

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALAN BİR  
YAPININ PERFORMANS ANALİZLERİ**

**CEM GÜNEŞ**

**KOCAELİ 2017**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALAN**  
**BİR YAPININ PERFORMANS ANALİZLERİ**

**CEM GÜNEŞ**

**Doç.Dr. Kemal Beyen**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

**Doç.Dr. Fuad Okay**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

**Prof.Dr. Yasin Fahjan**  
**Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2017**







## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Gerek lisans eğitimim gerekse de lisansüstü eğitimim boyunca Deprem konusunu sevdiğim, bana yol gösteren bilgisiyle destek olan Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Kemal BEYEN hocama, büyük emeklerle beni yetiştiren daima eğitimime önem veren anneme ve babama, bu eğitimim boyunca yanımda olan eşim Tuğçe GÜNEŞ'e ve oğlum Efe'ye çok teşekkür ederim.

Temmuz – 2017

Cem GÜNEŞ



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3. Analiz Tekniğinde Gözlenen Gelişmelere Bağlı Olarak Yapı Analiz Programları.....	4
2. PERFORMANS KAVRAMI.....	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Performans Seviyeleri.....	6
2.2.1. Betonarme elemanlardaki hasar sınır değerleri.....	7
2.2.2. betonarme elemanlardaki hasar sınır bölgeleri.....	7
2.3. Binalar için Performans Hedefleri.....	8
2.3.1. Hemen kullanım performans seviyesi (HK).....	8
2.3.2. Can güvenliği performans seviyesi (CG).....	9
2.3.3. Göçme öncesi performans seviyesi (GÖ).....	9
2.3.4. Göçme durumu.....	10
3. DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEAR) HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	11
3.1. Giriş.....	11
3.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi.....	11
3.3. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi.....	14
3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	15
4. YAPI HASARI.....	16
4.1. Yapı Hasar Tespiti.....	18
5. ÖRNEK BETONARME BİR BİNANIN ANALİZİ.....	22
5.1. Doğrusal Olmayan Eşdeğer Yanal Yük Artımlı İtme Analizi.....	26
5.2. Doğrusal Olmayan Tek Modlu Yanal Yük Artımlı İtme Analizi.....	29
5.3. Doğrusal Olmayan Çok Modlu Yanal Yük Artımlı İtme Analizi.....	32
5.4. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz.....	36
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	51
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kesit Hasar Sınır Bölgeleri .....	7
Şekil 2.2.	Yapı Performans Düzeyleri .....	8
Şekil 2.3.	Faklı Depremlerde Binada Öngörülen Minimum Performans Hedefleri.....	10
Şekil 3.1.	Pekleşme Etkisi ile Moment-Plastik Dönme Bağlılıkları.....	13
Şekil 4.1.	Deprem yönetmeliğinde öngörülen yapısal performans düzeyleri.....	16
Şekil 4.2.	17 Ağustos depremi, Kocaeli (Kocaeli Devlet Arşivi).....	17
Şekil 4.3.	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde İlçelerde Ağır Hasar Oranları.....	17
Şekil 4.4.	Depremde Bölgesel Göçme Yaşamış Bina .....	18
Şekil 4.5.	Eleman Hasar Sınırları.....	19
Şekil 4.6.	Hafif Hasar almış betonarme elemanlar (A Tipi).....	20
Şekil 4.7.	Orta Hasar almış betonarme elemanlar (B Tipi) .....	20
Şekil 4.8.	Ağır Hasar almış betonarme elemanlar (C Tipi).....	21
Şekil 4.9.	Çok Ağır Hasar almış betonarme elemanlar (D Tipi).....	21
Şekil 5.1.	Çalışılan binanın uydu görüntüsü .....	22
Şekil 5.2.	Çalışılan binaya ait kalıp planı.....	23
Şekil 5.3.	Eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	27
Şekil 5.4.	Eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşmalar.....	28
Şekil 5.5.	X yönü modal parametreler.....	29
Şekil 5.6.	X yönü için hakim modun programa tanıtılması.....	29
Şekil 5.7.	Y yönü modal parametreler.....	30
Şekil 5.8.	Y yönü için hakim modun programa tanıtılması.....	30
Şekil 5.9.	Tek mod statik itme analizi metoduna göre x yönlü mafsallaşma.....	31
Şekil 5.10.	Tek mod statik itme analizi metoduna göre y yönlü mafsallaşma.....	32
Şekil 5.11.	Çok modlu analiz modal parametreler.....	33
Şekil 5.12.	X yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi .....	33
Şekil 5.13.	Y yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi .....	34
Şekil 5.14.	Çok mod statik itme analizi metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar.....	35
Şekil 5.15.	Çok mod statik itme analizi metoduna göre y yönlü mafsallaşma.....	36
Şekil 5.16.	17 Ağustos 1999 İzmit doğu deprem kaydı .....	37
Şekil 5.17.	Deprem kaydının programa yük olarak tanıtılması .....	37
Şekil 5.18.	Zaman tanım alanında analiz metoduna göre hasar görebilirlik mertebeleri .....	38
Şekil 6.1.	x-x yönü zemin kat hasar dereceleri.....	39

Şekil 6.2.	y-y yönü zemin kat hasar dereceleri.....	40
Şekil 6.3.	x-x yönü 1. kat hasar dereceleri.....	40
Şekil 6.4.	y-y yönü 1. kat hasar dereceleri.....	41
Şekil 6.5.	x-x yönü 2. kat hasar dereceleri.....	41
Şekil 6.6.	y-y yönü 2. kat hasar dereceleri.....	42
Şekil 6.7.	x-x yönü 3. kat hasar dereceleri.....	42
Şekil 6.8.	y-y yönü 3. kat hasar dereceleri.....	43
Şekil 6.9.	x-x yönü 3. kat hasar dereceleri.....	43
Şekil 6.10.	y-y yönü 3. kat hasar dereceleri.....	44
Şekil 6.11.	Çalışma konusu olan binamızın genel görünüşü.....	45
Şekil 6.12.	Binanın zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar-1.....	46
Şekil 6.13.	Binanın zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar-2.....	47
Şekil 6.14.	Binada bulunan bir kolon-kiriş bölgesindeki hasar.....	48
Şekil 6.15.	Merdiven döşemesinde oluşan hasar.....	49



## **TABLolar DİZİNİ**

Tablo 5.1. Beton Elastisite Modülü Hesabı .....	23
Tablo 5.2. Schimidt çekici test sonuçları-1.....	24
Tablo 5.3. Schimidt çekici test sonuçları-2.....	24
Tablo 5.4. Schimidt çekici test sonuçları-3.....	24
Tablo 5.5. Binadaki Kolonların kesit ve donatı bilgileri.....	25
Tablo 5.6. Eşdeğer deprem yükü hesabı-1.....	26
Tablo 5.7. Eşdeğer deprem yükü hesabı-2.....	26



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A_o$	: Etkin yer ivme katsayısı
$A_c$	: Brüt beton alanı
$A_{(T)}$	: Spektral ivme katsayısı
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
$F_c$	: Beton basınç dayanımı
$f_{cm}$	: DBYBHY 2007 Bölüm 7.2'ye göre tanımlı mevcut beton dayanımı
$f_{ctm}$	: Betonun çekme dayanımı
$g$	: Yer çekim ivmesi, $(m/s^2)$
$I$	: Bina önem katsayısı
$L_p$	: Plastik mafsalsal boyu
$M_n$	: n. doğal titreşim moduna ait modal kütle
$ND$	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan aksel kuvvet
$P$	: 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
$\mu$	: Süneklik oranı
$\Delta$	: Deplasman
$\Delta_{\text{çatı}}$	: Çatı deplasmanı
$\alpha_1$	: Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı
$\rho$	: Çekme donatısı oranı
$\rho'$	: Basınç donatısı oranı
$\emptyset_{xN1}$	: Binanın tepesinde x doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
$\Gamma$	: Katkı çarpanı
$\epsilon_{cu}$	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s$	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{su}$	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi



## Kısaltmalar

CG	: Can Güvenliği
ÇMİA	: Çok Modlu İtme Analizi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EŞD	: Eşdeğer Deprem Yüğü
GÇ	: Göçme (Kesit Göçme Sınırı)
GÖ	: Göçme Öncesi
GV	: Güvenlik (Kesit Güvenlik Sınırı)
HK	: Hemen Kullanım
HR	: Hasar Rölevesi
MN	: Minimum (Kesit Minimum Hasar Sınırı)
SRRS	: Square Root of the Sum of Squares (Karelerinin karekökü yöntemi)
TMİA	: Tek Mod İtme Analizi
ZTAA	: Zaman Tanım Alanında Analiz



## 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE HASAR ALAN BİR YAPININ PERFORMANS ANALİZLERİ

### ÖZET

Depremlerin çok sık yaşandığı ülkemizdeki mevcut yönetmelik koşullarının deprem hasarları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, yaşanacak olası depremlerin hasarlarının azaltılmasında büyük rol oynamaktadır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ciddi can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Bu çalışmada; 1999 Kocaeli Depreminde hasar gören bir binanın mevcut hasarları ile, 2007 de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğinde bulunan kriterler ışığında performans dayalı analizinden oluşacak hasarların karşılaştırılması incelenmiştir. Bu analiz yöntemleri; Eşdeğer Deprem Yüğü, Tek Mod İtme Analizi, Çok Mod İtme Analizi ve Doğrusal olmayan Zaman Tanım Alanlı Analiz yöntemleri olarak uygulanmıştır. Ayrıca deprem sırasında yapıda meydana gelen hasarların türü de incelenmiş ve oluşan hasarların yapılan analizlerle önceden tahmin edilebilmesi için hangi yöntemlerin uygulanmasının daha doğru sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Yapılan tüm analizler Sap2000 programı yardımı ile yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen çalışmalar ile ileride yapılacak tasarımlar için daha güvenli yapıların oluşturulması düşünülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem Performansı, Doğrusal Olmayan Analiz, İtme Analizi, Kocaeli Depremi, Yönetmelik Analiz Yöntemleri.

## **PERFORMANCE ANALYSIS OF A BUILDING DAMAGED DURING 17 AUGUST 1999 KOCAELI EARTHQUAKE**

### **ABSTRACT**

Determination of the effects of existing specifications conditions on the damage of earthquakes in our country where is earthquake-prone country has an important role to decrease the damage of further possible earthquakes. August 17, 1999 Kocaeli earthquake caused serious loss of life and property. In this study, a building which on the damages caused by 1999 Kocaeli Earthquake and damages caused by performed-based analysis according to Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones 2007 were compared. These analysis methods were used as Equivalent Seismic Load Method, Single-mode Pushover Analysis, Multi-mode Pushover Analysis and Nonlinear Time History Analysis. Also, Damages type has been investigated during earthquake and more accurately methods has been investigated for this damage's estimate. All analysis was done by using Sap2000 program. There has been considered more safety building for further possible design with investigations of result of analysis.

**Keywords:** Analyse Method for Specification, Earthquake Performance, Kocaeli Earthquake, Non-Linear Analyse, Pushover Analysis.

## **GİRİŞ**

### **1. GENEL BİLGİLER**

Depremler, tüm yeryüzünde gerçekleştiği yerlerde maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır. Ülkemizde de 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli-Gölcük depremi ve yaşanan kayıplar birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışma da Kocaeli ilinde, Gölcük ilçesinde İzmit-Yalova yolu üzerinde yer alan betonarme bir bina benzer yapı grubu içinden seçilmiştir. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli-Gölcük depreminde aldığı hasarlar için detaylı röleve çalışılmış, yapıda bulunan hasarlar tespit edilmiştir. Bu hasarlara en yakın sonucu veren sonlu eleman analizi için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) ışığında çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda DBYBHY 2007 de yer alan analiz yöntemleri irdelenmiştir. Doğrusal olmayan analizler için yönetmelik şartları altında yapıların performansında hangi yöntemin hangi yapı tipine daha uygun olduğu da incelenmiştir.

Doğrusal analizle yapının elastik kapasitesi belirlenirken, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapının elastik ötesi kapasitesi de göz önünde bulundurulmaktadır. Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik İtme Yöntemi” denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır.

Performansa dayalı doğrusal analiz aşağıdaki şu sorulara rahatlıkla çok yaklaşık cevap verebilecek nitelikte bir yöntemdir:

- a) Hangi taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında hasar oluşacaktır?
- b) Taşıyıcı sistem içinde hasar dağılımı nasıldır? Hasarların miktarı nedir?
- c) Muhtemel göçme mekanizmaları nelerdir?

Bu soruların cevaplandırılması için;

- 1- Binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır,
- 2- Yapının artan yatay yükler altında ne şekilde davrandığı, elastik ötesi davranış da dikkate alınarak oluşturulan kuvvet-deplasman eğrisiyle belirlenir (pushover eğrisi )
- 3- Belirli bir deprem altında yapının talep ettiği spektral deplasman belirlenir.
- 4- Belirlenen deplasman talebine ulaşmış yapının performans düzeyi belirlenir.

Sonuç olarak, Statik-İtme Yöntemi deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, kuvvet-deplasman (pushover eğrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir deyişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir. Bu performans noktasındaki bina özellikleri, binanın kullanım amacına ve mal sahibinin yapıdan ne beklediği ile alakalı olarak önceden tespit edilir. Bu noktada ana amaç, ekonomik durumlar ne olursa olsun en az can güvenliği seviyesinin sağlanması olmalıdır.

### **1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar**

Yapı davranışı ile ilgili birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalarda çeşitli açılardan yapısal davranış ve analiz metodları 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 [1].

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 yerdeğiştirmelerin belirlenmesinde kullanılmamıştır [2].

Goel ve Chopra (2004), P -  $\Delta$  etkilerini her modda dikkate alarak hesaplanan katlar arası yerdeğiştirme ve rijitliklerin neden olduğu plastik mafsal dönmelerinin hesaplanabilmesi için farklı bir adım ekleyerek geliştirilmiş bir MIA önermişlerdir. Gelişmiş yöntem tekli mod itme analizlerinde iyi sonuçlar verse de, üzerinde çalışılan 9 ve 20 katlı çerçevelerin plastik mafsal dönme tahminlerinde yeterli doğruluğa sahip olmadığı; alt katlarda plastik dönmeler değerinden fazla hesaplanırken üst katlarda değerinden düşük hesaplandığı görülmüştür [1].

Hernández-Montes ve diđ. (2004) uygulamalı teknoloji konseyi çalışmalarında klasik MIA yönteminin uygulamasında görülen yüksek mod yerdeğiştirme eğrilerinin tersinir davranışta gözlemlenen problemlerin üstesinden gelecek enerji bazlı bir itme tekniği geliştirmişlerdir [3].

Aydınoğlu (2003) içinde birden fazla modun katkılarının artımsal itme analizlerinde dikkate alındığı artımsal çoklu modlu tepki spektrum analiz yöntemini önermiştir. Analizin artışlı doğası gereği bir moddaki inelastikliğe göre yumuşayan etkilerini diğer modların değerlerine yansıtır. Örnek olarak metot dokuz katlı bir binanın ereve modeli üzerine uygulandığında dört moda dayalı tahminleri doğrusal olmayan dinamik analizlerle belirlenen tahminlerle karşılaştırarak tartışmıştır. Kat yerdeğiştirmesi, kat devrilme momenti ve kiriş plastik mafsal dönmelerinde yüksek tutarlılık görülmüştür. Sonuçların güncellenmesi ve yöntemin uygulanabilirlik sınırlarının saptanması için daha fazla çalışılması gerekmektedir [4].

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esası, yer değerirme ve şekil değerirme esaslı değerlendirmenin temel alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değerimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisi için binadaki yer değerirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesidir

Bu çalışmada, doğrusal elastik olmayan yöntemlerden; artımsal eşdeğer deprem yükü, tek modlu yanal yük artımlı, çok modlu yanal yük artımlı itme analizleri ve yine doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılarak, mevcut betonarme bir

binanın performansı 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY yönetmeliği çerçevesinde performans hedefleri doğrultusunda kontrol edilecektir.

DBYBHY 2007 yönetmeliğinde yer alan doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi kullanılacaktır ve yapılan bütün analizler karşılaştırılacaktır. Tüm bu analizler ışığında ulaşılmak istenen, bu yöntemlerden hangisinin mevcut binada alınmış olan hasar rölevesine en yakın sonucu verdiği dir.

### **1.3. Analiz Tekniğinde Gözlenen Gelişmelere Bağlı Olarak Yapı Analiz Programları**

Analiz tekniğindeki 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 ProBina 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 [5].

## 2. PERFORMANS KAVRAMI

### 2.1. Giriş

DBYHY 2007 de, farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri içerisinde depremin 3 farklı aşılma olasılığından bahsedilmiştir (Tablo 2). Bunlardan 50 yılda %2 olan deprem düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna denk gelen tekrarlanma süresinin 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Diğer bir deprem düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma süresinin 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. 50 yılda %50 aşılma olasılığı olan deprem düzeyi ise, standart tasarım deprem düzeyi olarak da adlandırılmaktadır, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma süresinin 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

Binalar için deprem hesapları yapılırken, DBYHY 2007'ye göre elemanların yatay yüklerin etkisi altında elastik sınırlar içerisinde davrandığı kabulüne göre yapılır. Depremde oluşan etkinin, rijit döşemeler göz önüne alınarak binadaki katlara dağıtılması sonucunda oluşan yer değiştirmeler ve kesit tesirleri bulunur. Böylece elemanların gerilmelerine ulaşılır. Bu gerilmeler elastik sınırlardaki gerilemelerdir. Ancak gerçekte bu elemanlar doğrusal (lineer) elastik davranıştan farklı durumlarda bulunabilir. Elemanlar taşıma kapasitelerine ulaştınca akma dayanımı ile çalışmaya devam etmektedir. Bu durumlar için elastik ötesi bir dayanım rezervinin bulunduğu anlaşılmıştır.

Elastik ötesi bu davranış durumu, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve bununla beraber Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (Ra) ile göz önüne alınır. Bu elastik ötesi davranış tek bir katsayı ile düşünüldüğünde, depremde meydana gelen kuvvetler ve yer değiştirmeler belirlenirken yetersizlik görülebilir.



Meydana gelen bu yetersizlik durumunda, belirsizliklerin giderilmesi amacıyla yapılan projelendirmeler ise maliyeti yüksek ve aşırı güvenli tasarımları ortaya çıkarmaktadır. Yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen “Performans Kavramı” bu noktada önemli olmaktadır. Performans incelemesinde ilk adım talep deprem etki seviyesi ve belirlenmiş performans seviyesinin birleştirilmesi ile oluşan “Hedef Performans Noktası”dır [6].

Deprem Performansı binanın olası bir depremde göstereceği davranışı tanımlar. Aynı zamanda bu performans, deprem etkisindeki yapılarda öngörülen sınırlar içerisinde meydana gelebilecek maksimum hasarların tespit edilmesi ve sınıflandırılması olarak da tanımlanabilir.

## **2.2. Performans Seviyeleri**

DBYBHY 2007’de; belirtilen bina taşıyıcı sistemleri için belirlenmiş performans seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları olan “Bina Performans Seviyeleri”, deprem risk seviyeleri ve tüm bu seviyelerin nasıl tespit edileceği ile ilgili konuları bu başlıkta incelenmiştir.

Binalardaki deprem performansı, talep edilen depremin etkisinde binada oluşabilecek muhtemel hasarların sınır durumlarıdır. DBYBHY 2007’de dört farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir.

Amaçlanan bina deprem performans seviyesi, öngörülen depremin sonucunda taşıyıcı elemanlardaki hasar dağılımı göz önünde bulundurularak saptanır. Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden talep edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme değerleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Farklı depremler altında binalarda öngörülen minimum Performans Hedefleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

### 2.2.1. Betonarme elemanlardaki hasar sınır değerleri

Betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen, 3 tip şekil değiştirme üst sınırı aşağıda tanımlanmıştır [7]:

- Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN): Kesitteki elastik ötesi davranışın başlangıç durumunu tanımlamaktadır. Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları;

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0,0035 ; (\epsilon_s)_{MN}=0,010$$

- Kesit Güvenlik Sınırı (GV): Kesitin dayanımını güvenli bir şekilde sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınır durumudur. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları;

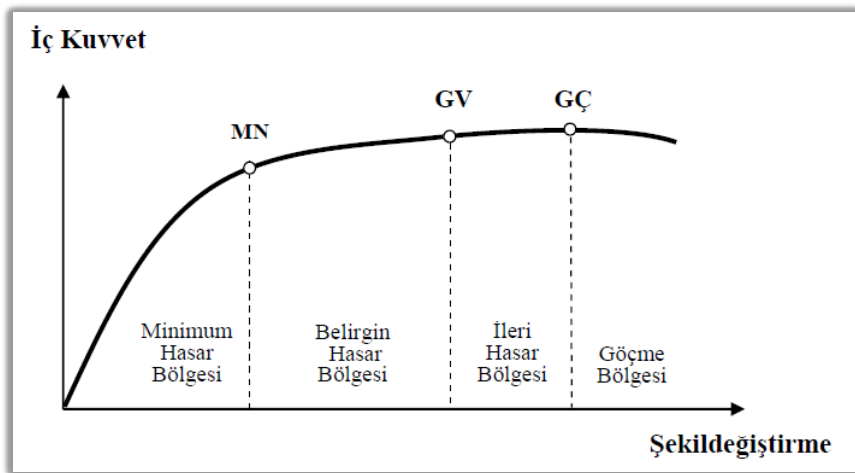
$$(\epsilon_{cg})_{GV}=0,0035+0,01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0,0135 (\rho_s)_{GV}=0,040$$

- Kesit Göçme Sınırı (GÇ): Kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları;

$$(\epsilon_{cg})_{GÇ}=0,004+0,014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 (\epsilon_s)_{GV} = 0,060$$

### 2.2.2. Betonarme elemanlardaki hasar bölgeleri

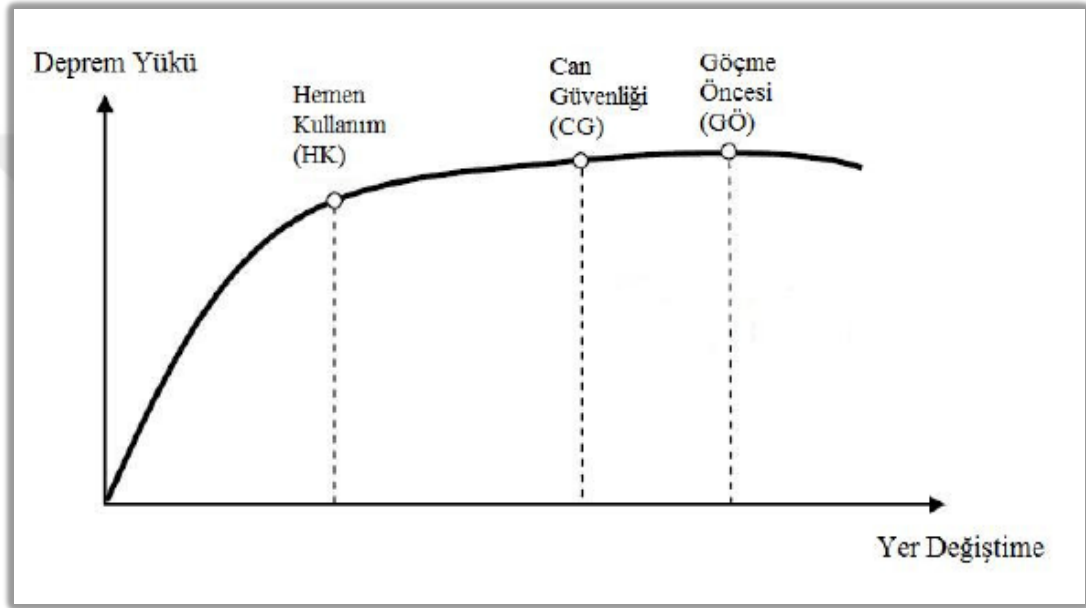
Kritik kesitlerinin hasarı MN' ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadır [7] (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kesit Hasar Sınır Bölgeleri [7]

### 2.3. Binalar için Performans Hedefleri

Binaların deprem performansı, herhangi bir deprem doğrultusunda binalarda oluşması beklenen hasarların durumu ile belirlenir. Dört farklı performans seviyesi esas alınarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde kesit hasar sınırları eğrisine benzetebilecek performans düzeyleri eğrisi deprem yükü ve yerdeğiştirme bağlantısında oluşan sınır performans noktalarını gösterir. Analiz yöntemleri sonucu eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir [8].



Şekil 2.2. Yapı Performans Düzeyleri [7]

#### 2.3.1. Hemen kullanım performans seviyesi (HK)

Göz önüne alınan deprem doğrultusu için eleman bazında yapılan hasar tespiti sonucunda, herhangi bir katta, kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesinde kalmalıdır. Eğer gevrek olarak göçen elemanlar varsa, bunların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir. Hemen kullanım durum için binada sınırlı düzeyde elastik ötesi davranışa izin verilmektedir. Kolon ve perdelerin en düşük hasar seviyesinde kalması sınırlandırılırken, kirişlerde belirli bir oranda bir üst hasar seviyesine geçmesine izin verilmektedir.

### **2.3.2. Can güvenliği performans seviyesi (CG)**

Yapıda belirli ya da tamamen göçme bu performans seviyesi için görümez çünkü yapıda bulunan ilave bir kapasite önemli hasarların bulunmasına rağmen bu göçme durumlarının oluşmasını önler.

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.3'e göre gerekirse, gevrek olarak hasar alan elemanların güçlendirilmesi şartı ile, aşağıda bulunan şartları sağlayan binalar için Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu var sayılır [7]:

- a) Uygulanan her bir deprem doğrultusunda, herhangi bir katta yapılan hesaplar neticesinde, yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan kirişler dahil edilmeden, kirişlerin en çok %30'u ve kolonlar için aşağıdaki gibi tanımlanmış kadar olanı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- b) İleri Hasar Bölgesi'nde yer alan kolonlar için, kolonlar tarafından her bir katta taşınabilen kesme kuvvetine toplam getirisi %20'yi geçmemelidir. En üst katta yer alan İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonlar için kesme kuvvetleri toplamının, o katta yer alan tüm kolonlar için kesme kuvvetlerinin toplamına oranı %40'ı geçemez.
- c) Diğer tüm taşıyıcı elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi ya da Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Fakat, herhangi bir katta yer alan alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o katta yer alan bütün kolonlar tarafından taşınabilen kesme kuvvetine oranının en fazla %30 olması gerekir.

### **2.3.3. Göçme öncesi performans seviyesi (GÖ)**

Aşağıda belirtilen koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans düzeyi'nde olduğu kabul edilir. Bu kabul varsa gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması şartı ile gerçekleşir:

- a) Göz önüne alınan deprem doğrultusu için herhangi bir katta yapılan hasar tespitine göre yatay yük taşıyıcı sistem elemanları dışındaki kirişler hariç olacak şekilde, kirişlerin maksimum %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- b) Diğer tüm taşıyıcı elemanlar Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının

%30'u aşmaması gerekir. (Güçlü kolon zayıf kiriş şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmez). Bu durumda binada can güvenliği tehlikesi söz konusudur.

#### 2.3.4. Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni, DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.4'e göre sağlayamazsa Göçme Durumu'nda kabul edilir. Bu binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır [7].

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

Şekil 2.3. Farklı Depremlerde Binada Öngörülen Minimum Performans Hedefleri [7]

### **3. DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEAR) HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

#### **3.1. Giriş**

Yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler (bazı özel durumların dışında). Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır

#### **3.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi**

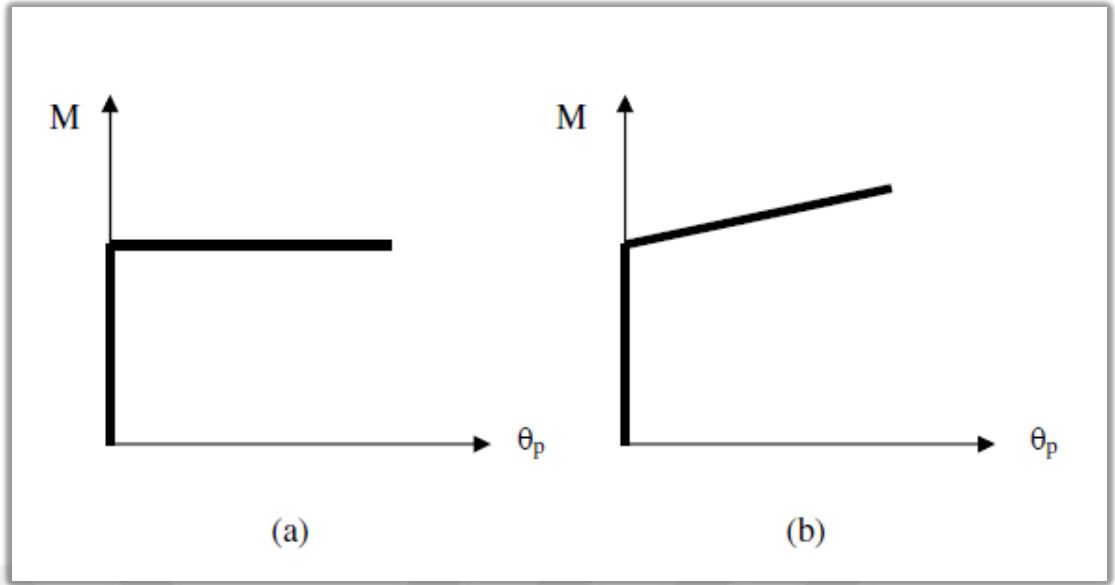
Yerdeğiştirme ve şekil değiştirme değerlerine bağlı incelemelerin olduğu bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yüğü dağılımı için yapıdaki maksimum yerdeğiştirme talebine ulaşıldığında, olabilecek deprem durumlarında beklenen performans hedeflerinin belirtilen koşullar altında uygunluğu kontrol edilmektedir. Bu Yöntemin uygulanmasında amaç, X ve Y doğrultularında deprem doğrultusunda hakim (birinci mod) titreşim mod şekli ile orantılı bir şekilde, monotonik olarak depremin talep sınırına kadar adım adım arttırılarak eşdeğer deprem yüklerinin etkisiyle doğrusal olmayan itme analizi yapılmasıdır. Bu şekilde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile adım adım uygulanması ve dikkat edilmesi gereken durumlar DBYBHY 2007'ye göre açıklanacaktır:

Doğrusal olmayan analiz ile çözülecek bir betonarme taşıyıcı sistemde, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ancak betonarme taşıyıcı sistem DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5.2.'de belirtilen koşulları sağlayabilirse, kullanılabilir [7]. Bu şartlar;

- a. Yapıdaki kat sayısının bodrum dışında 8 katı geçmemesi,
- b. Herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmadan doğrusal elastik davranış ile hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  şartını sağlaması,
- c. Hesaplanan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hakim (birinci) titreşim modunun etkin kütesinin toplam bina kütesine (rijit perdelerin çevrelediği bodrum katların kütleleri dışında) oranının en az 0,70 olmasıdır.

DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.4.'e göre, Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilebilmesi adına yapısal elemanların fiziksel özellikleriyle ilgili bazı kabuller yapılması gereklidir [7].

- i. Doğrusal elastik olmayan malzemenin davranışının idealleştirilebilmesi için, yığılı plastik davranış modeli kullanılacaktır. Basit eğilmelerde plastik mafsal hipotezi'ne karşı gelen bu modelde; kiriş,kolon ve perde gibi çubuk eleman olarak idealleştirilen yapı elemanlarının iç kuvvet plastik kapasitelerine ulaştığı belirli uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit kabul edilecektir ( $L_p=0,5h$ ).
- ii. Yığılı plastik davranış modeline göre plastik kesitler, yaklaşık idealleştirmelerle üç boyutlu modelde çubuk elemanların uçlarına konulabilir.
- iii. İç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarında plastik kesitlerin, şekil 3.1(a)'da görüldüğü gibi plastik dönme artısına bağlı bir şekilde plastik momentin artması (pekleşme etkisi) yaklaşık oranda terk edilebilir ya da göz önünde bulundurulacaksa Şekil 3.1(b)'de görüldüğü gibi bir pekleşme modeli kullanılabilir.



Şekil 3.1. Pekleşme Etkisi ile Moment-Plastik Dönme Bağlılıları [7]

- iv. Hem eğilme momentleri hemde aksenal kuvvet etkisindeki kolon ve perde kesitlerinin akma yüzey diyagramları mevcut malzemelerin dayanımları kullanılarak elde edilmesi ve eğrisel değışimin düzlemsel bir şekil de idealleştirilebilmesi kabul edilebilir [8].
- v. Tablalı kiriş kesitleri için kapasiteyi etkileyebilecek tablada bulunan beton ve donatı oranları göz önünde bulundurulabilir [8].
- vi. Yapıda bulunan malzemeler modellenirken mevcuttaki malzeme dayanımları kullanılır ve sargılı beton malzemesi modellemesinde Mander'in teorik gerilme - şekil değıştirme modeli uygulanır.
- vii. Elastik ivme spektrumu deprem etkisinin tanımlamada kullanılacaktır, ancak depremin talep spektrumunun tanımında Bina'nın Önem Katsayısı ( $I = 1,0$ ) uygulanmayacaktır. Çünkü DBYBHY 2007 Tablo 7.7 bu uygulama için bina kullanım amaçlarına göre performans bakımından yeniden tanımlamıştır.
- viii. Betonun maksimum basınç birim şekil değıştirmesi 0,003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değıştirmesi ise 0,01 alınabilir.
- ix. Betonarme yapı elemanlarında, çatlamış kesitlerin eğilme rijitlikleri kullanılmalıdır. Bu değerleri, yapısal elemanın türüne göre Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) kullanılarak hesaplanır.



Kirişlerde,

$$(EI)_e = 0,40 (EI)_o \quad (3.1)$$

Kolon ve Perdelerde,

$$ND / (Ac f_{cm}) \leq 0,10 \quad (EI)_e = 0,40 (EI)_o \quad (3.2)$$

$$ND / (Ac f_{cm}) \geq 0,40 \quad (EI)_e = 0,80 (EI)_o \quad (3.3)$$

Performans değerlendirilmesi ve Talep tepe yerdeğiştirmeleri için itme analizi yapılarak yapının sisteminde bulunan elemanların moment-eğriliklerine ulaşılır. Şekil değiştirme yapan sünek elemanların uç noktalarında eğrilik değerleriyle ilgili kullanılan beton ve donatı çeliği malzemelerinin şekil değiştirmeleri hesaplanır ve bulunan değerlere göre hasar tespiti yapılır. Beton ve donatı malzemelerinin gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları, DBYBHY 2007 Ek 7.B'e göre Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir [7].

### 3.3. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için belirtildiği üzere sınırlı bir kullanım alanı vardır. Bunlar; yapının kat sayısı, simetrik olması ve deprem hesabında etkin modların ilk modlar olması gibi özelliklerdir. Bu tip fiziksel özellikler artımsal mod birleştirme yöntemi için uygulanabilirlik koşullarını oluşturmaz. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde "adım adım doğrusal elastik" davranışın esas alındığı bu tür bir itme analizi yöntemi, DBYBHY- 07 Bilgilendirme Eki 7D'de açıklanmıştır.

Mod şekli genlik değerlerine göre monotonik olarak arttırılan modal yerdeğiştirmeler incelenerek, her adımda mod birleştirme kuralları'nın uygulandığı bir doğrusal davranış spektrumu analizi gerçekteştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesit belirlenir; yerdeğiştirme, plastik şekil

değiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır [7].

#### **3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi**

Yapı sisteminde yer alan spektrum eğrisi ile uyumlu bir deprem kaydı altında doğrusal olmayan davranışa göre hareket denkleminin sayısal çözümlenmesiyle, doğrusal olmayan çözümlerinde yer aldığı gibi plastik yer değiştirme, iç kuvvet istemleri ve şekil değiştirme, zamana bağlı olarak hesaplanır. Plastik kesitlere ait plastik dönmeler bulunur. Bulunan plastik dönmelerin karşılık geldiği beton ve donatı çeliği şekil değiştirmeleri ile hasar tespiti yapılır. Yapısal elemanların statik itme analizi adımlarında güç tükenmesi durumlarının kontrolleri gerekmektedir. Kesit etkilerine denk gelen mevcut kapasiteleriyle karşılaştırılması yapılır. Gevrek güç tükenmesini önlemek ve hedef performans seviyelerine ulaşabilmek adına güçlendirme tavsiyeleri geliştirilebilir [7].

#### 4. YAPI HASARI

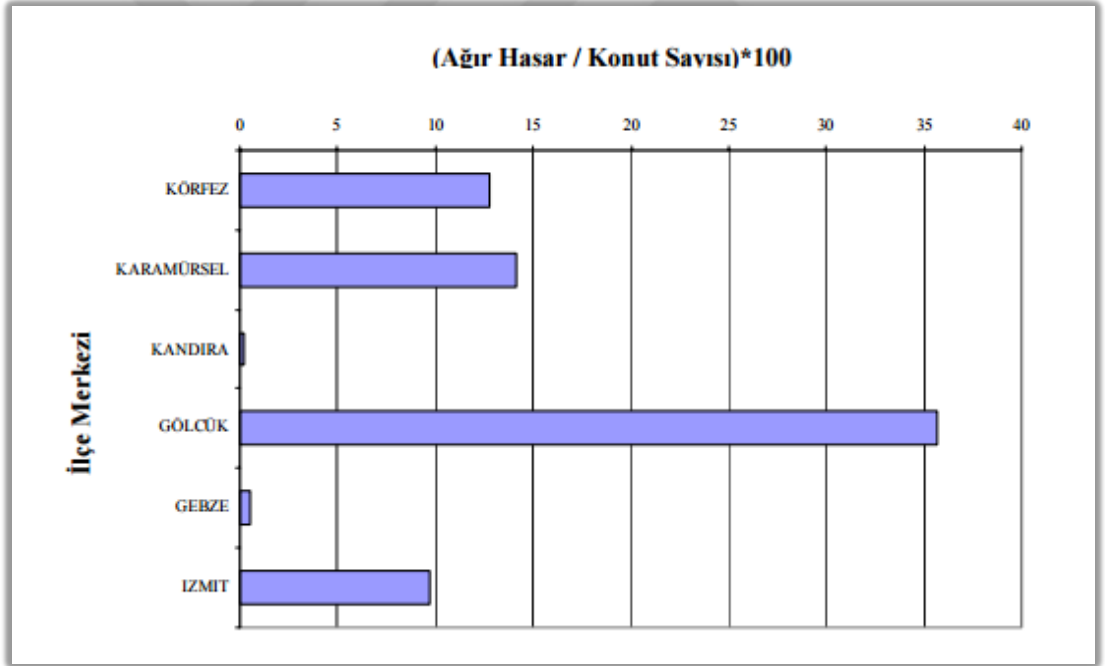
2007 deprem yönetmeliğinde üç tip hasar tanımlaması yapılmıştır. Bunlar hafif, orta ve ağır hasarlardır. Bu hasar sınıflarında işlevsellik, taşıyıcı olmayan ve taşıyıcı elemanlardaki hasar, donatı akması, beton ezilmesi, onarım maliyeti, çökme ihtimali ve can kaybı kriterlerine göre sınırlandırmalar getirilmiştir. Aşağıdaki tabloda yapı hasar türlerine göre yapılan kriterler yer almaktadır [5].

KRİTERLER	HASAR		
	Hafif	Orta	Ağır
İşlevsellik	korunmalı	korunmalı	korunamaz
Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Hasar	Onarımı gerekermeyecek 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 4.1. Deprem yönetmeliğinde öngörülen yapısal performans düzeyleri



Şekil 4.2. 17 Ağustos depremi, Kocaeli (Kocaeli Devlet Arşivi)



Şekil 4.3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde İlçelerde Ağır Hasar Oranları [9]

Çalışmamızda incelediğimiz yapının bulunduğu Gölcük ilçesine bağlı 25 yerleşim birimindeki konutların 4.841 tanesi ağır hasara, 3.527 tanesi orta hasara ve 4.334 tanesi hafif hasara uğramıştır [9].

#### 4.1. Yapı Hasar Tespiti

Söz konusu hasar tespit yöntemi yapının genel durumunun ve taşıyıcı sistem elemanlarının durumunun ele alındığı iki temel inceleme aşamasından oluşmaktadır. Birinci aşama incelemede, yapının içerisine girilmeden dışarıdan yapılan gözlemler ile yapıda toptan veya bölgesel bir göçme, katlar arası büyük kalıcı yatay yerdeğiştirmeler veya zeminde farklı oturmalar olup olmadığı tespit edilir. Eğer yapıyı ağır hasarlı olarak sınıflandıracak düzeyde bir durum söz konusu değil ise hasar tespit incelemesinin ikinci aşamasına geçilir. Bu aşama içeriden inceleme aşamasıdır. Binanın düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar ölçülerek kaydedilir ve elemanların hasar düzeyleri belirlenir. Her bir taşıyıcı eleman için belirlenen hasar durumu dikkate alınarak yapının genel hasar durumu hakkında karar verilir [10].



Şekil 4.4. Depremde Bölgesel Göçme Yaşamış Bina [10]

Hasar sınıflandırması her bir eleman için ayrı ayrı yapılacak ve bu maksatla kolon, kiriş ve perdelerde gözlenen eğilme ve kesme çatlaklarının genişlikleri, beton

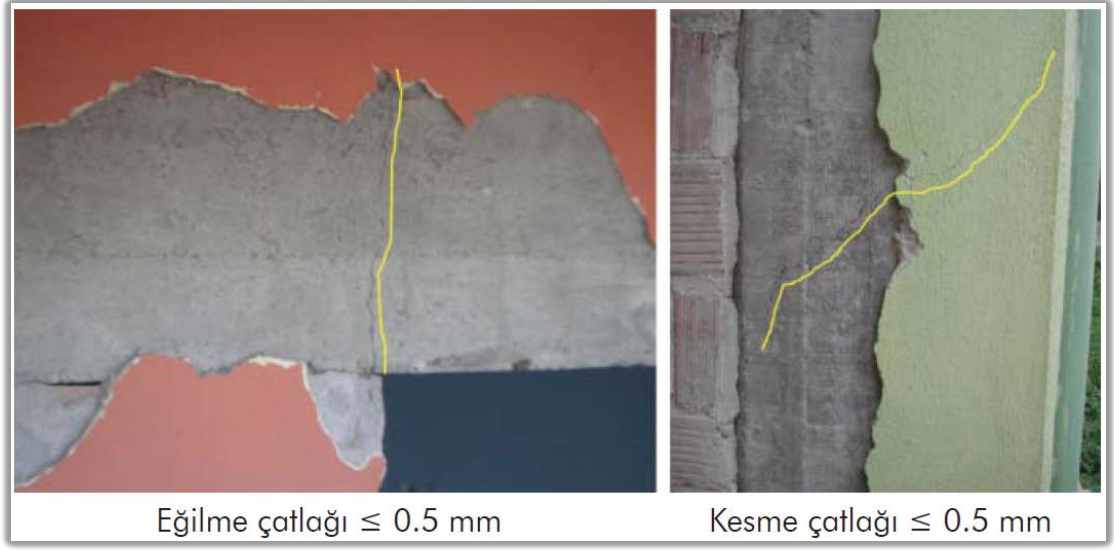
örtüsünde ezilme ve dökülmeler, çekirdek betonunda ezilmeler ve donatı burkulmaları dikkate alınacaktır (Tablo 4.2).

Buna göre:

- Herhangi bir çatlak veya basınç hasarı bulunmuyorsa eleman “Hasarsız”
- 0,5 mm’den geniş olmayan eğilme VEYA kesme çatlakları varsa VE herhangi bir basınç hasarı bulunmuyorsa eleman “Hafif Hasarlı”
- 0,5 mm’den geniş eğilme çatlakları VEYA 0,5 ila 2 mm arasında kesme çatlakları VEYA beton kabuğunda (paspayı, beton örtüsü) ezilme varsa eleman “Orta Hasarlı”
- Kesme çatlağı genişliği 2 ila 10 mm arasında ise VEYA kabuk atması varsa eleman “Ağır Hasarlı” (eğilme çatlağının genişliği önem taşımamaktadır)
- Kesme çatlağı genişliği 10 mm’den fazla ise VEYA boyuna donatı burkulması VEYA çekirdek betonda ezilme varsa eleman “Çok Ağır Hasarlı” (eğilme çatlağının genişliği önem taşımamaktadır) olarak kabul edilecektir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kolonlardaki hasardan daha ciddi bir hasar varsa bunlar kolon hasarı olarak dikkate alınmalıdır [10].

Hasar Tipi	Eğilme Çatlak Genişliği	Kesme Çatlak Genişliği	Basınç Hasarı
O Tipi Hasar	-	-	-
A Tipi Hasar	$w \leq 0.5 \text{ mm}$	$w \leq 0.5 \text{ mm}$	-
B Tipi Hasar	$w > 0.5 \text{ mm}$	$0.5 \text{ mm} < w \leq 2 \text{ mm}$	Kabuk Ezilmesi
C Tipi Hasar		$2 \text{ mm} < w < 10 \text{ mm}$	Kabuk Atması
D Tipi Hasar		$\geq 10 \text{ mm}$	Donatı Burkulması, Çekirdek Ezilmesi

Şekil 4.5. Eleman Hasar Sınırları [10]



Şekil 4.6. Hafif Hasar almış betonarme elemanlar (A Tipi) [10]



Şekil 4.7. Orta Hasar almış betonarme elemanlar (B Tipi) [10]



Şekil 4.8. Ağır Hasar almış betonarme elemanlar (C Tipi) [10]



Şekil 4.9. Çok Ağır Hasar almış betonarme elemanlar (D Tipi) [10]

Her bir hasar sınıfına ait geçmiş depremlerde gözlenen örnekler Şekil 4.4-4.7’de gösterilmiştir. Bu şekillerdeki bazı çatlaklar daha rahat görülebilmeleri için işaretlenmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında çalışma konusu binamızda gereki incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelere ait değerlendirmeler Bölüm 6 da tartışılacaktır.



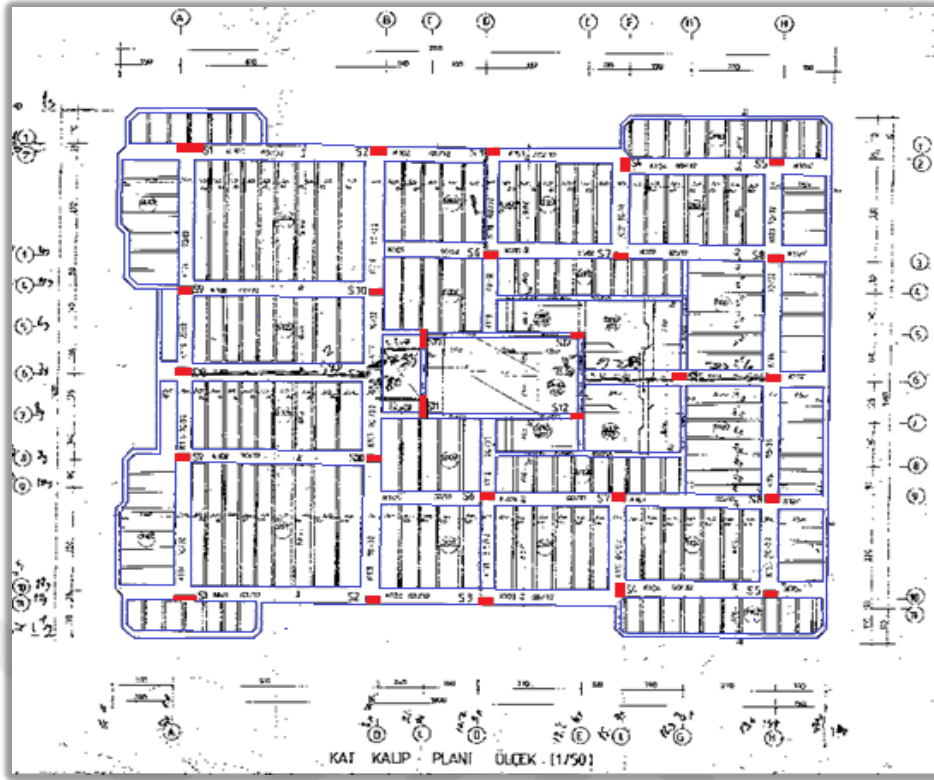
## 5. ÖRNEK BETONARME BİR BİNANIN ANALİZİ

Çalışmada söz konusu olan, Gölcük'te yer alan Aydın BAK'a ait hasarlı 5 katlı yapının önceki hali (17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden) DBYBHY2007 kriterlerine göre Sap2000 Analiz programı ile modellenmiştir. DBYBHY2007'nin 7.4.5, 7.4.6 ve 7.4.7 şartlarını sağlayan analitik model daha sonra hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacaktır. Bu analizler sırasıyla doğrusal olmayan (Eşdeğer deprem yükü), doğrusal olmayan (tek mod, çok mod) ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında binanın hasar aldığı 17 Ağustos Depremi verileriyle analiz edilecektir. Tüm bu analizler ile oluşacak hasar tahmini yapılacaktır.

Yapılan bu çalışmalarda her bir analiz, ayrı ayrı incelenecektir. Önceden binamızda yapılmış olan hasar tespiti ile yapılan çalışmalar ışığındaki toplam 4 analiz karşılaştırılarak hangi metodun daha doğru sonuçlar verdiği tartışılacaktır.



Şekil 5.1. Çalışılan binanın uydu görüntüsü



Şekil 5.2. 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 Schmidt çekici ile yapılan malzeme testlerine göre beton dayanımı girilmiştir. Böylece yapımız proje bilgileriyle ve kullanılan malzemenin doğruya en yakın değerleriyle analiz edilmeye çalışılarak gerçekçi sonuçlar hedeflenmiştir.

Tablo 5.1. Beton Elastisite Modülü Hesabı

BETON ELASTİSİTE MODÜLÜ HESABI	
Karot Sonucu Elde Edilen fck değeri (N/mm <sup>2</sup> )	23
TS500 formülü; $E = 3250 \cdot (f_{ck}^{1/2}) + 14000$	295.865 kg/cm <sup>2</sup>
Avrupa Beton Komitesi Formülü; $E = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$	298.431 kg/cm <sup>2</sup>

Tablo 5.2. Schimidt çekici test sonuçları-1

S01 KOLONU	Z	1	2	3	4
	24	40	30	24	28
	24	40	20	30	44
	28	20	40	20	48
	24	24	30	24	44
	24	22	40	20	44
	22	24	30	20	36
	28	34	30	30	44
	22	36	30	20	24
	22	22	40	24	44
ORT					29,7333

Tablo 5.3. Schimidt çekici test sonuçları-2

S12 KOLONU	Z	1	2	3	4
	24	36	36	26	30
	24	36	20	34	40
	22	40	20	30	30
	24	26	30	40	32
	28	30	40	40	32
	28	22	40	40	30
	28	30	36	34	30
	26	36	36	30	30
	22	36	30	40	36
ORT					31,3333

Tablo 5.4. Schimidt çekici test sonuçları-3

S15 KOLONU	Z	1	2	3	4
	40	30	30	30	48
	26	30	30	46	36
	28	40	20	20	48
	24	40	24	24	40
	40	40	24	46	36
	28	30	40	30	24
	22	30	30	24	40
	28	36	20	30	40
	22	20	20	28	44
ORT					31,6889

Tablo 5.5. Binadaki Kolonların kesit ve donatı bilgileri

Kolon	ZEMİN		1.NORMAL		2.NORMAL		3.NORMAL		4.NORMAL	
	BOYUT	DONATI	BOYUT	DONATI	BOYUT	DONATI	BOYUT	DONATI	BOYUT	DONATI
S1	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S2	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14
S3	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14
S4	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S5	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S6	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14
S7	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14
S8	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14
S9	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16
S10	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16
S11	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	20/70	10Ø14
S12	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14
S13	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14	25/50	8Ø14
S14	30/60	10Ø16	30/60	10Ø16	25/60	10Ø14	25/60	10Ø14	25/50	8Ø14
S15	40/70	14Ø16	35/70	14Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø14
S16	30/70	12Ø16	30/70	12Ø16	25/70	10Ø16	25/70	10Ø16	25/60	10Ø14

## 5.1. Doğrusal Olmayan Eşdeğer Yanal Yük Artımlı İtme Analizi

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

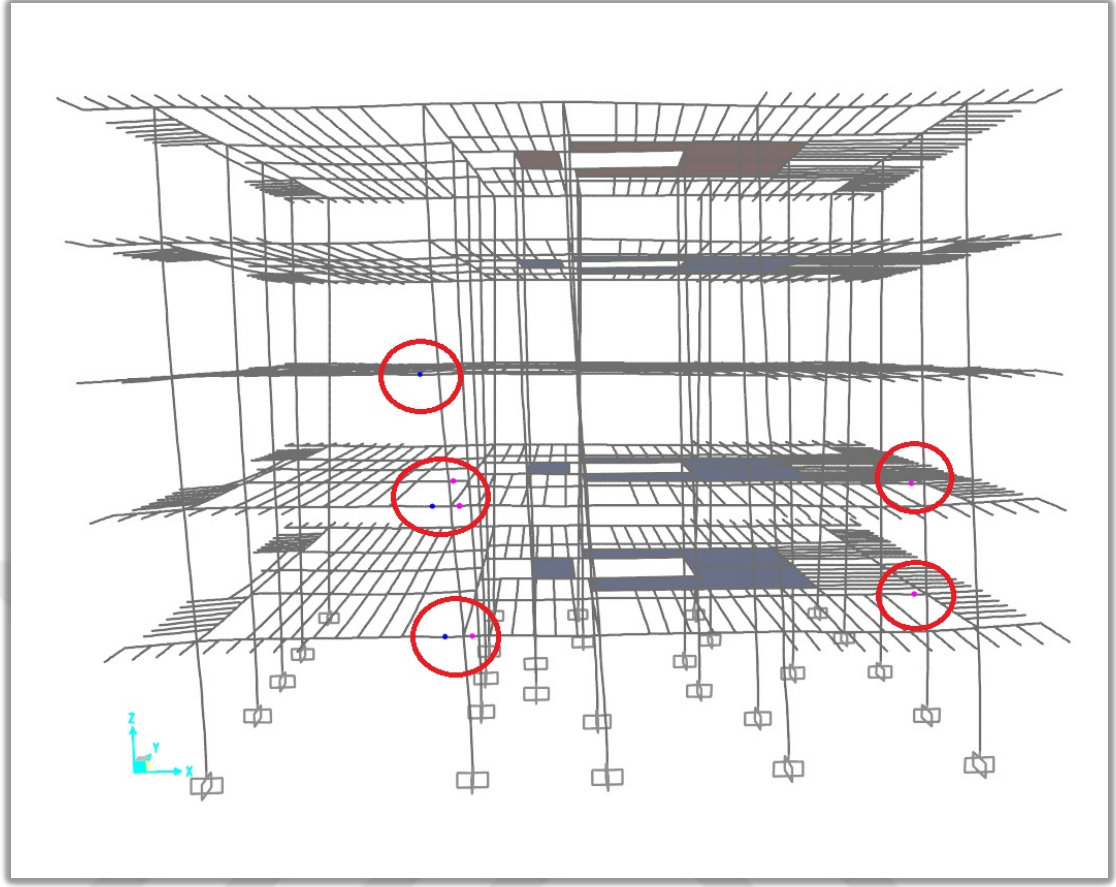
Tablo 5.6. Eşdeğer deprem yükü hesabı-1

kat	Vtx- ΔFnx (KN)	Vty- ΔFny (KN)	Fix (KN)	Fiy (KN)	Fix+ΔFnx (KN)	Fiy+ΔFny (KN)
4	7673,4	7673,38	2557,79	2557,8	2734,42	2734,42
3	7673,4	7673,38	2046,23	2046,2	2046,23	2046,23
2	7673,4	7673,38	1534,68	1534,7	1534,68	1534,68
1	7673,4	7673,38	1023,12	1023,1	1023,12	1023,12
Z	7673,4	7673,38	511,56	511,56	511,56	511,56
toplam			7673,38	7673,4	7850	7850

Tablo 5.7. Eşdeğer deprem yükü hesabı-2

A(T) Hesabı		Vt Hesabı	
A0	0,4	W	7850 KN
I	1	A(T)	1
S(T)	2,5	Ra(T)	1
A(T)	1	Vtx - Vty	7850 KN
Kat Sayısı	4		
Hareketli Yük Hesabı		Birim	
Birim Yük	0		KN/m2
Döşeme Alanı	1530		m2
Döşeme Yüğü	0		KN
W Hesabı			
G	7850		
Q	0		
W (G+nQ)	7850		
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)			

Söz konusu bina depreme, karkas bölme duvar işi başlanmadan maruz kalmıştır. Hareketli yük şartları da gerçekleşmediğinden Q yükü hesaba dahil edilmemiştir.



Şekil 5.3. Eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan x yönlü mafsallaşmalar

Zemin katta bir kısım kiriş bağlantıları x yönünde mafsallaşmaya başlamıştır.

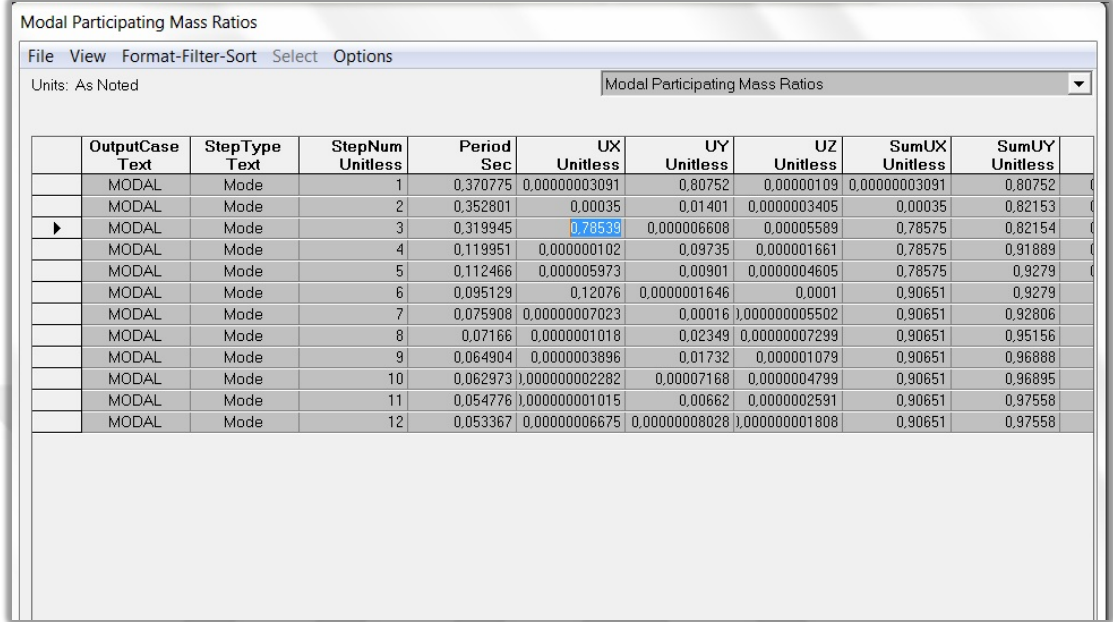


Şekil 5.4. Eşdeğer deprem yükü metoduyla bulunan y yönlü mafsallaşma

Y yönünde genellikle merdiven kovası etrafındaki kirişlerde ve zemin kat kolonlarının bir kısmındaki noktalarda mafsallaşma görülmektedir.

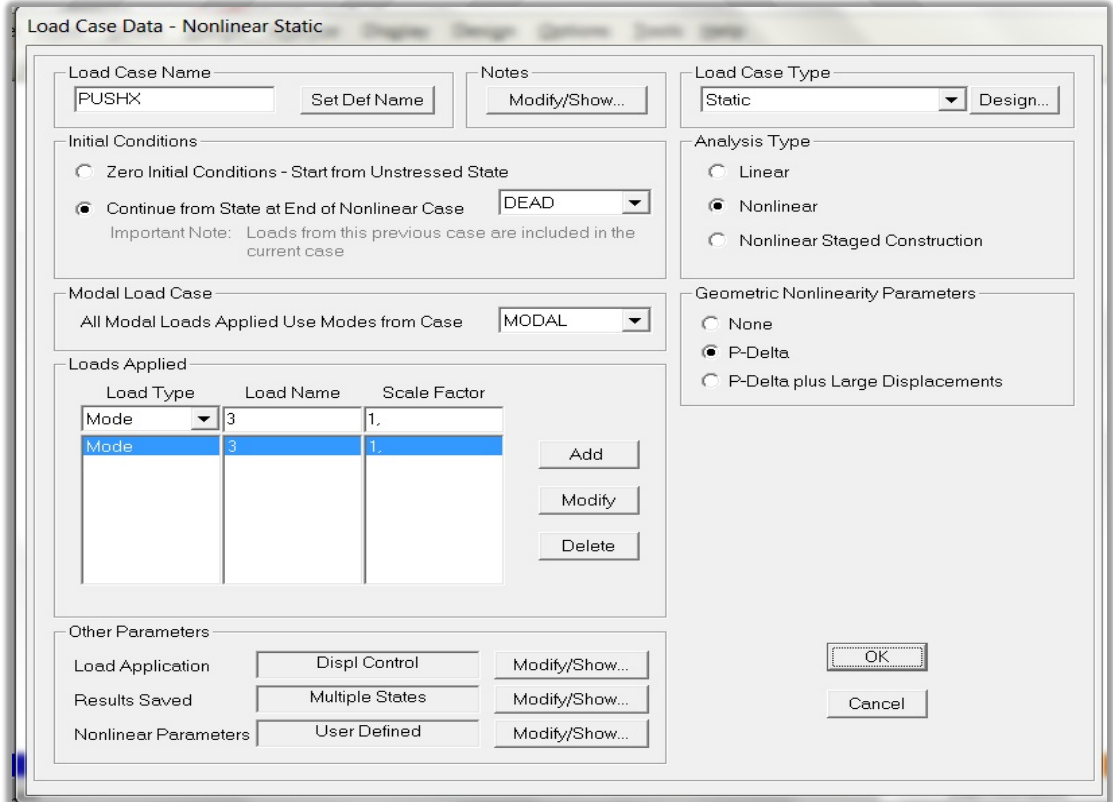
## 5.2. Doğrusal Olmayan Tek Modlu Yanal Yük Artımlı İtme Analizi

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



OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	Mode	1	0.370775	0.0000003091	0.80752	0.00000109	0.0000003091	0.80752
MODAL	Mode	2	0.352801	0.00035	0.01401	0.0000003405	0.00035	0.82153
MODAL	Mode	3	0.319945	0.78539	0.000006608	0.00005589	0.78575	0.82154
MODAL	Mode	4	0.119951	0.00000102	0.09735	0.000001661	0.78575	0.91889
MODAL	Mode	5	0.112466	0.000005973	0.00901	0.0000004605	0.78575	0.9279
MODAL	Mode	6	0.095129	0.12076	0.0000001646	0.0001	0.90651	0.9279
MODAL	Mode	7	0.075908	0.0000007023	0.00016	0.00000005502	0.90651	0.92806
MODAL	Mode	8	0.07166	0.0000001018	0.02349	0.00000007299	0.90651	0.95156
MODAL	Mode	9	0.064904	0.0000003896	0.01732	0.000001079	0.90651	0.96888
MODAL	Mode	10	0.062973	0.00000002282	0.00007168	0.0000004799	0.90651	0.96895
MODAL	Mode	11	0.054776	0.00000001015	0.00662	0.0000002591	0.90651	0.97558
MODAL	Mode	12	0.053367	0.00000006675	0.00000008028	0.00000001808	0.90651	0.97558

Şekil 5.5. X yönü modal parametreler



Load Case Name: PUSHX

Load Case Type: Static

Analysis Type: Nonlinear

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

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	1.0
Mode	3	1.0

Şekil 5.6. X Yönü için hakim modun programa tanıtılması



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

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Modal Participating Mass Ratios

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.370775	0,00000003091	0,80752	0,00000109	0,00000003091	0,80752
	MODAL	Mode	2	0.352801	0,00035	0,01401	0,0000003405	0,00035	0,82153
	MODAL	Mode	3	0.319945	0,78539	0,000006608	0,00005589	0,78575	0,82154
	MODAL	Mode	4	0.119951	0,000000102	0,09735	0,000001661	0,78575	0,91889
	MODAL	Mode	5	0.112466	0,000005973	0,00901	0,0000004605	0,78575	0,9279
	MODAL	Mode	6	0.095129	0,12076	0,0000001646	0,0001	0,90651	0,9279
	MODAL	Mode	7	0.075908	0,00000007023	0,00016	0,00000005502	0,90651	0,92806
	MODAL	Mode	8	0.07166	0,0000001018	0,02349	0,00000007299	0,90651	0,95156
	MODAL	Mode	9	0.064904	0,00000003896	0,01732	0,0000001079	0,90651	0,96888
	MODAL	Mode	10	0.062973	0,00000002282	0,00007168	0,0000004799	0,90651	0,96895
	MODAL	Mode	11	0.054776	0,00000001015	0,00662	0,0000002591	0,90651	0,97558
	MODAL	Mode	12	0.053367	0,00000006675	0,00000008028	0,00000001808	0,90651	0,97558

Şekil 5.7. Y yönü modal parametreler

Load Case Data - Nonlinear Static

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	1.
Mode	1	1.

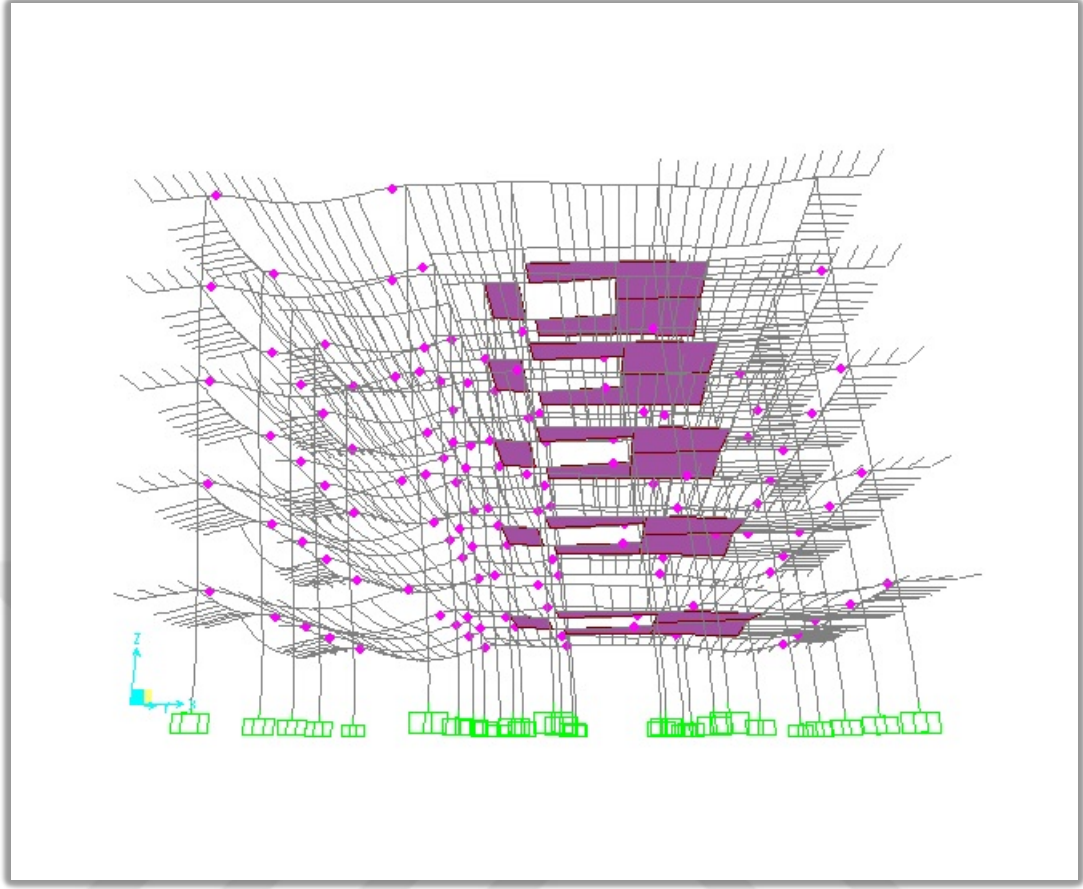
Add Modify Delete

Other Parameters:
 

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

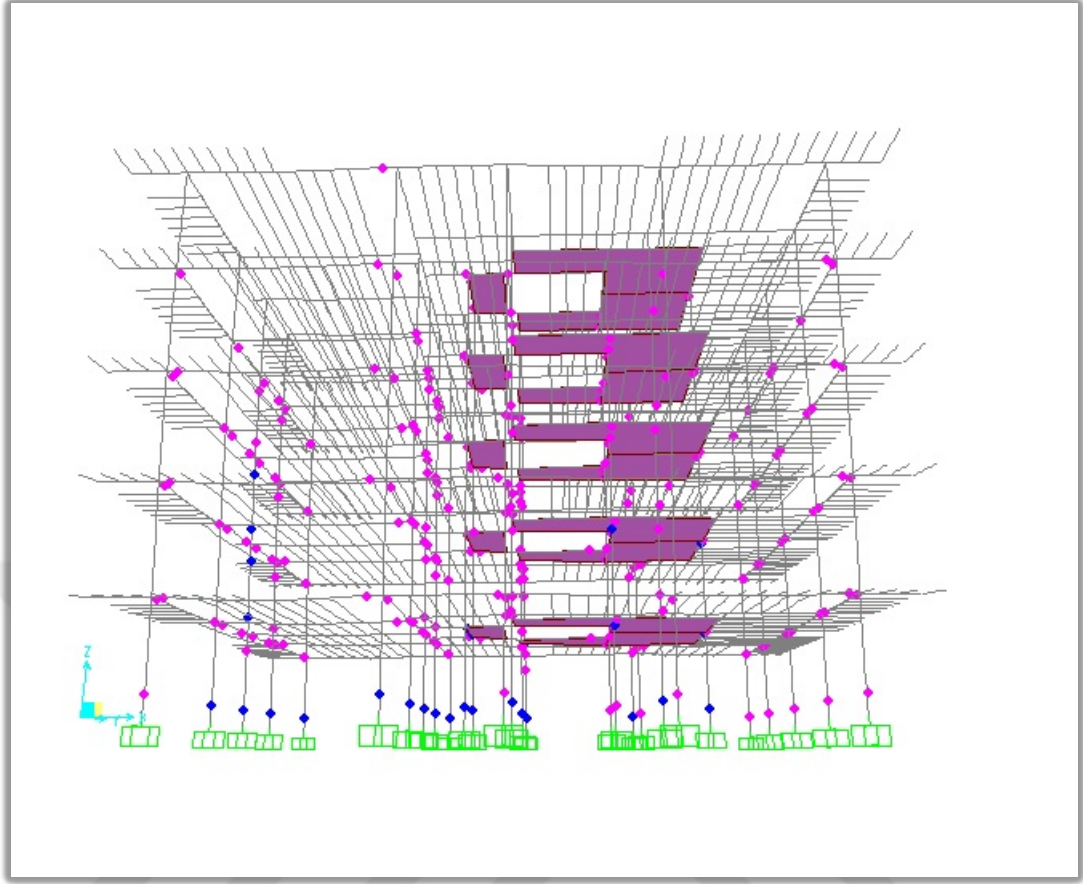
OK Cancel

Şekil 5.8. Y Yönü için hakim modun programa tanıtılması



Şekil 5.9. Tek modlu statik itme analizi metoduna göre x yönlü mafsallaşma

X yönünde kolonlarda mafsallaşma görülmezken bazı kirişlerde mafsallaşma görülmektedir.



Şekil 5.10. Tek modlu statik itme analizi metoduna göre y yönlü mafsallaşma

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

### 5.3. Doğrusal Olmayan Çok Modlu Yanal Yük Artımlı 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.

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,370775	1,00000003091	0,80752	0,00000109
	MODAL	Mode	2	0,352801	0,00035	0,01401	0,0000003405
	MODAL	Mode	3	0,319945	0,78539	0,000006608	0,00005589
	MODAL	Mode	4	0,119951	0,000000102	0,09735	0,000001661
	MODAL	Mode	5	0,112466	0,000005973	0,00901	0,0000004605
	MODAL	Mode	6	0,095129	0,12076	0,0000001646	0,0001
	MODAL	Mode	7	0,075908	1,00000007023	0,00016	0,00000005502
	MODAL	Mode	8	0,07166	0,0000001018	0,02349	1,00000007299
	MODAL	Mode	9	0,064904	0,0000003896	0,01732	0,000001079
	MODAL	Mode	10	0,062973	0,00000002282	0,00007168	0,0000004799
	MODAL	Mode	11	0,054776	0,00000001015	0,00662	0,0000002591
	MODAL	Mode	12	0,053367	1,00000006675	1,00000008028	0,00000001808

Şekil 5.11. Çok modlu analiz modal parametreler

Kütle katılım oranlarının karelerinin karekökü (SRRS Yöntemi) alınarak bulunan sonuç, tüm modlar için birbirine oranlanarak programa girilir. Bu yöntem ile yüzdelik oranlar bulunur ve ilgili modların oranı analizde kullanılır.

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]
  - 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

[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 5.12. X yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi

**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

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Loads Applied:

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

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

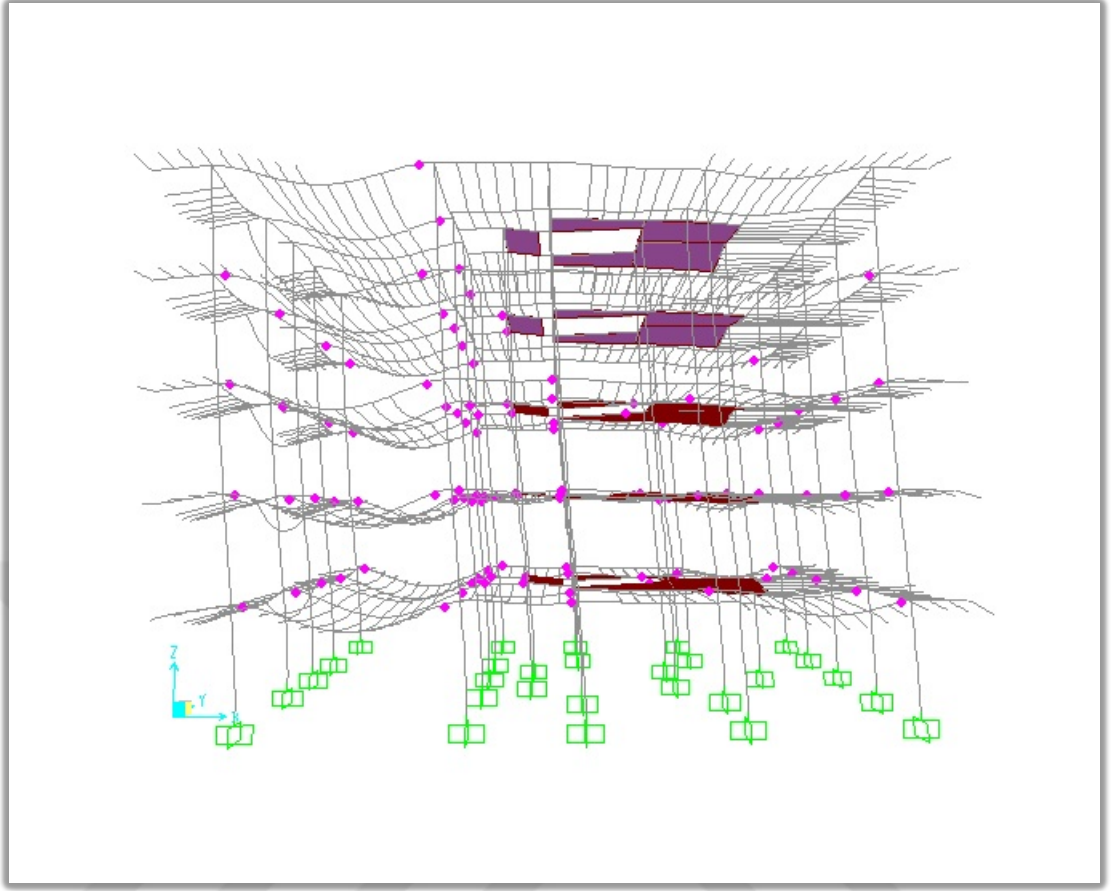
Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

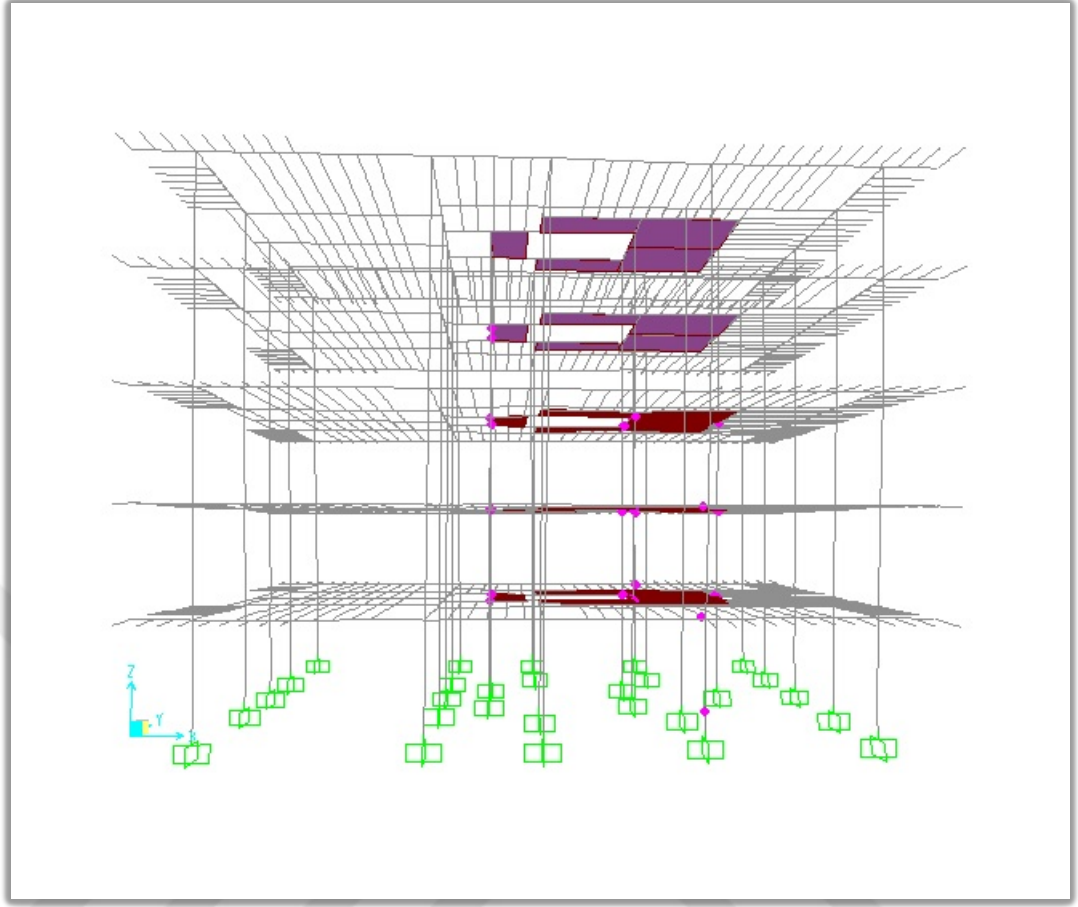
Nonlinear Parameters:

Şekil 5.13. Y yönü çok mod statik itme analizi parametrelerinin programa girilmesi



Şekil 5.14. 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.

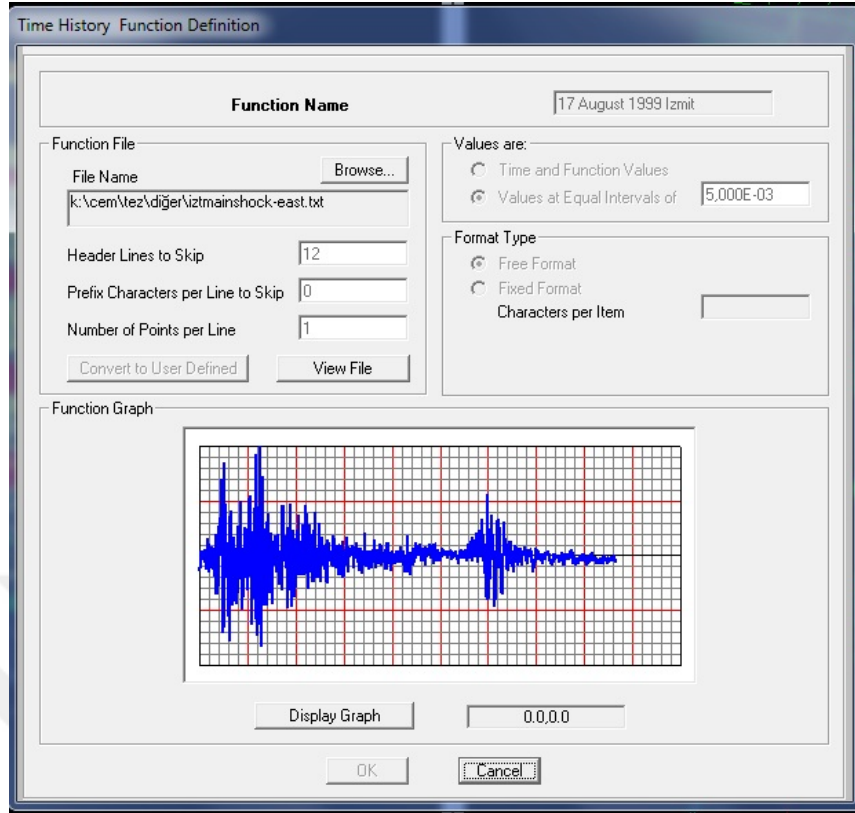


Şekil 5.15. Çok mod statik itme analizi metoduna göre y yönlü mafsallaşma

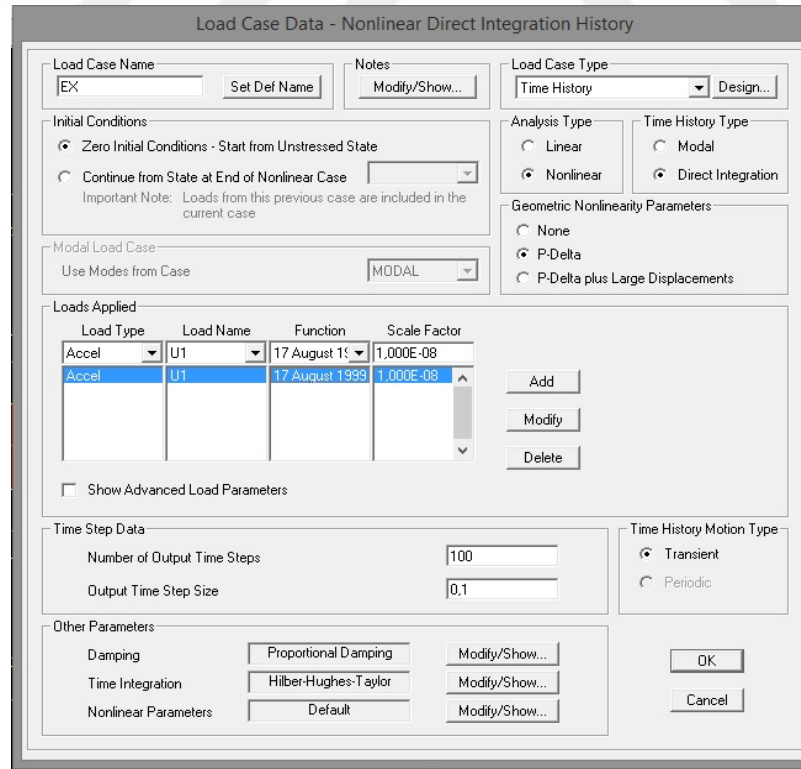
Y yönünde birkaç kirişte uç noktalar mafsallaşmaya başlamıştır.

#### **5.4. Doğrusal Olmayan 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.

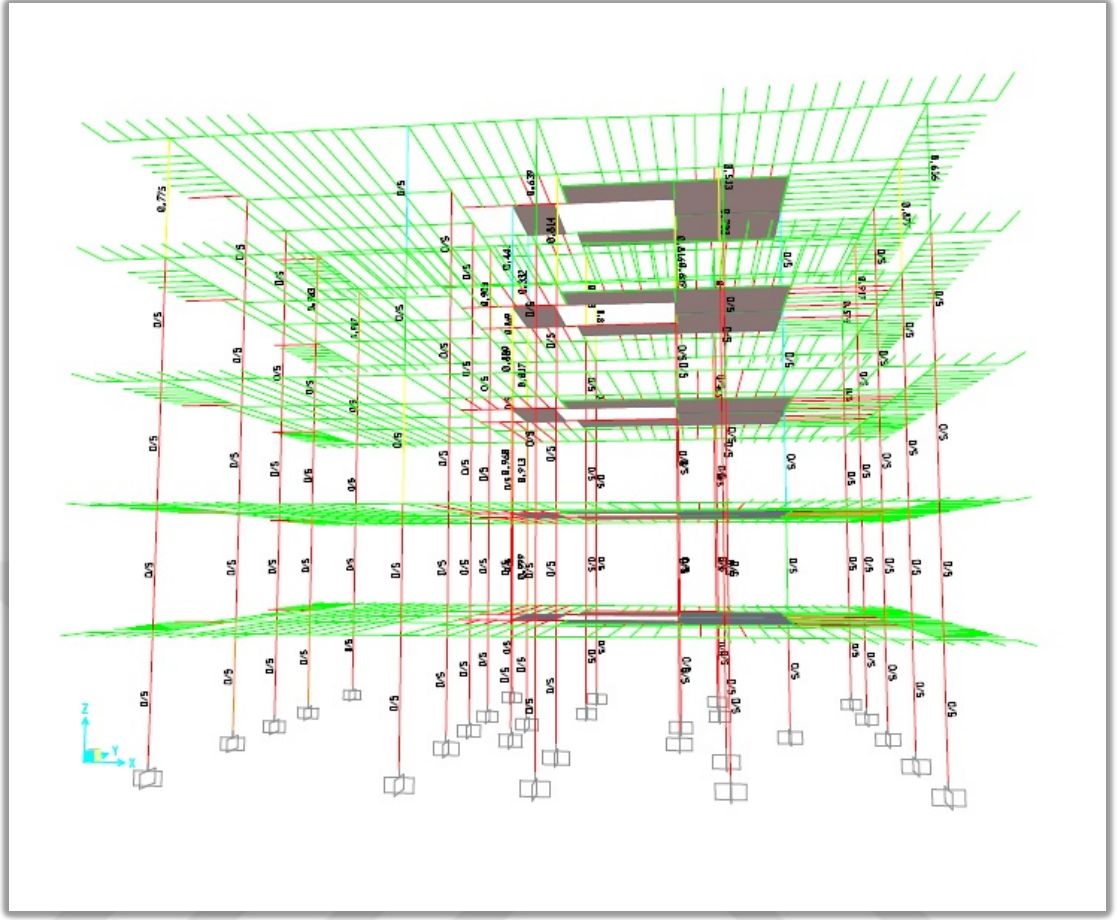


Şekil 5.16. 17 Ağustos 1999 İzmit doğu deprem kaydı



Şekil 5.17. Deprem kaydının programa yük olarak tanıtılması



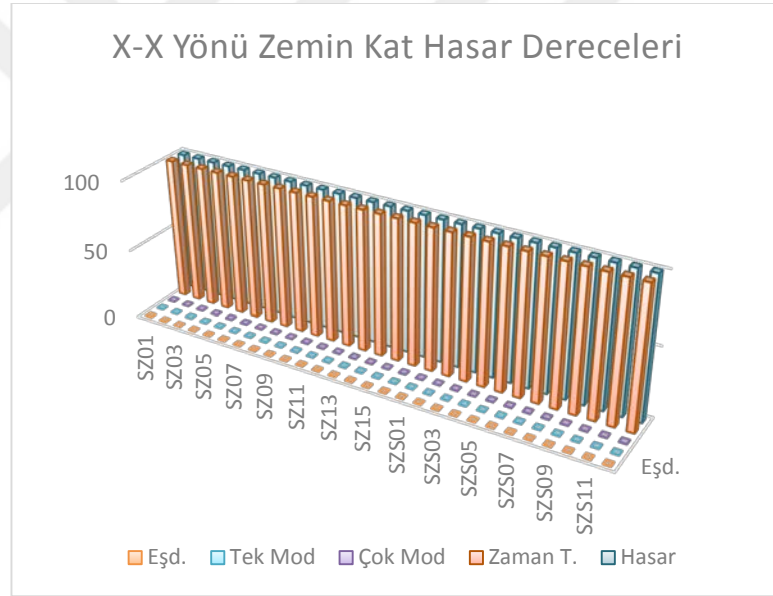


Şekil 5.18. Zaman tanım alanı analiz metoduna göre hasar görebilirlik mertebeleri

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

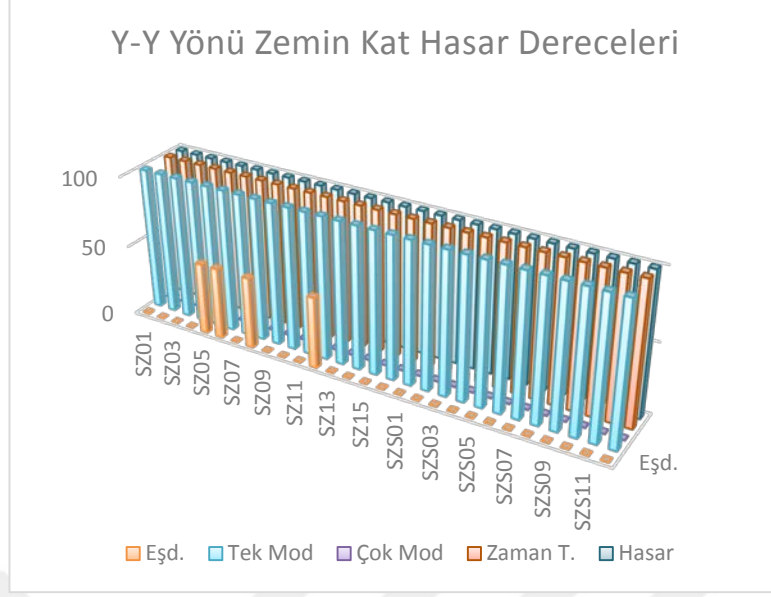
## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm bu çalışmalar ışığında binamızdan incelemeler sonucunda mevcut hasar rölevesine yakın analiz sonuçları grafiklerle tartışılacaktır. Bu grafiklerde yer alan yöntemler; eşdeğer deprem yükü (Eşd.), tek mod itme analizi (Tek Mod), çok mod itme analizi (Çok Mod) ve zaman tanım alanında analiz (Zaman T.) olmak üzere dört çeşittir. Bu dört analize ilave olarak mevcut hasar rölevesi (Hasar) de eklenmiştir ve yöntemlerden hasar rölevesine yakın olan analizler her bir kolon elemanları için tespit edilmiştir. Her bir kat için de bu analiz metotları ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Mafsallaşma mertebeleri hasar seviyesine göre % 0 ile 100 sayısal değerleri arasında ifade edilmiştir.



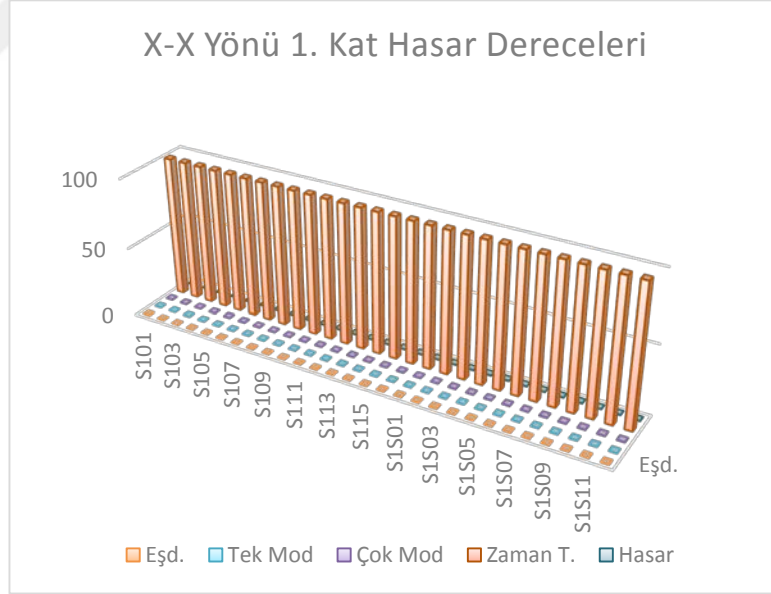
Şekil 6.1. x-x yönü zemin kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle mevcut hasar rölevesine en yakın tahmini zaman tanım alanında analiz vermiştir.



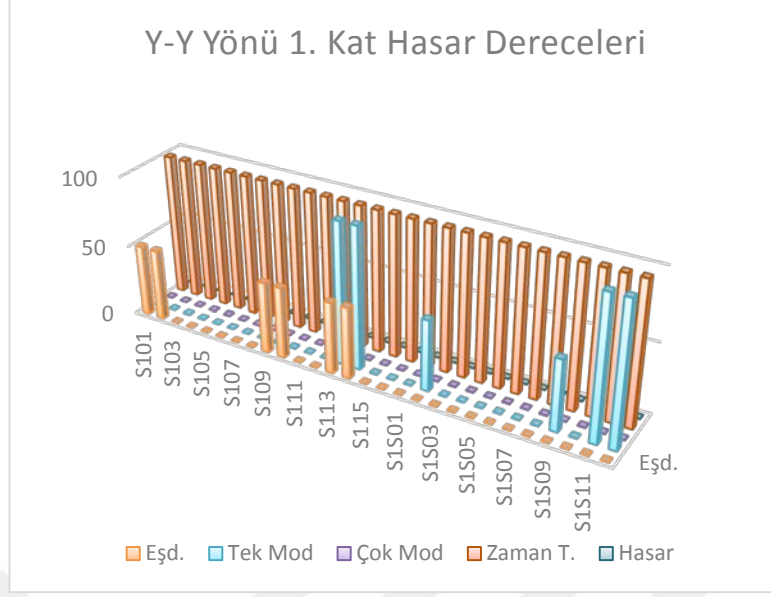
Şekil 6.2. y-y yönü zemin kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle mevcut hasar rölevesine en yakın tahminleri tek mod itme analizi ve zaman tanım alanında analiz metotları vermiştir.



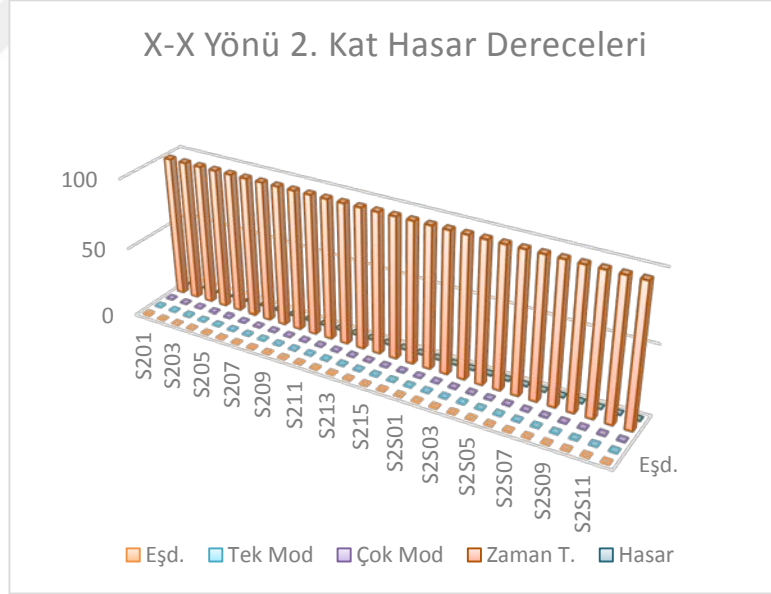
Şekil 6.3. x-x yönü 1. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle x-x yönü 1. normal kat için mevcut hasar rölevesine yakın tahminleri bulunmamaktadır.



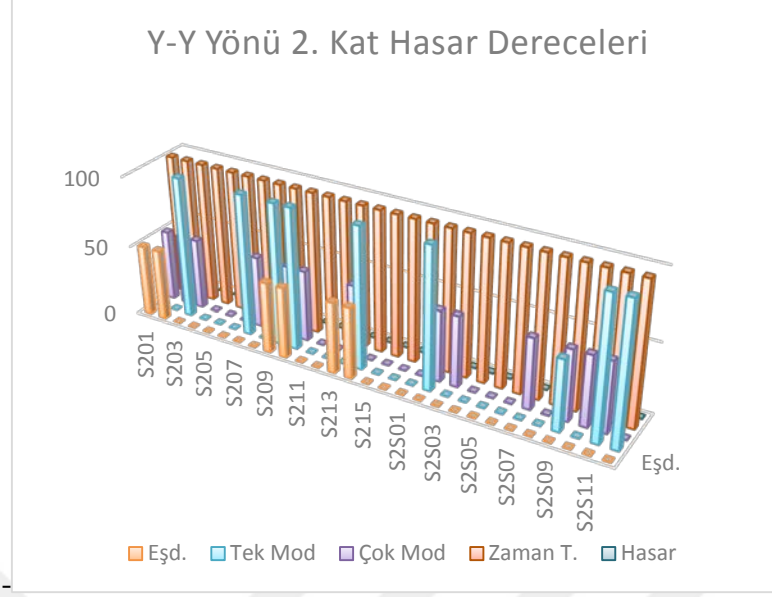
Şekil 6.4. y-y yönü 1. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle mevcut hasar rölevesine en yakın tahmini çok mod itme analizi metodu vermiştir.



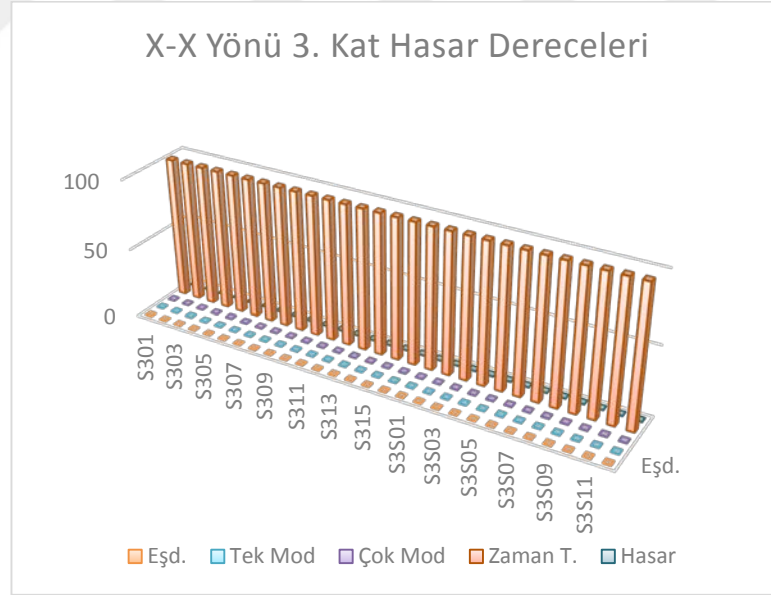
Şekil 6.5. x-x yönü 2. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle x-x yönü 2. normal kat için mevcut hasar rölevesine yakın tahminleri bulunmamaktadır.



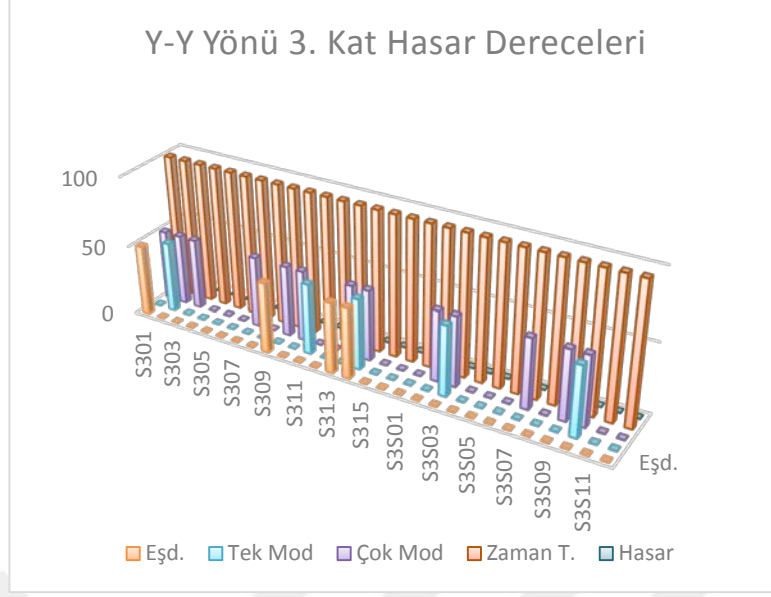
Şekil 6.6. y-y yönü 2. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle mevcut hasar rölevesine en yakın tahmini çok mod itme analizi ve eşdeğer deprem yükü metodu vermiştir.



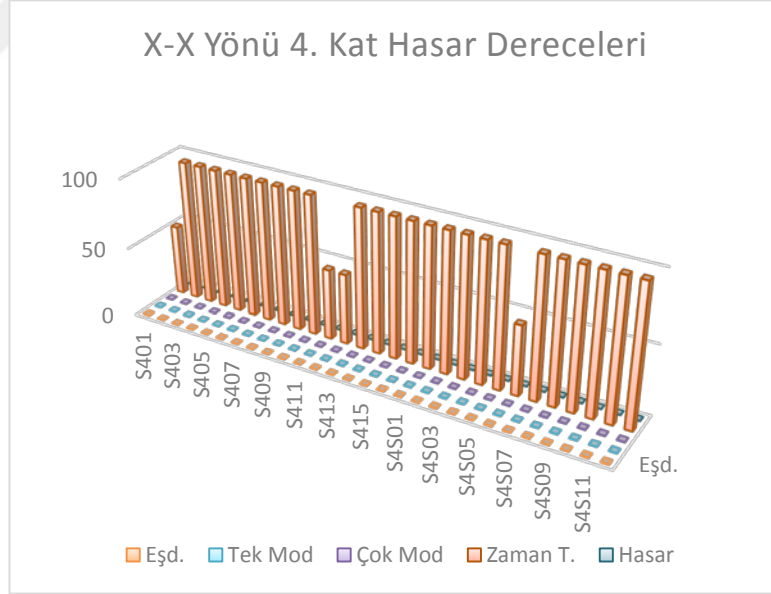
Şekil 6.7. x-x yönü 3. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle x-x yönü 3. normal kat için mevcut hasar rölevesine yakın tahminleri bulunmamaktadır.



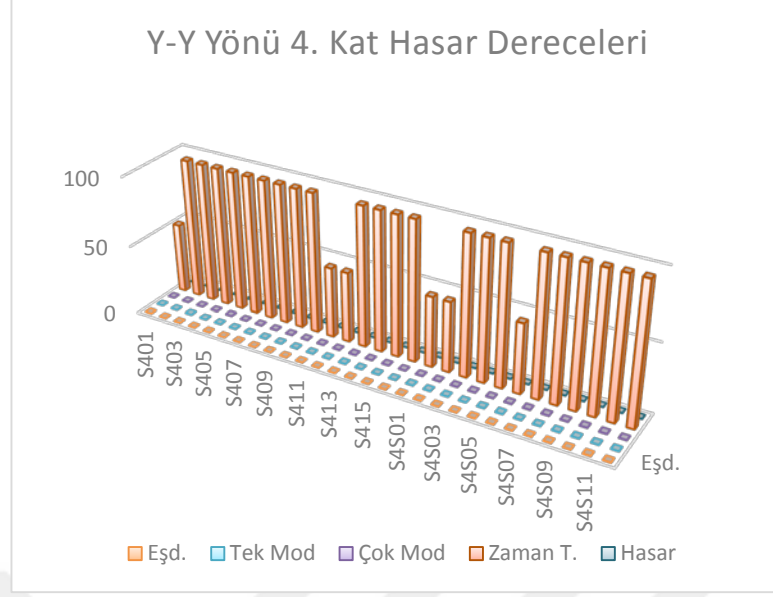
Şekil 6.8. y-y yönü 3. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle mevcut hasar rölevesine en yakın tahmini eşdeğer deprem yükü metodu vermiştir.



Şekil 6.9. x-x yönü 4. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle x-x yönü 4. normal kat için mevcut hasar rölevesine yakın tahminler bulunmamaktadır.



Şekil 6.10. y-y yönü 4. kat hasar dereceleri

Grafikten çıkan sonuçlardan hareketle y-y yönü 4. normal kat için mevcut hasar rölevesine yakın tahminleri bulunmamaktadır ve tüm analizler yakın sonuç vermektedir.

Binamızın önceki konularda bahsedilen hasar tespit yöntemlerinden olan yerinde incelemesi yapıldığında; zemin kat tüm kolonlarında, kabuk betonunda dökülmeler ve kolon uçlarında mafsallaşmalar tespit edilmiştir (Şekil 6.12-6.13). Bina kirişlerinde ise sadece zemin kat merdiven kovanında bazı hasarlar gözlenmiştir (Şekil 6.14-6.15).

Yapılan çalışmalardan çıkan tüm sonuçlar incelendiğinde deprem riski açısından en yakın tahmini zemin katta tek mod itme analizi ve zaman tanım alanında analizler vermektedir. Fakat gerçekten binanın yaşadığı deprem olan 17 Ağustos Depremini kullandığımız zaman tanım alanında analiz metodu üst katlarda tutarlı tahminler yapamamaktadır. Binadaki 5 katta yer alan tüm taşıyıcı elemanlar bir arada değerlendirildiğinde en yakın hasar görülebilirlik tahminini tek mod itme analizi metodu yapmaktadır sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 6.11. Çalışma konusu olan Binamızın Genel Görünüşü





Şekil 6.12. Binanın zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar-1



Şekil 6.13. Binanın zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar-2



Şekil 6.14. Binada bulunan bir kolon-kiriş bölgesindeki hasar



Şekil 6.15. Merdiven döşemesinde oluşan hasar

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Binaların deprem performansı ve taşıyıcı elemanların hasar görebilirlik mertebeleri belirlenirken yapılan analizler proje bilgileri ve sınırlı birkaç eleman bilgisi üzerinden yapıldığında yetersiz veya hesap hatalarına sebep olabilmektedir.

Yaptığımız bu çalışmada yapının analizinde kullanılacak modeldeki parametrelerin doğruya en yakın şekilde alınarak ve tek mod itme analizi yapılması halinde gerçeğe yakın hasar tahmini yapıldığını göstermektedir.

Günümüzde deprem mühendisliği dalında önemli akademisyenler tarafından araştırması ve çalışması yapılmış olan artımsal modal itme analizlerinin daha ileri seviyelere taşınabilmesi mümkündür. Zaman tanım alanında, tek modlu, çok modlu ya da artımsal çok modlu itme analizlerinin kritikleri yapılabilir.

Sonuç olarak, oldukça aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizdeki mevcut yapılar ve yeni inşa edilecek olan yapılar da deprem riski altında bulunmaktadır. Bu nedenle yapıların depreme karşı dayanıklı ve yeterli güvenliğe sahip olup olmadığının önemi ortaya çıkmaktadır. Yaşanılan depremler mevcut yapıların ve yeni yapılacak yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu yüzden Deprem yönetmelikleri günümüz mühendislik tekniğinin kaydettiği ilerlemelerle desteklenmeli ve revize edilmelidir. Böylece yapı hasar tahmini açısından hasar görebilirlik mertebeleri hesaplanabilir ve olası depremlerden önce önlem alınabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Chopra A. K., 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.
- [2] Chopra A. K., Goel, R. K., Chintanapakdee C., Statistics of Single Degree of Freedom Estimate of Displacement for Pushover Analysis Of Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 2003, 129, 459-469.
- [3] Hernández Montes E., Kwon O. S., Aschheim M., An Energy-Based Formulation for First- and Multiple-Mode Nonlinear Static (Pushover) Analyses, *Journal of Earthquake Engineering*, 2004, 8, 69-88.
- [4] Aydınoglu N., An Incremental Response Spectrum Analysis Based on İnelastic Spectral Displacements For Multi-Mode Seismic Performance Evaluation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2003, 1(1), 3-36.
- [5] Sak Ö. F., 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Almış Bir Binanın Yapı Tanılama Sonuçlarıyla Güncellenmiş Modelinin Analitik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 10011595.
- [6] Celep Z., *Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri*, Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, *Bildiriler Kitabı*, Maya Basın Yayın, İstanbul, 2002.
- [7] DBYYHY2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık Bakanlığı*, Ankara, 2007.
- [8] Celep Z., *Betonarme Tasıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*, Beta Dağıtım, İstanbul, 2007.
- [9] Özmen B., *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)*, Türkiye Deprem Vakfı, 132 sayfa, 2000.
- [10] Afet Hazırlık ve Müdahale Grubu, *Depremin Etkilediği Betonarme ve Yiğma Binalarda Hasar Tespiti*, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 2016.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Sak Ö., F., **Beyen, K.**, Bir Betonarme Binanın Sanal Davranış Verileriyle Hasar Tespiti için Analitik ve Deneysel Çalışma, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 11-15 Mayıs 2015.



## ÖZGEÇMİŞ

Cem GÜNEŞ, 1985 yılında Adıyaman’da doğmuştur. İlk öğretimi Yavuz Sultan İlk öğretim okulunda, Liseyi Özel Açı Kolejinde okumuştur. Lisans eğitimine Gaziantep Üniversitesi Matematik bölümünde başlayıp daha sonra 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliğinden mezun olmuştur. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

