlenen Gelişmelere Bağlı Olarak Yapı Analiz Programları.....	8
2. YAPI DİNAMİĞİ VE HASAR ETKİLERİ.....	9
3. DEPREM YÖNETMELİĞİNDE HASAR GÖREBİLİRLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLEME YÖNTEMLERİ.....	10
3.1. Yapı Hasar Kriterleri.....	11
3.2. Yapı Hasar Analizi.....	13
3.3. Yapı Hasar Tespitinde Analiz Metotları.....	18
3.3.1. Giriş.....	18
3.3.2. Deprem performansı hesaplama yöntemleri.....	19
3.3.2.1. Doğrusal elastik yöntemler.....	19
3.3.2.2. Doğrusal olmayan yöntemler.....	22
4. YAPI HASAR TESPİTİNDE MODEL GÜNCELLEME VE DENEYSEL MODAL ANALİZ.....	29
4.1. Geçmişden Günümüze Model Güncelleme ve Kriterleri.....	29
4.2. Model Güncelleme.....	29
4.3. Deneysel Modal Analiz.....	31
4.4. Deneysel ve Analitik Modellerin Korelasyon Teknikleriyle Değerlendirilmesi.....	32
4.4.1. MAC ve COMAC kriterleri.....	32
4.4.2. Model güncelleme işleminde rijitlik ve kütlelerin katkıları.....	33
5. ANALİZ YÖNTEMLERİNİN ÇALIŞILAN BİNAYA UYGULANMASI.....	34
5.1. Proje Bilgileriyle – Eşdeğer Deprem Yüğü Altında Analiz.....	38
5.2. Proje Bilgileriyle – Tek Mod Statik İtme Analizi.....	40
5.3. Proje Bilgileriyle – Çok Modlu Statik İtme Analizi.....	44
5.4. Proje Bilgileriyle – Zaman Tanım Alanında Analiz.....	48
5.5. Modal Parametrelerle Model Kalibrasyonu.....	50
5.5.1. Yapı dinamiğinden bildiğimiz lineer teorik yaklaşım.....	51
5.5.2. Saha çalışmalarından elde edilen modal parametreler.....	54

5.5.3. Yapı analiz programı olan Etabs'dan gelen modal bilgiler	57
5.6. Deneysel ve Analitik Modellerin Modal Şekiller Arası Korelasyon Teknikleriyle Değerlendirme.....	60
6. GÜNCELLENMİŞ MODELLE ÇALIŞILAN BİNANIN İNCELENMESİ.....	62
6.1. Güncellenmiş Model – Eşdeğer Deprem Yüğü Altında Analiz	62
6.2. Güncellenmiş Model – Tek Modlu Statik İtme Analizi	63
6.3. Model Güncelleme – Çok Modlu Statik İtme Analizi	67
6.4. Model Güncelleme – Zaman Tanım Alanında Analiz	71
7. RİJİTLİK AZALTMAYLA ÇALIŞILAN BİNANIN İNCELENMESİ.....	72
7.1. Rijitlik Azaltma – Eşdeğer Deprem Yüğü Altında Analiz	72
7.2. Rijitlik Azaltma – Tek Mod Statik İtme Analizi	75
7.3. Rijitlik Azaltma – Çok Modlu Statik İtme Analizi	76
7.4. Rijitlik Azaltma – Zaman Tanım Alanında Analiz	80
8. MEVCUT HASAR RÖLEVESİ.....	81
9. TARTIŞMA VE BULGULAR.....	86
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR.....	106
EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Eleman performansı için kullanılan iç kuvvet-şekildeğiştirme grafiği.....	6
Şekil 3.1.	17 Ağustos depremi, İzmit/Kocaeli (17.08.1999).....	10
Şekil 3.3.	Hafif hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit.....	12
Şekil 3.3.	Orta hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit.....	12
Şekil 3.4.	Ağır hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit.....	13
Şekil 3.5.	Karot alımı.....	14
Şekil 3.6.	Schmidt çekici.....	15
Şekil 3.7.	Donatı korozyonu.....	15
Şekil 3.8.	Profometre.....	16
Şekil 3.9.	Örnek güçlendirme tasarımı.....	17
Şekil 3.10.	Yapı izleme sensörleri.....	17
Şekil 3.11.	Dinamik Sarsıcı.....	18
Şekil 3.12.	Taban kesme kuvveti, çatı yerdeğiştirmesi (pushover eğrisi).....	23
Şekil 3.13.	Modal kapasite diyagramı.....	24
Şekil 3.14.	$T_1^{(1)} \geq T_B$ olması durumunda nonlinear spektral yerdeğiştirmenin elde edilişi.....	26
Şekil 3.15.	$T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda nonlinear spektral yerdeğiştirmenin elde edilişi.....	26
Şekil 4.1.	Çevrel titreşimlerden yapı karakteristiğinin tanımlanması.....	30
Şekil 4.2.	Veri toplama bileşenleri ve aralarındaki ilişki.....	31
Şekil 5.1.	Çalışılan binaya ait kalıp planı.....	35
Şekil 5.2.	Kolon bilgi girişi.....	37
Şekil 5.3.	Yapının 3B görünümü.....	37
Şekil 5.4.	Proje bilgilerinden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	39
Şekil 5.5.	Proje bilgilerinden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	40
Şekil 5.6.	X yönlü tek mod statik itme parametrelerinin programa girilmesi.....	41
Şekil 5.7.	Y yönlü tek mod statik itme parametrelerinin programa girilmesi.....	42
Şekil 5.8.	Proje bilgilerinden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	43
Şekil 5.9.	Proje bilgilerinden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	44
Şekil 5.10.	X yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa girilmesi.....	45
Şekil 5.11.	Y yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa girilmesi.....	46
Şekil 5.12.	Proje bilgilerinden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	47
Şekil 5.13.	Proje bilgilerinden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	48
Şekil 5.14.	17 Ağustos 1999 İzmit doğu deprem kaydı.....	49
Şekil 5.15.	Deprem kaydının programa tanıtılması.....	49
Şekil 5.16.	Proje bilgilerinden faydalanılarak zaman tanım alanında analiz metodu ile bulunan hasar görülebilirlik mertebeleri.....	50

Şekil 5.17.	3 numaralı blok için üretilmiş nümerik model üzerine kurulmuş gözlem istasyonu, cihaz numaraları ve yönelim bilgileri.....	51
Şekil 5.18.	Tipik kat kolon planı.....	51
Şekil 5.19.	128 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği.....	54
Şekil 5.20.	129 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği.....	54
Şekil 5.21.	134 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği.....	55
Şekil 5.22.	135 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği.....	55
Şekil 5.23.	Arx yöntemiyle şiddet&faz-frekans ilişkisi.....	56
Şekil 5.24.	Armax yöntemiyle iddet&faz-frekans ilişkisi.....	56
Şekil 5.25.	X yönlü modal frekans değerleri.....	57
Şekil 5.26.	Y yönlü modal frekans değerleri.....	57
Şekil 5.27.	Kalibrasyon sonrası x yönlü modal frekans değerleri.....	59
Şekil 6.1.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	62
Şekil 6.2.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	63
Şekil 6.3.	X yönlü tek mod statik itme değerlerinin programa girilmesi.....	64
Şekil 6.4.	Y yönlü tek mod statik itme değerlerinin programa girilmesi.....	65
Şekil 6.5.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	66
Şekil 6.6.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	67
Şekil 6.7.	X yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa tanımlanması.....	68
Şekil 6.8.	Y yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa tanımlanması.....	68
Şekil 6.9.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	69
Şekil 6.10.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	70
Şekil 6.11.	Güncellenmiş modelden faydalanılarak zaman tanım alanı analiz metoduyla bulunan hasar görülebilirlik mertebeleri.....	71
Şekil 7.1.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	73
Şekil 7.2.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	74
Şekil 7.3.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	75
Şekil 7.4.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	76
Şekil 7.5.	X yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa tanıtılması.....	77
Şekil 7.6.	Y yönlü çok mod statik itme parametrelerinin programa tanıtılması.....	77
Şekil 7.7.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	78
Şekil 7.8.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	79

Şekil 7.9.	Rijitlik azaltmadan faydalanılarak zaman tanım alanında analiz metoduyla bulunan hasar görülebilirlik mertebesi.....	80
Şekil 8.1.	Hasar rölevesi.....	81
Şekil 8.2.	Bina önden görünüm.....	82
Şekil 8.3.	Bina genel görünüm.....	82
Şekil 8.3.	Zemin kat kolonda mafsallaşma - 1.....	83
Şekil 8.4.	Zemin kat kolonda mafsallaşma - 2.....	83
Şekil 8.5.	Zemin kat kolonda mafsallaşma - 3.....	84
Şekil 8.6.	Merdiven plak hasarı.....	84
Şekil 8.7.	Merdiven kovalarında hasar.....	85
Şekil 8.8.	Plak çatlağı.....	85
Şekil 9.1.	Proje bilgisi, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	86
Şekil 9.2.	Model güncelleme, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	87
Şekil 9.3.	Rijitlik azaltma, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	87
Şekil 9.4.	Proje bilgisi, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	88
Şekil 9.5.	Model güncelleme, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	88
Şekil 9.6.	Rijitlik azaltma, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri.....	89
Şekil 9.7.	Proje bilgisi, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	89
Şekil 9.8.	Model güncelleme, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	90
Şekil 9.9.	Rijitlik azaltma, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	90
Şekil 9.10.	Proje bilgisi, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	91
Şekil 9.11.	Model güncelleme, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	91
Şekil 9.12.	Rijitlik azaltma, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri.....	92
Şekil 9.13.	Proje bilgisi, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	92
Şekil 9.14.	Model güncelleme, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	93
Şekil 9.15.	Rijitlik azaltma, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	93
Şekil 9.16.	Proje bilgisi, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	94
Şekil 9.17.	Model güncelleme, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	94
Şekil 9.18.	Rijitlik azaltma, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri.....	95
Şekil 9.19.	Proje bilgisi, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	95
Şekil 9.20.	Model güncelleme, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	96
Şekil 9.21.	Rijitlik azaltma, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	96
Şekil 9.22.	Proje bilgisi, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	97
Şekil 9.23.	Model güncelleme, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	97
Şekil 9.24.	Rijitlik azaltma, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri.....	98
Şekil 9.25.	Proje bilgisi, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	98
Şekil 9.26.	Model güncelleme, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	99
Şekil 9.27.	Rijitlik azaltma, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	99
Şekil 9.28.	Proje bilgisi, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	100
Şekil 9.29.	Model güncelleme, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	100
Şekil 9.30.	Rijitlik azaltma, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri.....	101
Şekil 9.31.	Proje bilgisi, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	101
Şekil 9.32.	Model güncelleme, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	102
Şekil 9.33.	Rijitlik azaltma, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	102
Şekil 9.34.	Proje bilgisi, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	103
Şekil 9.35.	Model güncelleme, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	103
Şekil 9.36.	Rijitlik azaltma, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri.....	104

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	6
Tablo 3.1.	Deprem yönetmeliğinde öngörülen yapısal performans düzeyleri.....	11
Tablo 3.2.	Betonarme kirişler için hasar sınırı tanımlayan etki/kapasite oranları (r).....	20
Tablo 3.3.	Betonarme kolonlar için hasar sınırı tanımlayan etki/kapasite oranları (r).....	21
Tablo 3.4.	Betonarme perdeler için hasar sınırı tanımlayan etki/kapasite oranları (r).....	21
Tablo 5.1.	Schmidt çekici test sonuçları.....	35
Tablo 5.2.	Kolon bilgileri.....	36
Tablo 5.3.	Eşdeğer deprem yükü hesabı.....	38
Tablo 5.4.	X yönlü modal parametreler.....	41
Tablo 5.5.	Y yönlü modal parametreler.....	42
Tablo 5.6.	Proje bilgilerinden elde edilen modal parametreler.....	45
Tablo 5.7.	Kolon rijitlik bilgileri.....	52
Tablo 5.8.	Blok 3 için x yönlü değerler.....	53
Tablo 5.9.	Blok 3 için analizden gelen modal parametreler.....	58
Tablo 5.10.	Blok 3 için model kalibrasyon sonrası oluşan modal parametreler.....	59
Tablo 6.1.	X yönlü modal parametreler.....	63
Tablo 6.2.	Y yönlü modal parametreler.....	64
Tablo 6.3.	Modal parametreler.....	67
Tablo 7.1.	Kolonlarda rijitlik azaltma oranları.....	72
Tablo 7.2.	Modal parametreler.....	76

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_c	: Brüt beton alanı
$A_{(T)}$: Spektral ivme katsayısı
F_c	: Beton basınç dayanımı
f_{ctm}	: Betonun çekme dayanımı
g	: Yer çekim ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_n	: n. doğal titreşim moduna ait modal kütle
P	: Kuvvet
r	: Etki/kapasite oranı
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: İtme analizinde birinci moda ait doğrusal elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
S_{de}	: İtme analizinde ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
$S(T)$: Spektrum katsayısı
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme
T	: Periyod
T_0	: Elastik spektrumun bir karakteristik periyodu
U_{xN1}	: Binanın tepesinde x doğrultusunda birinci moda ait yer değiştirme
V_e	: Enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_r	: Kolon, kiriş ve perde kesitinin kesme dayanımı
V_{x1}	: X deprem doğrultusunda birinci moda ait taban kesme kuvveti
w	: Açısal ivme
μ	: Süneklik oranı
Δ	: Deplasman
$\Delta_{\text{çati}}$: Çatı deplasmanı
Φ_p	: Plastik eğrilik istemi
Φ_y	: Eş değer akma eğriliği
Φ_t	: Toplam eğrilik istemi
Φ_{i1}	: i. seviyedeki modun şekli
α_1	: Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
\bar{O}_{xN1}	: Binanın tepesinde x doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ	: Katkı çarpanı
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi

Kısaltmalar

ARX	: Autoregressive With Exogenous Terms (Dışsal Şartlarla Özbağlanımlı)
ARMAX	: Autoregressive-Moving Average With Exogenous Terms (Dışsal Şartlarla Özbağlanımlı-Taşıma Ortalaması)
BS-EN	: British Standarts-European Standarts (İngiliz Standartları-Avrupa Standartları)
CG	: Can Güvenliği
COMAC	: Coordinate Modal Assurance Criterion (Koordine Modal Tahkik Kriteri)
ÇMİA	: Çok Modlu İtme Analizi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EYY	: Eşdeğer Deprem Yüğü
HK	: Hemen Kullanım
HR	: Hasar Rölevesi
GÖ	: Göçme Öncesi
MAC	: Modal Assurance Criterion (Modal Tahkik Kriteri)
TMİA	: Tek Mod İtme Analizi
UBC&NEHRP	: Uniform Building Code& National Earthquake Hazards Reduction Program (Tek Tip Bina Kodu& Ulusal Deprem Tehlikeleri Azaltma Programı)
ZTAA	: Zaman Tanım

17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALMIŞ BİR BİNANIN YAPI TANILAMA SONUÇLARIYLA GÜNCELLENMİŞ MODELİNİN ANALİTİK ANALİZİ

ÖZET

Yapılarda olası deprem karşısında hasar görebilirlik mertebesi ve yapı performansı Vizyon 2000 yayınlandıktan sonra sıcak çalışma konusu olmuştur. Yapı hasarını belirlemek için kullanılan birçok yöntemden bir kısmı mühendislik uygulamalarında yer bulurken bir kısmı da yapı sağlığı izleme algoritmalarının kullanıldığı izleme ağları yardımıyla gerçek anlı veya sürekli parametre gözlenerek yapılmaktadır. Henüz gelişmekte olan bu yöntem aracılığı ile yapı parametrelerindeki farklarla hasar mertebeleri ve konumu hakkında bilgiye ulaşabilmektedir.

Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş betonarme altı katlı boş çerçeve bir bina incelenmiştir. Kabası bitmiş, bölme duvarları örülmemişken depreme maruz kalan yapının yanında yer alan az katlı benzerinden yapının hasarsız hali nümerik ortamda üretilmiş, model güncelleme uygulamalarıyla tutarlılığı yükseltilmiştir.

Analizler proje bilgileriyle, modal parametrelerden model güncelleme ve rijitlik azaltmayla üç ana başlık altında ve her başlıkta eşdeğer deprem yükü, tek mod statik itme, çok modlu statik itme ve zaman tanım alanında analiz olmak üzere dört farklı metotla yapılmıştır. Böylece on iki farklı model mevcut hasar durumu ile karşılaştırılarak hangisinin daha tutarlı olduğu incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Dinamik Analiz, Doğrusal Olmayan Statik Analiz, Model Kalibrasyonu, Yapı Hasar Analizi, Yönetmelik Analiz Yöntemleri.

NUMERICAL VULNERABILITY ANALYSIS OF AN IMPROVED STRUCTURAL MODEL BASED ON THE STRUCTURAL IDENTIFICATION RESULTS FOR 17 AUGUST 1999 KOCAELI EARTHQUAKE

ABSTRACT

The vulnerability analysis of the buildings and of the structural performances have been the hot research topic in civil engineering comity since 2000 after the Vision 2000 was published. Some of these analysis became day practise in the engineering market. Others based on structural health monitoring evaluate certain modal parameters and their variations to assess the condition and possible locations of the damage in the structure.

In this study a damaged building during 17 August 1999 earthquake and which is working as shear, bending and moment and empty six story frame building is examined. Rough-finished and walls weren't made building modeled as undamaged in numerical form from low-rise building next to it, increased the consistency of building model with the calibration applications.

Analysis are carried out in terms of three main headings as project information, model calibration from modal parameters and reduction of stiffness, and each title has four different methods as equivalent seismic load, single-mode pushover, multi-mode pushover and time-history analysis. Thus, twelve different models are compared with the actual damage status to illustrate which method is more consistent.

Keywords: Dynamic Analysis, Nonlinear Static Analysis, Model Calibration, Structural Damage Analysis, Code Analysis Procedures.

GİRİŞ

Günümüzde yapı hasar oluşumu ve deprem sonrası göçme mekanizmasının tespiti merak konusu olmuştur. Özellikle insanların yoğun olarak yaşadığı, yüksek katlı, kamu ve askeri amaçlı yapılarda yüksek performans seviyeleri hedeflenmektedir. Ancak ülkemizdeki depremler sonrasında okul, hastane gibi önemli ve kullanımı acil olarak kullanılması gereken binaların kullanılamaz hale gelmesi yapıların hasar görebilirlik mertebelerinin tahmininin yetersiz ya da hiç yapılmamış olduğunu göstermektedir.

Hasar görebilirlik mertebelerinin tespitiyle ilgili yurtiçi ve yurtdışında birçok makale yayınlanmıştır. Tek ya da çok modlu itme analizleri, artımsal çok modlu itme analizi gibi yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca zaman tanım alanında analiz yöntemleri de yönetmelik kapsamında özellikle yüksek yapıların tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak son zamanlarda çevrel ya da zorlama kuvvetler altında yapının modal parametrelerinin tespiti ve analiz modelinin güncellenmesi sonucunda daha gerçekçi hasar görebilirlik mertebesi ve performans tespitleri yapılabilmektedir.

Bu çalışmada yapılarda deprem sonrası davranışı ve hasar görebilirlik mertebelerini belirlemek ve bunun için kullanılmakta olan analiz metotları incelenmiştir. Kocaeli'nde deprem görmüş bir yapı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY2007) kapsamındaki farklı analiz metotlarıyla incelenmiştir. Hesaplamalarımızda doğrusal olmayan tek modlu ve çok modlu itme analizleri, zaman tanım alanında analiz ve eşdeğer deprem yükü metotları kullanılmıştır. Ayrıca modal parametrelerin güncellenmesi ve yapı tanılama teknikleriyle hasar tahmini yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda yönetmelik ve yapı tanılama tekniklerinin öngördüğü hasar görebilirlik mertebeleri mevcut yapı hasarıyla karşılaştırılmış ve gerçeğe yakın sonucu hangisinin verdiği tartışmaya açılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

Çalışma yapısı olarak Kocaeli ilinde, Gölcük ilçesinde İzmit-Yalova yolu üzerinde yer alan betonarme bir bina benzer yapı grubu içinden seçilmiştir. 17 Ağustos 1999 tarihinde yerel saat 3:02'de gerçekleşen Kocaeli-Gölcük depreminde aldığı hasarlar için detaylı röleve çalışılmış, bitişindeki iki katlı hasarsız yapılar ise ayrıca incelenerek hasarlı yapının ilk halini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu safhadaki model güncelleme çalışmalarında modal parametreler referans alınmıştır.

1.1. Amaç

Yönetmelik çerçevesinde farklı metotların incelenmesi ve tutarlılıklarının tartışılmasından hangi analiz metodunun hasar rölevesine en yakın hasar görülebilirlik mertebesine ulaşacağı bu çalışma için araştırma konusu olmuştur.

1.2. Geçmiş Çalışmalar

Yapı davranışı ile ilgili birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalarda çeşitli açılardan yapısal davranış ve analiz metotları incelenmiştir. Yapı davranışı ve hasar sonucu oluşan etkenler sadece bir mühendislik problemi olmayıp sosyolojik etkenleri de barındırmaktadır. Yapı davranışı ile ilgili yurtiçi ve yurtdışında yoğun çalışma ve yayın mevcuttur.

Chopra ve Goel (2001) yerdeğiştirme ve kat yerdeğiştirme tahminini veren ilk çok modlu itme analizini (ÇMİA) önermişlerdir ama çalışılan dokuz katlı çelik çerçeve bir sistem için plastik mafsal dönmeleri için çalışma yetersizdir.

Chintanapakdee ve Chopra (2003) ÇMİA yöntemini 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 katlı görelî eşdeğer çerçeveler için katlar arası yerdeğiştirme tahmini bulmada uygulamıştır. Katlar arası kayma tahminlerinin doğruluklarının kat yüksekliği ve doğrusal olmayan davranışın derecesine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Tutarlılık az katlı binalarda ve yüksek binaların alt ve nispeten orta katlarında tatminkardır. Yüksek çerçevelerin üst katlarında ÇMİA yöntemi tasarım deprem kuvvetlerinin birçok değerinde mantıklı bir

katlar arası görelî kayma tahmini verememektedir. Bu yöntem kayma, eğilme momenti, eksenel kuvvet veya yerdeğıştirmelerin belirlenmesinde kullanılmamıştır.

Yu ve diğ̈erlerinin (2002) önerdiği ÇMİA ve versiyonları cihaz kurulmuş 13 katlı çelik çerçeve bina için katlar arası kayma ve plastik mafsâl dönme tahmininde bulunmak için uygulamıştır. Hedef yerdeğıştirmeler, yerdeğıştirme katsayı metodunun elastik davranış spektrumuna uygulanmasıyla hesaplandığında ÇMİA yöntemi üst katlardaki kat kaymasını düşük hesaplarırken, alt katlardaki kat kaymaları yüksek hesaplamıştır; temel üstü yerdeğıştirmeleri oldukça makul hesaplanırken kiriş ve kolon plastik mafsâl dönmeleri genelde değerinden yüksek hesaplanmıştır.

Chopra ve diğ̈erlerinin (2004) önerdiği modifiye edilmiş ÇMİA yöntemleri bir takım çerçeveler için kullanılarak katlar arası yerdeğıştirme tahminlerinde karşılaştırma yapılmıştır. Geliştirilmiş ÇMİA yönteminin daha kapsamlı deprem talebi tahmini vermesi bazı durumlarda ÇMİA sonuçlarının doğruluğunu artırmıştır. Bu yöntemle uygulanan ÇMİA sonuçlarında sapmalar olsa bile ilk önerilene bir alternatif olmuştur.

Goel ve Chopra (2004), $P - \Delta$ etkilerini her modda dikkate alarak hesaplanan katlar arası yerdeğıştirme ve rijitliklerin neden olduğu plastik mafsâl dönmelerinin hesaplanabilmesi için farklı bir adım ekleyerek geliştirilmiş bir ÇMİA önermişlerdir. Gelişmiş yöntem tekli mod itme analizlerinde iyi sonuçlar verse de, üzerinde çalışılan 9 ve 20 katlı çerçevelerin plastik mafsâl dönme tahminlerinde yeterli doğruluğa sahip olmadığı; alt katlarda plastik dönmeler değerinden fazla hesaplanırken üst katlarda değerinden düşük hesaplandığı görülmüştür.

Jan ve diğ̈. (2004) içinde ilk iki mod itme analizlerinden potansiyel olarak elastik olmayan katkıların eklendiği alternatif bir teknik önermişlerdir. Yerdeğıştirme hesaplamaları, katlar arası kayma ve plastik mafsâl dönmeleri, bir seri 2, 5, 10, 20 ve 30 katlı eğilme momenti ve kayma rijitliğine sahip çerçeveler için eşdeğer yanal yükü temsil eden üçgen yüklü profil ve klasik ÇMİA yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Üçgen yük profili ve klasik ÇMİA 2 ve 5 katlı çerçeveler için çok iyi tahminler verirken 20 ve 30 katlı çerçeveler için sadece daha iyi katlar arası kayma tahmini vermiştir. Plastik mafsâl dönmelerinde konum ve kalan rijitliklerin hesaplanmasının bu yöntemle gerçekleşebileceği düşünölmüştür.

Hernández-Montes ve diğ. (2004) uygulamalı teknoloji konseyi çalışmalarında klasik ÇMIA yönteminin uygulamasında görülen yüksek mod yerdeğiştirme eğrilerinin tersinir davranışta gözlemlenen problemlerin üstesinden gelecek enerji bazlı bir itme tekniği geliştirmişlerdir.

Aydınoglu (2003) içinde birden fazla modun katkılarının artımsal itme analizlerinde dikkate alındığı artımsal çoklu modlu tepki spektrum analiz yöntemini önermiştir. Analizin artışı doğası gereği bir moddaki inelastikliğe göre yumuşayan etkilerini diğer modların değerlerine yansıtır. Örnek olarak metot dokuz katlı bir binanın çerçeve modeli üzerine uygulandığında dört moda dayalı tahminleri doğrusal olmayan dinamik analizlerle belirlenen tahminlerle karşılaştırarak tartışmıştır. Kat yerdeğiştirmesi, kat devrilme momenti ve giriş plastik mafsal dönmelerinde yüksek tutarlılık görülmüştür. Sonuçların güncellenmesi ve yöntemin uygulanabilirlik sınırlarının saptanması için daha fazla çalışılması gerekmektedir.

Çevrel ve zorlama kuvvet titreşimleriyle 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar almış binaların yapı tanı çalışmalarıyla kalibre edilmiş yapılarda (Beyen ve diğ., 2011a) ve yeni yönetmeliğin sunduğu doğrusal elastik olmayan statik analiz yönteminden elde edilen yapı davranışları ve görülen belirsizlikler (Beyen ve diğ., 2011b) yönetmelik yöntemlerini tartışılır hale getirmiştir. Zaman tanım alanındaki titreşimlerden hasar tanılamaları yapan, mod şekli ve frekans gibi modal parametrelerin elde edildiği akıllı binalarda (Xu ve diğ., 2005) deprem sonrası durum tespiti amaçlanmaktadır.

1.2.1. Mühendislik problemi olarak yapıların davranışı ve hasar görebilirlik

Yapıların tasarımında ve inşaat sonrası yapı izleme metotlarında temel alınan en önemli faktörlerden birisi yapının deprem karşısındaki davranışı ve hasar görebilirlik mertebesidir. Farklı amaçlarla kullanılacak yapılarda hasar mertebeleri sınırlandırılmaktadır ve yapıların tamamının can güvenliğini sağlayacağı öngörülmektedir.

Analizler doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz çatısı altında, kuvvet kontrollü yaklaşım ya da yerdeğiştirme kontrollü yaklaşım şeklinde yapılabilmektedir. Deplasman ivme formatında geliştirilmiş olan metot, Freeman (Freeman ve diğ., 1975,

Freeman 1998) tarafından geliştirilen kapasite spektrum metodunun görsel tasfir avantajıyla, inelatik deprem talep spektrasını birleştirmiştir. Esnek olmayan depremel talep yer değiştirme spektrumu %5 sönüm için biçimlendirilebilir yapı formunun histeretik enerji kaybına dayanarak genelde kural tasarılı yumuşak elastik ivme tasarı spektrumundan belirlenmektedir. Kayıtlı ana sarsıntı verisine göre depremel talep spektrumları da %5 sönüm için ivme yerdeğiştirme formatı şeklinde saptanmaktadır. Kayıtlı deprem ve arazi karakteristiklerine dayanarak, spektral yerdeğiştirme aralığı küçük noktalarda çok erken başlamaktadır. Uzun süreçlerde ise her bir spektral yerdeğiştirme, karşılık gelen en üst zemin deplasman sınırının değerine ulaşmaktadır.

İtme analizi, kuvvet kontrollü ya da yerdeğiştirme kontrollü gerçekleştirilebilmektedir. Kuvvet kontrollü itme prosedüründe belirlendiği gibi tam yük (ağırlık, rijitlik) kombinasyon uygulanır, yani kuvvet kontrollü prosedür, yük (ağırlık direnç) bilindiği zaman uygulanabilmektedir. Aynı zamanda, kuvvet kontrollü itme prosedüründe P-Δ etkileri ve mekanizmanın geliştirilmesi yüzünden hedef yerdeğiştirme çok küçük bir pozitif yatay rijitlikle hatta negatif yatay rijitlikle ilintilenebileceği için, sonuçların sıhhatini etkileyebilecek bazı sayısal sorunlar meydana gelebilmektedir.

Türkiye'deki depremlerin sonuçları inşaat mühendislerinin genellikle inşaat sürecinin sadece tasarım kısmında bulduklarını, imalatın ise kontrolsüz olduğunu göstermektedir. Bu eksiklik sonucunda ise yapıların projedeki gibi değil inşa edildiği gibi davranmakta ve göçme bölgesine kadar hasar aldığını göstermektedir. Bu yanlış uygulama 1999 Kocaeli depreminden sonra değişmiştir ve yapıların inşa edilirken mühendisler tarafından denetlenmesini sağlayacak kurumlar oluşturulmuştur. Buradaki amaç yapının projesindeki gibi inşa edilmesini sağlamak ve imalat hatalarını ve sebep olacağı hasarları sınırlandırmaktır. Ancak günümüz mühendisliğinde yönetmeliklerin öngördüğünden farklı hasar oluşumlarının da olabileceği tartışma konusu olmuştur. Bu da özellikle okullar, kamu binaları, nükleer tesisler gibi önemli yapılarda inşa edildikten sonra farklı metotlarla analiz edilmesini ve gerçeğe yakın hasar görülebilirlik mertebelerinin tespit edilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Özellikle Avrupa ve Amerika'daki önemli yapıların sağlığı yapı izleme ağlarıyla takip edilmektedir.

1.2.2. Yönetmeliklerin getirdiği yapı davranışı ve hasar görebilirlik

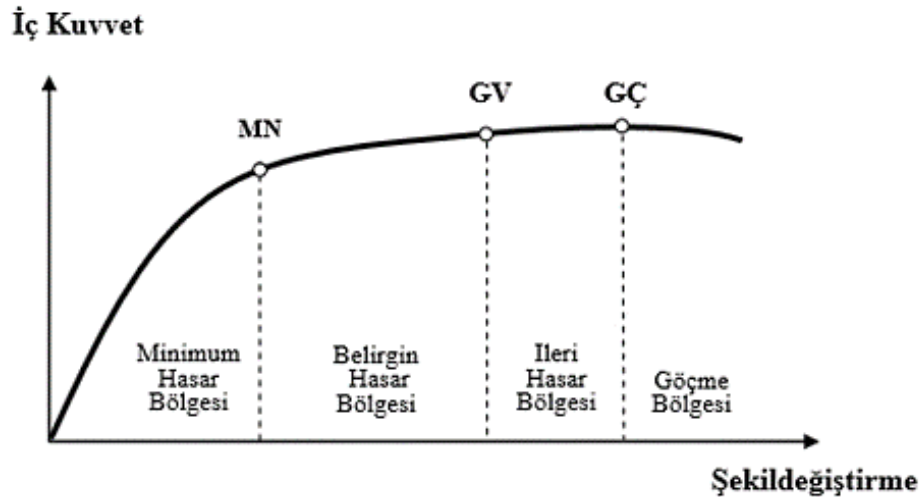
DBYBHY2007'nin getirdiği yapı davranışı Bölüm 7'de kategorisel olarak belirli sınıflara ayrılmaktadır. Burada deprem sonrası kullanılması gereken binalar, insanların kısa veya uzun süreli yoğun olarak bulunduğu binalar, tehlikeli madde içeren binalar ve diğer binaların belirli performans seviyelerini karşılaması beklenmektedir.

Tablo 1.1. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (DBYBHY, 2007)

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

HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçme Öncesi (Bkz. 7.7)

Yapısal davranışın yanında taşıyıcı eleman bazında hasar görebilirlik mertebeleri ile ilgili olarak da belirli sınırlandırmalar getirilmiştir.



Şekil 1.1. Eleman performansı için kullanılan iç kuvvet-şekildeğiştirme grafiği (DBYBHY, 2007)

Burada şekil değiştirmelere bağlı olarak donatı ve betonda üst sınırlar belirlenmiştir. Elemanlar bu üst sınırları aştığında bir sonraki performans seviyesine ulaşmaktadırlar.

1.3. Yeni Nesil Yönetmelikler ve Bakış Açısı

Yeni nesil yönetmeliklerde yapı davranışı ve hasar görülebilirlik ile ilgili bir takım sınırlamalar getirilmiştir. DBYBHY2007 Türkiye deprem yönetmeliğinde kullanım amacına bağlı olarak yapı malzemelerine hasar sınırlamaları getirilmiş ve yapısal olarak belirli güvenlik seviyesinde bulunması şartı getirilmiştir. Buna göre konutlarda “Can Güvenliği” seviyesi, hastane ve okul gibi yapılarda “Hemen Kullanım” performans seviyesi sağlanmalıdır. Ayrıca perde gibi deprem kuvvetini önemli ölçüde karşılayan elemanlarla ilgili kesit ve donatı standartları verilmiştir.

2001 tarihinde yayınlanan Alman DIN1045-1 normunda ise taşıyıcı elemanlarla ilgili minimum ebatlar verilmiştir. Buna göre kolonlarda kesit genişliği 200mm’den, boyuna donatı çapı 12mm’den az ve etriye aralığı 300mm’den fazla olmayacaktır. Ayrıca yapının davranışsal olarak nihai durumunun sınırlandırılması, doğrusal olmayan analiz ve plastik analiz hakkında kıstaslar getirilmiştir.

2004 tarihinde Avrupa’da yayınlanan BS EN 1998-1:2004 depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliğinde üç ana amaç belirlenmiştir. Buna göre;

- insan yaşamı korunmalı,
- hasar sınırlandırılmalı ve
- halkın korunması için önemli olan yapıların kullanıma hazır olması gerekir.

Bu yönetmelikte de Alman normunda olduğu gibi kesitlerle ilgili asgari şartlar ve analiz metotlarının prensipleri verilmiştir.

1994 Northridge depremine bağlı olarak 1997 UBC&NEHRP kriterlerinde değişikliklere gidilmiştir. Bunlar kısaca;

- ölçütlere uygun çelik bağlantı detaylarının kaldırılması
- kayma denkleği sağlamak için yakın fay etkeni eklenmesi
- yakın fay bölgelerde aşırı düzensiz yapıların inşasının yasaklanması
- gerçek kuvvetler için tasarlanan kolon ve kirişler
- kuvvetleri biçimlemek için eklenen güvenlik katsayısı’dır.

1.4.Analiz Tekniğinde Güzlenen Gelişmelere Bağlı Olarak Yapı Analiz Programları

Analiz tekniindeki gelişmeler de yapı analiz programlarının modüllerinde bir takım güncellemeleri getirmiştir. Örneğin Perform3D, SeismoStruct, Sap2000 ve Etabs gibi yapı analiz programlarında Avrupa yönetmeliklerindeki bilgiler ışığında statik itme, zaman tanım alanında analiz gibi analiz seçenekleri eklenmiştir. Özellikle 1994 Northridge depreminden sonra alınan kararlara göre yerdeğiştirme bazlı tasarım ve statik itme modası oluşmuştur. Türkiye’de ise yaygın olarak kullanılan IdeCad, Sta4Cad ve Probrina gibi programların tamamı tek mod, çok mod itme analizlerinin yanı sıra zaman tanım alanında da doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapabilmektedir. Bu analizler 2007 tarihinde yayımlanan deprem yönetmeliği kurallarının kapsamında yapılmaktadır.

2.YAPI DİNAMIĞI VE HASAR ETKİLERİ

Yapı dinamiği hareketli yükler altında yapının davranışını inceleyen bilim dalıdır. Yapının dinamik yükler altında incelenmesi durağan yükler altında incelenmesine nazaran daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Yapı dinamiği, zamana bağlı olarak değişen (dinamik) dış etkiler altında yapılarda oluşan, yine zamana bağlı olarak değişen iç kuvvet ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin tümüdür. Zamana bağlı yükler etkisi altında yapılarda, yükün zamana bağlı olmaması durumunda oluşan veya hesaplanan belirlenen etkilerden çok daha büyük etkiler oluşur. Çoğunlukla daha büyük iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler ortaya çıkabilir. Bu nedenle zamana bağlı yükler, yapıların tasarımında mutlaka hesaba katılması gereken etkilerdir.

Büyük iç kuvvetler nedeniyle göçme olabildiği gibi, yerdeğiştirmeye duyarlı aletlerin bulunduğu binalarda titreşimler sonucu oluşan büyük yerdeğiştirmeler bu aletlerin uygun ve verimli biçimde çalışmasını önleyebilir.

Yükün statik olarak yani zamana bağlı değilmiş gibi düşünülmesi mühendisi çoğunlukla yanıltan sonuçlar verir.

Yapıda hasar oluşumu yapı rijitliği, yapı mod frekansları ve mod şekilleri gibi parametreleri etkilemektedir. Yapı izleme sensörleri ile modal parametreler takip edilerek yapı hasar oluşumu gözlemlenebilir. Modal Assurance Criteria (MAC) ve Coordinate Modal Assurance Criteria (COMAC) metotlarıyla hasar oluşumu ve lokasyonu tespit edilebilmektedir. Akıllı binalarda kullanılmakta olan bu sistemler özellikle Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde oldukça yaygındır.

3.DEPREM YÖNETMELİĞİNDE HASAR GÖREBİLİRLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Hasar kelimesi bir maddenin belirli bir etken karşısında özelliklerinde bazı kayıplara uğraması şeklinde tanımlanabilmektedir. Yapı hasarı ise yapı elemanlarının zamanla değişen statik veya dinamik şartlar altında tasarım/imalat özelliklerindeki değişimlerin yapı toplam davranışında gösterdiği mukavemet eksilmelerinin/taşıma gücü aşımalarının neden olduğu zayıflamalardır. Özellikle 17 Ağustos depreminden sonra binalarda mevcut hasar durumu ve yapının projesinde tasarlandığı gibi bir deprem karşısında oluşabilecek hasarı sorgulanmaya başlamıştır. Kullanılmakta olan binaların depremde nasıl bir performans sergileyeceğini merak konusu olmuştur. Bunun için deprem yönetmeliği, yapılar için bazı kriterlerin sağlanması durumunda yapılara bir performans seviyesi öngörmektedir. Ancak yapı gerçekten öngörülen performansı sağlayacak mıdır? Bunu tam olarak anlamının tek yolu yapının imalatından sonra üzerinde bir takım testler yapmaktan geçmektedir.



Şekil 3.1. 17 Ağustos depremi, İzmit/Kocaeli (Kocaeli Devlet Arşivi)

3.1. Yapı Hasar Kriterleri

2007 deprem yönetmeliğinde üç tip hasar tanımlaması yapılmıştır. Bunlar hafif, orta ve ağır hasarlardır. Bu hasar sınıflarında işlevsellik, taşıyıcı olmayan ve taşıyıcı elemanlardaki hasar, donatı akması, beton ezilmesi, onarım maliyeti, çökme ihtimali ve can kaybı kriterlerine göre sınırlandırmalar getirilmiştir. Aşağıdaki tabloda yapı hasar türlerine göre yapılan kriterler yer almaktadır.

Tablo 3.1. Deprem yönetmeliğinde öngörülen yapısal performans düzeyleri

KRİTERLER	HASAR		
	Hafif	Orta	Ağır
İşlevsellik	korunmalı	korunmalı	korunamaz
Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Hasar	Onarımı gerektermeyecek kadar olur (kılcal)	Onarılabilir seviyede olur (geniş çatlaklar)	Olur (geniş çatlaklar ve dökülmeler)
Taşıyıcı Elemanlarda Hasar	Olmaz	Onarılabilir seviyede olur ama sistem davranışına çok az müdahale gerektirebilecek seviye	Onarılamayacak seviyede olur ve yapı davranışında iyileştirme maliyeti fizible değildir
Çatlak Dağılımı ve Türü	Tek tük ve kılcal	Düşük yoğunlukta; kılcal ve geniş çatlaklar	Çok yoğun patenler oluşmuş; geniş yarıklar ve dökülmeler
Donatıda Akma	Olmaz	Bir kaç noktada olabilir	Bir çok noktada aktığında mafsallaşma hakim bir tablo olarak görülür
Betonda Ezilme	Olmaz	Yer yer ezilebilir	Sayırsız yerde beton ezilir(-) ve açılır (+)
Onarımın Ekonomiye Maliyeti	0.0001*Maliyet	(0.1~0.4)*Maliyet	1*Maliyet
Çökme ihtimali	Olmaz	Olmaz	Olmaz
Can Kaybı	Olmaz	Olmaz	Olmaz



Şekil 3.2. Hafif hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit (Kocaeli Devlet Arşivi)



Şekil 3.3. Orta hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit (Kocaeli Devlet Arşivi)



Şekil 3.4. Ağır hasar, 1999 Kocaeli depremi, İzmit (İTÜ Arşivi)

3.2. Yapı Hasar Analizi

Yapı eğer hasar almışsa bu hasarın hafif, orta ya da ağır sınıflarından hangisine girdiği tespit edilir. Hasar tespiti gözlemlerle yapılabileceği gibi titreşim verileri kullanılarak modal parametrelerin izlenmesiyle de yapılabilir. Hasarın sınıfına göre onarım veya güçlendirme yapılır ya da yapı yıkılarak tekrar inşa edilir. Yapının mevcut durumu hasarlı değilse deprem sonrasında ne kadar hasar alacağını belirlemek için de bazı yöntemler vardır. Bu yöntemlerin bir kısmı bilgisayar ortamında yapılırken, bir kısmı da saha çalışmalarıyla yapılmaktadır.

Bilgisayar ortamında yapılan analizde öncelikle binanın mevcut durumunun rölövesi alınmaktadır. Sonra beton dayanımını belirlemek üzere her kattan belirli miktarlarda karot (Şekil 3.5.) alınmakta ve laboratuvar ortamında basınç deneyi yapılmaktadır. Böylece mevcut beton dayanımı belirlenmektedir. Ayrıca dayanım kabaca belirlemek için Schmidt Çekici (Şekil 3.6.) de kullanılabilir. Ancak 2007 tarihli deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelikte seçilen bilgi düzeyine göre her

kattan belirli miktarda karot alma zorunluluğu getirilmiştir. (Madde 7.2.4.3, 7.2.5.3 ve 7.2.6.3)

Schmidt çekici betonun basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan tahribatsız bir deney aletidir. Schmidt çekici prensip olarak çelik bir piston ile bunu bir yayla bastıran ağırlıktan ibarettir. Bu ağırlık yayla birlikte beton üzerine itildiği zaman piston yuvasından çıkarak betona çarpmaktadır. Sonra yük serbest bırakılınca yayla birlikte geri sıçramaktadır. Daha sonra göstergeden sıçrama miktarı tespit edilmektedir.



şekil 3.5. Karot alımı (URL-1)



Şekil 3.6. Schmidt çekici (Binalar incelenirken, Kocaeli, 2012)

Donatı için bazı yapı elemanlarında pas payı sıyrılarak demir korozyon (Şekil 3.7.) durumuna bakılmaktadır ve demir sınıfını belirlemek için numune alınarak laboratuvarında çekme deneyi yapılmaktadır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan belirli orandaki elemanlarda ise etriye sıklaştırması donatı tespit cihazı (Şekil 3.8.) aracılığı ile tespit edilmektedir.



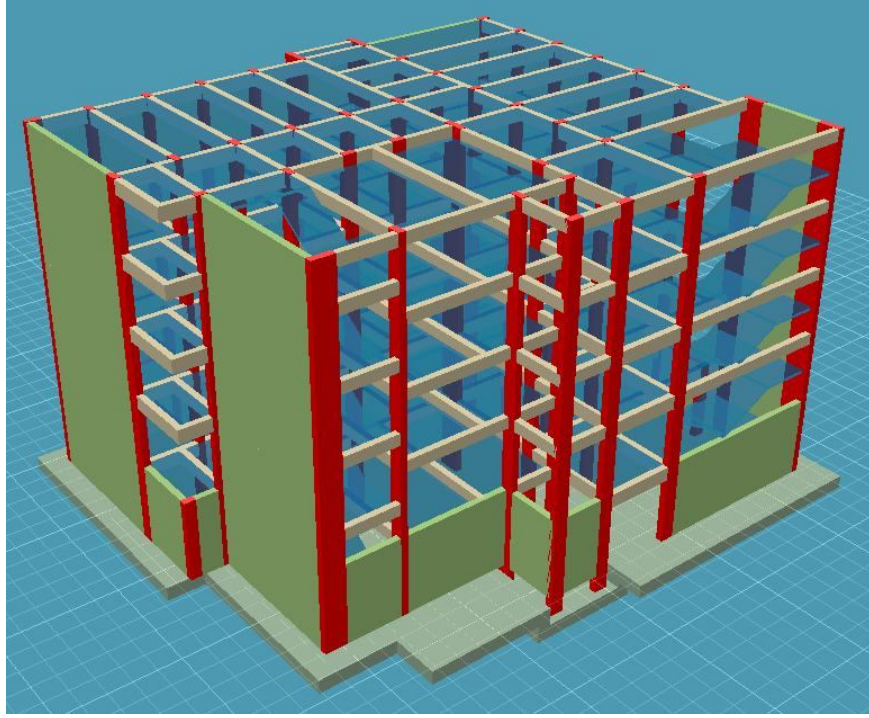
Şekil 3.7. Donatı korozyonu (Anka İnşaat Arşivi)



Şekil 3.8. Profometre (URL-2)

Yapı hakkında yeterli bilgi alındıktan sonra bilgisayar destekli yapı analiz programları kullanılarak yürürlükte olan deprem yönetmeliğine göre belirli metotlar kullanılarak taşıyıcı elemanların durumlarına bakılmaktadır. Bu metotların başlıcaları doğrusal (eşdeğer deprem yükü vs), doğrusal olmayan statik itme (Tek mod, Çok mod, Artımsal) ve zaman tanım alanında analizlerdir. Bu analiz metotları bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Yapılan analizler sonrasında elemanların durumuna bakılarak yetersiz olanlara güçlendirme (Şekil 3.9.) yapılmaktadır. Bina onarımının yapı maliyetine göre belirli bir oranın üzerine çıkarsa yapının yıkılarak tekrar inşa edilmesi önerilmektedir.



Şekil 3.9. Örnek güçlendirme tasarımı

Saha çalışmalarında ise yapı üzerine sensörler (Şekil 3.10.) yerleştirilip çevrel titreşimler ve dinamik sarsıcı (Şekil 3.11.) adı verilen cihazlarla zorlama kuvvetler altında tepkilerine bakılarak mod frekansları tespit edilmektedir. Eğer frekans değerleri tasarım değerlerinden farklı ise model güncellemeleri yapılarak yapı sonlu elemanlar modeli mevcut yapı ile benzeştirilmeye çalışılmaktadır. Yeterli benzeştirilme yapıldıktan sonra elde edilen model üzerinden hasar tahmini yapılmaktadır.



Şekil 3.10. Yapı izleme sensörleri (Halıdere Binaları, Kocaeli, 2011)



Şekil 3.11. Dinamik sarsıcı (Halidere Binaları, Kocaeli, 2011)

“Titreşim bazlı değerlendirme yöntemleri bu amaç doğrultusunda yapıdan kaydedilen dinamik tepki verilerinin incelenmesi neticesinde yapının bütünlüğü hususunda durum tespitine, yerinde ve tahribatsız incelemeyle imkân sağlayan alternatif bir teknoloji olarak ilgi görmektedir. Özellikle çevresel titreşim tepki verilerinin bir deprem öncesi ve sonrasında yapıdan kolaylıkla elde edilmesi mümkün olduğundan, bu verileri kullanan hasar tespit teknikleri üzerinde çalışmalar son on beş yılda hız kazanmıştır. Titreşim verilerinin kullanıldığı tekniklerin dayandığı temel prensip yapının modal parametrelerinin (frekans, mod şekilleri ve modal sönümlenme) kütle, rijitlik, enerji sönümlenme mekanizmaları gibi fiziksel özelliklerine bağlı olması ve bu fiziksel özelliklerde meydana gelecek değişikliklerin modal parametreleri de değiştireceğidir. Bu geçerli bir kabul olmakla beraber, yapının dinamik karakteri sadece fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimlerden değil, ısı ve nem gibi diğer çevresel etkenlerdeki değişimlerden de etkilenebilmektedir. Yapısal hasar dışındaki sebeplerle dinamik özelliklerde meydana gelen farkların ölçümlerde gürültü olarak değerlendirilebilmesi ve titreşime dayalı hasar tespit tekniklerinin başarılı olabilmesi için hasardan kaynaklanan farkların ölçümlerdeki ‘gürültü’den oldukça fazla olması gerekmektedir.” (Beyen, 2006)

Dinamik özelliklerden gelen bu farklar, konusunda uzman ve tecrübeli mühendisler tarafından tespit edilmektedir.

3.3.Yapı Hasar Tespitinde Analiz Metotları

3.3.1 Giriş

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için

tasarlanmıştır. Gerçekte deprem etkilerine maruz kalmış binaların belirlenmesi için de aynı performans tanımları kullanılabilir.

Seçilen performans seviyesi esas alınarak taşıyıcı sistemde kuvvet dağılımının ve yer değiştirmenin yapılması için gereken işlemlerin tümü bu bölümde yer almaktadır. Binalar için deprem performansı hesaplama yöntemleri, doğrusal elastik yöntemler (lineer elastik), doğrusal olmayan yöntemler gibi analiz metotları kullanılmaktadır.

Doğrusal elastik yöntemlerde; yapı davranışı doğrusal olarak kabul edilir. Yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerede olacağını iyi bir şekilde göstermesine karşın mekanizma durumlarının ve akma sırasında kuvvet durumunu tahmin edemez. Bulunacak etkiler binanın doğrusal elastik davranması durumunda oldukça gerçekçi kabul edilir. Ancak, taşıyıcı sistemde akma durumunda iç kuvvetler daha düşük ortaya çıkar. Aradaki fark davranış değiştirme katsayısı ile giderilir.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem etkisi altında sünek eğilme davranışına ait plastik şekil değiştirmelerin ve gevrek davranış modlarındaki iç kuvvetlerin hesaplanmasıdır. Bu yöntemlerde, yapının göçme anına kadar davranışını ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekte nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıkla gösterir, mühendise binanın deprem anındaki davranışı hakkında fikirler verir, esnek yorum imkânı sağlar.

3.3.2. Deprem performansı hesaplama yöntemleri:

3.3.2.1. Doğrusal elastik yöntemler

- i. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- ii. Mod Birleştirme Yöntemi
- iii. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Yapının tamamen elastik davrandığı kabul edilir ve elastik olarak analizler yapılır. Analiz sonucunda elemanların kapasiteleri hesaplanır. Eşlenik yer değiştirme kuralına göre kapasite oranları elde edilir. Elde edilen oranlar ilgili kesitlere ait kapasite sınır oranları ile kıyaslanarak elemanın hasar durumu belirlenir.

DBYBHY2007’de yer alan eşdeğer deprem yüğü yönteminde bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmaması, ayrıca ek dış merkezlik göz

önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1,4$ sınır şartlarını sağlaması gerektiği belirtilmektedir. Aksi takdirde mod birleştirme yöntemi kullanılmalıdır.

Doğrusal elastik davranış kabulü ile hesaplanan deprem kuvvetleri, tasarlanan yapının elastik ötesi süneklik ve fazla dayanım (tasarım dayanımına göre) özelliklerine göre seçilen deprem yükü azaltma katsayısına (R_a) bölünerek azaltılır. Bu azaltma oranları, binanın kapasite tasarımı ilkelerine uygun olarak tasarlandığında deprem etkileri altında hiçbir elemanda gevrek kırılma olmayacağı ve tüm elemanların benzer süneklik ve fazla dayanım özelliklerine sahip olacağı varsayımına dayanır. Azaltılmış deprem kuvvetleri altında hesaplanan iç kuvvetler ve düşey yüklerden kaynaklanan kuvvetler birleştirilerek elemanların tasarım kuvvetleri bulunur.

Betonarme elemanlardaki hasar oluşumu eğilme olarak gerçekleşirse sünek, kesme olarak gerçekleşirse gevrek olarak sınıflandırılırlar. Deprem yönetmeliğinde doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının tanımında kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş yığma dolgu duvarların kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler verilmiştir.

Tablo 3.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r) (DBYBHY, 2007)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w \cdot d \cdot f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4
	Gevrek	Kirişler	1	1	1

Tablo 3.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r) (DBYBHY, 2007)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{Ac f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{bw.d.f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4	Var	≥ 1.30	2	3	5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
Gevrek	Kolonlar		1	1	1

Tablo 3.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r) (DBYBHY, 2007)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6
Gevrek Perdeler	1	1	1

Sünek kolon ve kirişlerin kritik kesitlerinde, eğilme kapasitesi ile uyumlu kapasite kesme kuvveti V_e 'nin kesme kapasitesi V_r 'yi aşması durumunda bu elemanlar gevrek eleman kategorisinde kabul edilirler.

Sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kesit kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilecektir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir.

Hesaplanan kiriş kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 de verilen hasar sınır değerleri ile karşılaştırılarak hangi hasar bölgesinde olduğu tespit edilir.

3.3.2.2. Doğrusal olmayan yöntemler

- i. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Statik İtme Analizi)
- ii. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- iii. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı esas alınarak yapı modellenmesi yapılır. Sistemin artan yükler altında, öngörülen hedef yerdeğiştirme tasarım depreminde ortaya çıkacak olan yerdeğiştirme olacağı varsayılır.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle birlikte sünek yapı elemanlarının plastik şekil değiştirme istemleri ve gevrek yapı elemanlarının iç kuvvet istemleri hesaplanır. Böylece şekil değiştirme ve iç kuvvetlere göre performans seviyeleri tespit edilir.

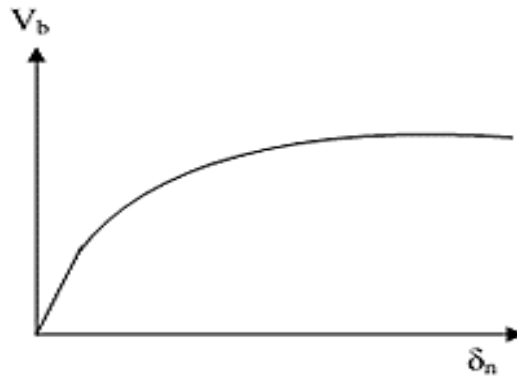
Yapı performansının belirlenmesi için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı tespit edilmelidir. Bu sebeple artımsal itme analizinin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılabilmesi için binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği kat sayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur. Şartların sağlanmaması durumunda Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi veya Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi kullanılmalıdır.

Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yöntemi ile yapılması durumunda yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hâkim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte deprem yönetmeliğinde tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY2007'nin 7.8. maddesinde yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hâkim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı

gelen yerdeğiştirme, plastik Şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve i kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY2007'nin 7.6.8. maddesine göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim Şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için DBYYHY2007'nin 7.6.9. maddesinde tanımlanan ilgili birim Şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında göreli kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan Şekil değiştirme istemleri DBYBHY2007'nin 7.6.10. maddesinde tanımlanan Şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, DBYBHY2007'nin 7.6.11. maddesinde tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

Modal kapasite diyagramının elde edilmesinde yapılacak ilk işlem, sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi (pushover eğrisi – Şekil 3.12) elde edilecektir.



Şekil 3.12. Taban kesme kuvveti, çatı yerdeğiştirmesi (pushover eğrisi) (DBYBHY, 2007)

İtme eğrisi, bir yapının denge konumundan kararsız hale gelinceye kadar geçen süre içerisinde yapıya arttırılarak uygulanan yük etkisi altında taban kesme kuvvetlerine

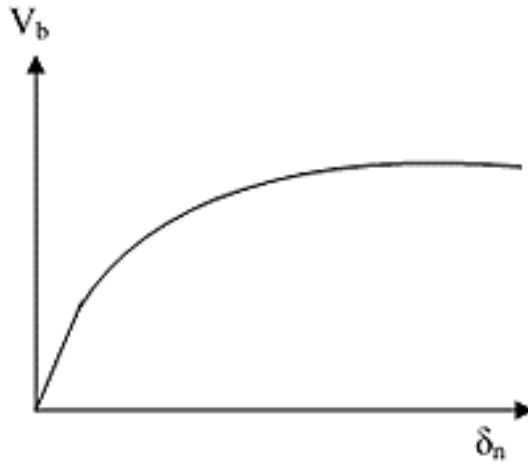
karşılık gelen çatı deplasman değerlerinin bir etkileşim diyagramı üzerinde kesişen noktaların geometrik olarak birleştirilmesi ile elde edilen diyagramdır. İtme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi ve yapının maksimum elastik ötesi yer değiştirme kapasitesinin hesaplanması gerekmektedir.

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı (Şekil 3.13) aşağıdaki formüllerden yararlanılarak elde edilir.

$$S_a = \frac{V_{x1}}{M_{x1}} \quad (3.1)$$

$$S_d = \frac{u_x}{\phi_{iN1} \Gamma} \quad (3.2)$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.3)$$



Şekil 3.13. Modal kapasite diyagramı (DBYBHY, 2007)

Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır.

Doğrusal elastik olmayan yöntemin en önemli adımı olan hedef tepe yerdeğiştirmenin (performans noktası) bulunma aşaması DBYBHY2007’de bilgilendirme eki 7C’de verilmiştir. Burada çözüm aşamasındaki en önemli kriter olarak yapının birinci

(hakim) doğal titreşim periyodunun karakteristik periyot olan T_B 'ye göre değer olarak durumu irdelenmiştir.

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denklem 3.4. ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1} \quad (3.4)$$

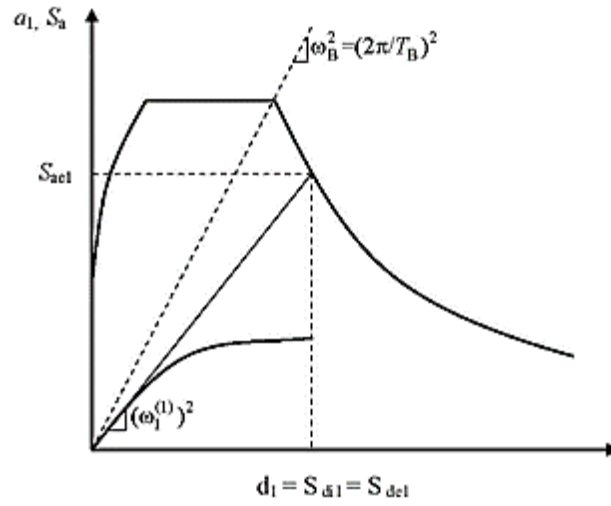
Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(w1)^2} \quad (3.5)$$

Birinci hakim periyodun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınacaktır.

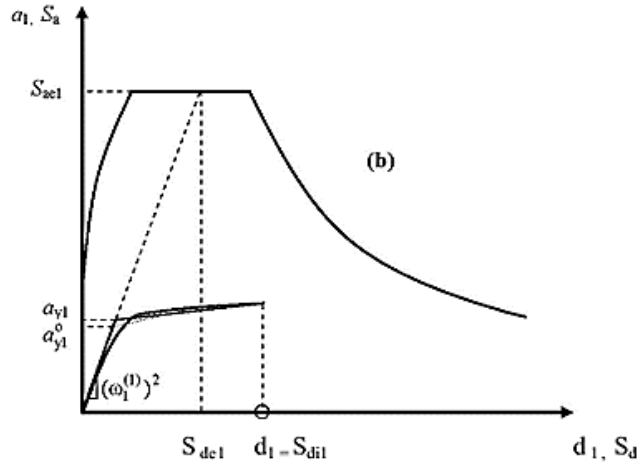
Yapı sistemlerinin performanslarının belirlenmesinde kullanılan talep spektrumu (deprem istemi) bir yapının, deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir. Doğrusal olmayan statik yöntemlerin dayandığı temel varsayım, eğer bina tamamen elastik olması durumunda, yapacağı spektral deplasmanın binanın doğrusal ötesi davranması durumunda yapacağı spektral deplasmana eşit olmasını öngören eşit yerdeğiştirme kuralıdır. Diğer bir ifade ile bir değerden daha yüksek periyoda sahip elastoplastik sistemlerin maksimum deplasmanının, aynı periyod ve sönüme sahip elastik sistemlere yaklaşık olarak eşit olması 'eşit deplasman kuralı' prensibi olarak bilinmektedir.

Doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} 'in bu durumdaki elde edilmesini gösteren birinci doğal moda ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları spektral yerdeğiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a) diyagramları aşağıdaki gibi bir arada çizilmiştir.



Şekil 3.14. $T_1^{(1)} \geq T_B$ olması durumunda nonlinear spektral yerdeğiştirmenin elde edilişi (DBYBHY, 2007)

DBYBHY2007 yönetmeliğinin 7C.3-7C.4-7C.5 denklemleri kullanılarak spektral yerdeğiştirme S_{d1} 'in bulunması gerekmektedir. Spektral yerdeğiştirmenin ikinci durum olan $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda elde edilişi Şekil 4.4'deki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.14. $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda nonlinear spektral yerdeğiştirmenin elde edilişi (DBYBHY, 2007)

Yapılan itme analizinin son adımında hesaplanan spektral yerdeğiştirme (S_{d1}) aşağıda belirtilen (3.6) ve (3.7) denklemlerinde yerine konularak ilgili deprem doğrultusundaki hedef tepe yerdeğiştirmesi elde edilmiş olur.

$$d_1 = S_{di1} \quad (3.6)$$

$$u_{xN1}^{(p)} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.7)$$

Statik itme analizinin adımlarında elemanların güç tükenmesi durumlarının kontrolü gerekir. Eğer bu güç tükenmesi gevrek ise sistemin bu itme adımına ulaşmadan gücünün tükeneceğine karar verilir. Geri dönülerek kesit etkilerinin karşı gelen mevcut kapasite ile karşılaştırılmasıyla, ulaşılabilecek en büyük itme adımı bulunur. Bu adım eğer depremin talep yer değiştirmesinden küçük kalıyorsa, deprem etkisi karşılanamıyor demektir. İstenirse gevrek güç tükenmesi güçlendirme ile önlenerek daha ileri itme adımlarına geçilebilir.

Performans noktasının belirlenmesinden sonra, depremin talebine karşı sistemin elastoplastik davranışla yapacağı yerdeğiştirme, plastik mafsallık yerleri, θ_p plastik mafsallık dönmeleri ve dolayısıyla ϕ_p plastik eğrilikler bulunur. Bu plastik eğriliklere kesitin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı ϕ_y akma elastik eğriliği de eklenerek kesitin ϕ_t toplam eğriliği bulunabilir:

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad (3.8)$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.9)$$

Kesitte bulunan normal kuvvet ve eğilme momenti belirli olduğuna göre bu değerler kullanılarak kesitteki şekil değiştirme durumu hesap edilebilir.

Beton ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri cinsinden hesaplanan deprem istemleri, birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları aşağıda tanımlanmıştır.

i. Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN)

Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010$$

ii. Kesit Güvenlik Sınırı (GV)

Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.040$$

iii. Kesit Göçme Sınırı (GÇ)

Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060$$

4. YAPI HASAR TESPİTİNDE MODEL GÜNCELLEME VE DENEYSEL MODAL ANALİZ

4.1. Geçmişden Günümüze Model Güncelleme ve Kriterleri

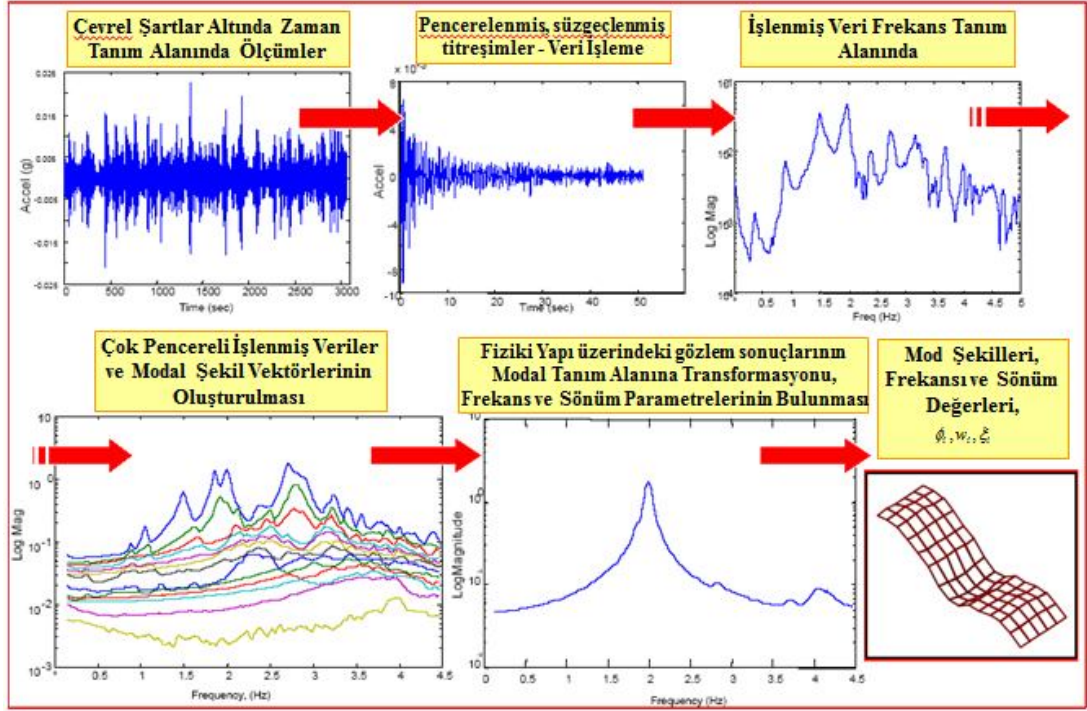
Model güncelleme metodu 1970'lerle başlamıştır, 1990'larda yaygın olarak kullanılan deneysel modal analiz çalışmalarının mekanik ve uzay taşıtlarında uygulanmaya başlanmasıyla önem kazandığını ve gelişimini devam ettirdiğini görüyoruz. Benzeşim çalışmaları içinde model güncelleme bir standart araç olarak yer almış, model tutarlılığının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği içinde mevcut yapıların analizlerinde ve hasar görebilirlik mertebelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

4.2. Model Güncelleme

Yapı testlerinde uygulanan;

- ❖ Serbest titreşim ve/veya
- ❖ Zorlama altında
- Tek seri dinamik yük hikayesi kaydı ve/veya
- Toplam (çoklu seri) dinamik yük hikayesi kayıt şartlarında çalışılan yapılar üzerinde kaydedilmiş veriler kullanılarak Sonlu Eleman Modellerinin (SEM) yani nümerik modellerin kalibrasyonlarından uygun olan bir yöntemle güncellenmesi mümkündür.

Çevrel Titreşimlerden Yapı Karakteristiğinin Tanımlanması



Şekil 4.1. Çevrel titreşimlerden yapı karakteristiğinin tanımlanması (Beyen, 2006)

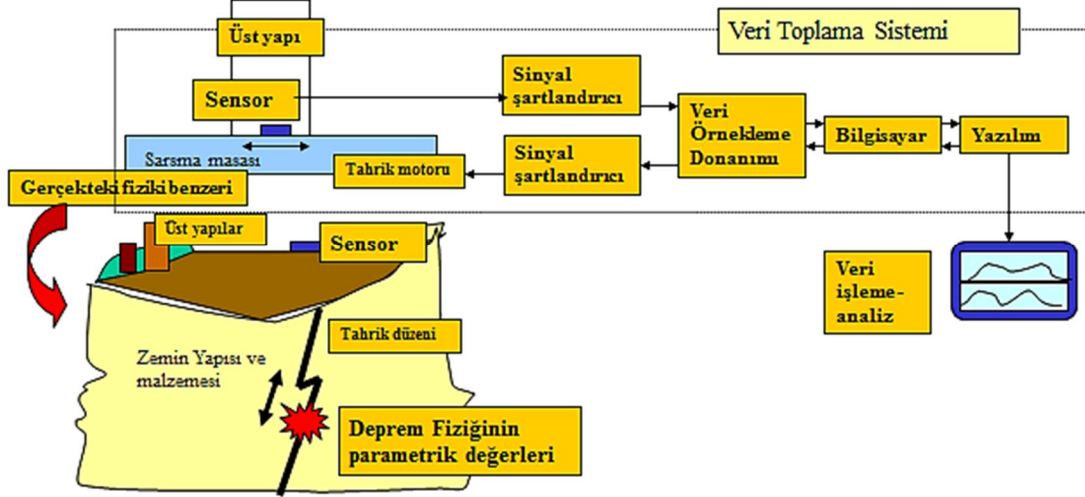
“Sonlu eleman model güncelleme mühendislik öngörüsü (Yapı davranış bilgisi) ve teorik sonuçların tekrar gözlemlenmesine bağlı olduğu gerçeği göz önünde tutulursa güncellemenin bir değişim-uygula-etki-gözle çevrimi içinde yapılacağını anlayabiliyoruz. Bu çerçevede güncelleme işlemine başlamadan önce yapılacakları kısaca özetlersek;

- ❖ Test verisinin kararlaştırılması (veri yönetimi) dolayısıyla (amacına uygun doğru test girdileri)
- ❖ Yapısal tepki kayıtlarının değerlendirilmesi (genel karakteristiği yansıtmayan beklenenin dışında anormal tepki hikayelerinin ayıklanması)
- ❖ İzlenecek parametre seçimi ve
- ❖ Kalibrasyon için nümerik yöntemin seçimi çok önemlidir. Nümerik yöntem
 - Seçilen değişime-güncellemeye etki edecek izlenen parametrenin hassaslığını yansıtacak hassaslık analizinin yanı sıra
 - Parametrenin ihtimal alabileceği daha iyi yeni bir değeri tahmin edebilmelidir (parametre tahmini).” (Beyen, 2006)

Veri toplama sisteminin iki önemli uygulaması altta, gerçekte arazide ve üstte laboratuvar şartlarında sarsma masasında gösterilmiştir.

- Sensörlere sinyal girişi, şartlandırılması, bilgisayar kodlaması bit formuna çevrilmesi ve veri işleme sonucunda anlamlı mühendislik bilgilerinin çıkarılması veri toplama ve analiz zincirinin parçalarıdır. Örneğin, deprem kayıdı yer yapısından alınıyor, boyutlandırılıyor, analog/sayısallaştırıcı kart ile sayısallaştırılıyor ve işleme/analiz için bir ortamda saklanıyor.

- Bilgisayardaki veri örnekleme/çevrim donanımıyla analog sinyale çevirilip tahrik motorunca masaya uyarlanarak sarsma masası kayda uygun deprem hareketini üretir. Üst yapı modeli üzerindeki algılayıcılar ile topladıkları bilgileri benzer yöntemle fakat ters akış içinde bilgisayarda saklanır. (Beyen, 2006)



Şekil 4.2. Veri toplama bileşenleri ve aralarındaki ilişki (Güneş ve diğ., 2011)

4.3. Deneysel Modal Analiz

Deneysel modal analiz için doğrulanması gereken iki temel varsayım vardır: doğrusallık ve zamanda değişmezlik (Allemang, 1999a). Doğrusallık modal analizin temelini oluşturur. Ayrı modların üst üste bindirilerek sistemin davranışının tanımlanabilmesini sağlar. Zamanda değişmezlik temel bir kabul olmak ile beraber sistemde ölçüm zamanı dışında oluşan değişimler sayesinde iki ölçüm arasındaki değişimler izlenerek, örneğin değişim bir hasar sebebi ile oluşuyor ise, hasar ve yeri tespit edilebilir. Bu noktada belirtmekte fayda var ki çevre ısısı ve neminde oluşan oynamalar sebebi ile sistemlerin sınır ve süreklilik durumları değişmekte ve bu sebeple de yapının dinamik özellikleri değişebilmektedir.

Deneysel modal analiz deneylerinin tasarlanabilmesi için ön ölçümlere ihtiyaç vardır. Bu ölçümler sayesinde daha başlangıç aşamasında karşılıklılık, doğrusallık ve zamanda değişmezlik hakkında karar verilerek, modal analizin söz konusu yapı için uygun olup olmadığına karar verilebilir. Ön ölçümler sayesinde tetikleme, ortalama sayıları, kayıt süresi, frekans çözünürlüğü, ölçülecek frekans aralığı, kullanılacak pencereler gibi kayıt değişkenleri ve ölçüm noktalarının tasarımı/doğrulanması ve

optimal veri kayıt değişkenleri tanımlanır (Allemang, 1999b). Tanılanması gereken sistemin sonlu elemanlar modeli kurularak ön ölçümler sayesinde tanımlanan deney tasarım değişkenlerinin sınaması yapılabilir.

Deneysel modal analiz sonucu elde edilen dinamik değişkenler sistemlerin öz özellikleri oldukları için birçok farklı amaca hizmet edebilmektedirler. Bunlar arasında inşaat mühendisliği yapıları ile ilgili olarak mevcut yapıların durum tespiti, yapıların durumunun izlenmesi, yapısal model düzeltme ve aktif titreşim kontrolü sayılabilir (Çatbaş, 2002).

4.4. Deneysel ve Analitik Modellerin Korelasyon Teknikleriyle Değerlendirilmesi

4.4.1. MAC ve COMAC Kriterleri

Bu yöntemler esas olarak mod şekillerinin birbirleriyle olan ilişkilerinden yola çıkarak iki model arasındaki ortogonal ilişkiyi ve benzerliği göstermektedir.

Deneysel ve analitik modellerin modal şekilleri arası istatistiksel korelasyon (Allemang and Brown, 1982) bilgisini kullanarak Mac (Modal Assurance Criterion) denklemini ifade edecek olursak,

$$MAC(\{\Phi_X\}_i, \{\Phi_A\}_j) = \frac{|\{\Phi_X\}_i^T \{\Phi_A\}_j|^2}{(\{\Phi_X\}_i^T \{\Phi_X^*\}_i)(\{\Phi_A\}_j^T \{\Phi_A^*\}_j)} \quad (4.1)$$

Comac (Coordinate Modal Assurance Criterion) denklemini yeniden amacımıza uygun anlaşılır indislerle ifade edecek olursak;

$$COMAC(i) = \frac{\left(\sum_{j=1}^{n_{CMP}} |(\Phi_A)_{ij} (\Phi_X^*)_{ij}| \right)^2}{\sum_{j=1}^{n_{CMP}} |(\Phi_A)_{ij}|^2 \sum_{j=1}^{n_{CMP}} |(\Phi_X)_{ij}|^2} \quad (4.2)$$

Denklem (1)'de X indisi (eXperimental) deneysel titreşim mod indisini ve A indisi Analitik titreşim mod indisini gösterirken, değerlerin sıfır ile bir arasında değişir. ($0 < MAC < 1$. Burada 0: ortogonal ilişkiye, 1: benzerliğe işaret eder). Fakat Denklem (4.1) ile farklılıkların yapının neresinde örneğin hangi katta bulunduğu bilgisine ulaşılması imkansızdır. Bu eksikliği gidermek amacıyla CO-ordinate MAC (COMAC) Denklem

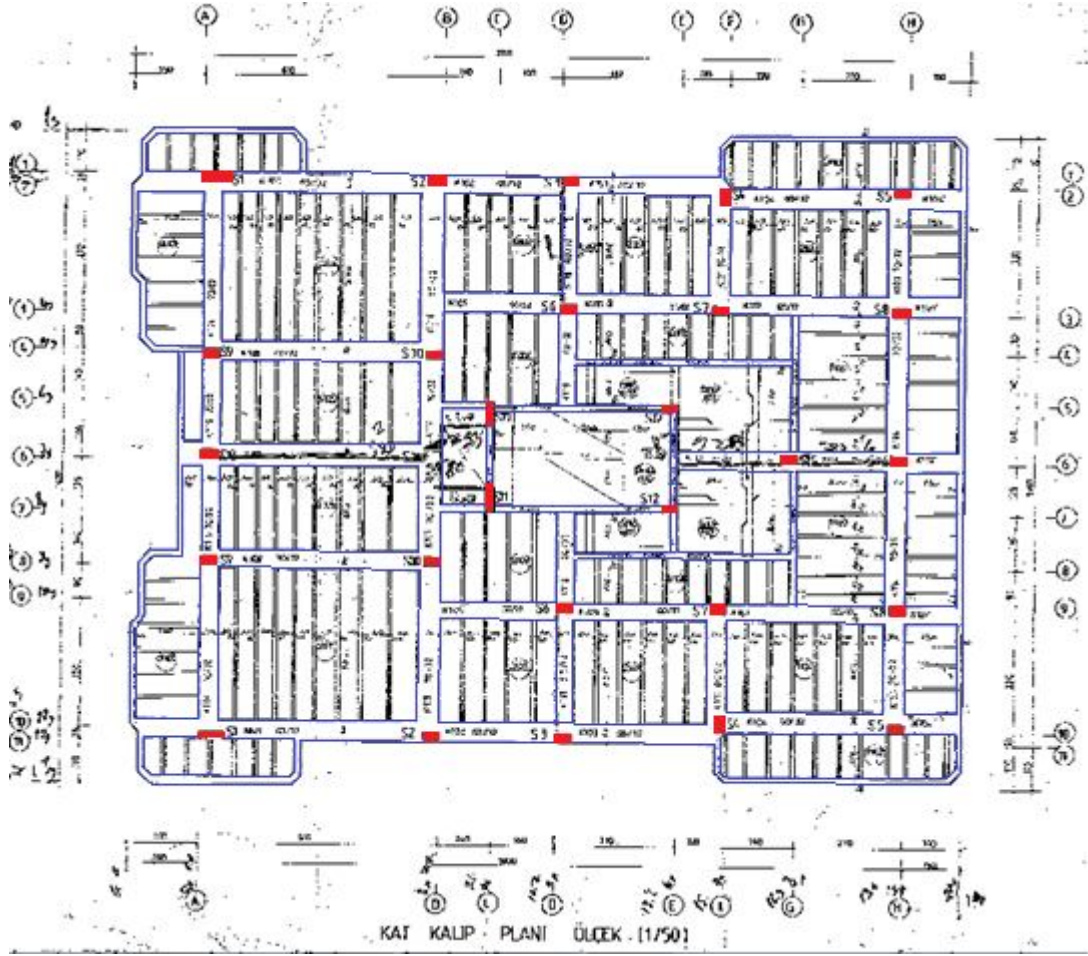
(4.2)' deki ifadesiyle geliştirilmiştir (Lieven and Ewins, 2000). Denklem (4.2.)'de n_{CMP} ile doğrulatacak mod şekil sayısı tanımlanabilmektedir. *COMAC* değerlendirmesi kat seviyesinde farklılıkları yakalayabilmesine rağmen lokasyon bilgisi eksiktir. (Beyen, 2012)

4.4.2. Model Güncelleme İşleminde Rijitlik ve Kütlenin Katkıları

Model güncelleme işlemini burulmasız tek serbestlik dereceli sistemlerde birbirinden etkilenmeyen kütle ve yay ilişkisi içinde bir konsol sistemin üstünde denersek rijitlik $[\Delta K]$ ve kütle $[\Delta M]$ değişimlerinin etkisini frekans tepki fonksiyonunda görülmektedir. Çok serbestlik dereceli sistemlere bu birikimin dikkatli uygulanmasıyla deneysel mod şekillerine yansıyan model iyileştirmeleri alınabilmektedir. Küçük değişikliklerin çok serbestlik dereceli sistemin birçok serbestliğini etkilediğinin bilincinde olunmalıdır. İlk şekilde, konsol serbest ucunda bulunan yığılı kütlenin küçük $[\Delta M]$ kadar artırılmasıyla karakteristik yanal serbestliğin üreteceği tepeciklerin sola doğru sadece rezonans frekanslarını küçültmekte olduğunu vadi frekansların değişmediğini görülmektedir. İkinci şekilde kütle sabit kalırken artırılan $[\Delta K]$ miktarı benzer şekilde sadece rezonans frekanslarını büyüttüğü görülmektedir. Geneller ve iki serbestlik dereceli bir sisteme uygularsak, $(K/M)^{1/2}$ ile hesaplanan doğal frekansdan küçük olan frekansların büyüdüğü buna mukabil büyük olanların küçüldüğü görülmektedir.

5. ANALİZ YÖNTEMLERİNİN ÇALIŞILAN BİNAYA UYGULANMASI

Hasarlı 6 katlı yapı yanında yer alan hasarsız 2 katlı binadan elde edilecek yapı statik ve dinamik parametreleri hasarlı yapının hasar almadan (17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden) önceki durumunun modellemede güvenilir değerler olarak kullanılması istenmektedir. Elde edilecek bu değerler ile çalışılan mevcut yapının üstünde ölçülen davranışları aynı doğrulukta sonlu eleman modelinde temsil edilebilmesi için daha sonra deneysel ve analitik modellerin modal şekiller arası korelasyon teknikleriyle (örneğin; *MAC*, *COMAC*) değerlendirme yapılacak ölçülen hata matrisinin minimize edilme teknikleri nümerik modele uygulanarak model kalibrasyonları tamamlanmış olacaktır. DBYBHY2007'nin 7.4.5, 7.4.6 ve 7.4.7 şartlarını sağlayan analitik model daha sonra hasar görülebilirlik analizlerinde kullanılacaktır. Bu çalışmaya ilave olarak söz konusu yapı sırasıyla lineer (Eşdeğer deprem yükü), nonlineer (tek mod, çok mod) ve zaman tanım alanında analiz edilecek ve hasar tahmini yapılacaktır. Her bir analiz salt proje, modal parametrelerin güncelleme ve hasar rölevesi tespitiyle rijitlik azaltma yöntemiyle üç ana kategoride incelenecektir. Böylece on iki farklı analiz yapılacaktır. Önceden yapılmış olan hasar tespiti ile on iki analizden ve deneysel modellerden gelen hasar tahmini karşılaştırılarak hangi metodun daha doğru sonuçlar verdiği tartışılacaktır.



Şekil 5.1. Çalışılan binaya ait kat kalıp planı

Yapıda C25 beton ve S220 donatı kullanılmıştır. Sargı koşulu sağlanmamaktadır. Döşeme sistemi nervürlüdür. Yapı modeli Sap2000 programına statik projedeki gibi girildikten sonra Schimdt çekici ile yapılan malzeme testlerine göre beton dayanımı girilmiştir.

Tablo 5.1. Schimdt çekici test sonuçları

SZ01 Zemin Kat	20	S101 1. Normal Kat	40	S201 2. Normal Kat	33	S301 3. Normal Kat	34	S401 4. Normal Kat	22	S501 5. Normal Kat	25
	20		30		39		21		21		30
	18		30		23		40		25		31
	18		40		23		32		25		39
	18		20		37		37		29		31
	20		30		26		28		32		31
	18		30		22		19		18		38
	18		30		29		24		19		35
	20		40		38		38		38		22

Tablo 5.1. Schimidt çekici test sonuçları (devam)

SZ11 Zemin Kat	30	S111 1. Normal Kat	40	SZ11 2. Normal Kat	35	S311 3. Normal Kat	29	SZ411 4. Normal Kat	33	S511 5. Normal Kat	19
	30		30		29		19		25		39
	30		35		34		38		28		24
	20		30		30		37		27		28
	30		30		35		36		30		33
	18		30		36		31		27		18
	28		18		24		32		35		40
	30		20		35		20		26		30
	20		30		32		38		33		18

SZ05 Zemin Kat	20	S105 1. Normal Kat	40	SZ05 2. Normal Kat	38	S305 3. Normal Kat	19	SZ405 4. Normal Kat	25	S505 5. Normal Kat	29
	30		20		33		22		24		31
	30		40		23		22		19		20
	18		30		39		28		31		40
	28		30		27		23		29		35
	30		30		18		33		40		21
	30		40		32		34		25		34
	30		30		31		28		27		40
	20		40		27		18		39		23

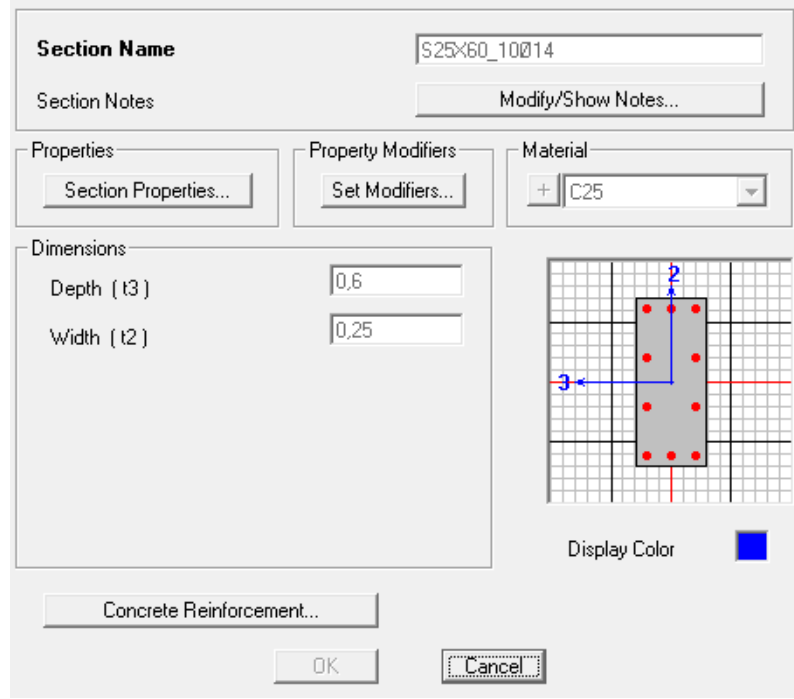
Ortalama	Std Sapma	Ort-Std Sapma
28,76	6,83	21,93

Eleman bilgileri statik projedeki gibi girilmiştir.

Tablo 5.2. Kolon bilgileri

Kolon No	1.BODRUM		ZEMİN		1.NORMAL		2.NORMAL		3.NORMAL		4.NORMAL	
	BOY UT	DON ATI	BOY UT	DON ATI	BOY UT	DON ATI	BOY UT	DON ATI	BOY UT	DON ATI	BOY UT	DON ATI
S1	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S2	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S3	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14
S4	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14
S5	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S6	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S7	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S8	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S9	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø16
S10	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø16
S11	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	20/70	10Ø14	20/70	10Ø14
S12	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14
S13	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14
S14	30/60	10Ø16	30/60	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14
S15	40/70	14Ø16	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø14	25/60	10Ø14
S16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14

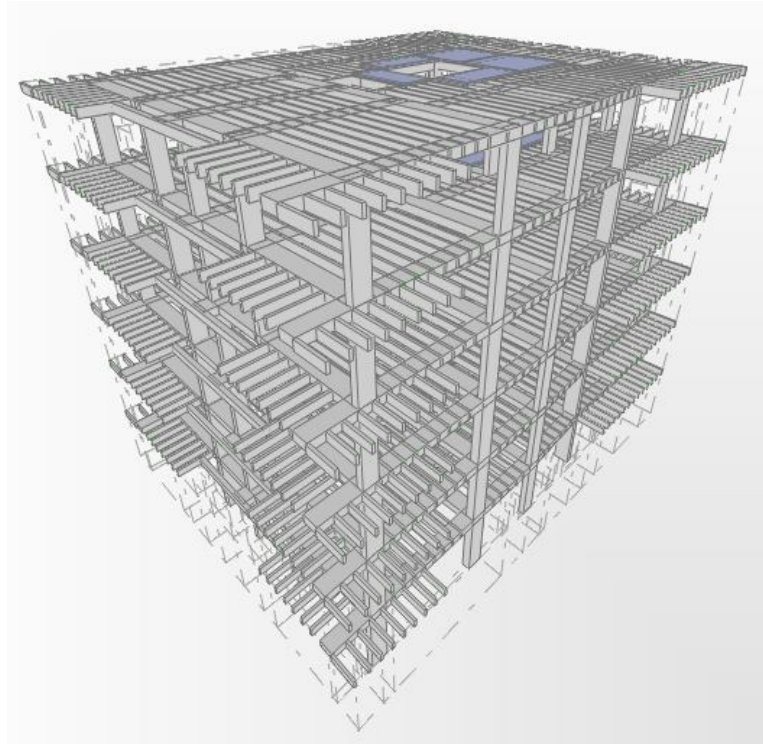
Proje bilgilerinde bodrum olarak ifade edilen kat sahada zemin kat olarak yol seviyesinde inşa edilmiştir. Dolayısıyla analizde yönetmelik bodrum kat kriterleri uygulanmamıştır.



The image shows a software dialog box for entering column information. The dialog is titled "Section Name" and contains the following fields and controls:

- Section Name:** A text box containing "S25x60_10Ø14".
- Section Notes:** A text box with a "Modify/Show Notes..." button.
- Properties:** A section with a "Section Properties..." button.
- Property Modifiers:** A section with a "Set Modifiers..." button.
- Material:** A dropdown menu showing "C25".
- Dimensions:** Two text boxes: "Depth (t3)" with the value "0,6" and "Width (t2)" with the value "0,25".
- Reinforcement Diagram:** A grid-based diagram showing a rectangular column cross-section with red dots representing reinforcement bars. Blue arrows labeled "2" and "3" indicate dimensions. A blue square labeled "Display Color" is visible below the diagram.
- Buttons:** "Concrete Reinforcement...", "OK", and "Cancel".

Şekil 5.2. Kolon bilgi girişi



Şekil 5.3. Yapının 3B görünümü

Daha sonra belirtilen analiz yöntemine göre yük tanımları yapılarak kolon-kiriş mafsallaşmaları incelenmiştir.

5.1. Proje Bilgileriyle – Eşdeğer Deprem Yükü Altında Analiz

Analizde kullanılan hesaplama yöntemi DBYBHY2007'deki kuvvet formüllerine göre yapılmıştır.

Tablo 5.3. Eşdeğer deprem yükü hesabı

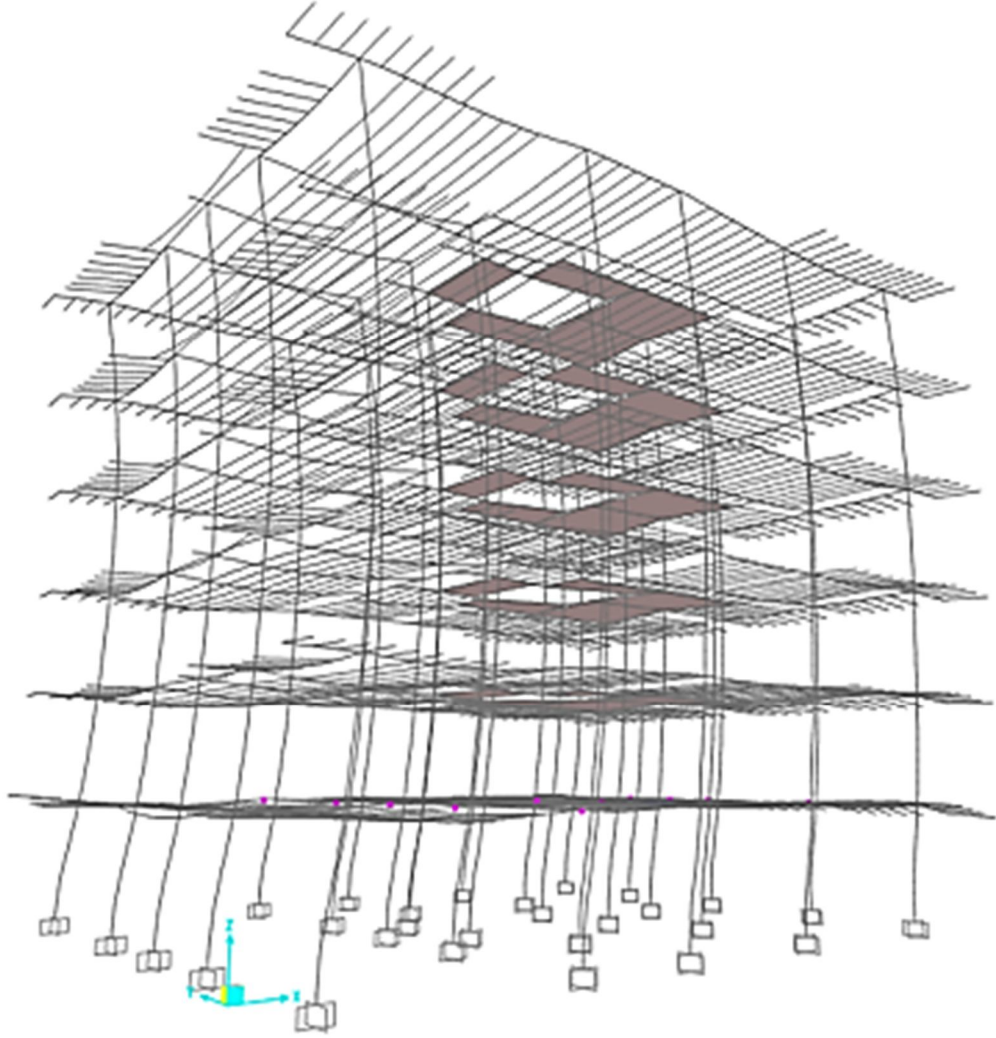
kat	hi (m)	Hi (m)	Wi (kN)	Wi.Hi	oran (%)	ΔF_{nx}	ΔF_{ny}
5	3,00	18,00	1570,00	28260,00	29%	211,95	211,95
4	3,00	15,00	1570,00	23550,00	24%	0,00	0,00
3	3,00	12,00	1570,00	18840,00	19%	0,00	0,00
2	3,00	9,00	1570,00	14130,00	14%	0,00	0,00
1	3,00	6,00	1570,00	9420,00	10%	0,00	0,00
Z	3,00	3,00	1570,00	4710,00	5%	0,00	0,00
toplam			9420,00	98910,00			

kat	$V_{tx}-\Delta F_{nx}$	$V_{ty}-\Delta F_{ny}$	Fix	Fiy	$Fix+\Delta F_{nx}$	$Fiy+\Delta F_{ny}$
5	9208,05	9208,05	2630,87	2630,87	2842,82	2842,82
4	9208,05	9208,05	2192,39	2192,39	2192,39	2192,39
3	9208,05	9208,05	1753,91	1753,91	1753,91	1753,91
2	9208,05	9208,05	1315,44	1315,44	1315,44	1315,44
1	9208,05	9208,05	876,96	876,96	876,96	876,96
Z	9208,05	9208,05	438,48	438,48	438,48	438,48
toplam			2630,87	2630,87	2630,87	2630,87
A(T) Hesabı			Vt Hesabı			Kat Sayısı 6
A0	0,4		W	9420		
I	1		A(T)	1		
S(T)	2,5		Ra(T)	1		
A(T)	1		$V_{tx} - V_{ty}$	9420,00	KN	

Hareketli Yük Hesabı		Birim
Birim Yük	0	KN/m ²
Döşeme Alanı	1836	m ²
Döşeme Yüğü	0	KN

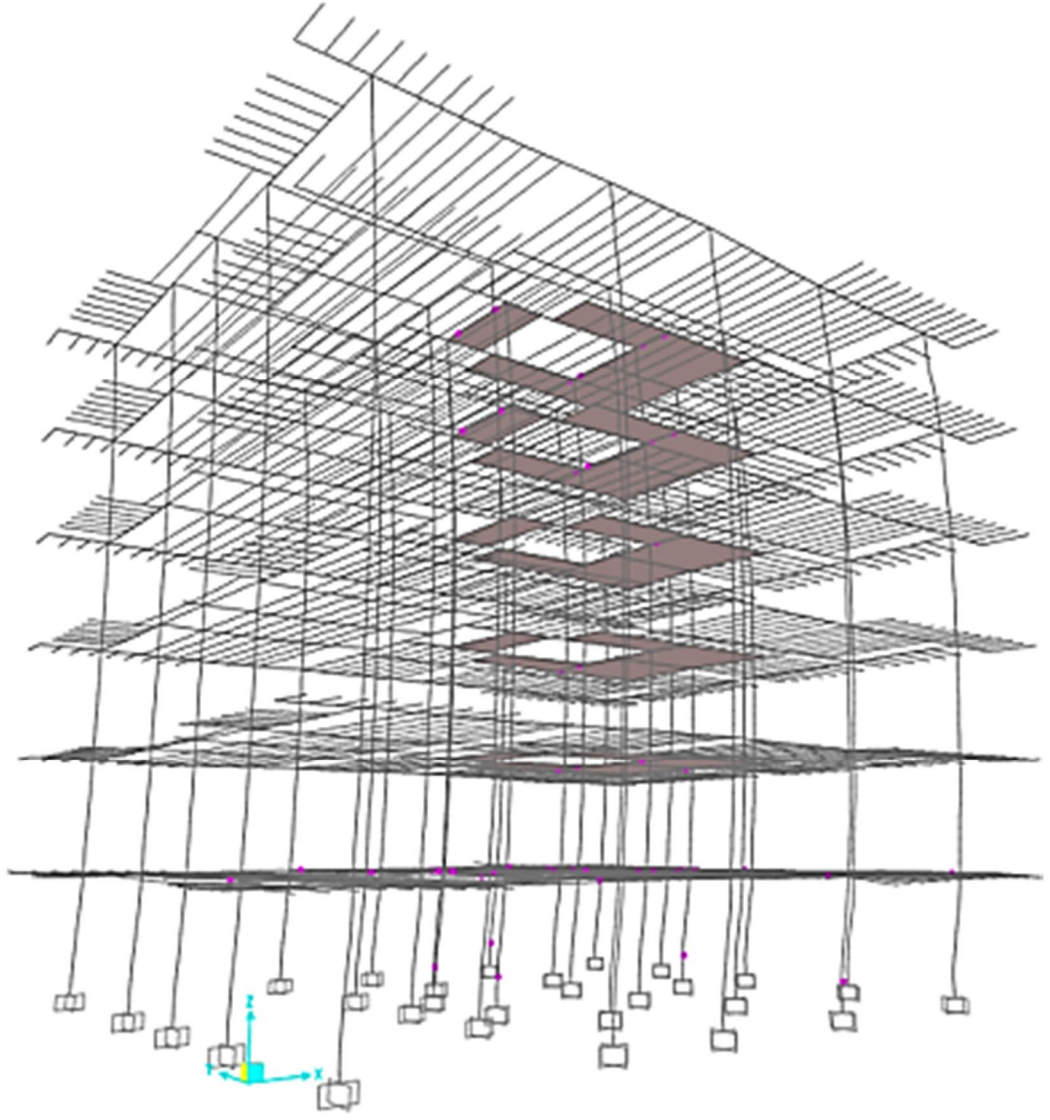
W Hesabı	
G	9420,00
Q	0,00
W (G+nQ)	9420

Bina karkas bölme duvar işi başlanmadan depreme maruz kalmıştır. Hareketli yük şartları gerçekleşmediğinden Q yükü hesaba dahil edilmemiştir.



Şekil 5.4. Proje bilgilerinden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

Zemin katta merdiven kovası etrafındaki bir kısım kiriş bağlantıları x yönünde mafsallaşmaya başlamıştır.



Şekil 5.5. Proje bilgilerinden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Hasarın en fazla gözlemlendiği Y yönünde kolon uç noktaları ve kiriş bağlantıları mafsallaşmaya başlamıştır.

5.2. Proje Bilgileriyle – Tek Mod Statik İtme Analizi

X yönü statik itme analizi için x yönünde %77 katılım oranıyla en fazla katkısı olan 3. sırada gözükten mod, 1. hakim mod olarak değerlendirilmiş ve mod şekli yük dağılımı olarak uygulanmıştır.

Tablo 5.4. X yönü modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
	MODAL	Mode	1	0,641907	0,000004429	0,78843	0,000000778
	MODAL	Mode	2	0,60675	0,00016	0,0002	0,00000011
▶	MODAL	Mode	3	0,545064	0,77154	0,00000346	0,00003863
	MODAL	Mode	4	0,219291	0,0000000321	0,11751	0,0000001111
	MODAL	Mode	5	0,20461	0,00001058	0,00218	0,0000001072
	MODAL	Mode	6	0,172128	0,11813	0,0000001349	0,00004051
	MODAL	Mode	7	0,128458	0,0000001237	0,0371	0,00000005552
	MODAL	Mode	8	0,119719	0,000001652	0,00521	0,0000002042
	MODAL	Mode	9	0,104912	0,0000000118	0,0000001092	0,00000001987
	MODAL	Mode	10	0,094024	0,000001563	0,00177	0,0000000838
	MODAL	Mode	11	0,093057	0,000002071	0,01299	0,000001169
	MODAL	Mode	12	0,091374	0,05	0,0000009261	0,000004778

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHX [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case: DEAD [v]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL [v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode [v]	3	1.
Mode [v]	3	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Other Parameters:

Load Application: Displ Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 5.6. X yönü tek mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi

Y yönü statik itme analizi için y yönünde %78 kütle katılım oranıyla en fazla katkısı olan 1. sırada görünen mod 1. hakim mod olarak değerlendirilmiş ve mod şekli yük dağılımı olarak kullanılmıştır.

Tablo 5.5. Y yönü modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,641907	0,000004429	0,78843	0,000000778
	MODAL	Mode	2	0,60675	0,00016	0,0002	0,00000011
	MODAL	Mode	3	0,545064	0,77154	0,00000346	0,00003863
	MODAL	Mode	4	0,219291	0,0000000321	0,11751	0,0000001111
	MODAL	Mode	5	0,20461	0,00001058	0,00218	0,0000001072
	MODAL	Mode	6	0,172128	0,11813	0,0000001349	0,00004051
	MODAL	Mode	7	0,128458	0,0000001237	0,0371	0,00000005552
	MODAL	Mode	8	0,119719	0,000001652	0,00521	0,0000002042
	MODAL	Mode	9	0,104912	0,0000000118	0,0000001092	0,00000001987
	MODAL	Mode	10	0,094024	0,000001563	0,00177	0,0000000838
	MODAL	Mode	11	0,093057	0,000002071	0,01299	0,000001169
	MODAL	Mode	12	0,091374	0,05	0,0000009261	0,000004778

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHY [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case [DEAD]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: [MODAL]

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1.
Mode	1	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

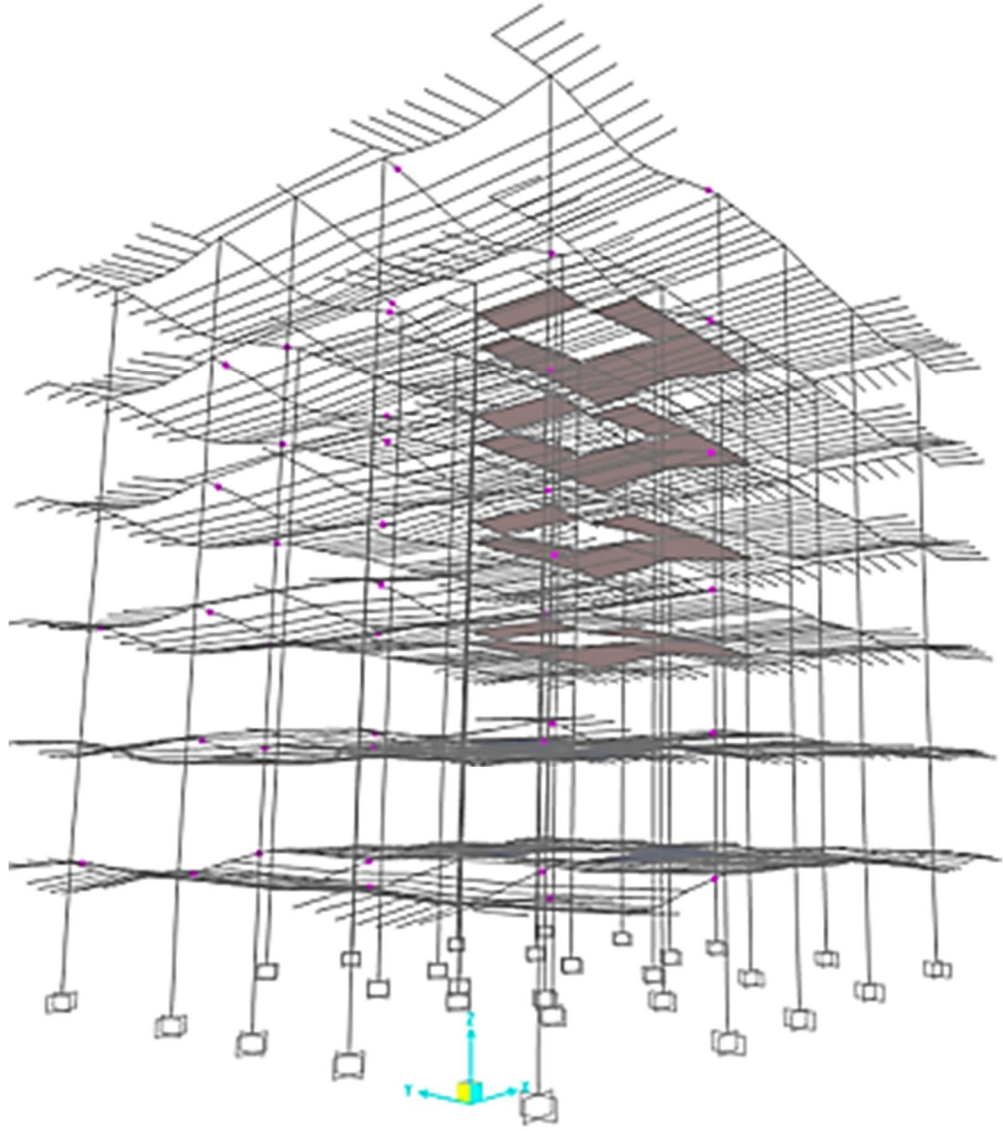
Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]

Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

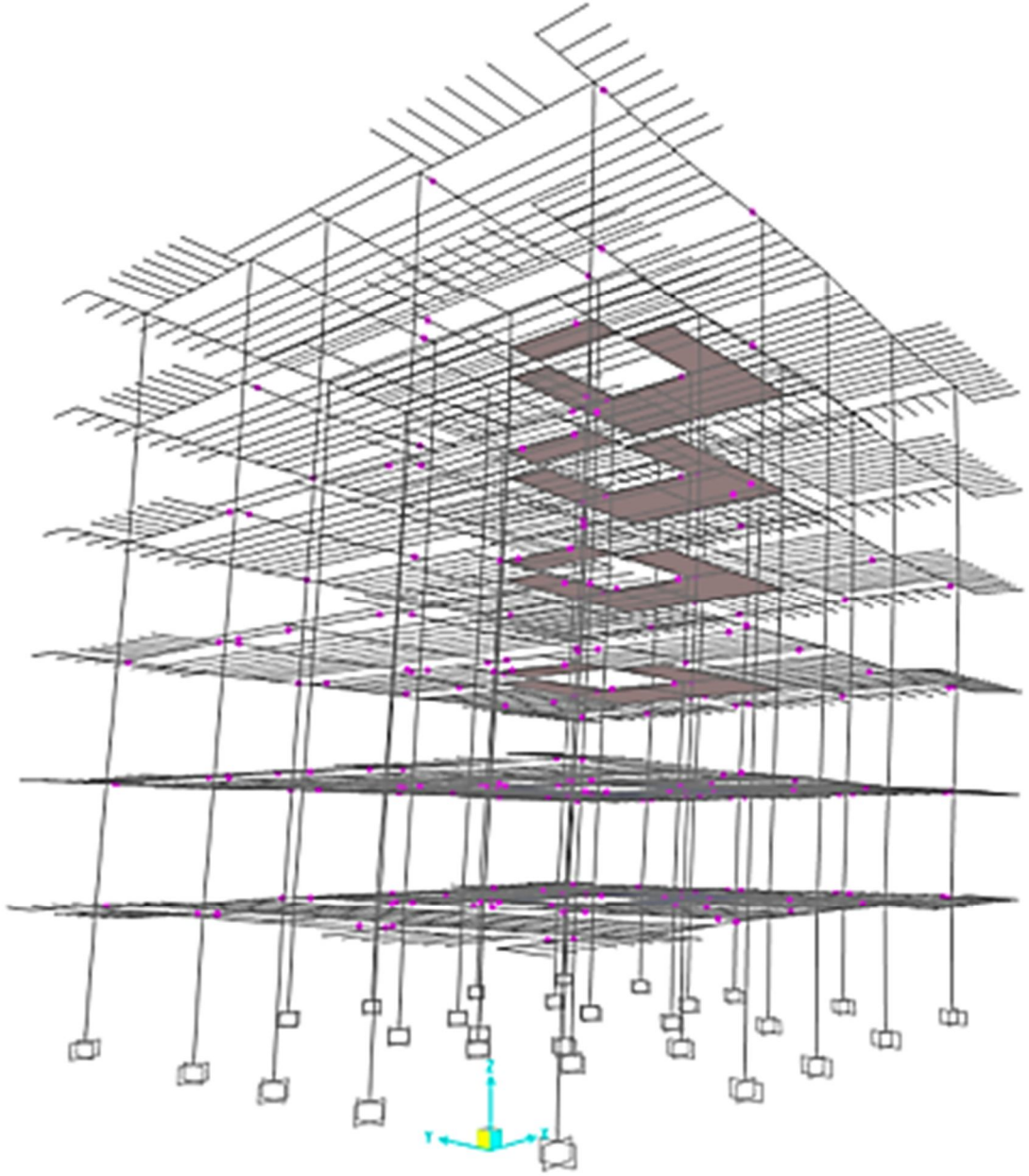
[OK] [Cancel]

Şekil 5.7. Y yönü tek mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi



Şekil 5.8. Proje bilgilerinden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

Katların genelinde yapının sol cephe kısmında kalan kiriş uç noktaları mafsallaşmaya başlamıştır.



Şekil 5.9. Proje bilgilerinden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Y yönünde kiriş uç noktaları yoğun olarak mafsallaşmaya başlamıştır.

5.3. Proje Bilgileriyle – Çok Modlu Statik İtme Analizi

X ve Y yönlerinin çok modlu statik itme analizleri için gerekli olacak mod sayısı yönetmelik hükümleri gereği kütle katılım oranlarını %95'e ulaştıran mod sayısı ile değerlendirilmiştir. Bu çerçevede 3., 6. ve 12. sırada çıkan modlar X yönü için, 1., 4.,

7. ve 11. sırada çıkan modlar Y yönü için çok modlu statik itme analizinde kullanılmıştır.

Tablo 5.6. Proje bilgilerinden elde edilen modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,641907	0,000004429	0,78843	0,000000778
	MODAL	Mode	2	0,60675	0,00016	0,0002	0,00000011
	MODAL	Mode	3	0,545064	0,77154	0,00000346	0,00003863
	MODAL	Mode	4	0,219291	0,0000000321	0,11751	0,0000001111
	MODAL	Mode	5	0,20461	0,00001058	0,00218	0,0000001072
	MODAL	Mode	6	0,172128	0,11813	0,0000001349	0,00004051
	MODAL	Mode	7	0,128458	0,0000001237	0,0371	0,00000005552
	MODAL	Mode	8	0,119719	0,000001652	0,00521	0,0000002042
	MODAL	Mode	9	0,104912	0,0000000118	0,0000001092	0,00000001987
	MODAL	Mode	10	0,094024	0,000001563	0,00177	0,0000000838
	MODAL	Mode	11	0,093057	0,000002071	0,01299	0,000001169
	MODAL	Mode	12	0,091374	0,05	0,0000009261	0,000004778

Load Case Name: PUSHX [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [DEAD]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	0.82
Mode	6	0.128
Mode	12	0.052

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]
- Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 5.10. X yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi

Load Case Name: PUSHY Set Def Name Notes: Modify/Show... Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case: DEAD Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	0,82
Mode	1	0,82
Mode	4	0,125
Mode	7	0,04
Mode	11	0,015

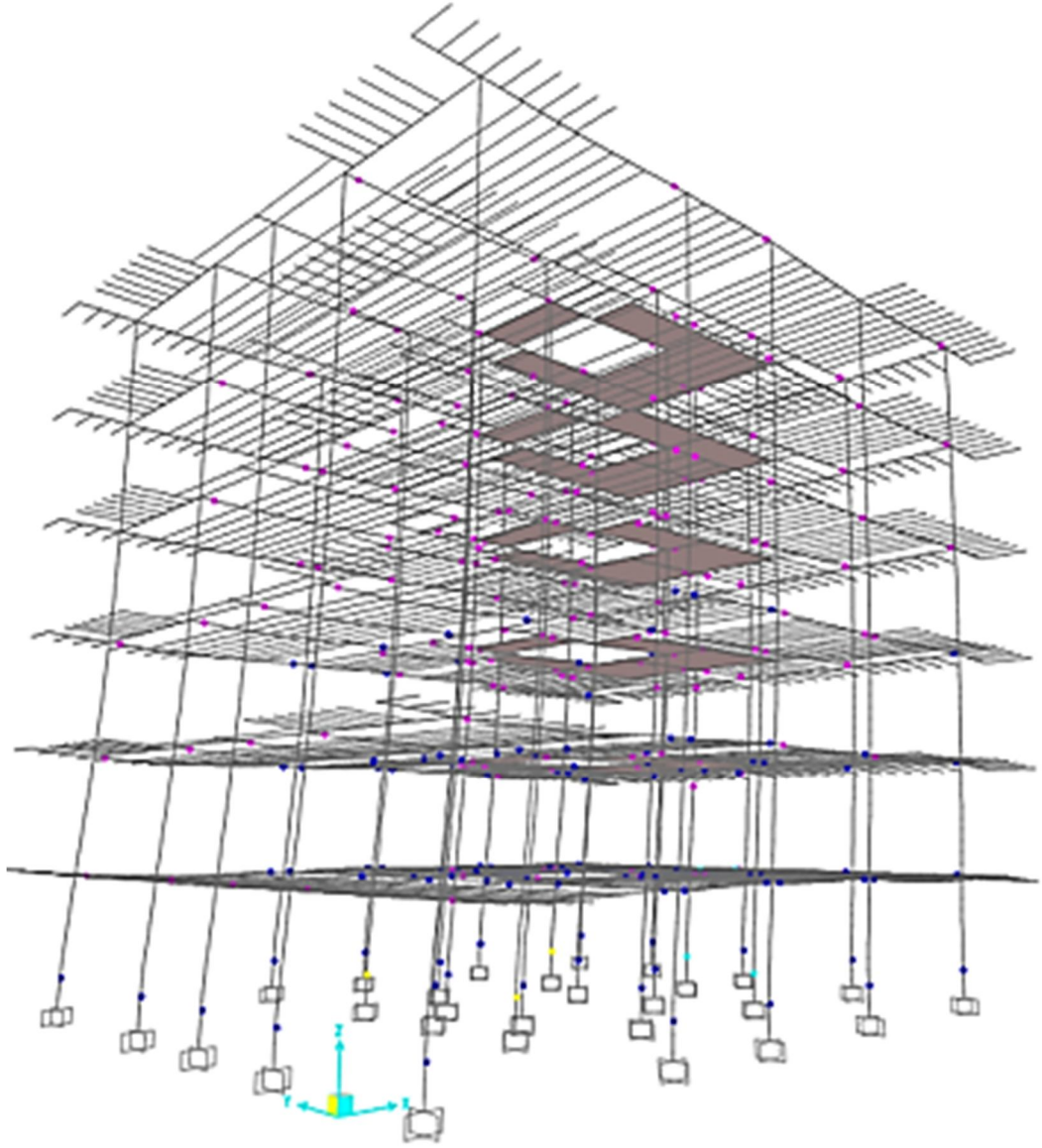
Add Modify Delete

Other Parameters:
Load Application: Displ Control Modify/Show...
Results Saved: Multiple States Modify/Show...
Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

OK Cancel

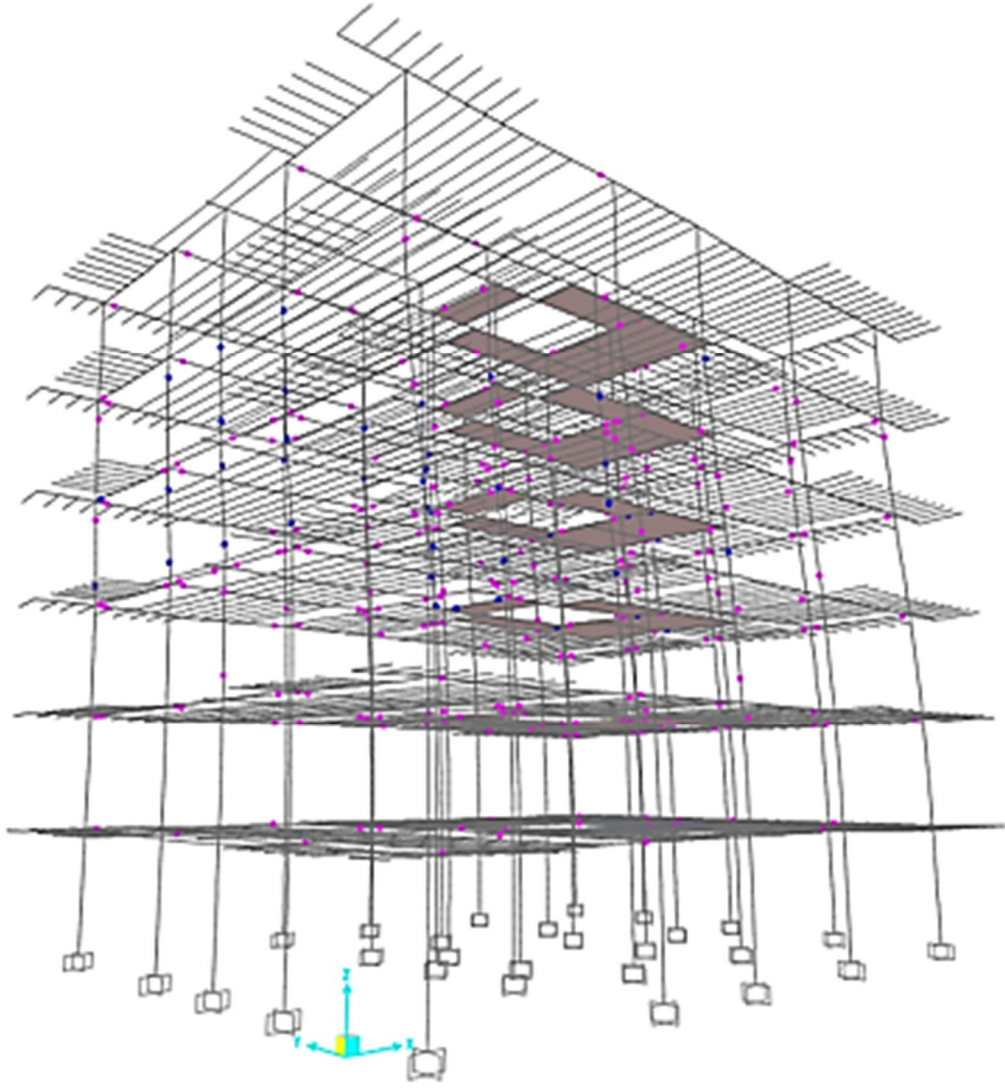
Şekil 5.11. Y yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi

Burada etkin olan bütün modlar kütle katılım oranlarında paylaştırılarak yapıya etkilmiştir. X ve Y yönündeki 1. hakim modların %82 oranında kütle katılım oranına sahip olduğu görülmektedir. Doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.



Şekil 5.12. Proje bilgilerinden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

X yönünde zemin katta kolon uç noktaları ve tüm katlarda belirli kirişlerde uç noktaları mafsallaşmaya başlamıştır.

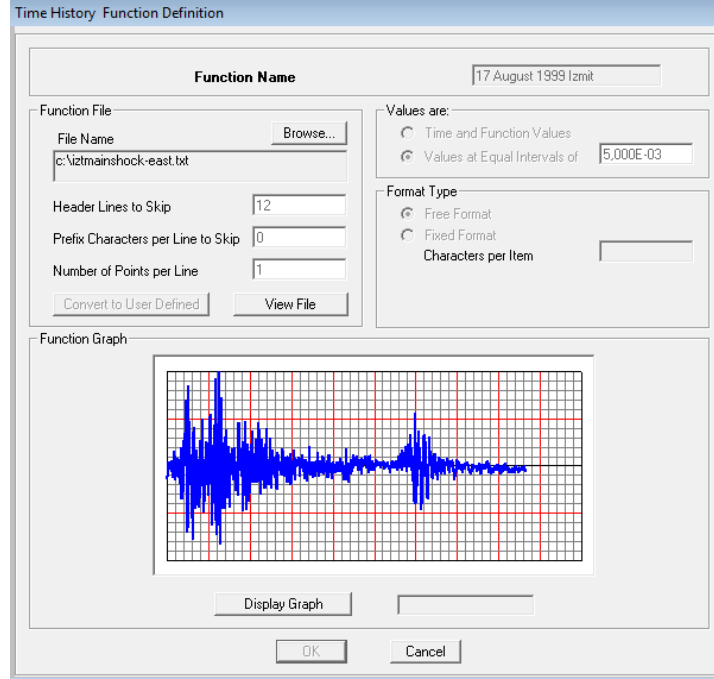


Şekil 5.13. Proje bilgilerinden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

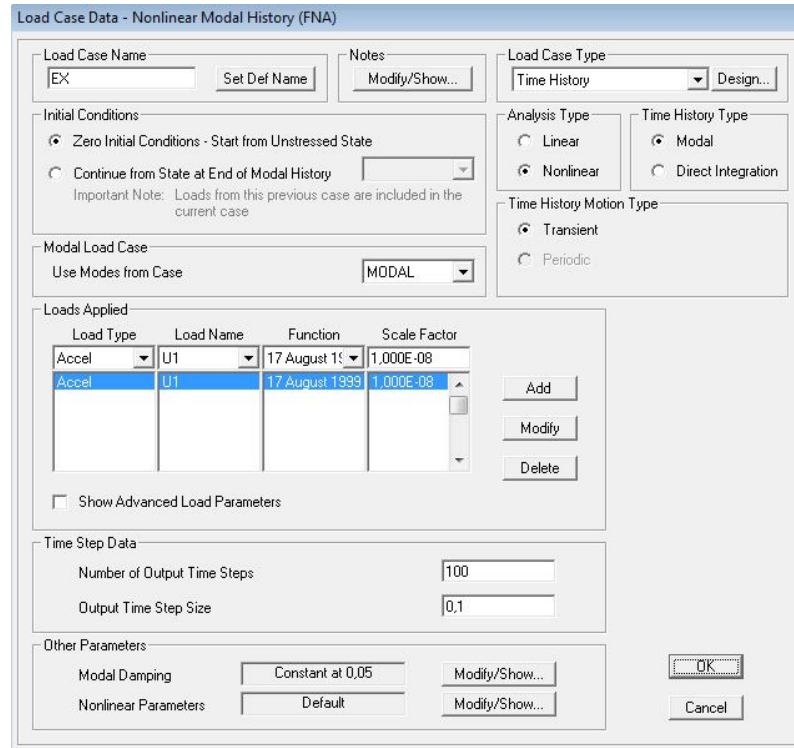
Y yönünde kiriş uç noktaları mafsallaşmaya başlamıştır.

5.4. Proje Bilgileriyle – Zaman Tanım Alanında Analiz

Analizde yapıya etkiyen 17 Ağustos 1999 depreminin İzmit kaydı kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılırken programa önce yapıya yakın noktada kaydedilen deprem değerleri alınmıştır. Bu değerler programa tanıtılmış sonrasında da analizlerde X ve Y yönlü olarak doğrusal olmayan yük olarak kullanılmıştır. Gerekli kombinasyonların zarfları alınmıştır. Sonrasında beton kontrol seçeneğinden her elemanın kuvvet-moment diyagramında yer alan mertebeleri tespit edilerek hasar görülebilirlik mertebeleri hakkında sonuç elde edilmiştir.

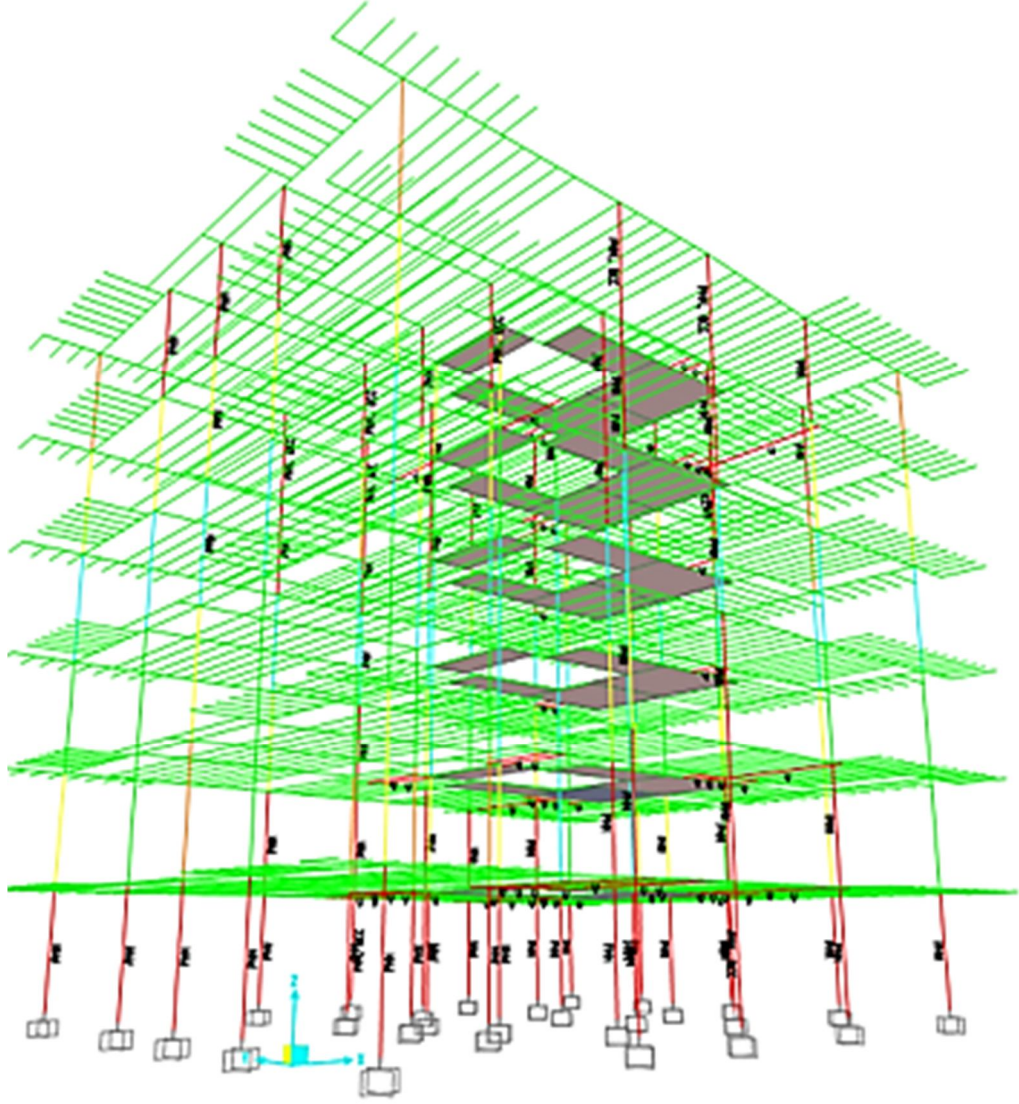


Şekil 5.14. 17 Ağustos 1999 İzmit doğu deprem kaydı



Şekil 5.15. Deprem kaydının programa yük olarak tanıtılması

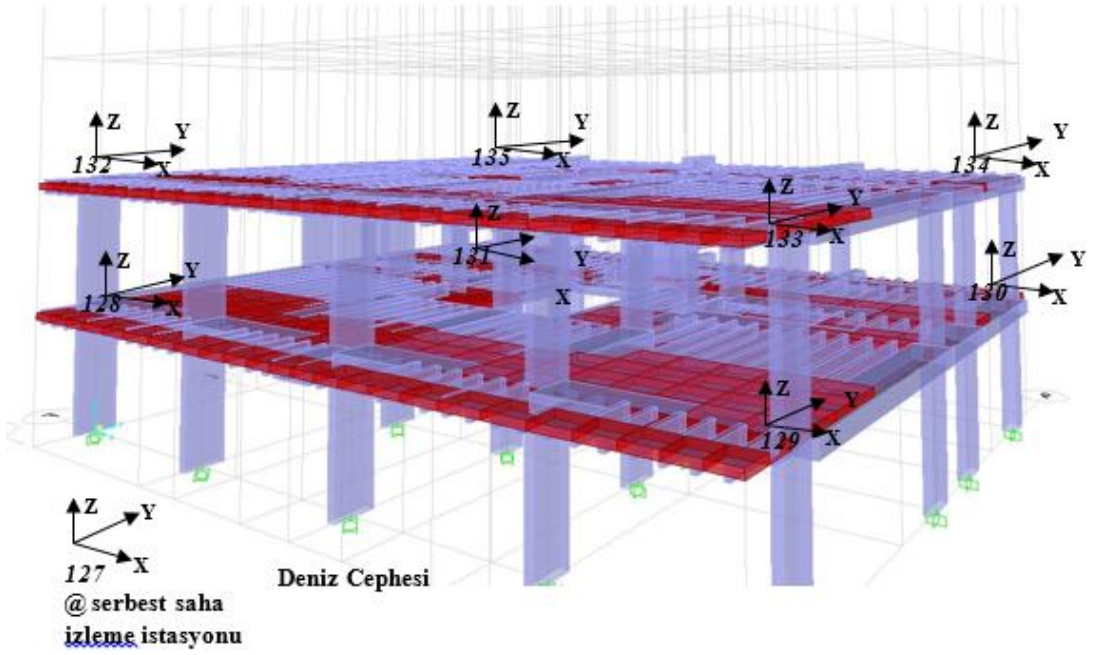
Göçme mekanizması incelendiğinde kolonların hasar görülebilirlik mertebesi tespit edilmiştir.



Şekil 5.16. Proje bilgilerinden faydalanılarak zaman tanım alanı analiz metoduyla bulunan hasar görülebilirlik mertebeleri

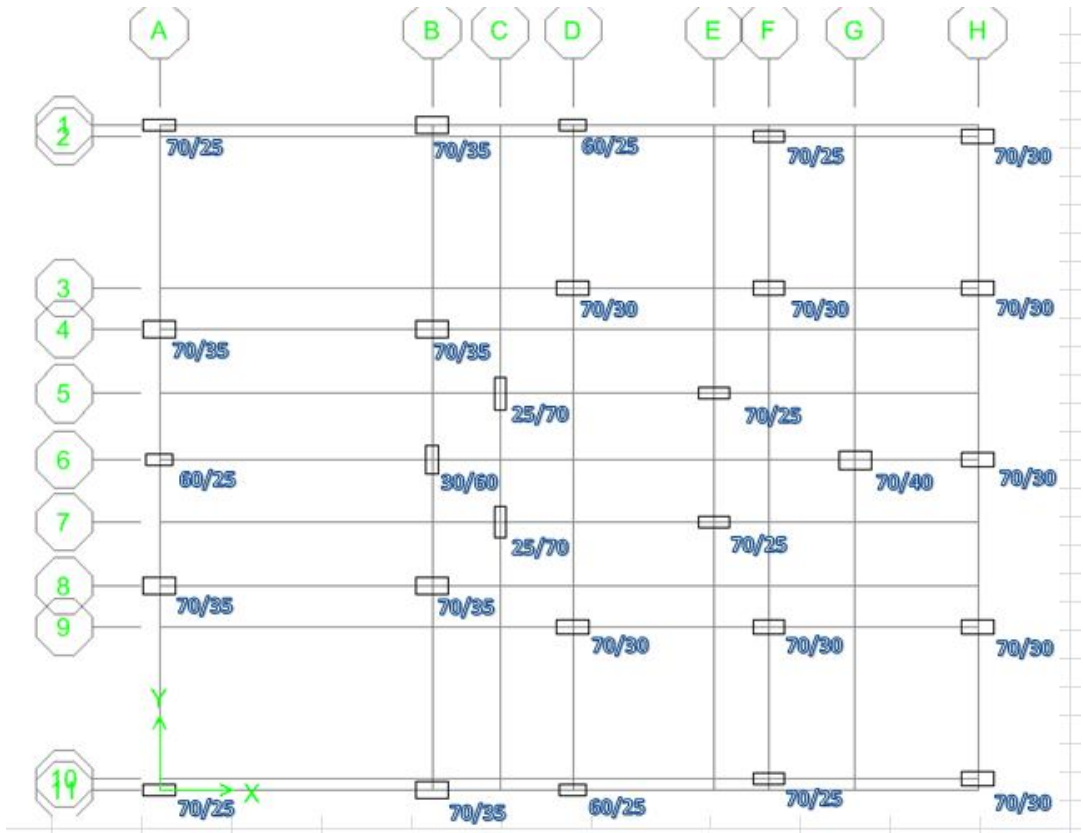
5.5. Modal Parametrelerle Model Kalibrasyonu

Modal parametre yöntemine göre sahada bulunan iki katlı bir yapı incelenmiş ve model kalibrasyonları yapıldıktan sonra iki kat altı kata klonlanarak incelemeler yapılmıştır. Buradaki kalibrasyonlar; a)Yapı dinamiği yöntemi, b)Saha çalışmalarından elde edilen modal parametreler ve c)Yapı analiz programı olan Etabs'dan gelen modal bilgiler ışığında yapılacaktır.



Şekil 5.17. 3 numaralı blok için üretilmiş nümerik model üzerine kurulmuş gözlem istasyonu, cihaz numaraları ve yönelim bilgileri

5.5.1. Yapı Dinamiğinden Bildiğimiz Lineer Teorik Yaklaşım



Şekil 5.18. Tipik kat kolon planı

Tablo 5.7. Kolon rijitlik bilgileri

Kolonlar	B(m)	H(m)	I _{yy} (m ⁴)	I _{xx} (m ⁴)			
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004	E	30250000	kN/m ²
60/25	0.6	0.25	0.000781	0.0045	L	3	m
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004			
25/70	0.25	0.7	0.007146	0.000911			
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
60/25	0.6	0.25	0.000781	0.0045			
30/60	0.3	0.6	0.0054	0.00135			
70/40	0.7	0.4	0.003733	0.011433			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
25/70	0.25	0.7	0.007146	0.000911			
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
70/35	0.7	0.35	0.002501	0.010004			
60/25	0.6	0.25	0.000781	0.0045			
70/25	0.7	0.25	0.000911	0.007146			
70/30	0.7	0.3	0.001575	0.008575			
			0.060419	0.208181			

Tablo 5.8. Blok 3 için x yönlü değerler

$$M = \begin{vmatrix} 353.15 & 0 \\ 0 & 351.31 \end{vmatrix}$$

$$K = \begin{vmatrix} 5597762.5 & -2798881.25 \\ -2798881.25 & 2798881.25 \end{vmatrix}$$

$$|k-w^2m| = \begin{vmatrix} 5597763-353.15w^2 & -2798881.25 \\ -2798881.25 & 2798881.25-351.31w^2 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 124065w^4 & -2954974857w^2 & 7.83374E+12 \\ a & b & c \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 4.8443E+18$$

$$w_1^2 = 3038.715459$$

$$w_2^2 = 20779.21743$$

$$w_1 = 55.12454498$$

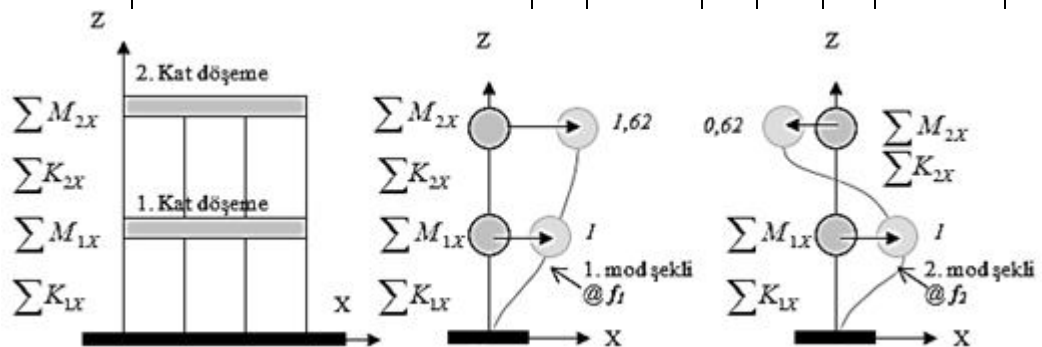
$$w_2 = 144.1499824$$

$$T_1 = 0.113978265 \text{ sn}$$

$$T_2 = 0.043586547 \text{ sn}$$

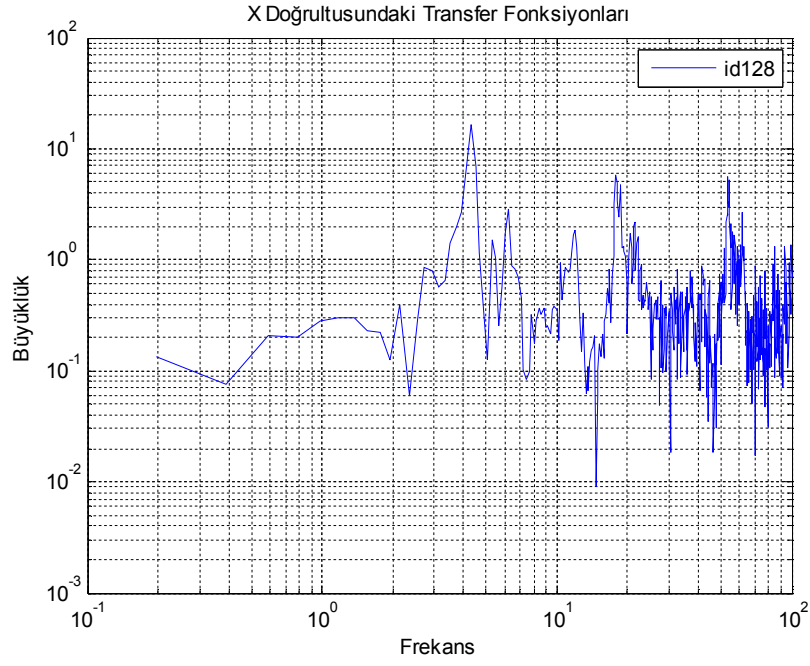
$$|k-w_1^2m| = \begin{vmatrix} 4524640.136 & -2798881.25 \\ -2798881.25 & 1731350.122 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1.616589 \end{vmatrix}$$

$$|k-w_2^2m| = \begin{vmatrix} -1740418.137 & -2798881.25 \\ -2798881.25 & 4501065.627 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ -0.62183 \end{vmatrix}$$



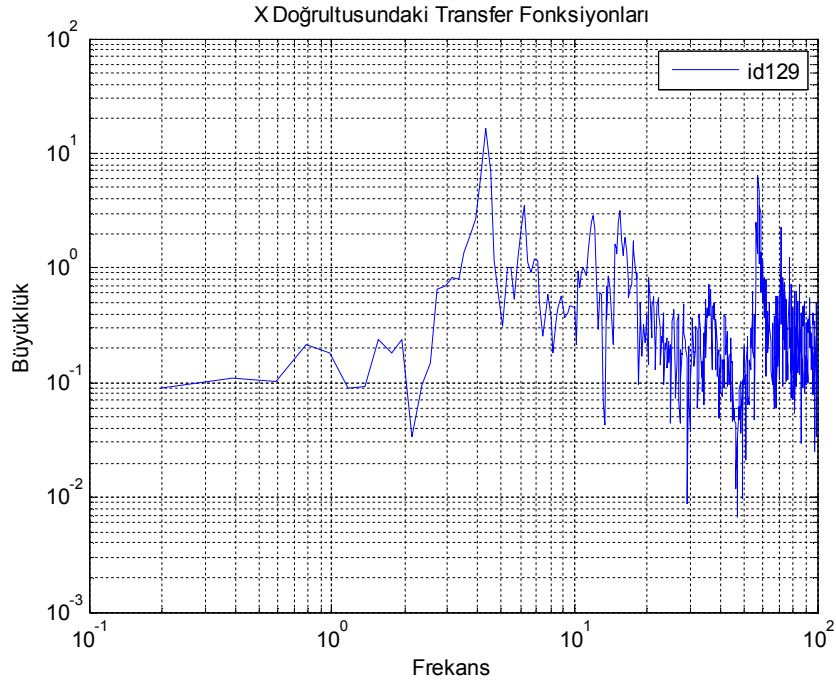
5.5.2 Saha çalışmalarından elde edilen modal parametreler

Blok 3 için Matlab kodları Ek 5’de verilmiştir.



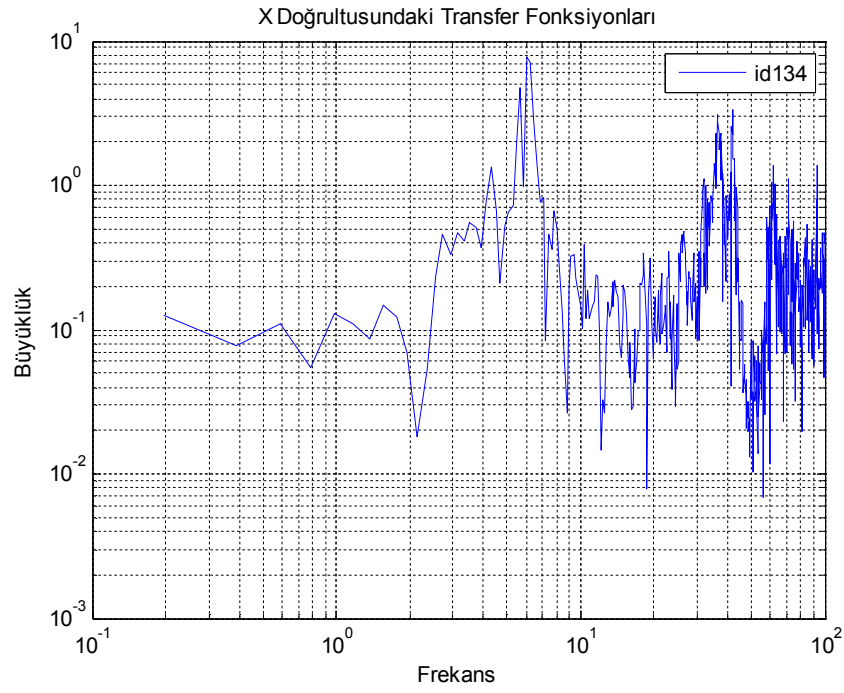
Şekil 5.19. 128 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği

Görüleceği üzere 2. Pik noktası yaklaşık olarak 9 rad/sn, 3. Pik noktası 25 rad/sn mertebesindedir.



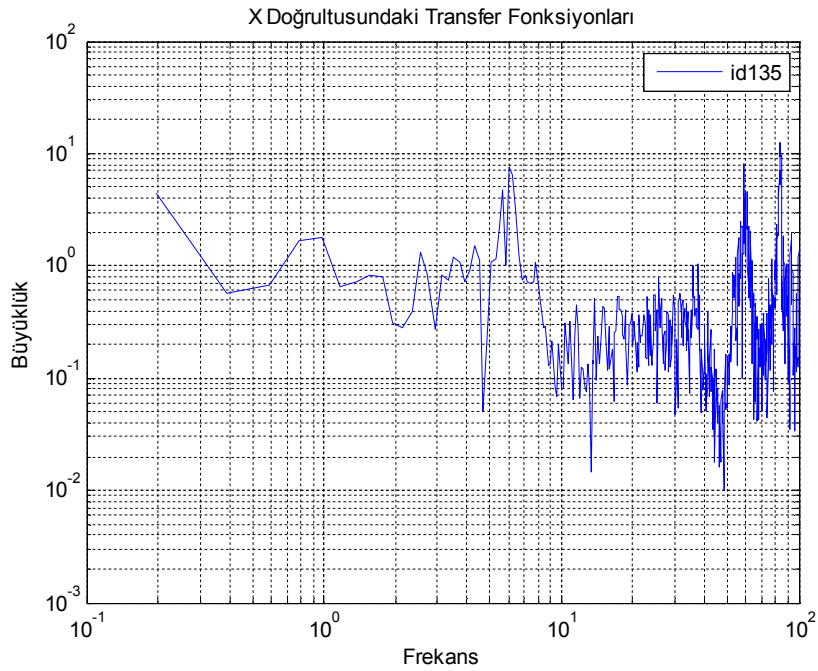
Şekil 5.20. 129 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği

Görüleceği üzere 2. Pik noktası yaklaşık olarak 9 rad/sn, 3. Pik noktası 25 rad/sn mertebesindedir.



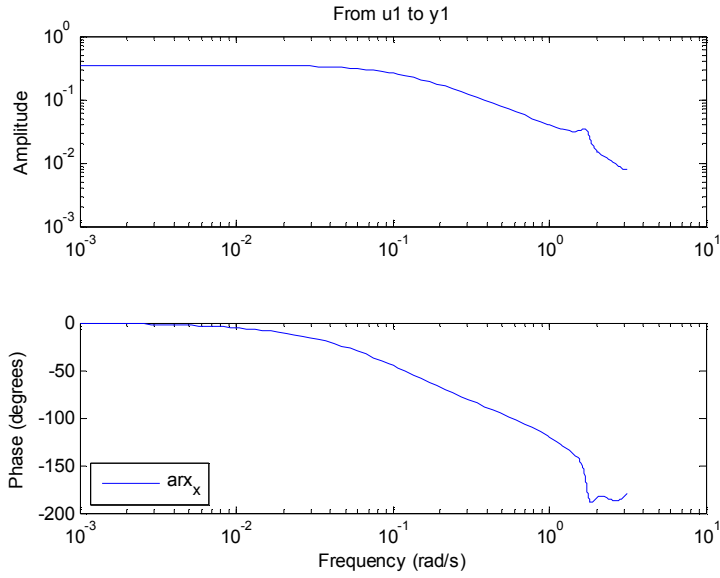
Şekil 5.21. 134 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği

Görüleceği üzere 2. Pik noktası yaklaşık olarak 9 rad/sn, 3. Pik noktası 25 rad/sn mertebesindedir.

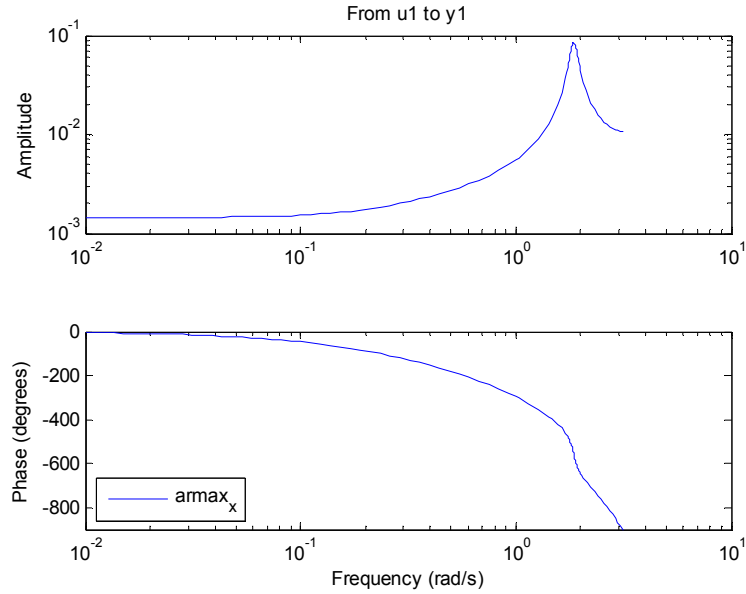


Şekil 5.22. 135 numaralı eleman için x yönlü transfer fonksiyon grafiği

Görüleceği üzere 2. Pik noktası yaklaşık olarak 9 rad/sn, 3. Pik noktası 25 rad/sn mertebesindedir.



Şekil 5.23. Arx yöntemiyle şiddet&faz-frekans ilişkisi

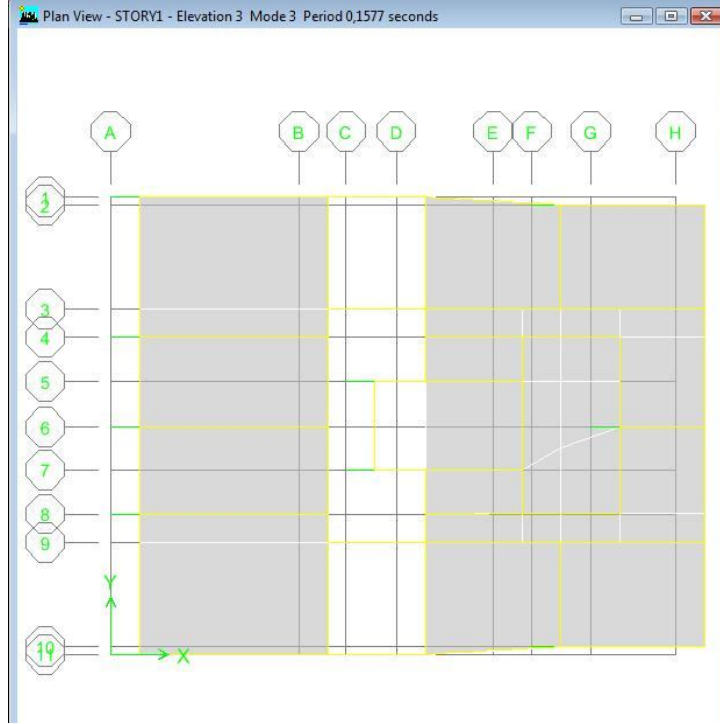


Şekil 5.24. Armax yöntemiyle şiddet&faz-frekans ilişkisi

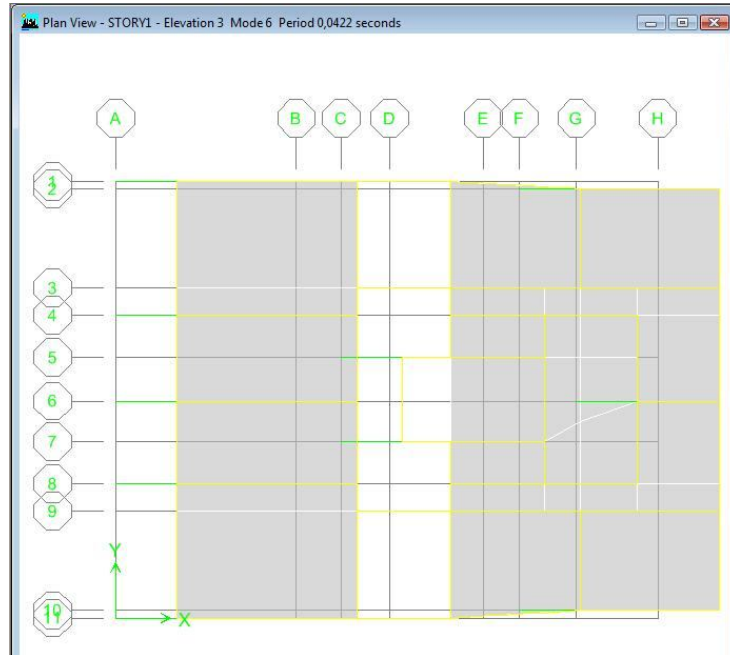
Frekans değerinin yapı dinamiğinden elde edilen sonuçlar neticesinde x yönlü 1. hakim mod için 9 rad/sn, 2. hakim mod için 25 rad/sn civarında çıkması beklenmektedir. Bu aralık yapı modelinde 2. ve 3. moda karşılık gelmektedir. Transfer fonksiyon grafiklerine bakıldığında 2. ve 3. pik noktalarına karşılık gelen değerler genel olarak 8-10 ile 24-28 değerlerinin ortalarında çıkmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak 9 rad/sn

ve 25 rad/sn'dir. Buradan elde edilecek sonuç x yönlü hakim modlar için $T_1=0,11$ sn ve $T_1=0,04$ sn civarında olmalıdır.

5.5.3. Yapı analiz programı olan Etabs'dan gelen modal bilgiler



Şekil 5.25. X yönü modal frekans değerleri



Şekil 5.26. Y yönü modal frekans değerleri

Tablo 5.9. Blok 3 için analizden gelen modal parametreler

Story	Diaphragm	Mode	UX	UY	UZ
STORY1	D1	1	0	-0.0361	0
STORY2	D2	1	0	-0.0692	0
STORY1	D1	2	-0.0001	-0.0001	0
STORY2	D2	2	-0.0002	-0.0013	0
STORY1	D1	3	0.0309	0	0
STORY2	D2	3	0.072	0	0
STORY1	D1	4	0	-0.0649	0
STORY2	D2	4	0	0.0384	0
STORY1	D1	5	-0.0001	-0.0036	0
STORY2	D2	5	0	0.0018	0
STORY1	D1	6	0.0676	0	0
STORY2	D2	6	-0.0329	0	0

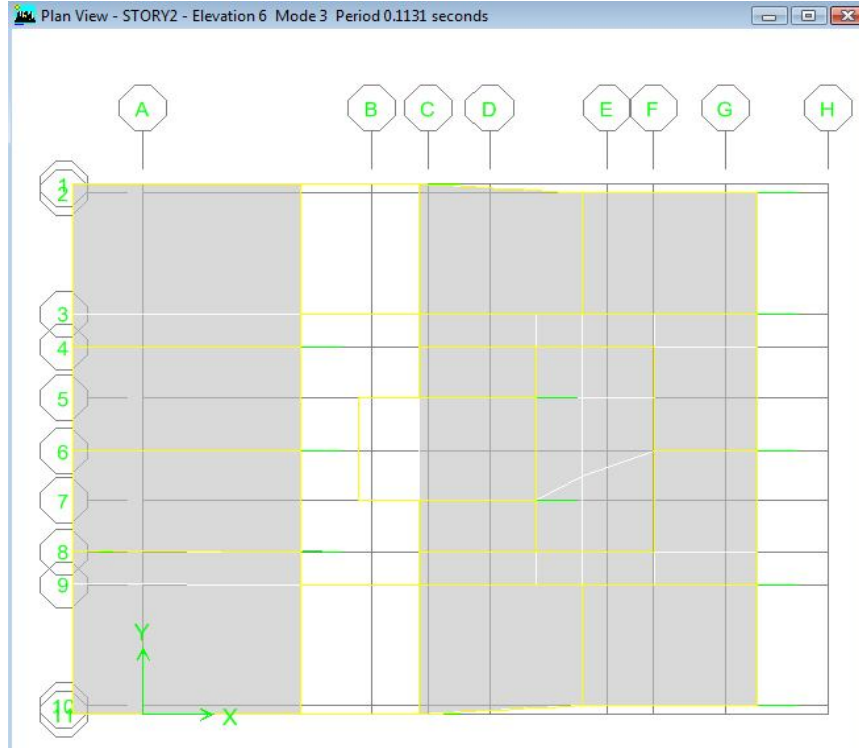
Ötelenmeler

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0.201705	0	90.6853	0	0	90.6853	0
2	0.174808	0.0004	0.0163	0	0.0004	90.7016	0
3	0.157702	85.6962	0	0	85.6966	90.7016	0
4	0.066764	0	9.2598	0	85.6966	99.9615	0
5	0.05248	0	0.0385	0	85.6966	100	0
6	0.04219	14.3034	0	0	100	100	0

Analizde görüleceği üzere x yönlü hakim 1. modda $T=0,16$ sn, 2. modda ise $T=0,042$ sn çıkmaktadır. Mod şekli olarak 1. modda $0,072/0,0309=2,33$, 2. modda $0,0676/(-0,0329)=-2,05$ oran vardır. Yapı dinamiği ve Matlab verilerine göre bu değerler 1. modda $T=0,11$ sn ve 2. modda $T=0,045$ olmalıdır. Mod şekli ise 1. modda 1,6 ve 2. modda -1,61 civarında orantılı olarak çıkmalıdır. Yapı modelinde Elastisite modülü, kütle, rijitlik gibi değerler değiştirilerek bu değerlere yaklaşılmaya çalışılacaktır.

Kalibrasyonda kütle azaltılmış ve elastisite modülü artırılmıştır ve birinci mod için $T=0,11$ sn değerine ikinci mod için $T=0,03$ sn değerine ulaşılmıştır. Yüzde birlik sn mertebesi göz ardı edilebileceğinden periyot bazında yapı dinamiği ve saha çalışmaları değerlerine ulaşılmıştır. Mod şekli oranı ise birinci mod için $0,0929/0,0399=2,32$ ve ikinci mod için $0,0837/(-0,0425)=-1,97$ seviyesine çekilmiştir. Bundan sonraki kalibrasyon kütle, rijitlik ve elastisite modülü ile ilgili olmayıp, saha çalışmalarında hasar almış olabilecek elemanların incelenmesi ve modele işlenmesi ile yapılmalıdır.

Çünkü bu değerler değiştirildikçe periyot değerleri de bulunan değerlerle orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 5.27. Kalibrasyon sonrası x yönlü modal frekans değerleri

Tablo 5.10. Blok 3 için model kalibrasyon sonrası oluşan modal parametreler

Story	Diaphragm	Mode	UX	UY	UZ
STORY1	D1	1	0	0.0466	0
STORY2	D2	1	0	0.0893	0
STORY1	D1	2	0.0001	0.0002	0
STORY2	D2	2	0.0002	0.0017	0
STORY1	D1	3	-0.0399	0	0
STORY2	D2	3	-0.0929	0	0
STORY1	D1	4	0	-0.0838	0
STORY2	D2	4	0	0.0495	0
STORY1	D1	5	-0.0001	-0.0046	0
STORY2	D2	5	0.0001	0.0023	0
STORY1	D1	6	-0.0873	0	0
STORY2	D2	6	0.0425	0	0
Mode	Period	UX	UY		
1	0.14465	0	90.6853		
2	0.125361	0.0004	0.0163		
3	0.113094	85.6962	0		
4	0.047879	0	9.2598		
5	0.037635	0	0.0385		
6	0.030256	14.3034	0		

Kalibrasyon sonucunda periyot değerleri yüzde birler mertebesi göz ardı edildiğinde %99 oranında, mod şekilleri ise %82 oranında birbirini tutmaktadır.

5.6. Deneysel ve Analitik Modellerin Modal Şekiller Arası Korelasyon Teknikleriyle Değerlendirme

$$MAC(\{\Phi_X\}_i, \{\Phi_A\}_j) = \frac{|\{\Phi_X\}_i^T \{\Phi_A\}_j|^2}{(\{\Phi_X\}_i^T \{\Phi_X^*\}_i)(\{\Phi_A\}_j^T \{\Phi_A^*\}_j)}; \quad (5.1)$$

MAC yöntemiyle korelasyon öncesi ve sonrası durumları incelersek;

Korelasyon öncesi MAC değeri;

Mod şekli olarak 1. modda $0,072/0,0309=2,33$, 2. modda $0,0676/(-0,0329)=-2,05$ oran vardır. Mod şekli 1. modda 1,6 ve 2. modda -1,61 civarında orantılı olarak çıkmalıdır.

1. mod için değerler matlabde yazıldığında;

$$\begin{aligned} >> MAC = (abs(fi_x'.fi_a)^2)/((fi_x'.fi_xx).(fi_a'.fi_ax)) \\ MAC = 0,9757 \end{aligned} \quad (5.2)$$

değerine ulaşılmaktadır.

2. mod için değerler matlabde yazıldığında;

$$\begin{aligned} >> MAC = (abs(fi_x'.fi_a)^2)/((fi_x'.fi_xx).(fi_a'.fi_ax)) \\ MAC = 0,9744 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Burada değerin 1'e yaklaşması analitik ve deneysel sonuçların birbirine benzerliğini göstermektedir.

Kalibrasyon sonrası MAC değerlerini inceleyecek olursak;

Kalibrasyonda kütle azaltılmış ve elastisite modülü artırılmıştır Mod şekli oranı ise birinci mod için $0,0929/0,0399=2,32$ ve ikinci mod için $0,0837/(-0,0425)=-1,97$ seviyesine çekilmiştir.

1. mod için değerler matlabde yazıldığında;

$$\begin{aligned} >> MAC = (abs(fi_x'.fi_a)^2)/((fi_x'.fi_xx).(fi_a'.fi_ax)) \\ MAC = 0,9735 \end{aligned} \quad (5.4)$$

değerine ulaşılmaktadır. Bu değer korelasyon öncesinde 0.9757 idi.

2. mod için değerler matlabde yazıldığında;

$$\begin{aligned} >> MAC = (abs(fi_x'.fi_a)^2)/((fi_x'.fi_xx).(fi_a'.fi_ax)) \\ MAC = 0,9894 \end{aligned} \quad (5.3)$$

değerine ulaşılmaktadır. Bu değer korelasyon öncesinde 0.9744 idi.

MAC değerlerinden anlaşılacağı üzere korelasyon sonrasında x yönlü hakim 1. modda %1 mertebesinde düşme olurken, 2. modda %1 mertebesinde yükselme vardır.

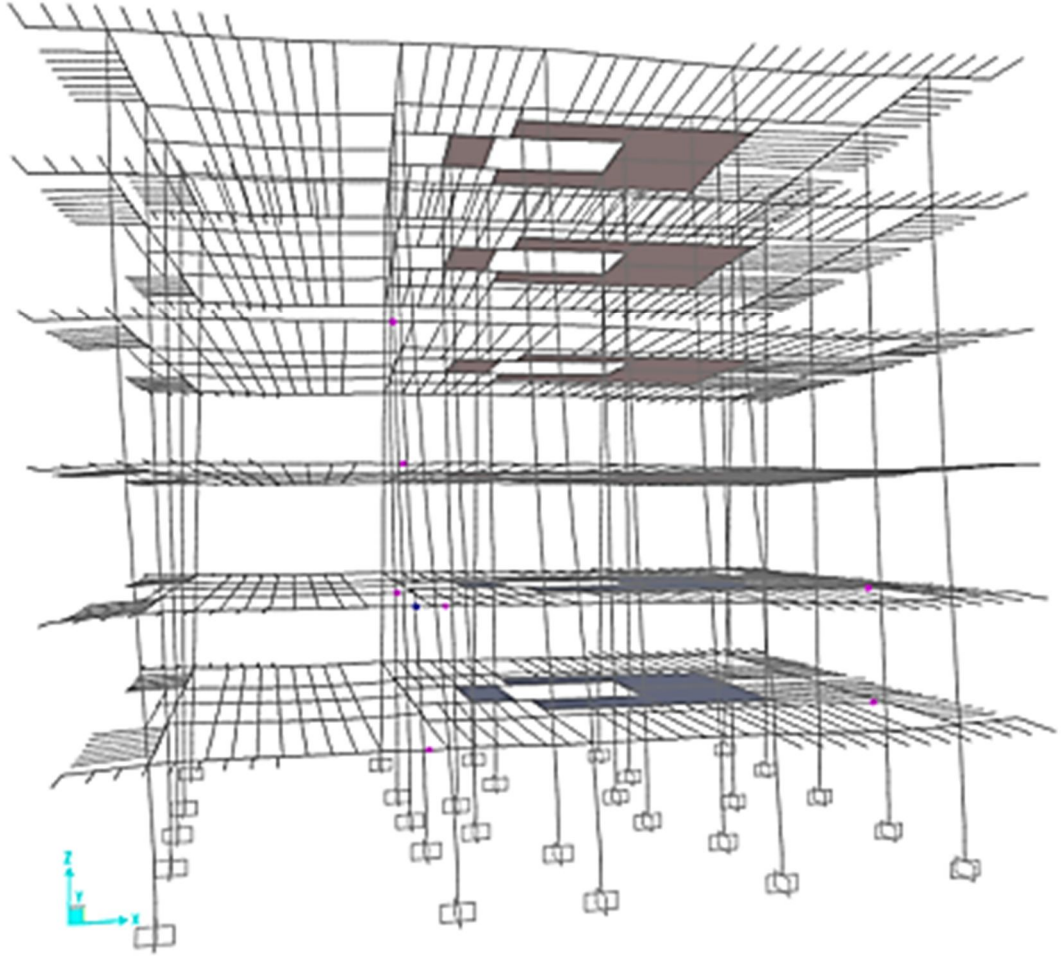
Periyot değeri 1. modda 0.15sn'den 0.11sn'ye çekilmiştir.

Buraya kadar yapılan çalışmadaki model 6 kata klonlanarak üzerinde çalıştığımız mevcut yapı modeli elde edilecektir.

6.GÜNCELLENMİŞ MODELLE ÇALIŞILAN BİNANIN İNCELENMESİ

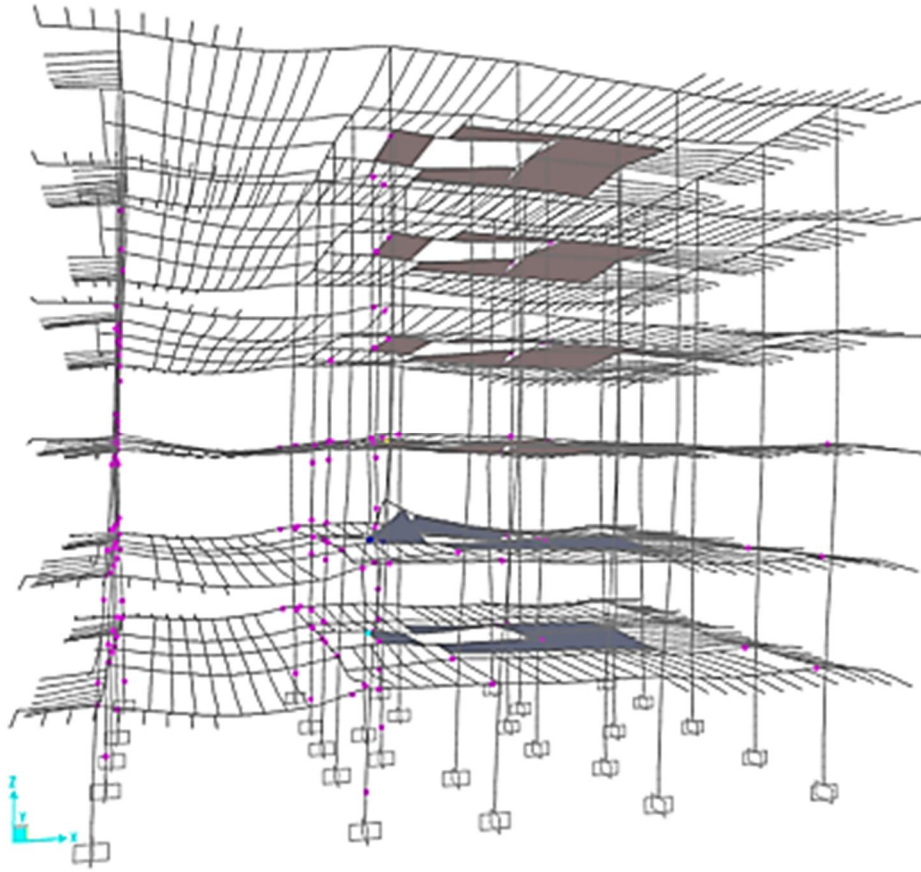
6.1. Güncellenmiş Model – Eşdeğer Deprem Yüğü Altında Analiz

Eşdeğer deprem yükü Bölüm 5.1’de hesaplandığı gibi programa tanımlanmıştır.



Şekil 6.1. Güncellenmiş modelden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşma

X yönünde belirli kirişlerde uç noktaları mafsallaşmaya başlamıştır.



Şekil 6.2. Güncellenmiş modelden faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşma

Y yönünde belirli kirişlerde ve zemin kat kolonlarının bir kısmında noktaları mafsallaşma görülmektedir.

6.2. Güncellenmiş Model – Tek Modlu Statik İtme Analizi

X Yönlü pushover analizi için o yündeki en fazla mod katkısı olan 3. Mod seçilmiştir.

Tablo 6.1. X yönü modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
	MODAL	Mode	1	0,641907	0,000004429	0,78843	0,000000778
	MODAL	Mode	2	0,60675	0,00016	0,0002	0,00000011
▶	MODAL	Mode	3	0,545064	0,77154	0,00000346	0,00003863
	MODAL	Mode	4	0,219291	0,0000000321	0,11751	0,0000001111
	MODAL	Mode	5	0,20461	0,00001058	0,00218	0,0000001072
	MODAL	Mode	6	0,172128	0,11813	0,0000001349	0,00004051
	MODAL	Mode	7	0,128458	0,0000001237	0,0371	0,0000000552
	MODAL	Mode	8	0,119719	0,000001652	0,00521	0,0000002042
	MODAL	Mode	9	0,104912	0,0000000118	0,0000001092	0,0000001987
	MODAL	Mode	10	0,094024	0,000001563	0,00177	0,0000000838
	MODAL	Mode	11	0,093057	0,000002071	0,01299	0,000001169
	MODAL	Mode	12	0,091374	0,05	0,0000009261	0,000004778

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHX Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case: DEAD
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	1.
Mode	3	1.

Other Parameters:
 Load Application: Displ Control
 Results Saved: Multiple States
 Nonlinear Parameters: User Defined

Şekil 6.3. X yönü tek mod statik itme analizi değerlerinin programa girilmesi

Y Yönlü pushover analizi için o yündeki en fazla mod katkısı olan 1. Mod seçilmiştir.

Tablo 6.2. Y yönü modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,641907	0,000004429	0,78843	0,000000778
	MODAL	Mode	2	0,60675	0,00016	0,0002	0,00000011
	MODAL	Mode	3	0,545064	0,77154	0,00000346	0,00003863
	MODAL	Mode	4	0,219291	0,0000000321	0,11751	0,0000001111
	MODAL	Mode	5	0,20461	0,00001058	0,00218	0,0000001072
	MODAL	Mode	6	0,172128	0,11813	0,0000001349	0,00004051
	MODAL	Mode	7	0,128458	0,0000001237	0,0371	0,00000005552
	MODAL	Mode	8	0,119719	0,000001652	0,00521	0,0000002042
	MODAL	Mode	9	0,104912	0,0000000118	0,0000001092	0,00000001987
	MODAL	Mode	10	0,094024	0,000001563	0,00177	0,0000000838
	MODAL	Mode	11	0,093057	0,000002071	0,01299	0,000001169
	MODAL	Mode	12	0,091374	0,05	0,0000009261	0,000004778

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

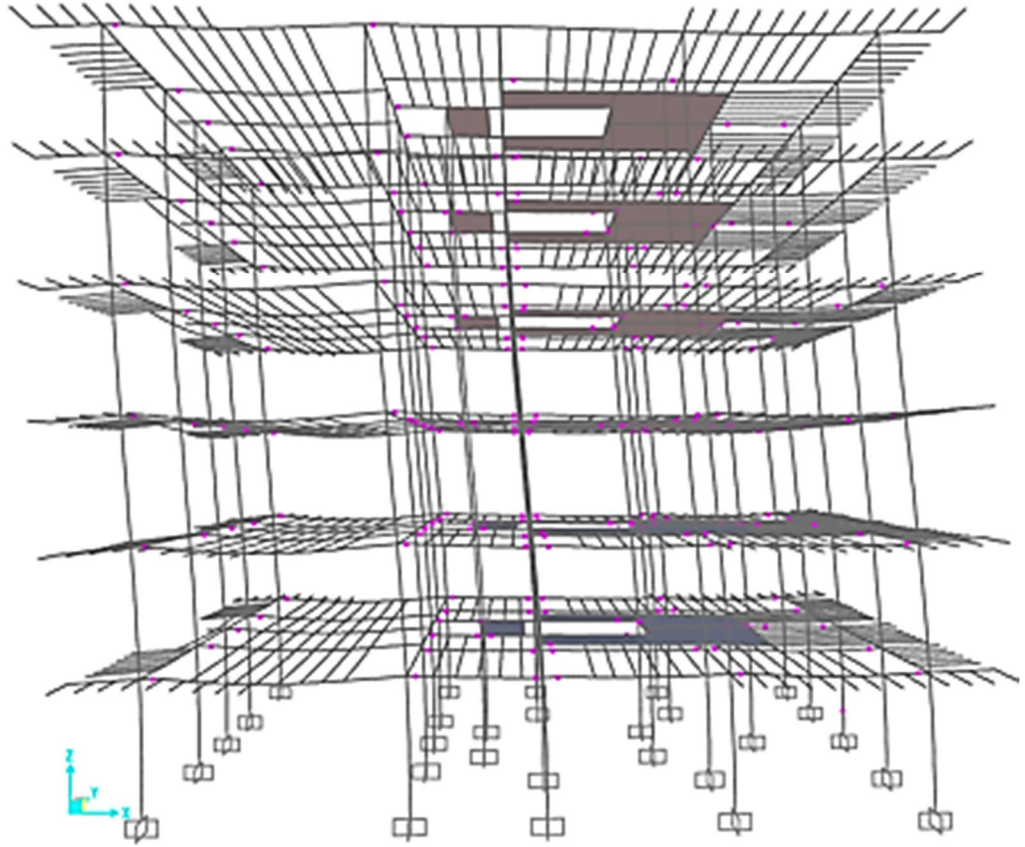
Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1.
Mode	1	1.

Other Parameters:
Load Application:
Results Saved:
Nonlinear Parameters:

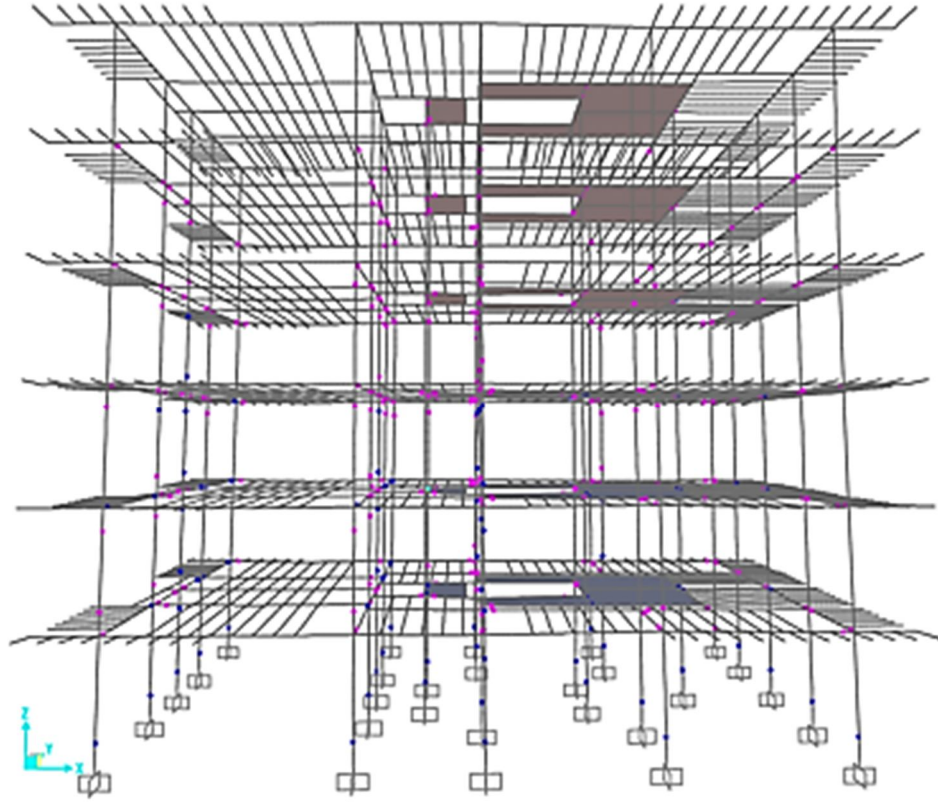
Şekil 6.4. Y yönü tek mod statik itme analizi değerlerinin programa girilmesi

Tek modlu itme analizine göre X ve Y yönünde en fazla kütle katılım oranına sahip olan mod belirlenerek %100 oranında yapıya etkitilir. Hesaplamalar doğrusal olmayan analiz metoduyla yapılır. Yapının yerdeğiştirme sonuçları çok durumlu olarak kaydedilir. Analizin başlangıç koşulu olarak da doğrusal olmayan ölü yükler altındaki analiz olarak tanımlanır.



Şekil 6.5. Güncellenmiş modelden faydalanılarak tek mod statik itme analizi yoluyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

X yönünde belirli kirişlerde mafsallaşma görülmektedir. Bütün katlarda merdiven kovanında yoğunlaşan ve yapının çevre kirişlerinde oluşan düşük mertebeli mafsallaşmalar görülmektedir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşma görülmemektedir.



Şekil 6.6. Güncellenmiş modelden faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Y yönünde belirli kirişlerde ve zemin kat kolonlarının tümünde ve üst kat kolonların bir kısmında mafsallaşma görülmektedir.

6.3. Model Güncelleme – Çok Modlu Statik İtme Analizi

X ve Y yönlü pushover analizleri için o yündeki %95'in üzerinde katkısı olan modlar seçilmiştir. Modların toplam katkısı %100 olacak şekilde enterpole edilmiştir.

Tablo 6.3. Modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
	MODAL	Mode	1	0,44875	0,00000005434	0,80498	0,0000007783
	MODAL	Mode	2	0,42801	0,00044	0,01139	0,0000002064
▶	MODAL	Mode	3	0,393416	0,78349	0,00000581	0,00003871
	MODAL	Mode	4	0,145387	1,00000009356	0,09853	0,000001123
	MODAL	Mode	5	0,136919	0,000008858	0,00546	0,0000001592
	MODAL	Mode	6	0,119028	0,11508	0,0000002163	0,00006627
	MODAL	Mode	7	0,085009	1,00000006335	0,02973	0,0000001444
	MODAL	Mode	8	0,078311	0,0000006666	0,01028	0,000001159
	MODAL	Mode	9	0,076797	0,00000006378	0,000001264	0,00000001621
	MODAL	Mode	10	0,067229	0,0000001239	0,00041	0,0000001886
	MODAL	Mode	11	0,062267	0,000002461	0,00951	0,000000538
	MODAL	Mode	12	0,061631	0,04856	0,0000007242	0,00003517

Load Case Name: PUSHX [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [DEAD]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	0,82
Mode	3	0,82
Mode	6	0,128
Mode	12	0,052

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]

Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 6.7. X yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa tanımlanması

Load Case Name: PUSHY [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [DEAD]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	0,82
Mode	1	0,82
Mode	4	0,125
Mode	7	0,04
Mode	11	0,015

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

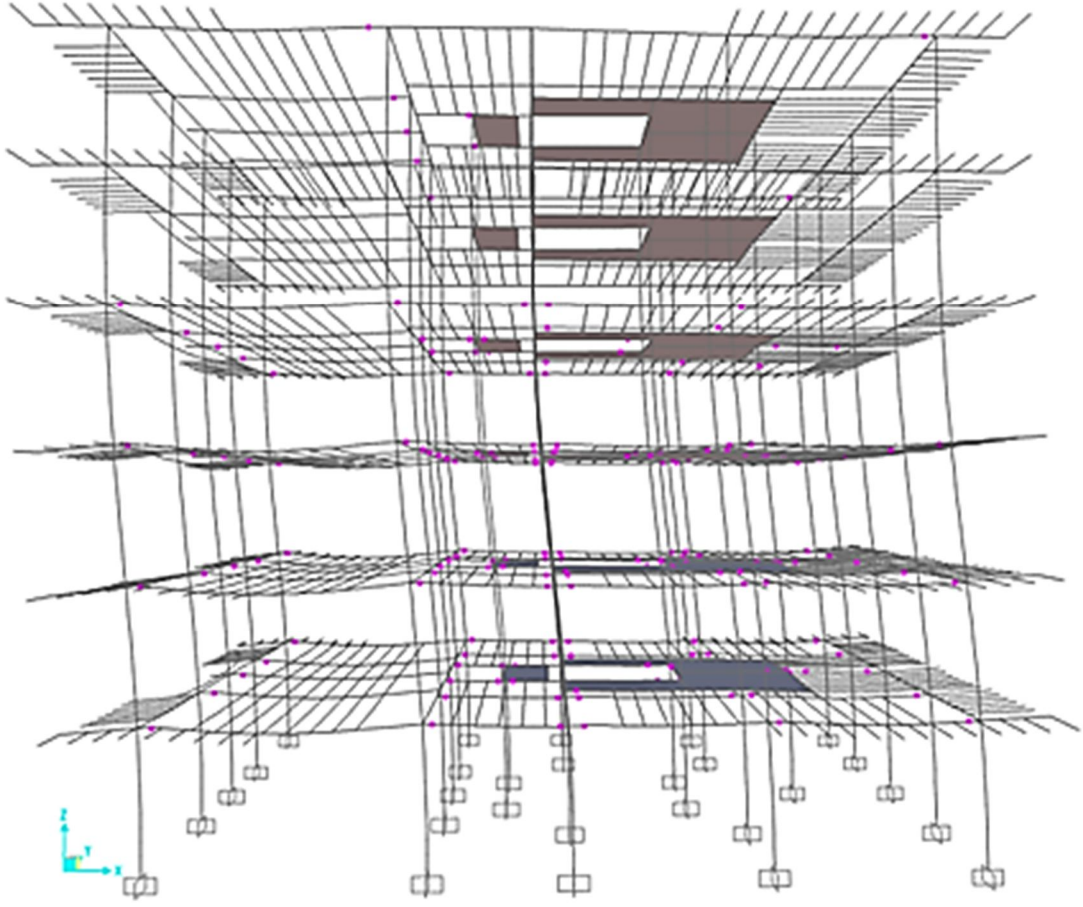
Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]

Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

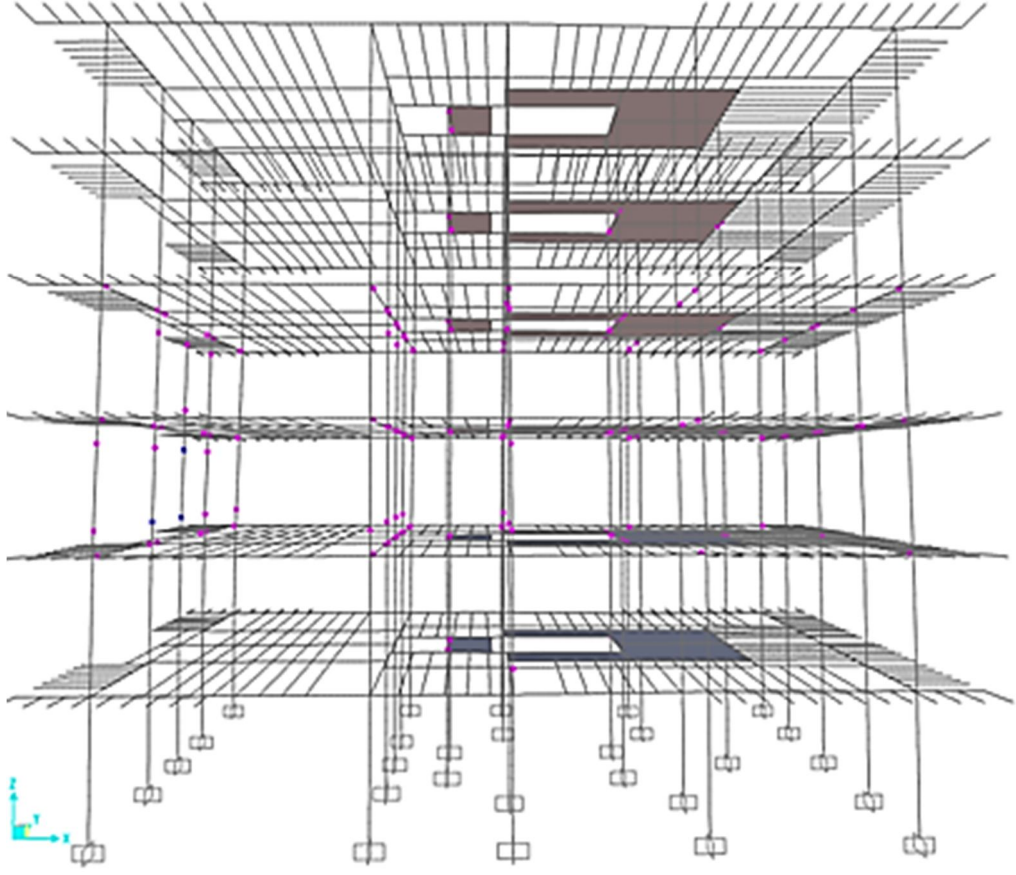
[OK] [Cancel]

Şekil 6.8. Y yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa tanımlanması



Şekil 6.9. Güncellenmiş modelden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

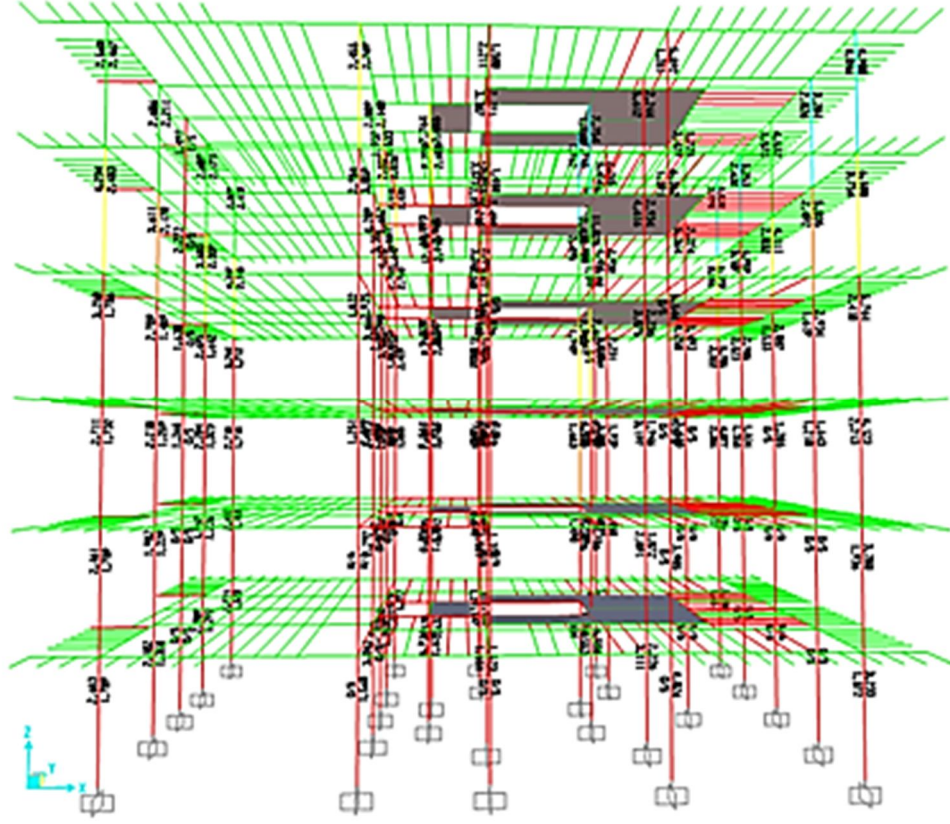
X yönünde belirli kirişlerde mafsallaşma görülmektedir. Özellikle Zemin, 1. ve 2 Normal katlarda merdiven kovanında yoğunlaşan ve yapının çevre kirişlerinde oluşan düşük mertebeli mafsallaşmalar görülmektedir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşma görülmemektedir.



Şekil 6.10. Güncellenmiş modelden faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Y yönünde belirli kirişlerde ve 2. Kat kolonlarında mafsallaşma görülmektedir. Özellikle Zemin, 1., 2. ve 3. Normal katlarda merdiven kovanında yoğunlaşan ve yapının çevre kirişlerinde oluşan düşük mertebeli mafsallaşmalar görülmektedir. Kolonlarda ise yapının 2. Katında sol kısımda bulunan kolonlarda düşük ve orta mertebeli mafsallaşmalara rastlanmaktadır. Aynı katta merdiven kovanında bulunan kolonlar da düşük mertebede mafsallaşmaya başlamıştır.

6.4. Model Güncelleme – Zaman Tanım Alanında Analiz



Şekil 6.11. Güncellenmiş modelden faydalanılarak zaman tanım alanı analiz metoduyla bulunan hasar görebilirlik mertebeleri

Beton dizaynı yapılarak göçme mekanizması incelendiğinde Zemin, 1., 2. ve 3. Kat kolonlarının tamamının ve üst katlardaki bazı kolonların hasar alacağı tespit edilmiştir.

7.RİJİTLİK AZALTMAYLA ÇALIŞILAN BİNANIN İNCELENMESİ

7.1. Rijitlik Azaltma – Eşdeğer Deprem Yüğü Altında Analiz

DBYBHY2007’de kolonlarda ve perdelerde belirli değerlere bağlı olarak rijitlik azaltması yapılmaktadır. Bu prensipten yola çıkarak kolonlarda rijitlik azaltmaları yapılacaktır.

Kolon ve perdelerde,

$$N_D/A_c f_{cm} \leq 0,10 \text{ olması durumunda: } (EI)_c = 0,40(EI)_o$$

$$N_D/A_c f_{cm} \geq 0,40 \text{ olması durumunda: } (EI)_c = 0,80(EI)_o$$

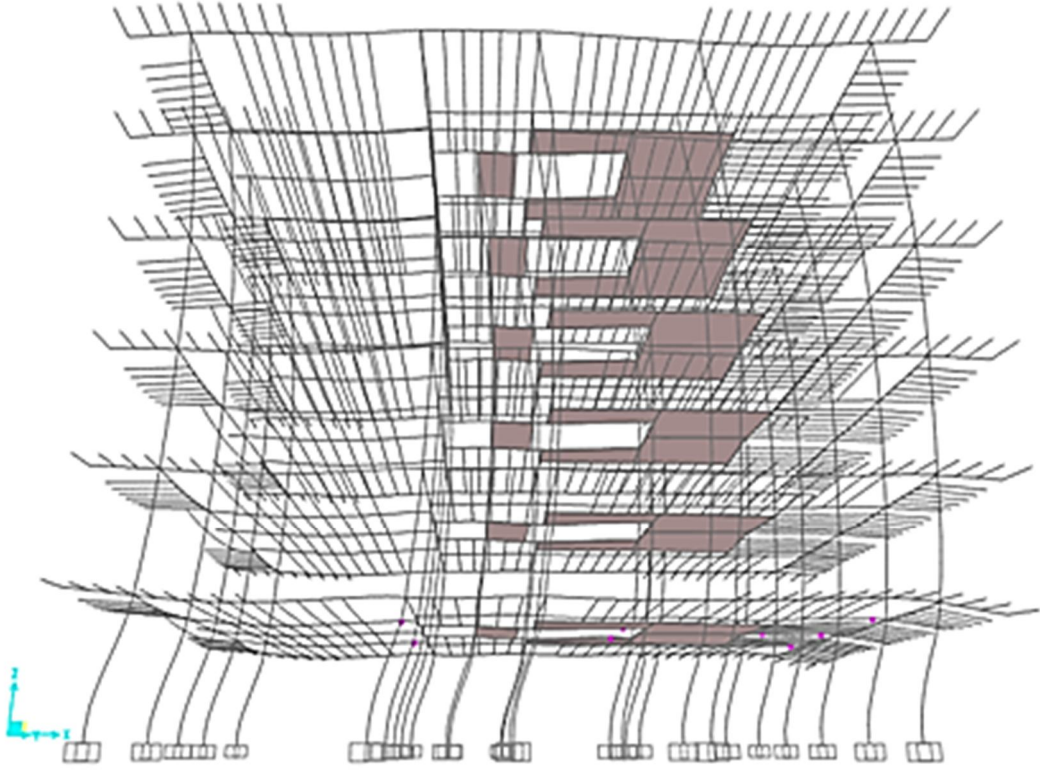
Eksenel basınç kuvveti N_D ’nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Hesaplarda binanın simetrikliği göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 7.1. Kolonlarda rijitlik azaltma oranları

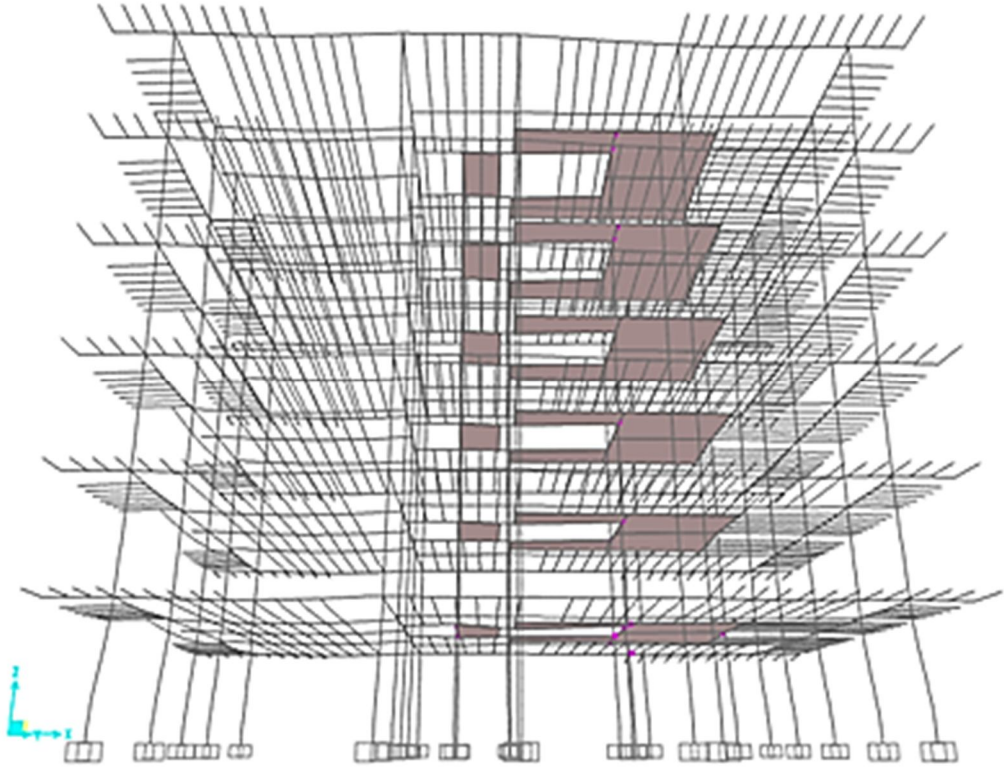
Kolon	Nd (kN)	b (cm)	d (cm)	Ac(cm2)	fcm(kN/cm2)	Oran	Azaltma
S01	583	25	70	1750	2,5	0,133257	55%
S02	497	35	70	2450	2,5	0,081143	60%
S03	321	25	60	1500	2,5	0,0856	60%
S04	496	25	70	1750	2,5	0,113371	58%
S05	522	30	70	2100	2,5	0,099429	60%
S06	521	30	70	2100	2,5	0,099238	60%
S07	552	30	70	2100	2,5	0,105143	60%
S08	524	30	70	2100	2,5	0,09981	60%
S09	666	35	70	2450	2,5	0,108735	60%
S10	552	35	70	2450	2,5	0,090122	60%
S11	300	25	70	1750	2,5	0,068571	60%
S12	265	25	70	1750	2,5	0,060571	60%
S13	397	25	60	1500	2,5	0,105867	60%
S14	363	30	60	1800	2,5	0,080667	60%
S15	467	40	70	2800	2,5	0,066714	60%
S16	543	30	70	2100	2,5	0,103429	60%

RIJİTLİK AZALTMASI ORTALAMA %60 ALINABİLİR.



Şekil 7.1. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

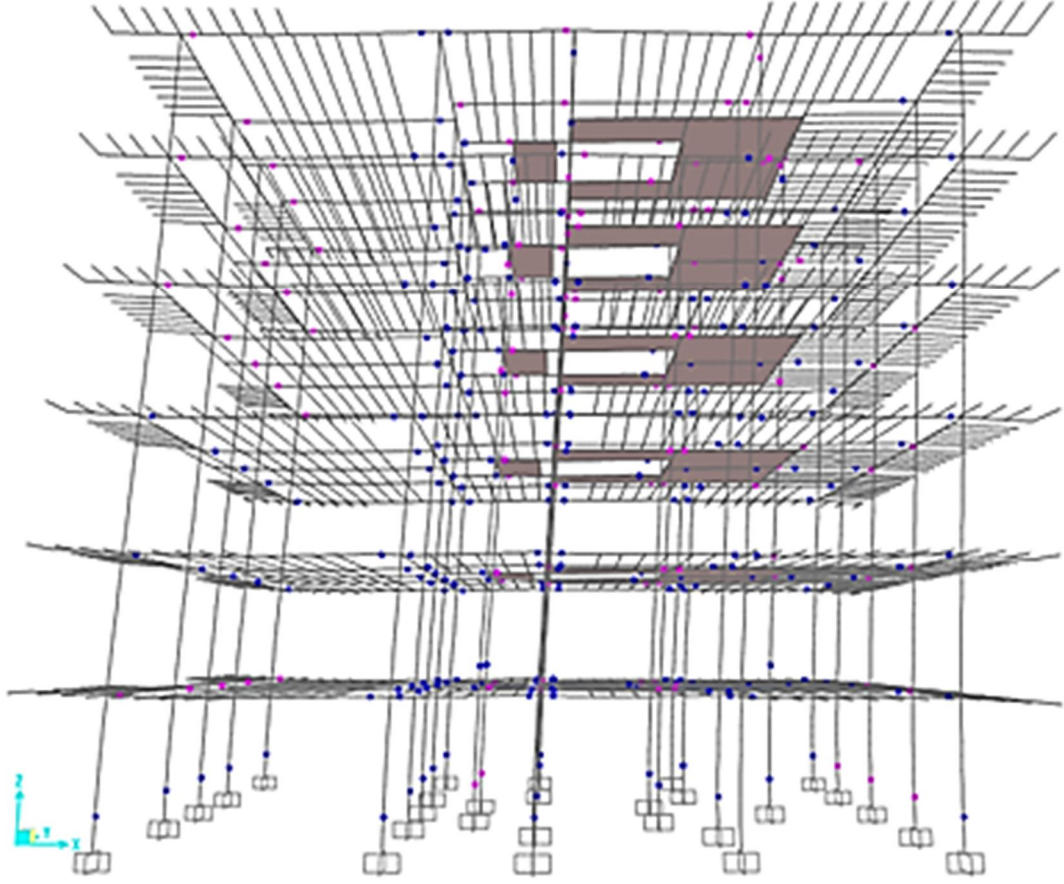
Rijitlik azaltma yapılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla yapı analiz edildiğinde X yönünde belirli kirişlerde mafsallaşma görülmektedir. Mafsallaşma sadece zemin katta gerçekleşmiştir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşmaya rastlanmamıştır. Bu durumda yapının hasar sıralamasıyla ilgili kesin bir yorum yapılamamaktadır.



Şekil 7.2. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Rijitlik azaltma yapılarak eşdeğer deprem yükü metoduyla yapı analiz edildiğinde Y yönünde de belirli kirişlerde mafsallaşma görülmektedir. Mafsallaşma sadece zemin katta gerçekleşmiştir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşmaya rastlanmamıştır. Bu durumda da X yönünde olduğu gibi yapının hasar sıralamasıyla ilgili kesin bir yorum yapılamamaktadır.

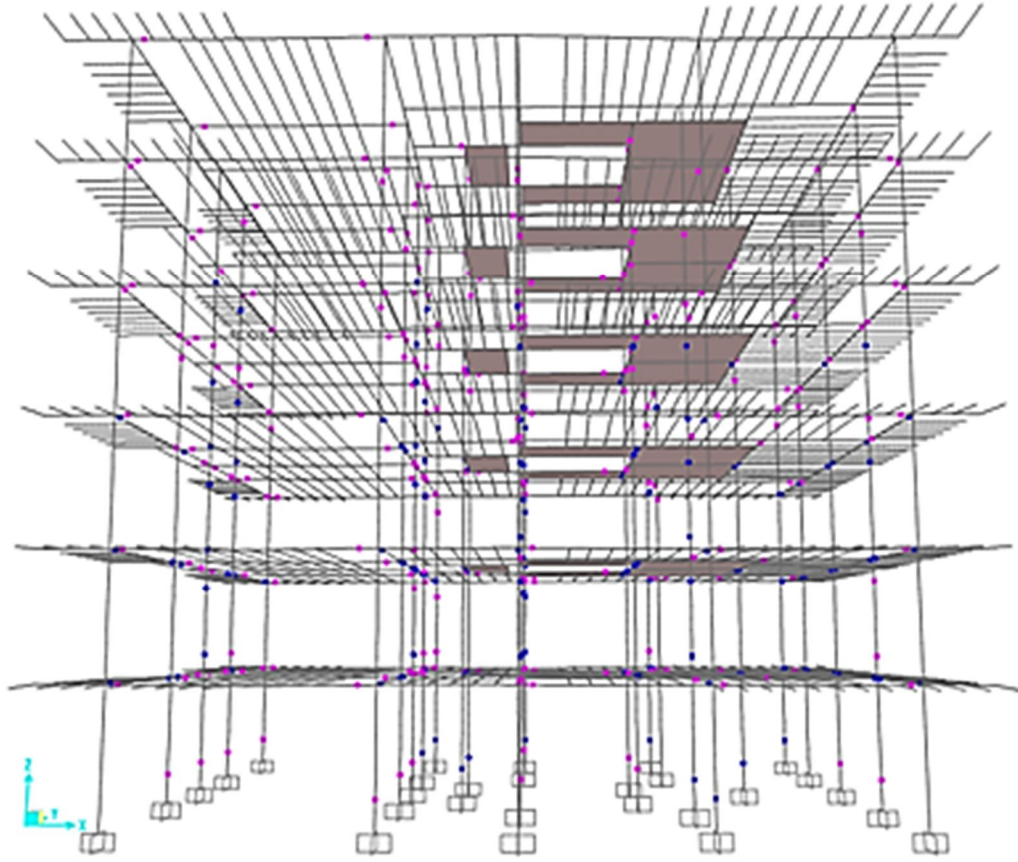
7.2. Rijitlik Azaltma – Tek Mod Statik İtme Analizi



Şekil 7.3. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

Rijitlik azaltma yapılarak tek modlu statik itme analizi yapıldığında X yönünde bütün katlardaki kirişlerde mafsallaşma görülmektedir. Bu mafsallaşmalar merdiven kovası ve etrafındaki kirişlerde orta mertebede görülürken çevre kirişlerde düşük mertebelerde görülmektedir. Kolonlarda ise özellikle zemin kattaki kolonlarda yoğun olarak orta mertebeli olmakla birlikte düşük mertebeli mafsallaşan kolonlar tespit edilmiştir.

Bu durumda yapının mafsallaşma mertebelerinden yola çıkılarak hasar sıralaması ile ilgili yeterli derecede tahmin yapılabilmektedir.



Şekil 7.4. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak tek mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Y yönünde belirli kirişlerde ve zemin kat kolonlarının tümünde ve üst kat kolonların bir kısmında mafsallaşma görülmektedir.

7.3. Rijitlik Azaltma – Çok Modlu Statik İtme Analizi

Tablo 7.2. Modal parametreler

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,690443	0,000003679	0,84163	0,0000006019
	MODAL	Mode	2	0,64932	0,0002	0,00022	0,0000001123
	MODAL	Mode	3	0,580453	0,80934	0,000004541	0,00003399
	MODAL	Mode	4	0,237589	0,0000000683	0,10829	0,0000001873
	MODAL	Mode	5	0,219465	0,000009522	0,00175	0,00000002113
	MODAL	Mode	6	0,183072	0,11295	0,0000001801	0,00005063
	MODAL	Mode	7	0,137457	0,0000001009	0,02713	0,0000004643
	MODAL	Mode	8	0,127818	0,000001512	0,00273	0,00000002136
	MODAL	Mode	9	0,105444	0,0000001171	0,000008898	0,00000002871
	MODAL	Mode	10	0,099129	0,000001125	0,00708	0,000001214
	MODAL	Mode	11	0,097426	0,04436	0,000001018	0,000000042
	MODAL	Mode	12	0,09555	0,000008432	0,00029	0,00000005157

Load Case Name: PUSHX Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case DEAD

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	0,82
Mode	3	0,82
Mode	6	0,128
Mode	12	0,052

Other Parameters:

- Load Application: Displ Control Modify/Show...
- Results Saved: Multiple States Modify/Show...
- Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 7.5. X yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa tanıtılması

Load Case Name: PUSHY Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case DEAD

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

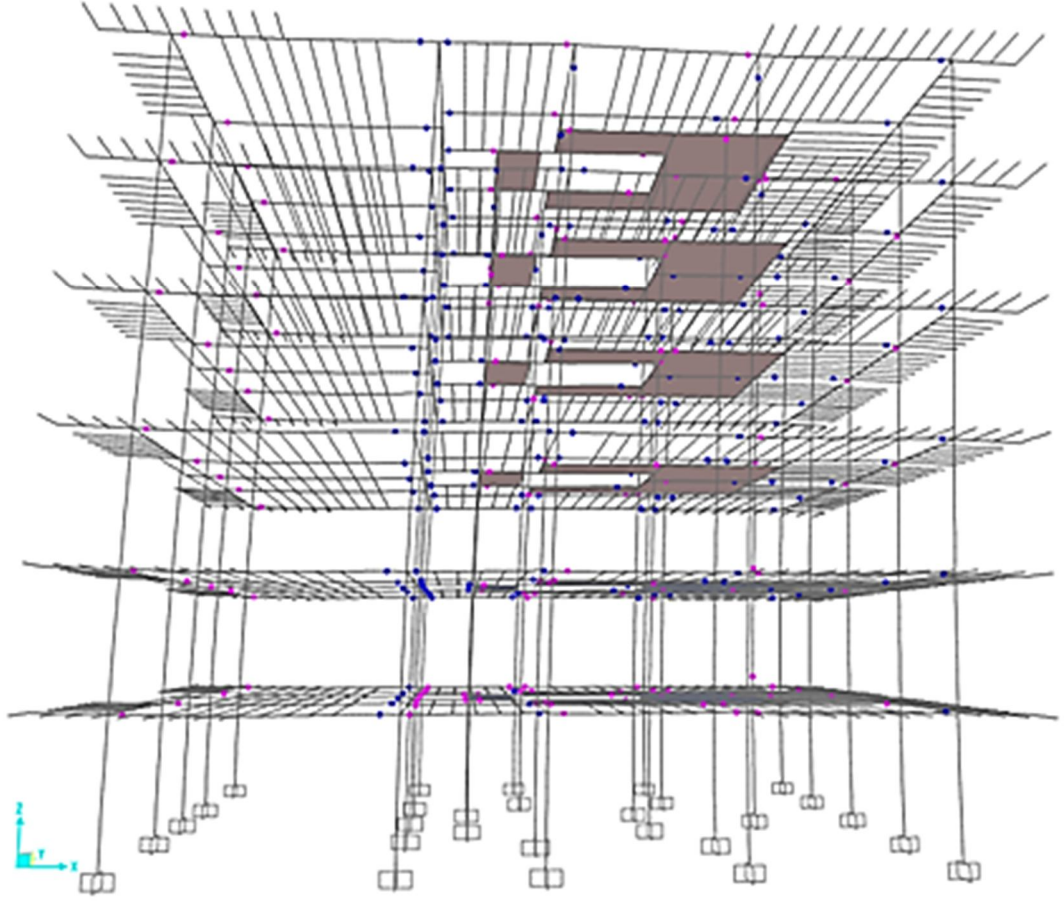
Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	0,82
Mode	1	0,82
Mode	4	0,125
Mode	7	0,04
Mode	11	0,015

Other Parameters:

- Load Application: Displ Control Modify/Show...
- Results Saved: Multiple States Modify/Show...
- Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

OK Cancel

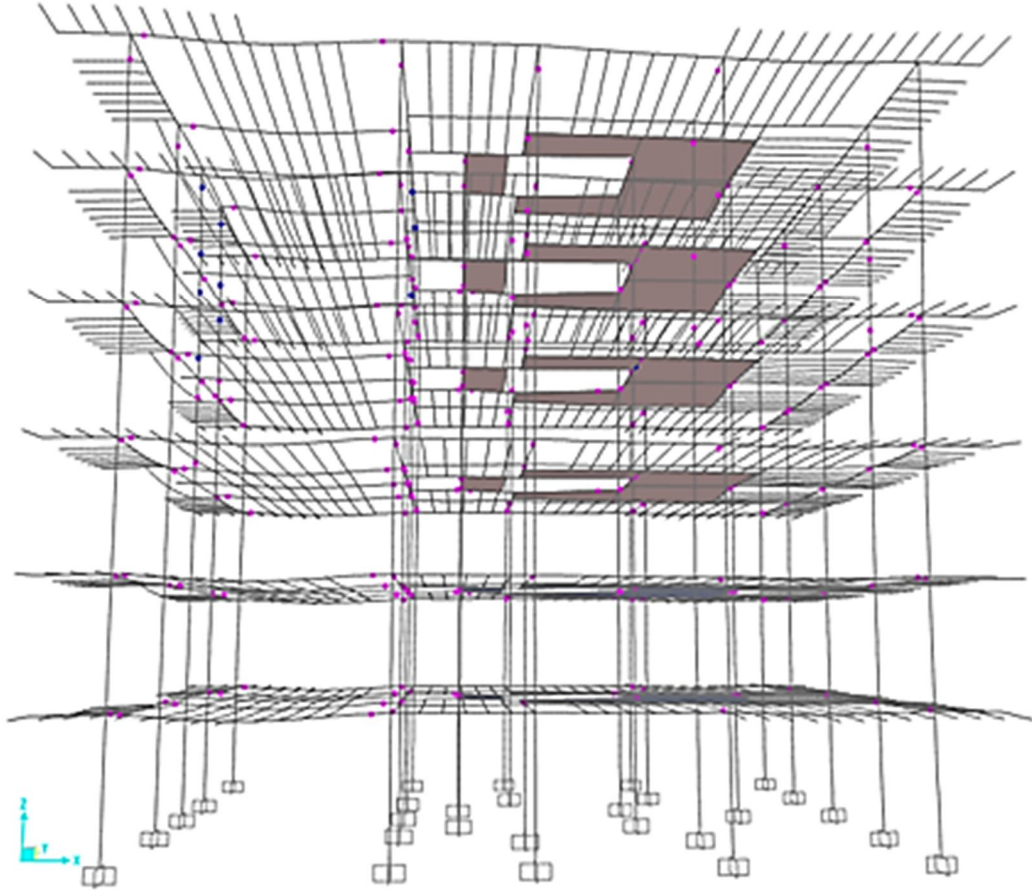
Şekil 7.6. Y yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa tanıtılması



Şekil 7.7. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

Rijitlik azaltma yapılarak çok modlu statik itme analizi yapıldığında tüm katlarda X yönünde merdiven kovanında yoğun olarak orta mertebeli mafsallaşmalar görülmektedir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşmaya rastlanmamıştır.

Bu durumda kolonlarla ilgili hasar sıralaması tahmini yapılamamaktadır.

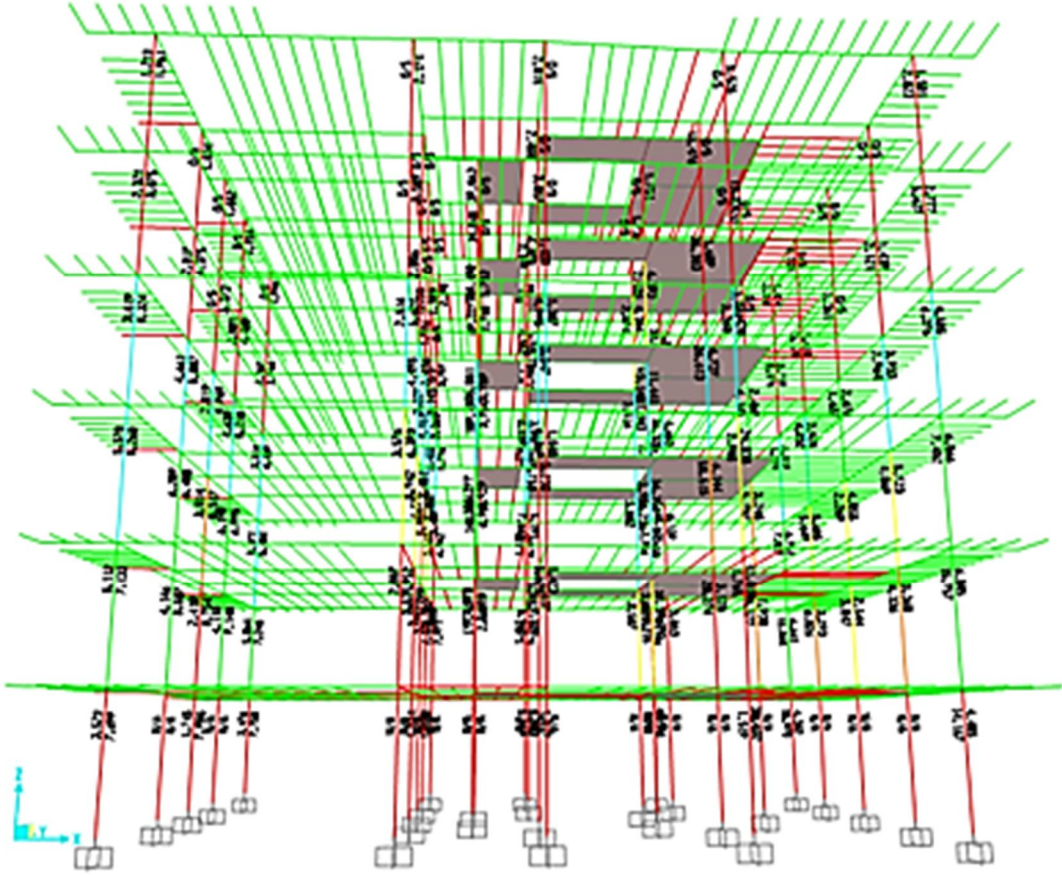


Şekil 7.8. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar

Rijitlik azaltma yapılarak çok modlu statik itme analizi yapıldığında tüm katlarda Y yönünde de merdiven kovanında yoğun olarak hafif mertebeli mafsallaşmalar görülmektedir. Kolonlarda ise herhangi bir mafsallaşmaya rastlanmamıştır.

Bu durumda kolonlarla ilgili hasar sıralaması tahmini yapılamamaktadır.

7.4. Rijitlik Azaltma – Zaman Tanım Alanında Analiz

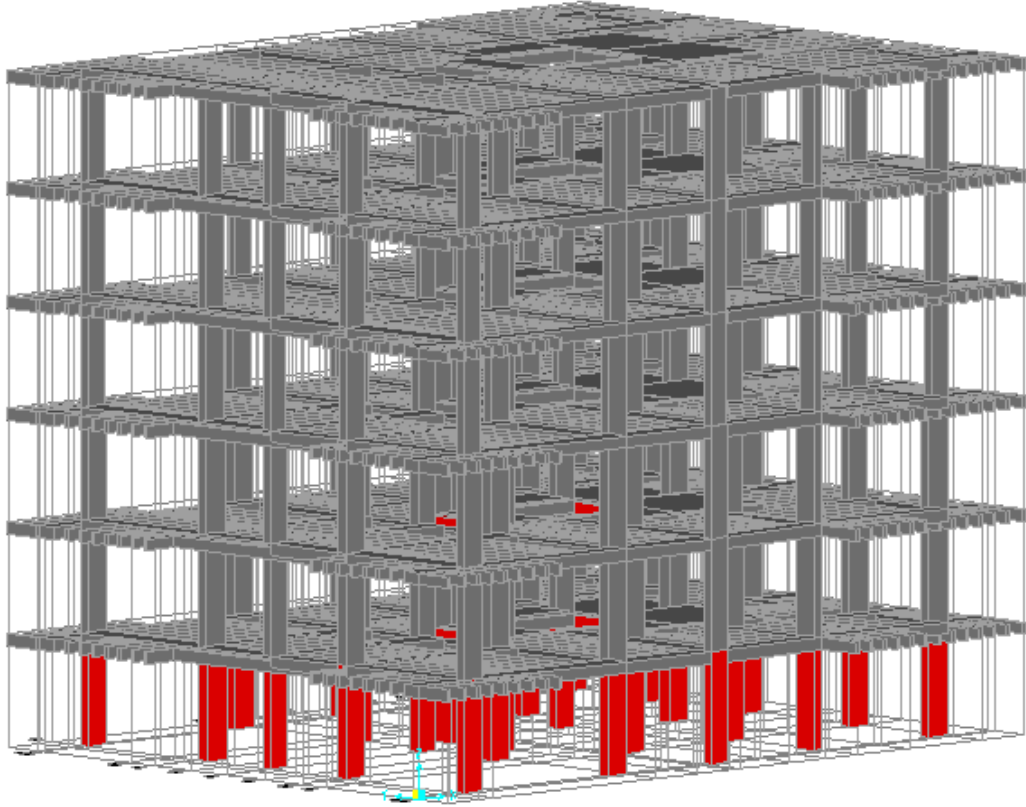


Şekil 7.9. Rijitlik azaltmadan faydalanılarak zaman tanım alanında analiz metoduyla bulunan hasar görülebilirlik mertebesi

Göçme mekanizması incelendiğinde Zemin ve 1. Kat kolonlarının tamamının ve üst katlardaki bazı kolonların hasar alacağı tespit edilmiştir.

8. MEVCUT HASAR RÖLEVESİ

Binanın mevcut durumunda depremden sonra zemin kat kolonlarında mafsallaşma gözlemlenmiştir. 1. ve 2.kat kolonlarında ve merdiven kovanında çatlaklar gözlenmiştir. 3., 4. ve 5. katlarda herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca zemin kat merdiven kovanını çevreleyen kirişlerde kolon birleşim noktalarında çatlaklar mevcuttur. Aşağıdaki şekilde kırmızı ile işaretlenen elemanlarda mafsallaşma ve çatlak oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 8.1. Hasar rölevesi



Şekil 8.2. Bina önden görünüm



Şekil 8.3. Bina genel görünüm



Şekil 8.3. Zemin kat kolonda mafsallaşma -1



Şekil 8.4 Zemin kat kolonda mafsallaşma -2



Şekil 8.5. Zemin kat kolonda mafsallaşma - 3



Şekil 8.6. Merdiven plak hasarı



Şekil 8.7. Merdiven kovanında hasar

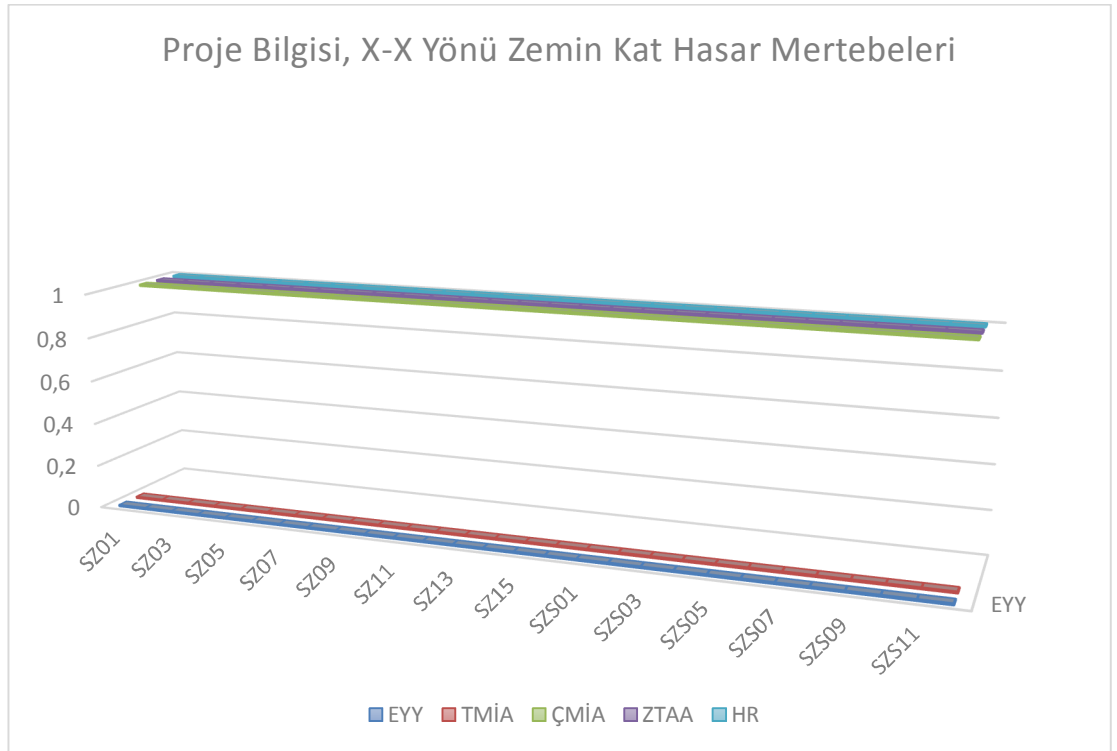


Şekil 8.8. Plak çatlağı

9. BULGULAR VE TARTIŞMA

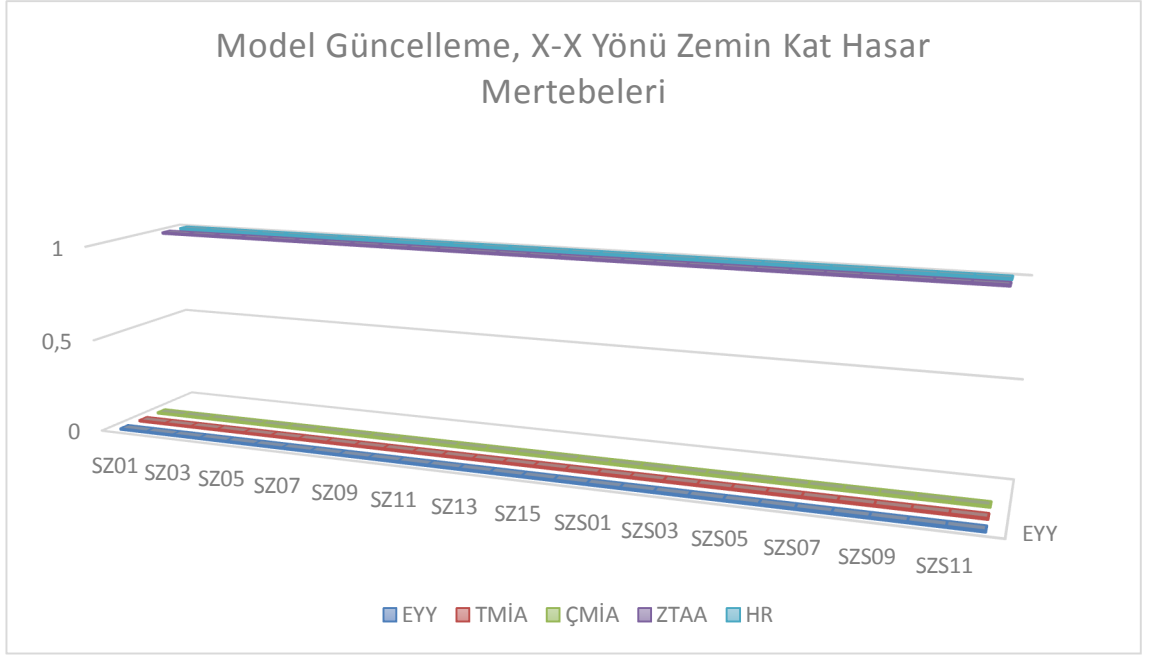
Çalışmalar sonucunda görüldüğü kadarıyla mevcut hasar rölevesine yakın analiz sonuçları grafiklerle tartışılacaktır. Grafiklerde yer alan yöntemler eşdeğer deprem yükü (EYY), tek mod itme analizi (TMİA), çok mod itme analizi (ÇMİA) ve zaman tanım alanında analiz (ZTAA) olmak üzere dört çeşittir. Bu dört grafiğe ilave olarak hasar rölevesi (HR) de eklenmiştir ve yöntemlerden hasar rölevesine yakınsama olanı tespit edilmiştir. Kat bazında proje bilgileri, model güncelleme ve rijitlik azaltma metotları karşılaştırılmıştır. Mafsallaşma mertebeleri hasar seviyesine göre 0 ile 1 sayısal değerleri arasında ifade edilmiştir.

Zemin kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



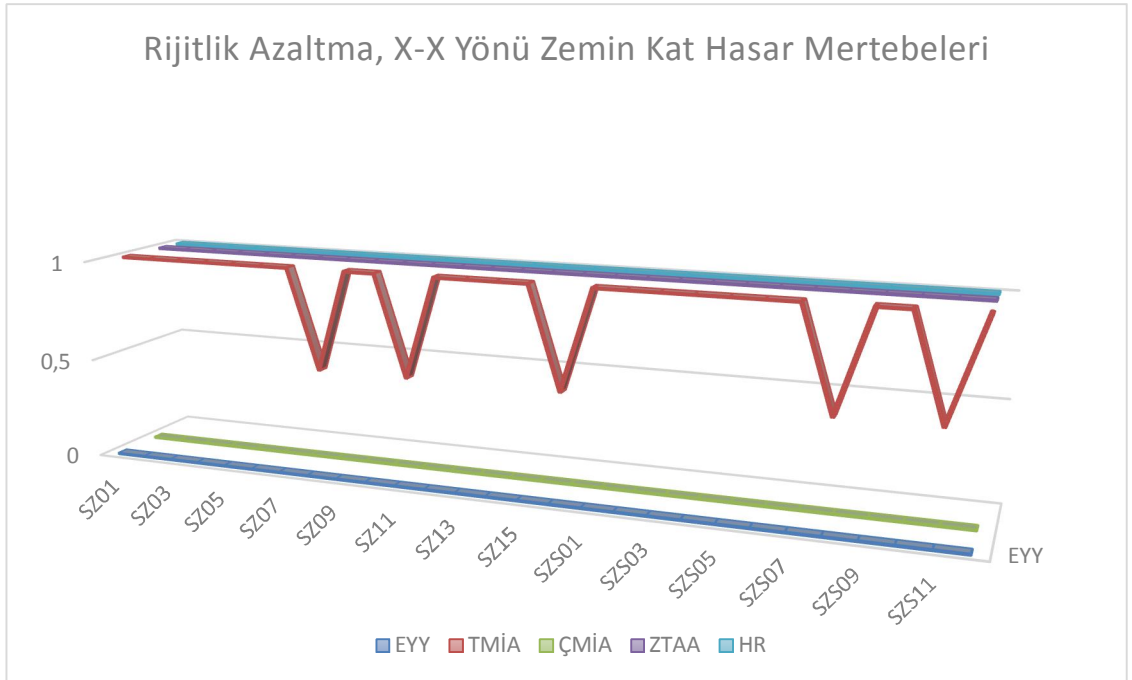
Şekil 9.1. Proje bilgisi, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisiyle en yakın tahminleri çok modlu itme analizi ve zaman tanım alanında analizler vermiştir.



Şekil 9.2. Model güncelleme, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri

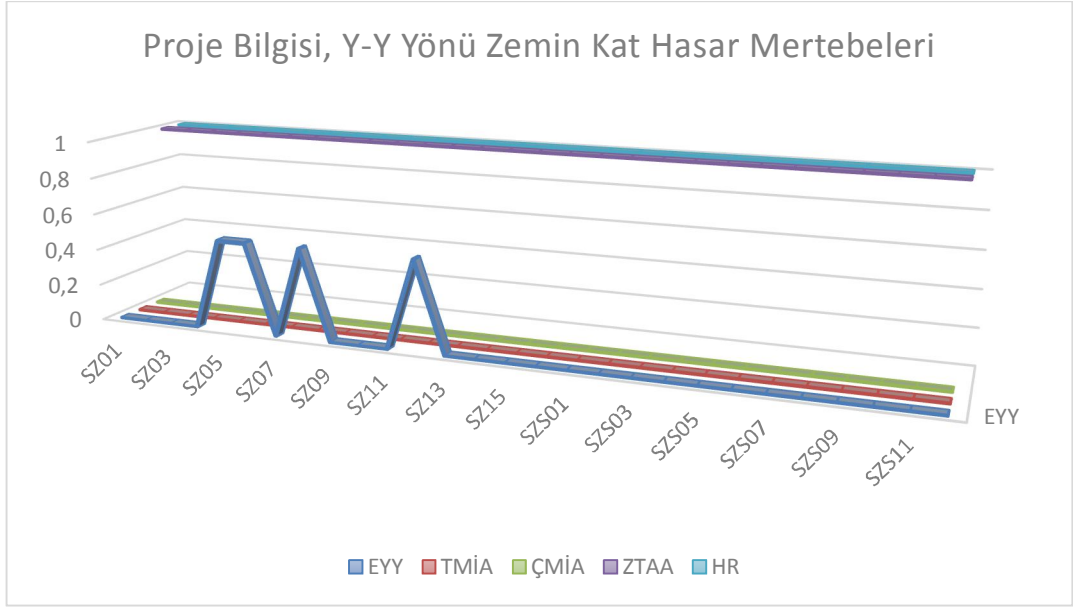
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahmini zaman tanım alanında analiz metodu vermiştir.



Şekil 9.3. Rijitlik azaltma, x-x yönü zemin kat hasar mertebeleri

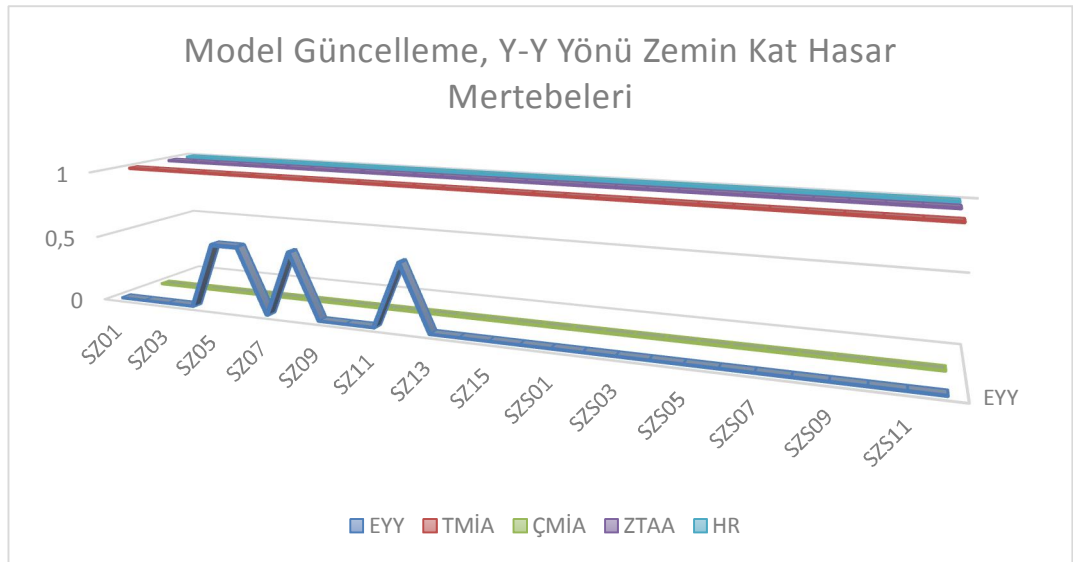
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahmini zaman tanım alanında analiz metodu vermiştir.

Zemin kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



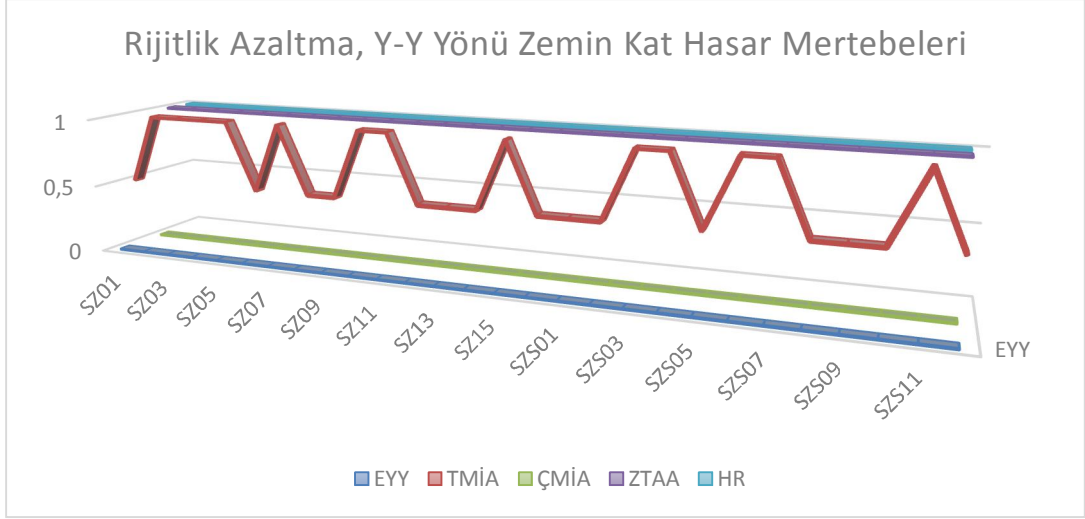
Şekil 9.4. Proje bilgisi, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisiyle en yakın tahminleri zaman tanım alanında analiz metodu vermiştir.



Şekil 9.5. Model güncelleme, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri tek mod itme analizi ve zaman tanım alanında analiz metotları vermiştir.

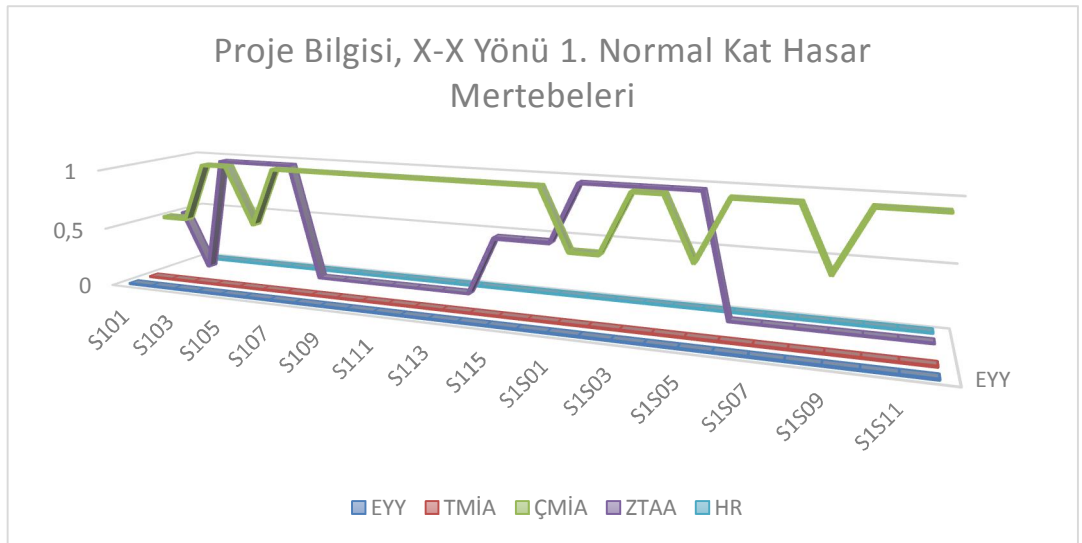


Şekil 9.6. Rijitlik azaltma, y-y yönü zemin kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahmini zaman tanım alanında analiz metodu vermiştir.

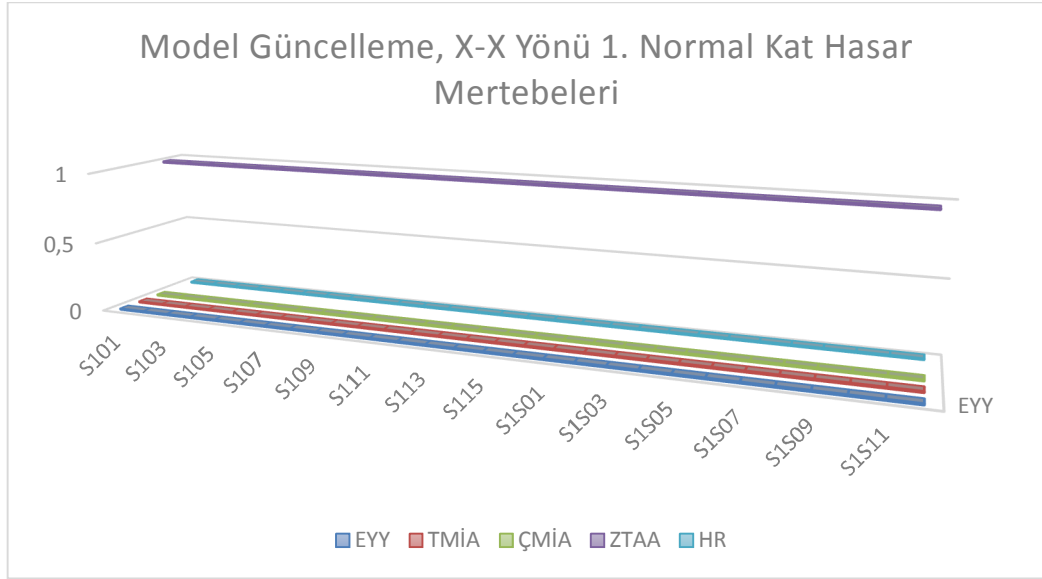
Zemin katta hasar rölevesine en yakın tahmini proje bilgisi, model güncelleme ve rijitlik azaltma yöntemlerinin tümünde zaman tanım alanında analiz metodu vermektedir. İkinci en yakın tahmin ise proje bilgisi ile çok mod itme analizi ve model güncelleme ile tek mod itme analizleridir.

1.Normal kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



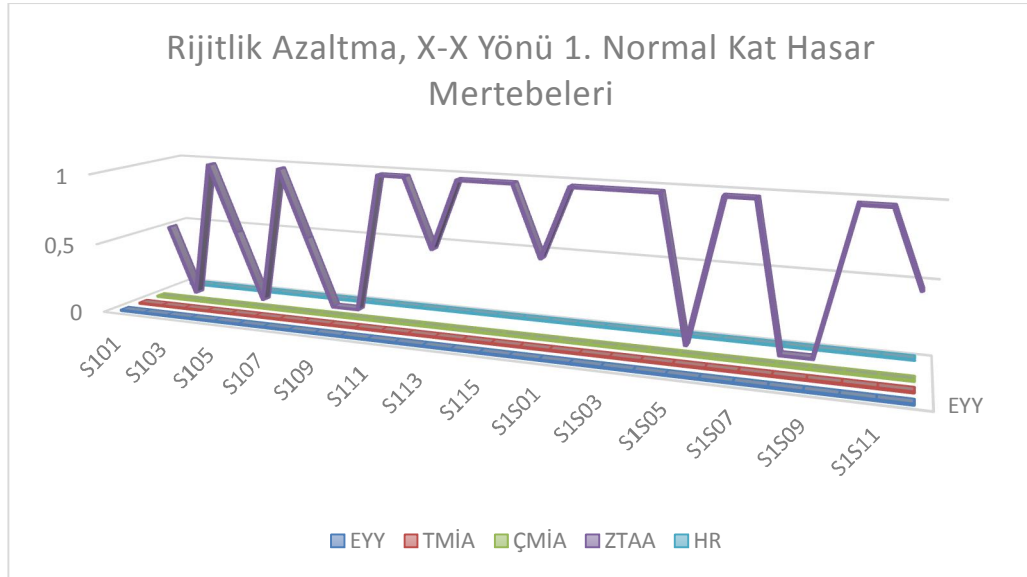
Şekil 9.7. Proje bilgisi, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizi metotları vermiştir.



Şekil 9.8. Model güncelleme, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

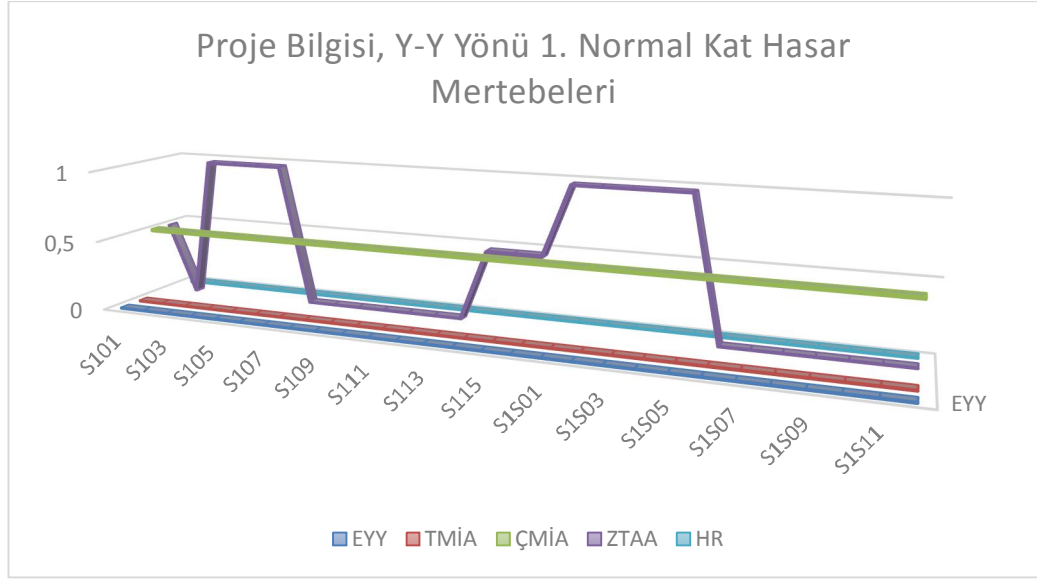
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.9. Rijitlik azaltma, x-x yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

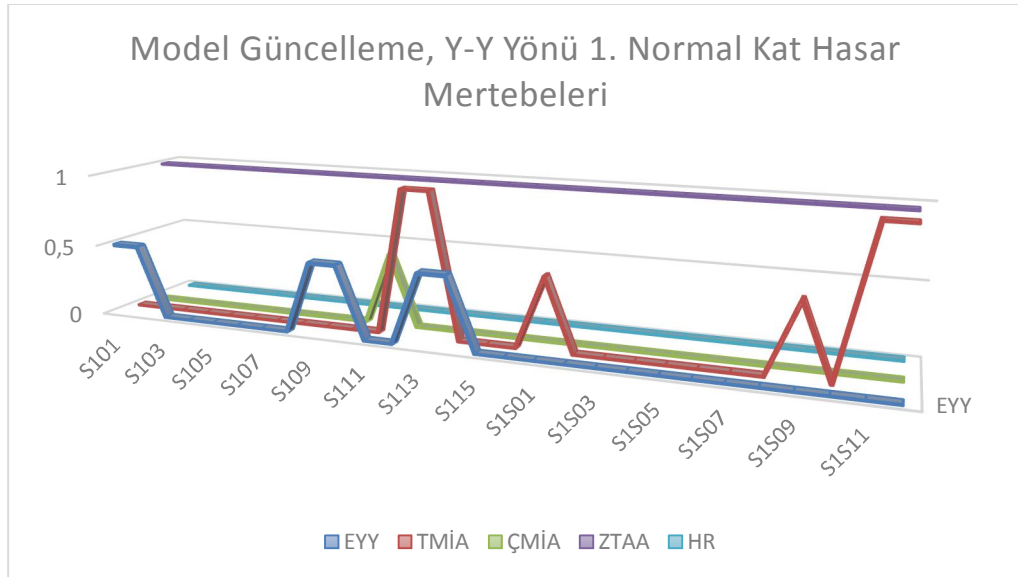
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

1.Normal kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



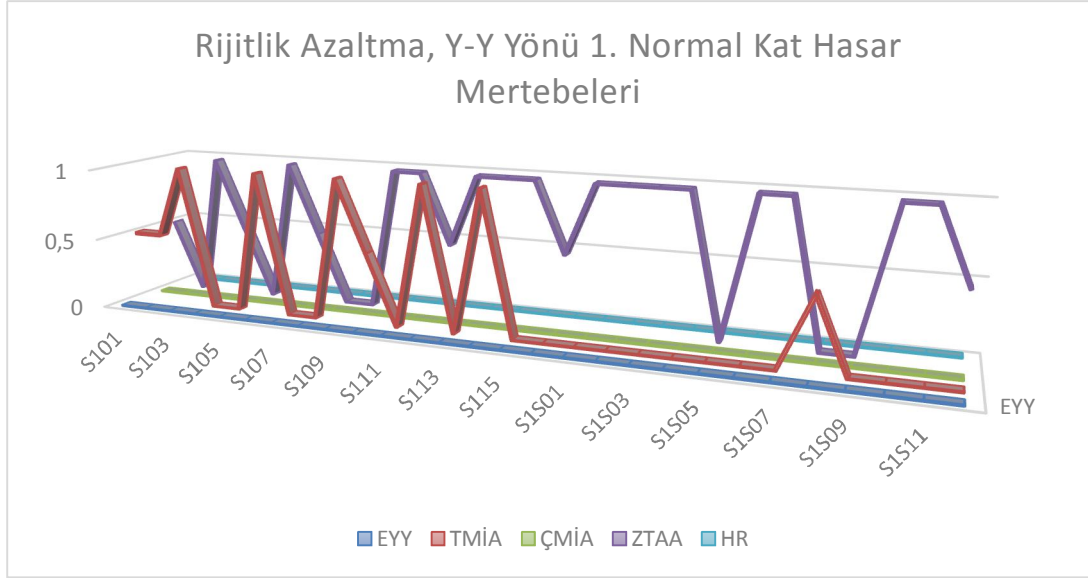
Şekil 9.10. Proje bilgisi, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.11. Model güncelleme, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahmini çok mod itme analizi metodu vermiştir.

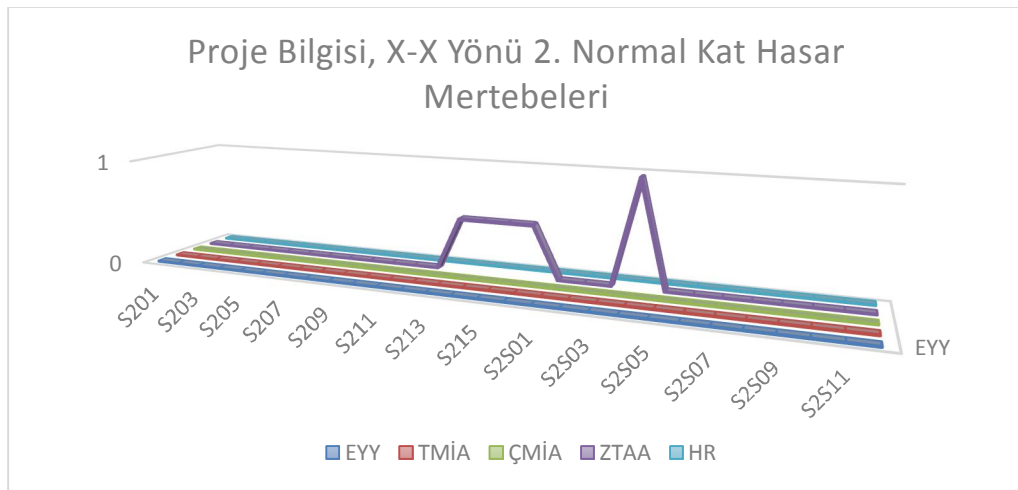


Şekil 9.12. Rijitlik azaltma, y-y yönü 1. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve çok mod itme analizleri vermiştir.

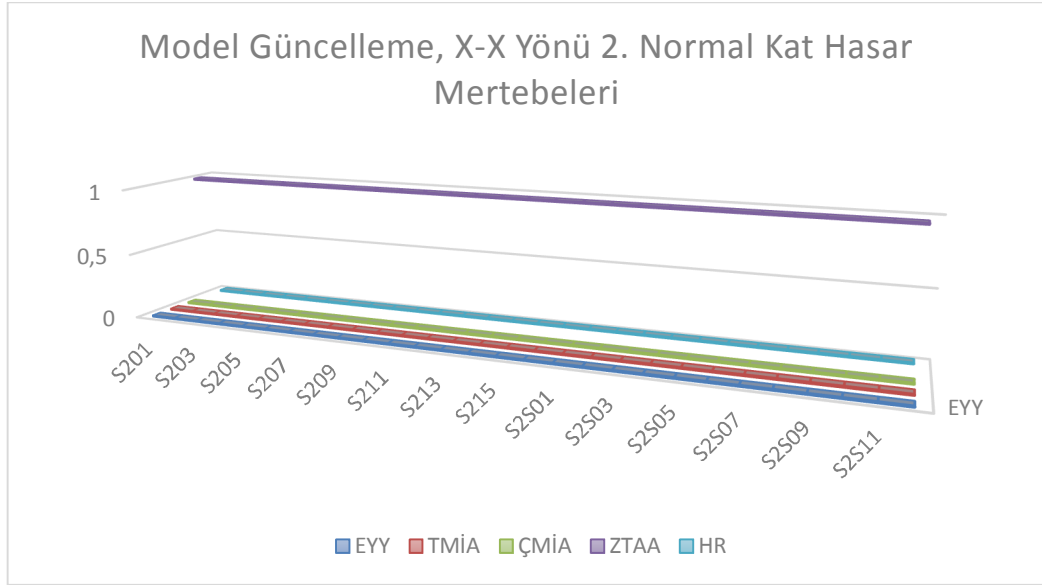
1. Normal katta hasar rölevesine en yakın tahminleri her iki yönde olmak üzere proje bilgisiyle eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizi, model güncelleme ile çok mod itme analizi ve rijitlik azaltma ile eşdeğer deprem yükü ve çok mod itme analizi metotları vermiştir.

2. Normal kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



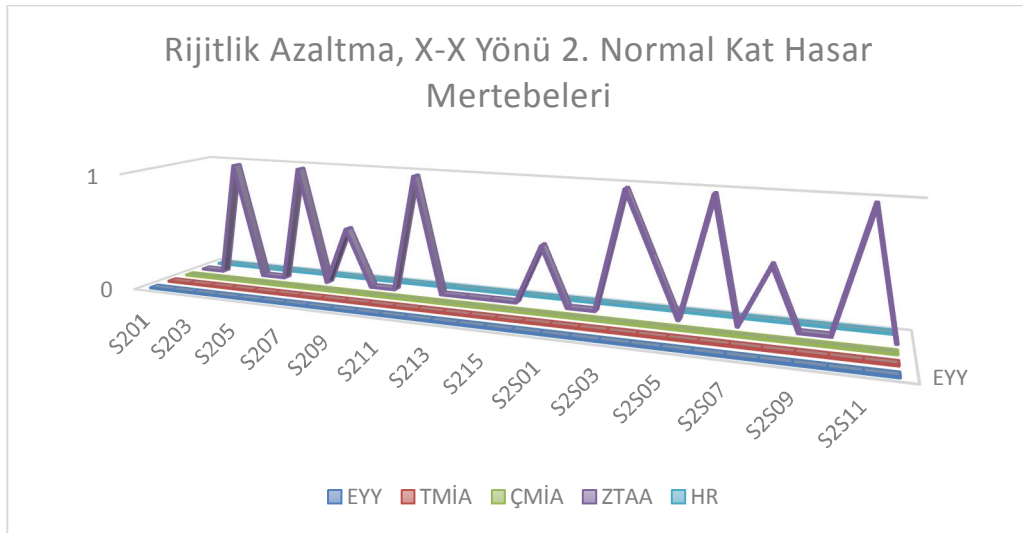
Şekil 9.13. Proje bilgisi, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.14. Model güncelleme, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

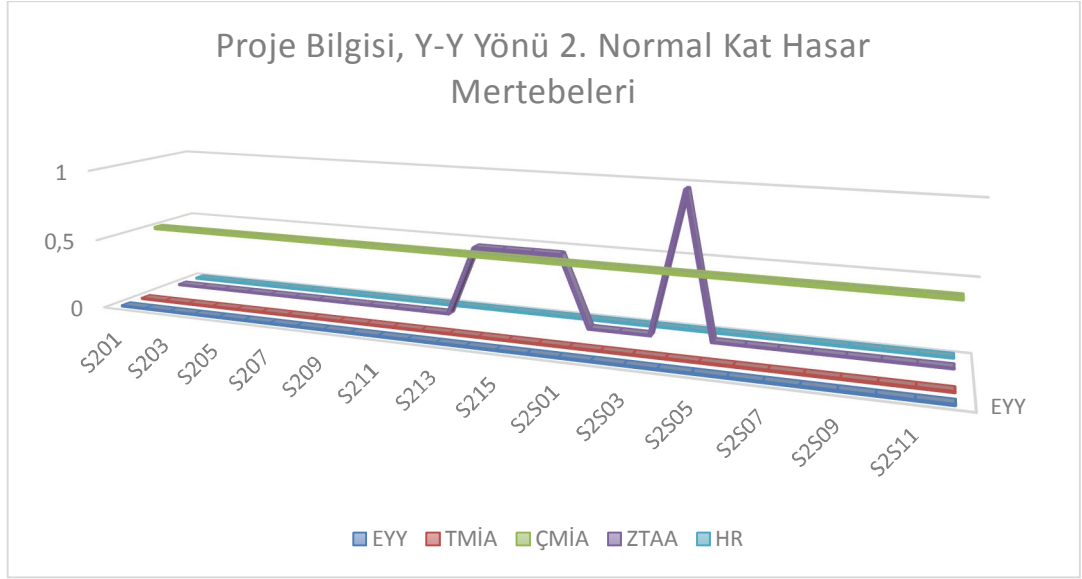
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.15. Rijitlik azaltma, x-x yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

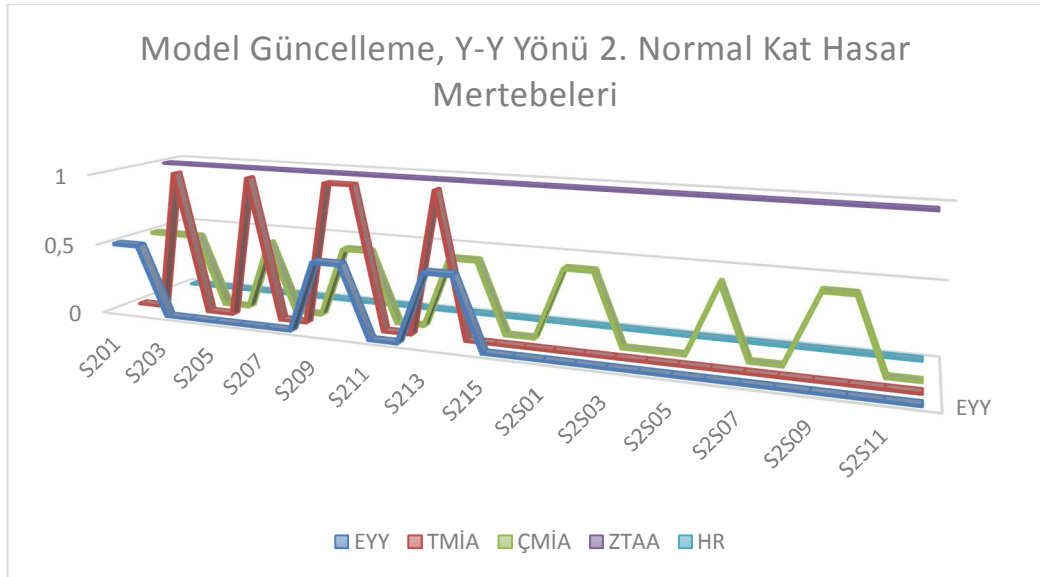
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

2.Normal kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



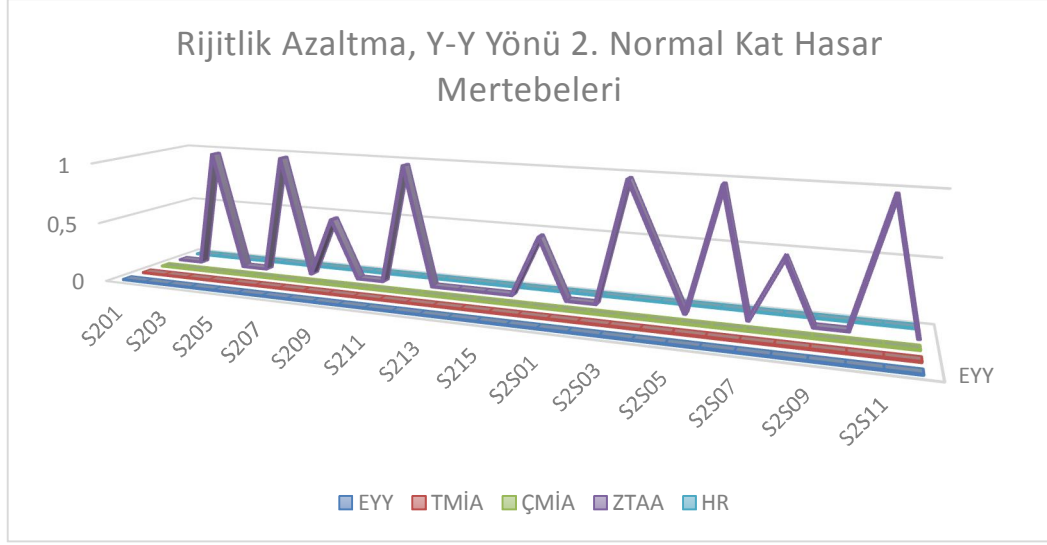
Şekil 9.16. Proje bilgisi, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.17. Model güncelleme, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahmini eşdeğer deprem yükü metodu vermiştir.

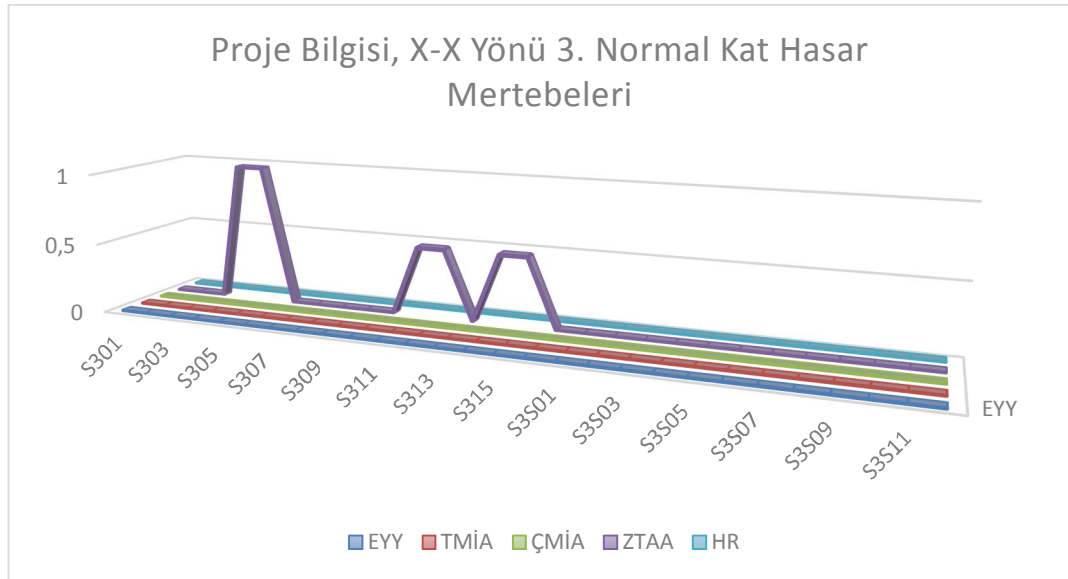


Şekil 9.18. Rijitlik azaltma, y-y yönü 2. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

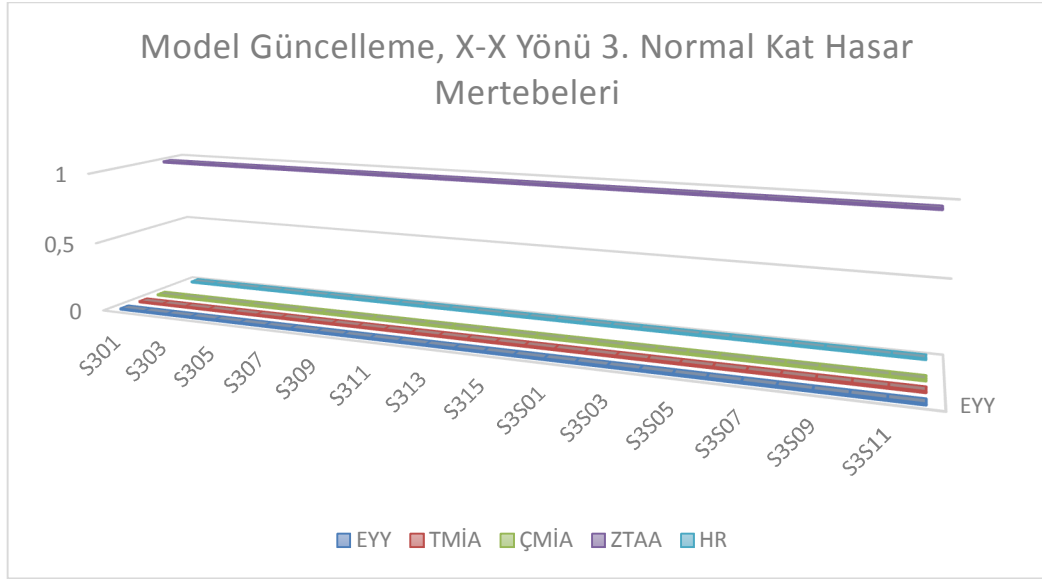
2.Normal katta hasar rölevesine en yakın tahmini proje bilgisi, model güncelleme ve rijitlik azaltma yöntemlerinin tümünde zaman tanım alanında eşdeğer deprem yükü analiz metodu vermektedir.

3.Normal kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



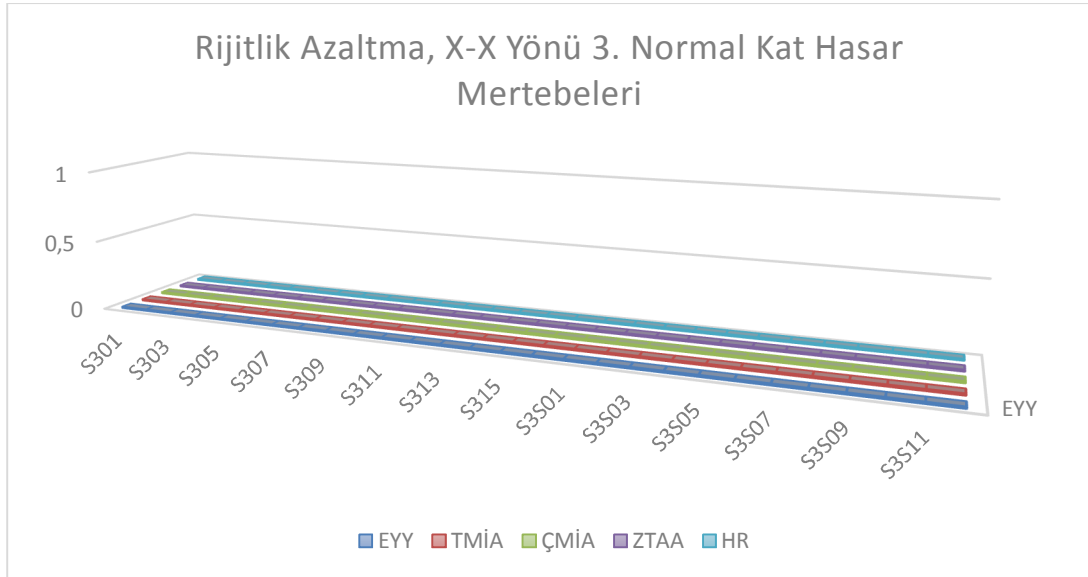
Şekil 9.19. Proje bilgisi, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.20. Model güncelleme, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

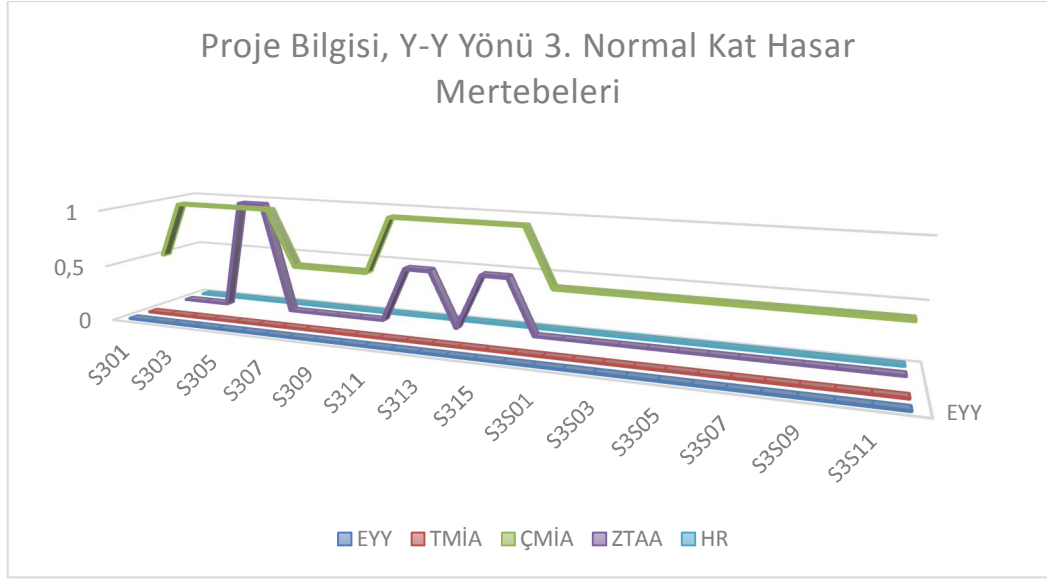
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.21. Rijitlik azaltma, x-x yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

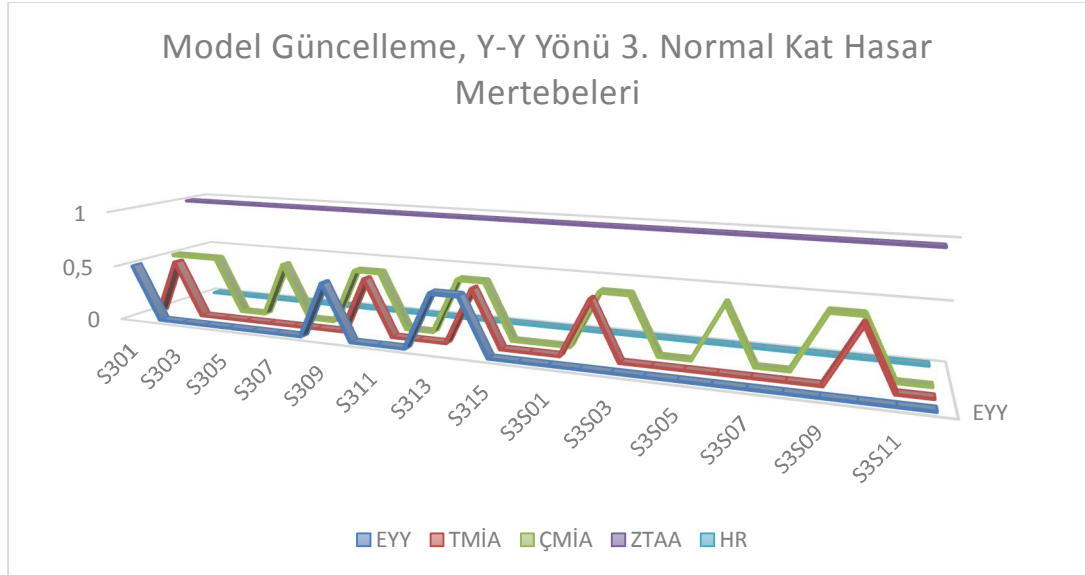
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri kullanılan bütün analiz metotları da vermiştir.

3.Normal kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



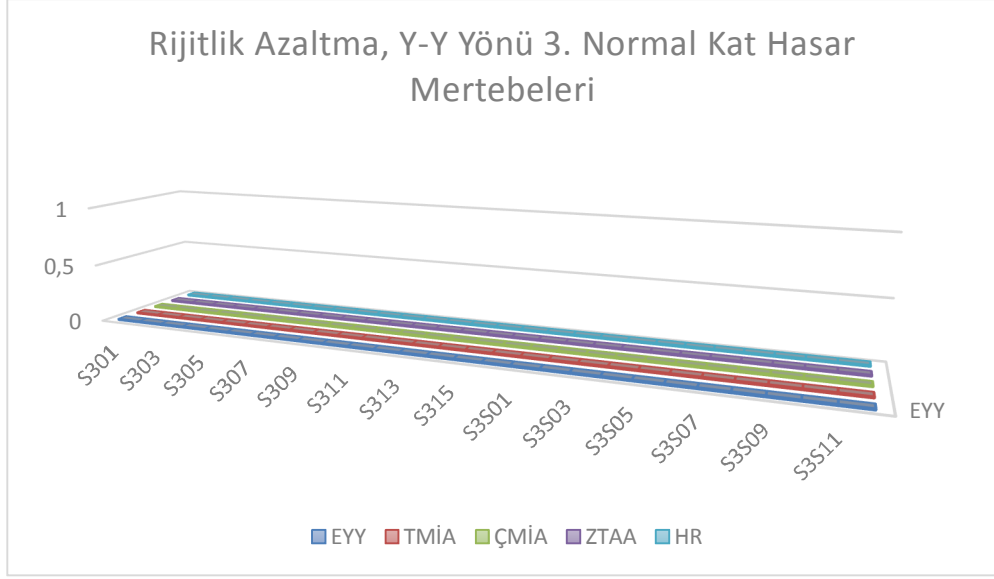
Şekil 9.22. Proje bilgisi, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.23. Model güncelleme, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahmini eşdeğer deprem yükü metodu vermiştir.

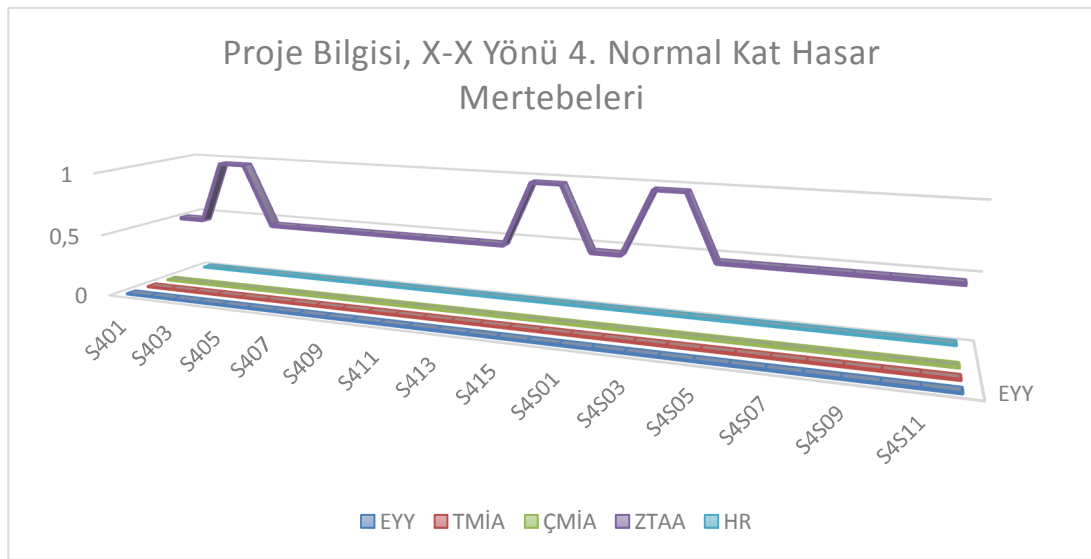


Şekil 9.24. Rijitlik azaltma, y-y yönü 3. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri kullanılan bütün analiz metotları da vermiştir.

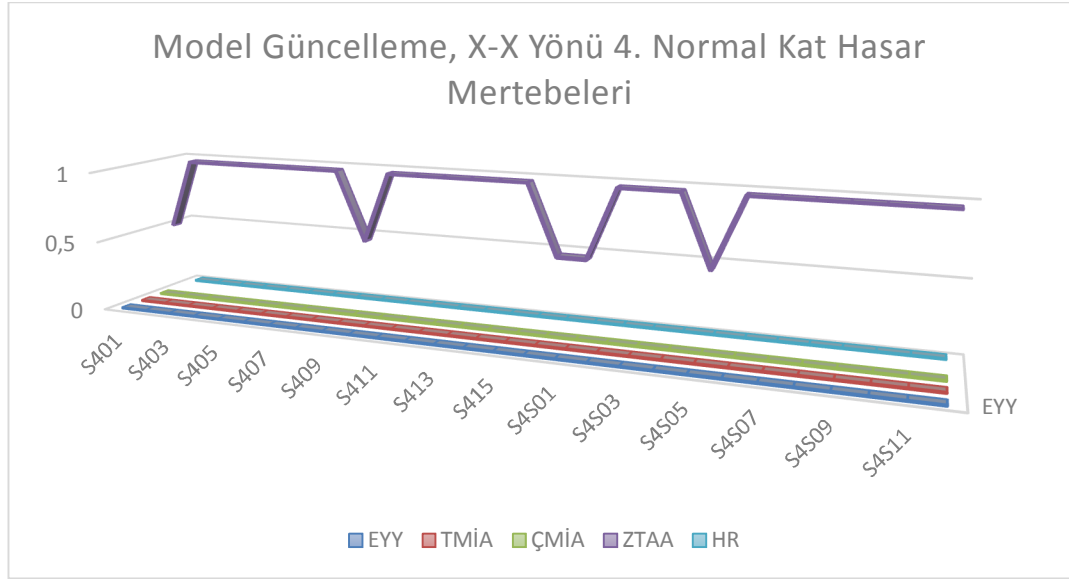
3.Normal katta hasar rölevesine en yakın tahmini proje bilgisi, model güncelleme ve rijitlik azaltma yöntemlerinin tümünde zaman tanım alanında eşdeğer deprem yükü analiz metodu vermektedir.

4.Normal kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



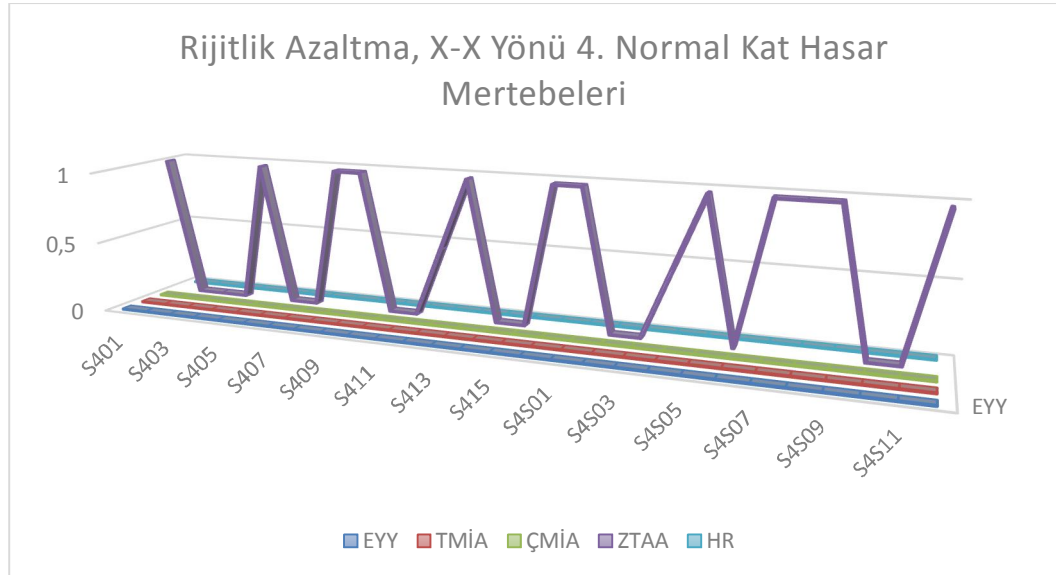
Şekil 9.25. Proje bilgisi, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.26. Model Güncelleme, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

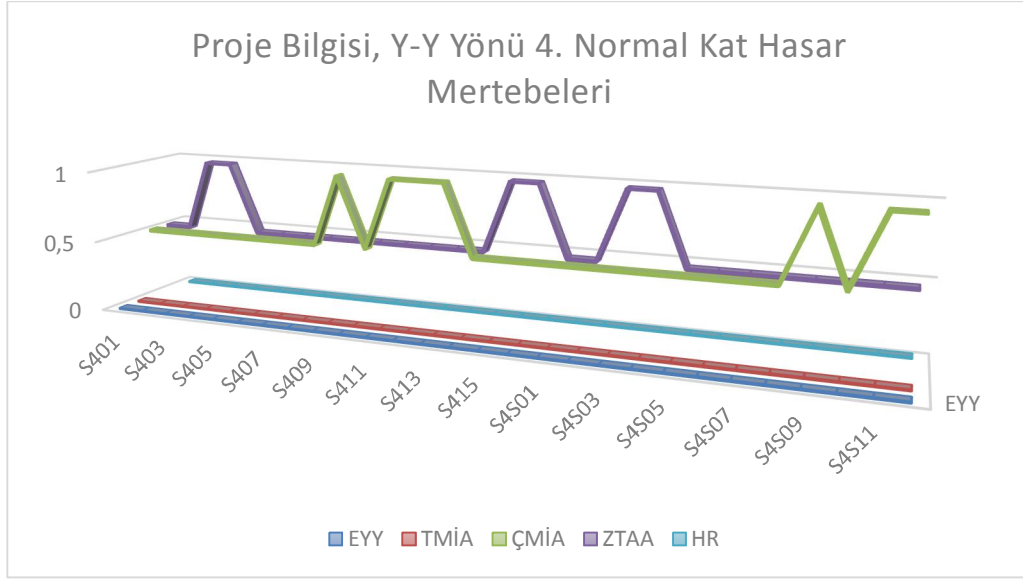
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.27. Rijitlik azaltma, x-x yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

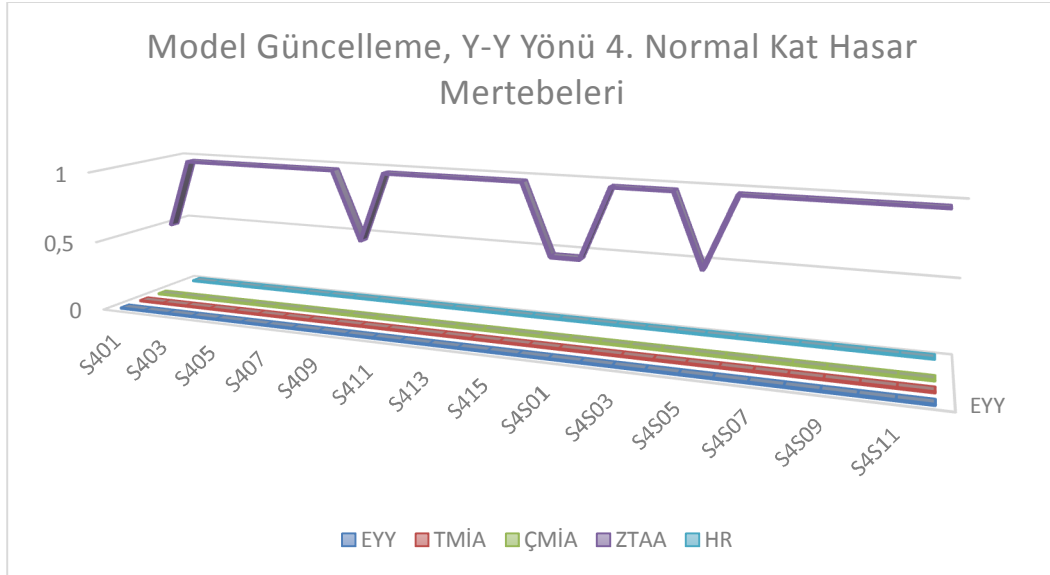
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

4.Normal kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



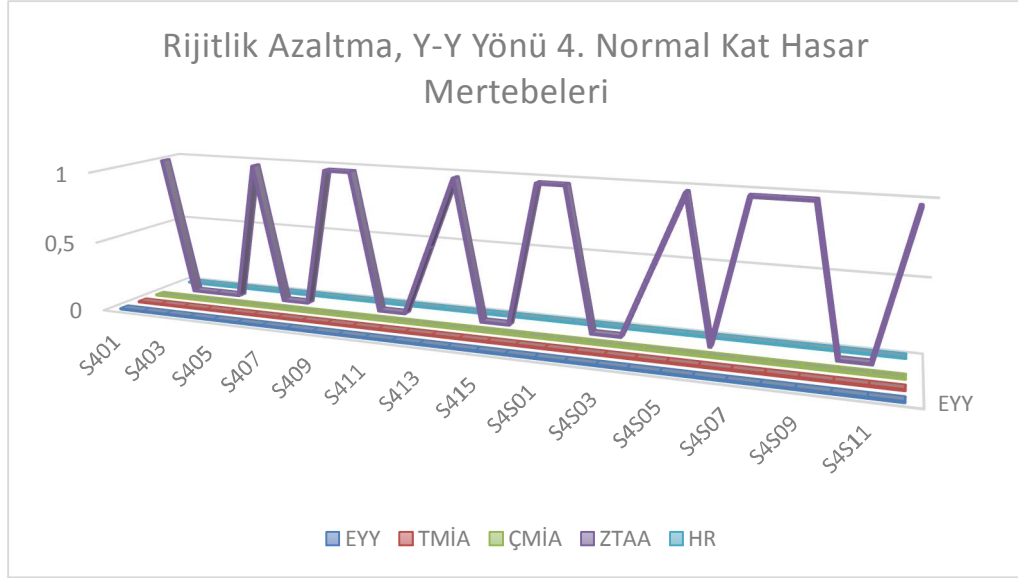
Şekil 9.28. Proje bilgisi, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.29. Model güncelleme, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

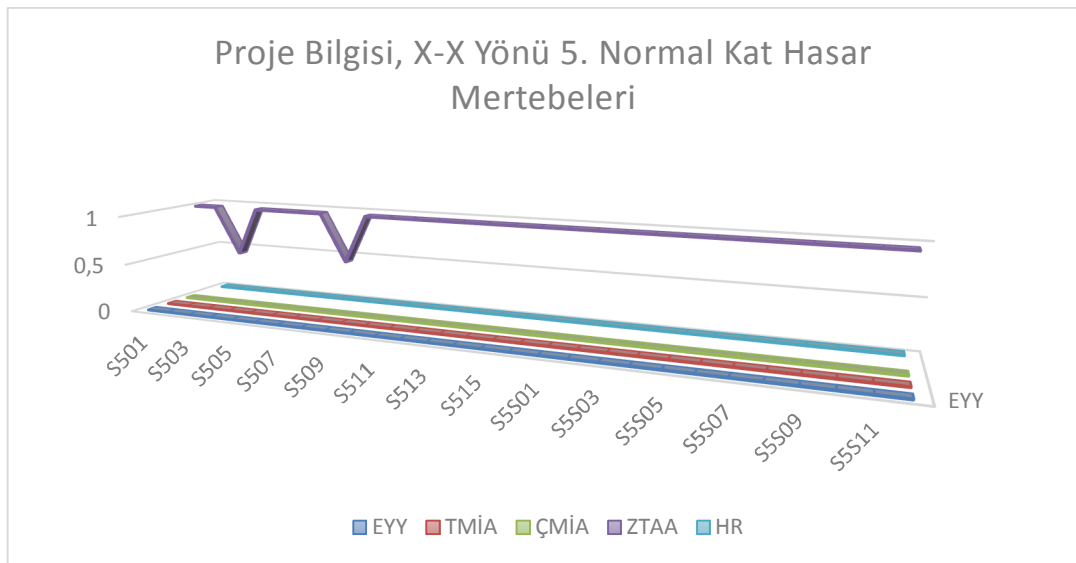


Şekil 9.30. Rijitlik azaltma, y-y yönü 4. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

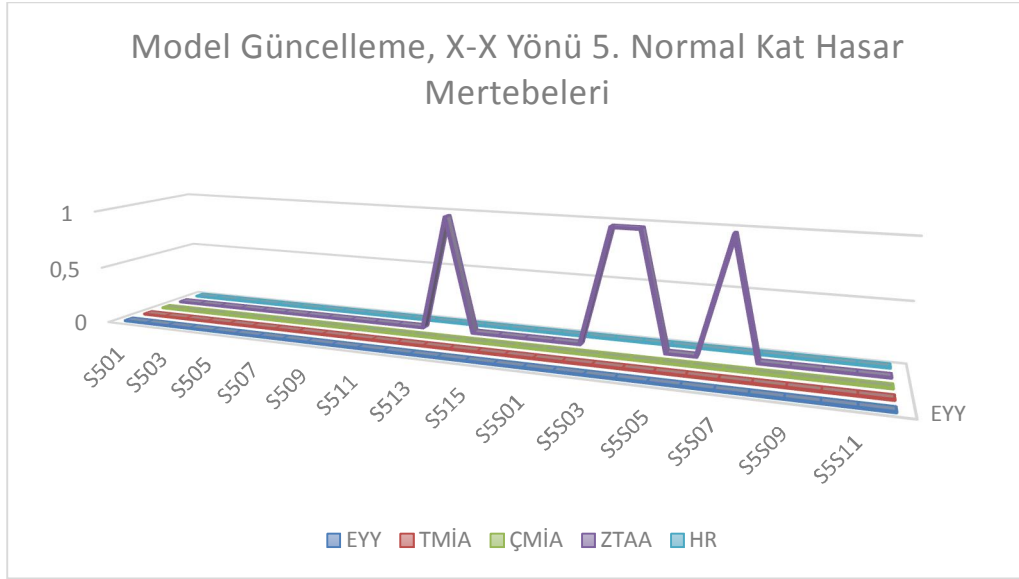
4.Normal katta hasar rölevesine en yakın tahmini proje bilgisi, model güncelleme ve rijitlik azaltma yöntemlerinin tümünde eşdeğer deprem yükü ve tek mod itme analizi metotları vermektedir.

5.Normal kata X-X yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



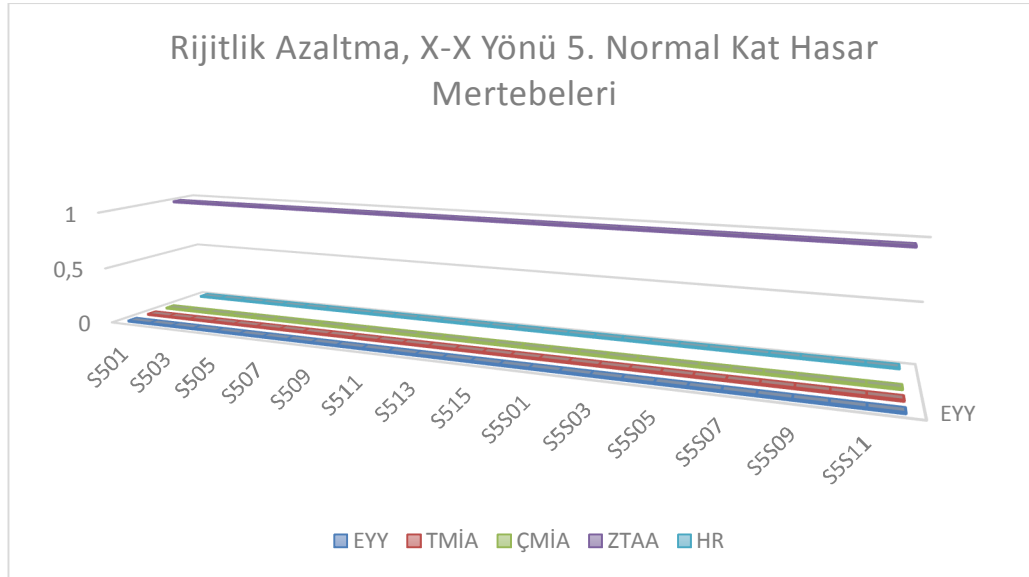
Şekil 9.31. Proje bilgisi, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.32. Model güncelleme, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

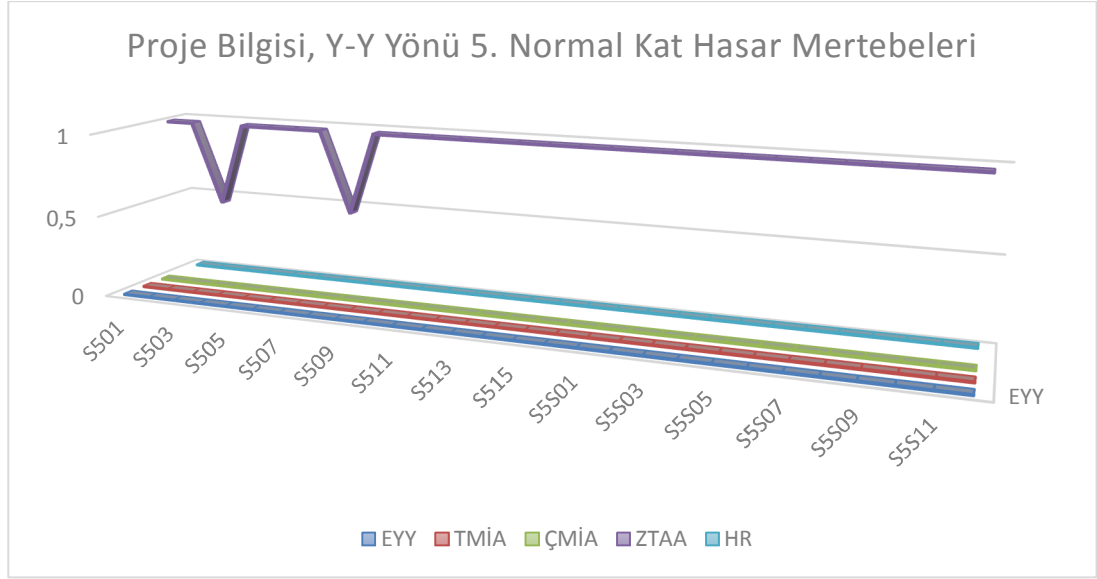
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.33. Rijitlik azaltma, x-x yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

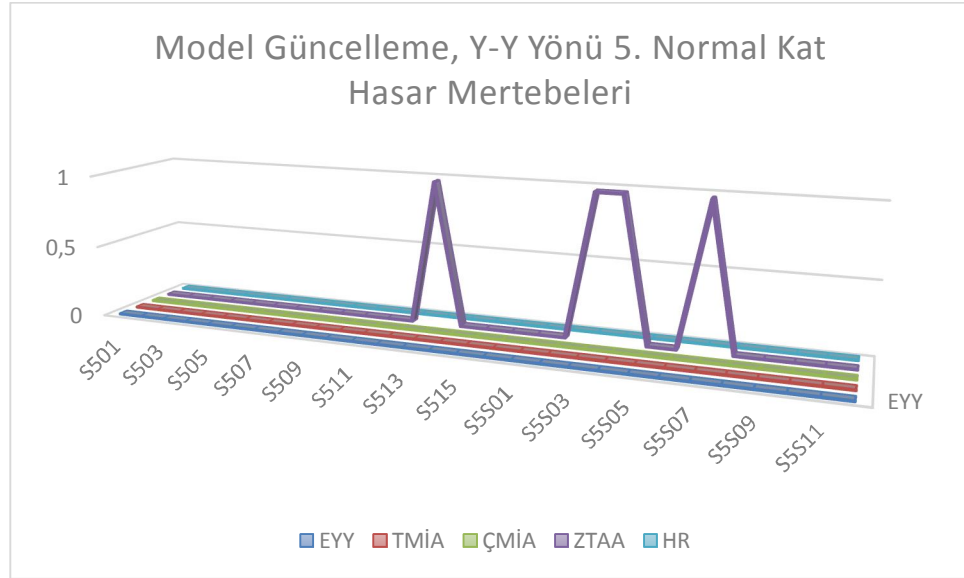
Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

5. Normal kata Y-Y yönünde bakıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.



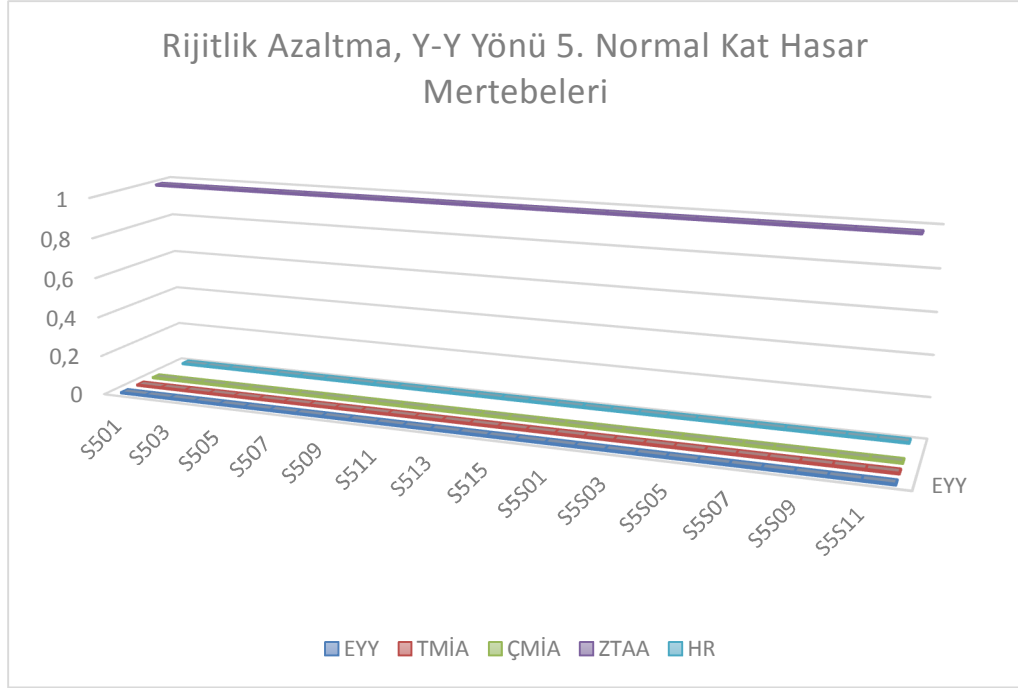
Şekil 9.34. Proje bilgisi, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut proje bilgisi ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.35. Model güncelleme, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine model güncelleme ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.



Şekil 9.36. Rijitlik azaltma, y-y yönü 5. normal kat hasar mertebeleri

Grafikte görüleceği gibi mevcut hasar rölevesine rijitlik azaltma ile en yakın tahminleri eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizleri vermiştir.

5.Normal katta hasar rölevesine en yakın tahmini proje bilgisi, model güncelleme ve rijitlik azaltma yöntemlerinin tümünde eşdeğer deprem yükü, tek mod ve çok mod itme analizi metotları vermektedir.

Elde edilen sonuçlara bakılırsa deprem riski açısından en tutarlı tahmini zemin katta model güncelleme çok mod itme analizi ve zaman tanım alanında analizler vermektedir. Ancak zaman tanım alanında analiz metodu üst katlarda tutarlı tahminler yapamamaktadır. Kirişlerde de sadece zemin kat merdiven kovanında çatlaklar gözlenmiştir. Tüm katlar ve taşıyıcı elemanlar bir arada değerlendirildiğinde en tutarlı hasar görülebilirlik tahminini güncellenmiş model tek mod itme analizi metodu yapmaktadır sonucuna ulaşılabilir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut yapıların deprem performansı ve elemanların hasar görebilirlik mertebeleri tespit edilirken sadece proje bilgileri ve sınırlı birkaç eleman bilgisi üzerinden analiz yapmak mühendislerin hesap hataları yapmalarına sebep olabilmektedir.

Yaptığımız araştırmalar yapının analizde kullanılacak modelindeki modal parametrelerin çevrel ya da zorlama kuvvetler altında incelenerek güncellenmesi ve tek mod itme analizi yapılması halinde gerçeğe yakın hasar tahmini yaptığını göstermektedir.

Şimdiye kadar inşaat mühendisliği dalında önemli akademisyenler tarafından çalışıla gelmiş olan çok modlu itme analizlerinin model güncelleme tekniğinden de faydalanılarak daha ileri seviyelere taşınabilmesi mümkündür. Güncellenmiş model üzerinden zaman tanım alanında, tek modlu, çok modlu ya da artımsal çok modlu itme analizlerinin kritikleri yapılabilir.

Sonuç olarak deprem yönetmelikleri günümüz mühendislik tekniğinin kaydettiği ilerlemelerle desteklenmeli ve revize edilmelidir. Böylece daha sağlıklı yapı hasar görebilirlik mertebeleri bulunabilir ve gerekli önlemler deprem öncesinden alınabilir.

KAYNAKLAR

Allemang R. J., Vibrations: analytical and experimental modal analysis, UCSDRL-CN-20-263-662, University of Cincinnati, 1999.

Allemang R. J., Vibrations: experimental modal analysis, UC-SDRL-CN-20-263-663/664, University of Cincinnati, 1999.

Anka İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti., Kentsel Dönüşüm Arşivi, 2013.

Aydinoglu M. N., An incremental response spectrum analysis based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2003; **1**(1), 3-36.

Beyen K., Deprem mühendisliği ve yapı dinamiği, *İ.M.O. İstanbul şubesi seminerleri*, İstanbul, Türkiye, 2006.

Beyen K., Sayısal yapı modeli güvenilirliği: bir yapı klonlama uygulaması, *İ.M.O. İstanbul şubesi seminerleri*, İstanbul, Türkiye, 2012.

Beyen K., Kutanis M., Bal İ. E., Çevrel ve zorlama kuvvet titreşimleri altında 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar almış binaların yapı tanı çalışmaları, *VII. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-3 Haziran 2011.

Beyen K., Kutanis M., Bal İ. E., Yeni yönetmeliğin sunduğu doğrusal elastik olmayan statik analiz yönteminden elde edilen yapı tepkilerindeki belirsizlikler, *VII. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-3 Haziran 2011.

Chopra A. K. and Goel R., A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings: theory and preliminary evaluation peer report No. 2001/03, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, 2001.

Chopra A. K. and Goel R. K., A modal push-over analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 2002, **31**, 561-582.

Chopra, A. K., Goel, R. K. and Chintanapakdee C., Statistics of single degree of freedom estimate of displacement for pushover analysis of buildings, *Journal of Structural Engineering*, 2003, **129**, 459-469.

Collins K. R., Wen Y. K. and Foutch D. A., Investigation of alternative seismic design procedures for standard buildings, Dept. of Civil Engineering, University of Illinois, UILU-ENG-95-2003 Report, 187, 1995.

Cuesta I. and Aschheim M. A., Using pulse r-factors to estimate structural response to earth-quake ground motions, CD release 01-03, *Mid-America Earthquake Center*, Urbana, Illinois, 2001.

Çatbaş F. N., Aktan A. E., Condition and damage assessment: Issues and some promising indices, *Journal of Structural Engineering*, 2002, **128**, 1026-1036.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 6 Mayıs 2007

Ewins D. J., Modal testing: theory, practice and application, 2nd ed., *Research Studies Press Ltd.*, London, 2000.

Güneş B., Güneş O. ve Andiç H. İ., Titreşim verileri kullanılarak deprem sonrası hasar tespiti: son gelişmeler ve güncel araştırmalar, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.

Hernández Montes E., Kwon O. S. and Aschheim M., An energy-based formulation for first- and multiple-mode nonlinear static (pushover) analyses, *Journal of Earthquake Engineering*, 2004, **8**, 69-88.

Iwan W. D., and Chen X. D., Important near-field ground motion data from the Landers earth-quake, *Proceedings 10th European Conference on Earthquake Engineering*, 1995, **1**, 229-234.

Miranda E., Seismic evaluation and upgrading of existing buildings, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1991.

SAC, State of the art report on systems performance of steel moment frames subject to earthquake ground shaking, *FEMA 355C Report*, Washington D. C., 2000.

Seneviratna G. D. P. K. and Krawinkler H., Evaluation of inelastic MDOF effects for seismic design, *BLUME-120 Report*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, California, 1997.

URL-1: <http://www.kayakarot.com/wp-content/uploads/2011/11/karot-karotcu-karotculuk.jpeg> (Ziyaret tarihi: 26 Mayıs 2013)

URL-2: <http://www.yapi.tef.duzce.edu.tr/photos/profometre.jpg> (Ziyaret tarihi: 26 Mayıs 2013)

Xu B., Wu Z., Yokoyama K., Harada T. and Chen G., A soft post-earthquake damage identification methodology using vibration time series, *Smart Materials and Structures*, DOI: 10.1088/er.964.

EKLER

Matlab Kodu

```
clear all
close all

veri=load('d:\aydinbak_blok_4_amb_set3_20101110_152330.dac');

girdi_x=detrend(veri(:,1),'linear'); girdi_y=detrend(veri(:,2),'linear');
girdi_z=detrend(veri(:,3),'linear');

cikti_x=detrend(veri(:,16:3:25),'linear');
cikti_y=detrend(veri(:,17:3:26),'linear');
cikti_z=detrend(veri(:,18:3:27),'linear');

sps=200;
dt=1/sps;

xt=dt*(1:1:length(girdi_x));

istgir={'id127'};
ist={'id128','id129','id134','id135'};

figure;
plot(xt,girdi_y); ylabel('İvme'); xlabel('Zaman');
title ('Y Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir);
grid on;

figure;
plot(xt,girdi_x); ylabel('İvme'); xlabel('Zaman');
title ('X Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir);
grid on;

for i=1:size(cikti_y,2);
    figure;
    plot(xt,cikti_y(:,i));
    ylabel('İvme'); xlabel('Zaman');
    title('Y Doğrultusundaki Çıktı Değerleri'); legend(ist(i));
    grid on;
end
```

```

for i=1:size(cikti_x,2);
    figure;
    plot(xt,cikti_x(:,i));
    ylabel('İvme'); xlabel('Zaman');
    title('X Doğrultusundaki Çıktı Değerleri'); legend(ist(i));
    grid on;
end

nffty=2^nextpow2(length(girdi_y));
fft_girdi_y=fft(girdi_y)/length(girdi_y);
fy=sps/2*linspace(0,1,nffty/2+1);

figure;
loglog(fy,2*abs(fft_girdi_y(1:nffty/2+1)));
title('Fourier Dönüşümü Uygulanmış Y Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
grid on;

nfftx=2^nextpow2(length(girdi_x));
fft_girdi_x=fft(girdi_x)/length(girdi_x);
fx=sps/2*linspace(0,1,nfftx/2+1);

figure;
loglog(fx,2*abs(fft_girdi_x(1:nfftx/2+1)));
title('Fourier Dönüşümü Uygulanmış X Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
grid on;

fft_cikti_y=fft(cikti_y)/length(cikti_y);
fft_cikti_y=2*abs(fft_cikti_y);
fft_cikti_yc=fft_cikti_y((1:nffty/2+1),:);

for i=1:size(cikti_y,2);
    figure;
    loglog(fy,fft_cikti_yc(:,i));
    title('Fourier Dönüşümü Uygulanmış Y Doğrultusundaki Cikti Değerleri');
    legend(ist(i)); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
    grid on;
end

fft_cikti_x=fft(cikti_x)/length(cikti_x);
fft_cikti_x=2*abs(fft_cikti_x);
fft_cikti_xc=fft_cikti_x((1:nfftx/2+1),:);

```



```

for i=1:size(cikti_x,2);
    figure;
    loglog(fx,fft_cikti_xc(:,i));
    title('Fourier Dönüşümü Uygulanmış X Doğrultusundaki Cikti Değerleri');
    legend(ist(i)); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
    grid on;
end

```

```

fft_girdi_y_kare=(2*abs(fft_girdi_y(1:nffty/2+1))).^2;
fft_girdi_x_kare=(2*abs(fft_girdi_x(1:nffty/2+1))).^2;
fft_cikti_yc_kare=fft_cikti_yc.^2;
fft_cikti_xc_kare=fft_cikti_xc.^2;

```

```

figure;
loglog(fy,fft_girdi_y_kare);
title('FD_Kare Uygulanmış Y Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
grid on;

```

```

figure;
loglog(fx,fft_girdi_x_kare);
title('FD_Kare Uygulanmış X Doğrultusundaki Girdi Değerleri');
legend(istgir); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
grid on;

```

```

for i=1:size(cikti_y,2);
    figure;
    loglog(fy,fft_cikti_yc_kare(:,i));
    title('FD_Kare Uygulanmış Y Doğrultusundaki Cikti Değerleri');
    legend(ist(i)); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
    grid on;
end

```

```

for i=1:size(cikti_x,2);
    figure;
    loglog(fx,fft_cikti_xc_kare(:,i));
    title('FD_Kare Uygulanmış X Doğrultusundaki Cikti Değerleri');
    legend(ist(i)); xlabel('Frekans'); ylabel('Fourier Şiddet Spektrumu');
    grid on;
end

```

```

[Ty1,Fy1]=tfestimate(girdi_y,cikti_y(:,1),1024,[],[],200);

```

```
[Ty2,Fy2]=tfestimate(girdi_y,cikti_y(:,2),1024,[],[],200);
[Ty3,Fy3]=tfestimate(girdi_y,cikti_y(:,3),1024,[],[],200);
[Ty4,Fy4]=tfestimate(girdi_y,cikti_y(:,4),1024,[],[],200);
```

```
Ty=[Ty1 Ty2 Ty3 Ty4];
Fy=[Fy1 Fy2 Fy3 Fy4];
```

```
[Tx1,Fx1]=tfestimate(girdi_x,cikti_x(:,1),1024,[],[],200);
[Tx2,Fx2]=tfestimate(girdi_x,cikti_x(:,2),1024,[],[],200);
[Tx3,Fx3]=tfestimate(girdi_x,cikti_x(:,3),1024,[],[],200);
[Tx4,Fx4]=tfestimate(girdi_x,cikti_x(:,4),1024,[],[],200);
```

```
Tx=[Tx1 Tx2 Tx3 Tx4];
Fx=[Fx1 Fx2 Fx3 Fx4];
```

```
for i=1:size(cikti_y,2);
    figure;
    loglog(Fy(:,i),abs(Ty(:,i)));
    ylabel('Büyüklik'); xlabel('Frekans');
    title('Y Doğrultusundaki Transfer Fonksiyonları'); legend(ist(i));
    grid on;
end
```

```
for i=1:size(cikti_x,2);
    figure;
    loglog(Fx(:,i),abs(Tx(:,i)));
    ylabel('Büyüklik'); xlabel('Frekans');
    title('X Doğrultusundaki Transfer Fonksiyonları'); legend(ist(i));
    grid on;
end
```

```
midy=iddata(sum((cikti_y))'./4,girdi_y);
midx=iddata(sum((cikti_x))'./4,girdi_x);
```

```
arx_y=arx(midy,[4 4 1]); figure; bode(arx_y); legend('arx_y',3);
arx_x=arx(midx,[4 4 1]); figure; bode(arx_x); legend('arx_x',3);
```

```
armax_y=armax(midy,[3 3 5 4]); figure; bode(armax_y); legend('armax_y',3);
armax_x=armax(midx,[3 3 5 4]); figure; bode(armax_x); legend('armax_x',3);
```

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Fatih SAK 09.09.1987' de İstanbul'un Fatih ilçesinde doğdu. İlkokulu Üsküdar Şemsi Paşa İlköğretim Okulu'nda ve lise eğitimini Ümraniye Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Evli ve bir çocuk babasıdır.