

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİNALARIN DEPREM  
PERFORMANSLARININ DEPREM GEÇİRMİŞ  
BİNALARLA İLİŞKİLENDİRİLEREK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Elif ORAK**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS**

**Mayıs 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİNALARIN DEPREM  
PERFORMANSLARININ DEPREM GEÇİRMİŞ  
BİNALARLA İLİŞKİLENDİRİLEREK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Elif ORAK**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 27 / 05 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Zeki ÖZCAN  
Üye**

**Prof. Dr. Recep İLERİ  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı her aşamada izleyip değerlendirerek yön veren, “Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme” kavramı ile tanışmamı ve bu alanda çalışmamı sağlayan Sn. Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS’e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim. Hayatım boyunca daha iyi bir seviyeye gelmem için maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme şükranlarımı sunarım

Ayrıca çalışmamı destekleyen Sakarya Üniversitesi BAPK’a da (Proje No: 2008. 50. 01.001, Proje adı: “Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Deprem Geçirmiş Binalarla İlişkilendirilerek Belirlenmesi”) şükranlarımı sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	4
1.2. Konunun Tarihsel Gelişimi .....	5
1.3. Literatür Çalışmaları .....	8
1.4. Dünya Standartlarında Performans Analizi Yöntemleri .....	10

## BÖLÜM 2.

PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME .....	13
2.1. Giriş.....	13
2.2. Performans Hedeflerinin Belirlenmesi.....	15
2.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri .....	16
2.3.1. Yapı elemanlarının kırılma türleri .....	16
2.3.2. Kesit hasar sınırları .....	16
2.3.3. Kesit hasar bölgeleri .....	16
2.3.4. Kesit hasar tanımları .....	17
2.3.5. Eleman hasar tanımları.....	17
2.4. Bina Performans Düzeyleri.....	17
2.5. Performans Hedeflerine Karşı Gelen Deprem İvme Spektrumları .....	19

2.5.1. Spektrum karakteristik periyotları ve etkin yer ivme katsayısı.....	20
2.6. Performansa Dayalı Tasarım Hesap Yöntemleri .....	21
2.7. Deprem Hesabına İlişkin Temel İlke ve Kurallar .....	23
2.8. Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol.	25
2.9. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi .....	26
2.10. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	27
2.10.1. Modal kapasite diyagramının elde edilmesi.....	28
2.10.2. Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı .....	30
2.10.3. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı .....	33
2.10.4. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi .....	33
2.10.5. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....	35

### BÖLÜM 3.

SAYISAL UYGULAMALAR.....	36
3.1. Giriş.....	36
3.2. Hasarsız Yapı Sistemi .....	36
3.2.1. Bina bilgileri.....	38
3.2.2. Malzeme bilgileri.....	38
3.2.3. Proje parametreleri.....	38
3.2.4. Yükler.....	38
3.3. Hasarsız Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi.....	39
3.3.1. Yöntemin kullanılabilirliğinin kontrolü .....	39
3.3.2. Düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz .....	39
3.3.3 Artımsal statik itme analizi .....	40
3.3.4. Modal kapasite diyagramı elde edilmesi.....	41
3.3.5. Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı.....	42
3.3.6. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı .....	45
3.3.7. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....	45
3.4. Göçmüş Yapı Sistemi.....	47
3.4.1. Bina bilgileri.....	49
3.4.2. Malzeme bilgileri.....	49
3.4.3. Proje parametreleri.....	49

3.4.4. Y¼kler.....	49
3.5. G¼cm¼þ Yapının Artımsal Eþdeęer Deprem Y¼k¼ Y¼ntemi ile İtme Analizi .....	50
3.5.1. Y¼ntemin kullanılabilirliğinin kontrol¼ .....	50
3.5.2. D¼þey y¼kler altında doğrusal olmayan statik analiz .....	50
3.5.3 Artımsal itme analizi.....	50
3.5.4. Modal kapasite diyagramı ve modal yerdeğiştirme isteminin hesabı	51
3.5.5. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı.....	52
B¼L¼M 4.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$A_0$	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a_1$	: Birinci (hakim) moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal
$a_{y1}$	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
$C_{R1}$	: Birinci moda ait spectral yerdeğiştirme oranı
$d_1$	: Birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1$	: Birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
$d_{y1}$	: Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi
$E_c$	: Betonun elastisite modülü
$E_s$	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_0$	: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$f_{cm}$	: Mevcut beton dayanımı
$f_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
$g$	: Yerçekimi ivmesi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
$h_{ji}$	: i'inci katta j'inci kolon veya perdenin kat yüksekliği
$I$	: Bina önem katsayısı
$M_{x1}$	: X deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
$R_a$	: Deprem yükü azaltma katsayısı

$R_{y1}$	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S_{ael}^{(1)}$	: Itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral Ivme
$S_{del}^{(1)}$	: Itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral yerdeğiştirme
$S_{di1}$	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral Yerdeğiştirme
$T$	: Bina doğal titreşim periyodu
$T_1$	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki ( $I=1$ ) itme adımında birinci (deprem Doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
$T_A, T_B$	: Spektrum karakteristik periyotları
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde ( $N$ 'inci katında) $x$ deprem doğrultusunda ( $i$ )'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde ( $N$ 'inci katında) $x$ deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
$(\delta_i)_{max}$	: Binanın $i$ 'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
$\delta_{ji}$	: $i$ 'inci katta $j$ 'inci kolon veya perdenin kat alt ve üst uçları arasındaki yerdeğiştirme farkı
$\epsilon_{cg}$	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_{cu}$	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
$\Phi_{xN1}$	: Binanın tepesinde ( $N$ 'inci katında) $x$ deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
$\Gamma_{x1}$	: $X$ deprem doğrultusunda birinci moda ait modal katkı çarpanı
$\eta_{bi}$	: $i$ 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\omega_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem



$\omega_B$  : Doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans  
: İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal  
açısal frekans

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. KSY ve DKY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi [25] .....	12
Şekil 2. 1. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri .....	17
Şekil 2. 2. Bina performans düzeyleri .....	19
Şekil 2. 3. DBYBHY ivme spektrumu [30] .....	20
Şekil 2. 4. Statik itme eğrisi (pushover curve) .....	28
Şekil 2. 5. Statik itme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi .....	29
Şekil 2. 6. $T_1^{(1)} \geq T_B$ olması halinde inelastik spektral deplasmanın elde edilmesi....	31
Şekil 2. 7. $T_1^{(1)} \leq T_B$ olması halinde inelastik spektral deplasmanın elde edilmesi....	32
Şekil 3. 1. Hasarsız binanın taşıyıcı sisteminin 3 boyutlu matematik modeli .....	37
Şekil 3. 2. Hasarsız bina zemin kat kalıp planı .....	37
Şekil 3. 3. X Deprem doğrultusu statik itme eğrisi .....	40
Şekil 3. 4. Y Deprem doğrultusu statik itme eğrisi .....	41
Şekil 3. 5. X Doğrultusu modal kapasite diyagramı.....	41
Şekil 3. 6. Y Doğrultusu modal kapasite diyagramı.....	42
Şekil 3. 7. X Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ ).....	43
Şekil 3. 8. Y Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ ).....	43
Şekil 3. 9. Göçmüş binanın taşıyıcı sisteminin 3 boyutlu matematik modeli.....	48
Şekil 3. 10. Göçmüş binanın kalıp planı.....	48
Şekil 3. 11. X ve Y deprem doğrultusu statik itme eğrisi .....	51
Şekil 3. 12. X ve Y Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ ) .....	52

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri [30].....	15
Tablo 2. 2. Spektrum karakteristik periyodları ( $T_A$ , $T_B$ ) .....	20
Tablo 2. 3. Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ) .....	21
Tablo 2. 4. Görelî kat ötelemesi sınırları .....	35
Tablo 3. 1. X doğrultusu için görelî kat ötelemesi kontrolü .....	46
Tablo 3. 2. Y doğrultusu için görelî kat ötelemesi kontrolü .....	46

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem, Artımsal Statik İtme Analizi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Performans Değerlendirmesi

Son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarın ve ekonomik kayıpların çok büyük miktarda olması Deprem Mühendisliği'nde Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirmenin önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Bu çalışmada “17 Ağustos 1999 depreminde meydana gelen yapısal hasarlar daha önceden belirlenebilir miydi?” sorusunun cevabı aranmıştır. Bu amaçla 17 Ağustos 1999 Depremi'nde, farklı hasar durumundaki iki yapı sisteminin Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçların gerçekte uyumu irdelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda depremde hasar almayan yapı sisteminin performansı gerçekte uyum sağlamıştır. Ancak depremde göçmüş olan yapı sisteminin performansı, gerçek durumundan daha iyi düzeyde çıkmıştır. Çalışma, depremde farklı performans gösteren çok sayıda binalarla genişletildiği takdirde, Yönetmeliğe yeni giren yöntemlerin kalibre edilmesinde önemli rol oynayacaktır.

# **THE PERFORMANCE EVALUATION OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY COMPARISON WITH THEIR OBSERVED EARTHQUAKE PERFORMANCES**

## **SUMMARY**

Key words: Nonlinear Elastic Method, Incremental Static Pushover Analysis, Equivalent Earthquake Load Method, Performance Evaluation

In recent years, earthquakes which caused important damages and much economic lost, again have showed that performance based design and evaluation is very important in Earthquake Engineering.

In this study, the answer of the question, “Could the damageability of structures during the August 17th, 1999 Marmara Earthquake, be determined or estimated before earthquake using the Performance Based Design Methods.?” was investigated. To answer this question, two reinforced concrete structures, which prone to 17 August 1999 Marmara Earthquake and showed different performance levels are studied by using nonlinear static procedures. The calculated results were compared with the performance observed after the Earthquake.

Result of this studies showed that, undamaged structure’s performance was the same with real performance level. But collapsed down structure’s performance level was better than real performance level. This study will have an important role in the comparison of new methods in Earthquake Regulation if it is amplified with different structures that are in different performance levels in earthquake.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarın ve ekonomik kayıpların çok büyük miktarda olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün, dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin önemini ortaya çıkarmıştır.

Performans, depreme karşı dayanıklı yapıların tasarımında yeni bir kavram değildir. Geleneksel deprem yönetmeliklerinde benimsenen, “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” ilkesi de belirli bir performans düzeyini kabul eder. Fakat performansa dayalı tasarımda, yapılar için hedeflenen performans düzeyleri, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) gibi çeşitlilik göstermektedir [1].

Elastik analiz genel olarak yapının elastik kapasitesi ve ilk akmanın nerede oluşabileceği konusunda yeterli bilgi verebilir. Bu nedenle Hemen Kullanım (HK) performans düzeyi için yeterli sayılabilir. Fakat bu yöntemle, göçme mekanizmasını ve plastik kesitlerin oluşumu sürecinde kuvvetlerin yeniden dağılımını belirlemek imkânsızdır. Bu nedenle Can Güvenliği (CG), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyleri için elastik ötesi davranışı içeren hesap yöntemlerine ihtiyaç vardır [1].

Yönetmeliklerde yer alan ve yapıların yatay yükler altındaki analizleri için kullanılmakta olan yöntemler, genel olarak yapıların deprem etkileri altında doğrusal-elastik davranış göstereceği esasına dayanmaktadır. Deprem etkilerine göre yapı sistemlerinin analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını dikkate almak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı olarak bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemlerinde yapının davranışı hesaplanan katsayıya bağlı kılınmaktadır. Gerçekte ise, deprem etkileri, yapıların büyük miktarda enerji sönmlediği elastik ötesi davranışa neden olmakta ve bunun sonucu doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile tasarlanan yapılarda ağır hasara neden olmaktadır. “Doğrusal-elastik davranış” kabulü, analizleri önemli miktarda kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesine karşı, yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması konusunda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile yapı sisteminin deprem etkileri altında gerçek performansının anlaşılması mümkün olmamaktadır [2].

Deprem etkisine maruz kalan bir yapının performansının değerlendirilmesinde ve deprem isteminin (talep) belirlenmesinde en etkili yol doğrusal elastik olmayan (nonlinear) zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Fakat söz konusu hesap yönteminde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını tanımlayan iç kuvvet şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesi ve deprem hesabında kullanılacak uygun ivme kayıtlarının seçilmesi gibi sorunlar vardır. Ve de yöntemin kullanılmasının çok zaman alıcı ve karmaşık olması nedeniyle, alternatif yöntem arayışına gidilmiştir [1].

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve lineer teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini göz önüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme geometri değişimleri bakımından lineer olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [3].

6 Mart 2007’de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği’nin (DBYBHY 2007) ilk 6 Bölümü, elemanların dayanım kapasitelerinin hesaplanmasını amaçlayan kuvvete dayalı hesap yöntemlerini esas almaktadırlar. Bu nedenle, ilk plastik kesitin oluşumunu takip eden süreçte yapıda değişen dinamik karakteristikler göz önüne alınamamaktadır. Günümüzde, deprem etkisindeki yapılarda yapısal hasarın, öngörülen yapı elemanlarının şekildeğiştirme kapasitelerinin aşılması ile gerçekteleştii bilinmektedir.

DBYBHY 2007’nin 7. Bölümü’nde ise “Performansa Dayalı Değerlendirme” veya deplasmanların esas olarak alındığı hesap tarzı benimsenmiştir. Performansa dayalı değerlendirmede, mevcut bir binanın öngörülen deprem zorlaması sırasında ne yapacağı tahmin edilmesi söz konusu olabilmekte; binanın ne kadar yerdeğiştirme yapacağı ve bu yerdeğiştirmeler altında, hangi yapı elemanlarında ne tür hasarların oluşacağı hasar dağılımının nasıl olacağı ve yapının muhtemel göçme mekanizmaları hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Ancak, yöntem hakkında yapılan bilimsel çalışmalar henüz yeterli olgunluğa erişmemiştir. Bu nedenle, yöntemin bilimsel çevrelerde yeterince tartışılmadan, “Şartname” olarak sunulması, önemli sorunları da beraberinde getirmiştir [4].



## 1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnşaat Mühendisliğinde “performans” kavramı yeni olmadığı halde, ancak “Deplasmana Dayalı Tasarım” yöntemlerinin geliştirilmesi ile kullanım alanı bulabilmiştir. Deplasmana Dayalı Tasarım yöntemleri, son 12 yılda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Depreme maruz kalan bir yapının performans düzeyinin belirlenmesi, ancak Deplasmana Dayalı Tasarım yöntemleri ile mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Depremi’nde hasar görmemiş bir bina ve göçmüş bir bina performansa dayalı yöntemlerle incelenmiştir. Çalışmada, “Deplasmana Dayalı Yöntemler’le 17 Ağustos 1999 Depremi’nde hasar gören veya göçen yapılar belirlenebilir miydi?” sorusunun cevabı aranmıştır.

Kuvvetli yer hareketinin şiddeti ve bunun yapı hasarı üzerindeki etkisinin yerel zemin şartlarına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle, öncelikle, ele alınacak yapıların maruz kaldığı tasarım yer hareketi yer tepki analizleri ile elde edilmiştir. Bu konuyla ilgili olarak Kutanis ve Bal(2006)’ın çalışmalarından faydalanılmıştır. Daha sonra, tasarım yer hareketi kullanılarak, Türk Deprem Yönetmeliği Yedinci Bölümü’ne göre hasar değerlendirilmesi SEISMOSTRUCT, gibi uyumlu (adaptive) yöntemler kullanan ve akademik değeri bulunan yazılım kullanılarak yapılmıştır. Hasar değerlendirmesi yapılırken DBYBHY’nin 7. Bölümü’nde yer alan Doğrusal Elastik Olmayan Statik İtme Analizi Hesap Yöntemleri’nden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılmıştır. Deprem sonrası binanın performansı ile Deplasmana Dayalı Yöntemleri kullanan bilgisayar yazılımından çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yöntemin gerçekle uyumluluğu irdelenmiştir.

Çalışmada 17 Ağustos 1999 depreminde farklı seviyelerde hasar görmüş 2 bina incelenmiştir. İncelenen yapıların seçiminde yapı kalitesinin iyi olması ve mühendislik görmüş olmasına dikkat edilmiştir.

Çalışmada ilk incelenen bina 17 Ağustos 1999 depreminde hasar görmemiş bir binadır. Yapı bodrum kat üstü 5 kat, bodrum kat yüksekliği 2.6m, normal katları 2.8m kat yüksekliğine sahiptir. Bina oturma alanı 450m<sup>2</sup>'dir. Binanın taşıyıcı sistemi çerçevelerden ve perdelerden oluşmaktadır.

Çalışmada ikinci olarak incelenen bina 17 Ağustos 1999 depreminde göçmüş bir binadır. Bina 5 katlı, zemin kat yüksekliği 4.0 m, normal katlar 2.8m kat yüksekliğine sahiptir. Bina oturma alanı 304m<sup>2</sup> 'dir. Binanın taşıyıcı sistemi çerçevelerden ve asansör çevresine yerleştirilmiş bir çekirdek perdeden oluşmaktadır. Bina bir doğrultuda simetriktir, eksantrisitesi düşüktür, burulma rijitliği ise yeterlidir.

## 1.2. Konunun Tarihsel Gelişimi

Deprem Mühendisliği'nde "deplasmana göre tasarım" veya "şekil değiştirmeye göre tasarım" olarak da isimlendirilen "performansa dayalı tasarım" kavramı 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. 1960' yıllardan beri, yapıların deprem hesabında zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan (nonlinear) hesap yönteminin, en ideal yöntem olduğu bilinmektedir. Fakat söz konusu hesap yönteminde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını tanımlayan iç kuvvet şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesi ve deprem hesabında kullanılacak uygun ivme kayıtlarının seçilmesi gibi sorunlar vardır. Ve de yöntemin kullanılmasının çok zaman alıcı ve karmaşık olması nedeniyle, alternatif yöntem arayışına gidilmiştir.

Belirli bir performans düzeyini gerçekleştirmek için kaçınılmaz olarak uygulanması gereken elastik ötesi hesap yöntemleri arasında, basitleştirilmiş çözüm olarak sunulan "Nonlinear Statik Yöntem", geleneksel olarak lineer davranışa koşullandırılmış biçimde gelişen mühendislik pratiğince hemen kabul görmüştür [1].

Nonlinear statik yöntem algoritmalarının uygulanması, çok serbestlik dereceli (ÇSD) yapı modelinin eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeline dönüştürülmesini gerekli kılmaktadır. Gülkan ve Sözen [5], betonarme TSD sistemlerin deprem simülatörü deneylerine dayanarak, yapı sistemlerinin elastik ötesi davranışının azaltılmış direngenlik ve arttırılmış sönümlü TSD yapı sistemleri ile

tanımlanabileceğini bulmuşlardır. Gülkan ve Sözen'in bu çalışması daha sonra, Shibata ve Sözen[6] tarafından ÇSD sistemler için Yerine Koyma Yöntemi (substitute structure method) adıyla verilmiştir. Yerine Koyma Yöntemi, betonarme yapılar için, tasarım spektrumu ile verilen deprem hareketine ait tasarım kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem günümüzde, Priestley [7], Priestley ve Kowalsky [8] ve Priestley [9] tarafından “Direkt Deplasmana Dayalı Tasarım” yönteminin geliştirilmesinde faydalanılmıştır.

1981 yılında, Saiidi ve Sözen [10] tarafından önerilen Q-Model'de ilk kez, yapı elemanlarının moment eğrilik ilişkileri kullanılmıştır. Burada, TSD sistemin kuvvet yerdeğiştirme karakteristiklerini elde etmek amacıyla moment-eğrilik eğrisinin iki doğrulu olarak idealleştirilmesi yapılmıştır. Daha sonra, Fajfar ve Fischinger [11], Q-Model'den esinlenerek geliştirdikleri “N2 Metod” unu önermişlerdir.

Freeman [12] tebliğinde, elastik ötesi sismik tasarım hesabı için elde edilen yanal yük-yapı tepe noktası yerdeğiştirmesi diyagramının (statik itme eğrisi) ilk olarak 1961 yılında John Blume, Nathan Newmark ve Leo Corning tarafından ortaya konulduğunu bildirmiştir. 1970'li yılların başında bu teknik, Puget Sound Naval Shipyard'da uygulanan pilot sismik risk projesi için geliştirilen “Hızlı Değerlendirme Yöntemi” nin bir enstrmanı olarak “Kapasite Spektrum Metodu (KSM)” adını almıştır. KSM, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yerdeğiştirmelere ilişkin deprem isteminin belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir [13]. Paret vd. [14] ve Sasaki vd. [15], yüksek modların etkisini hesaba katmak amacıyla “ Çok Modlu İtme Analizi” ni (Multi Modal Pushover Analysis) önermişlerdir. Bu çalışmanın bir uzantısı olarak Chopra ve Goel [16] Modal İtme Analiz (Modal Pushover Analysis–MPA) tekniğini geliştirmişlerdir. Yüksek mod etkisinin dikkate alındığı çalışmalardan biri de Moghadam [17] tarafından yapılmıştır. Moghadam yüksek mod etkilerini “Statik İtme Sonuçlarının Kombinasyonu” (Pushover Results Combination-PRC) adını verdiği bir yöntemle birleştirerek sismik davranışının maksimumlarını belirlemeye çalışmıştır.

Yapıların elastik ötesi davranışında, plastik mafsalların oluşumu ile birlikte, sistemde önemli ölçüde direngenlik kaybının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu bağlamda uyusumlu (adaptive) veya her adımda değiştirilen dağılımlara göre sisteme etki ettirilen yatay yüklerin kullanıldığı, daha güvenilir yöntemler pek çok araştırmacı tarafından önerilmiştir. Uyuşumlu yöntemlerin kullanılması, ilk olarak, Bracci vd. [18] tarafından KSM' nun üzerine bina edilerek gerçekleştirilmiştir. Gupta ve Kunnath [19] ise yük dağılımlarının hesaplanıp uygulandığı, en sonunda da yapıya gelen toplam taban kesme kuvvetinin Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) kuralı ile elde edildiği bir yöntem önermişlerdir.

Diğer bir uyusumlu yük dağılımı yöntemi Elnashai, [20] tarafından ortaya konulmuştur. Elnashai, pek çok araştırmacı tarafından geliştirilen ve önerilen özellikleri bu çalışmada toplamıştır. Tek adımda statik itme analizi algoritmasında Elnashai, tamamen uyusumlu, çok modlu, yapısal sistemin anlık direngenliğini ve anlık serbest titreşim periyodunu göz önüne alan, yanal yük dağılımının sürekli değiştiği bir yöntem geliştirmiştir. Papanikolaou ve Elnashai [21, 22] ise, uyusumlu statik itme analizlerini daha sağlam ve sağlıklı temellere dayandıran bir prosedür önemişlerdir. Yöntemde plastik mafsalları hipotezi yerine fiber eleman modelini kullanılmıştır.

Bu çalışmalara paralel olarak, Antoniou ve Pinho [23, 24] tarafından Yenilikçi Deplasmana Dayalı Uyuşumlu Statik İtme (Innovative Displacement-Based Adaptive Pushover Procedure-DAP) prosedürünü ortaya koymuşlardır. Burada da, kesitler fiber elemanlarla modellenmiştir. Ayrıca, statik itme analizinde yanal kuvvetler yerine uyusumlu yanal deplasmanlar kullanılmıştır.

Konu ile ilgili en önemli çalışmalardan biri Aydınoğlu [13] tarafından gerçekleştirilmiştir. Aydınoğlu' nun Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yöntemi' nin esası, modal kapasite diyagramları adı verilen ve modal histeresis eğrilerinin iskelet eğrileri olarak tanımlanan diyagramların yaklaşık olarak elde edilmesine dayanmaktadır.

### 1.3. Literatür Çalışmaları

1994 yılında Lawson R.S., Vance V., Karwinkler H. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analizini yöntemlerinin neden, nasıl ve hangi durumlarda kullanılması gerektiği konusunda detaylı bir çalışma yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar ve bu yöntemlerin uygulanması aşamasında karşılaşılan sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur.

1995 yılında Moghadam A.S., Tso W.K. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, simetrik olmayan yapılarda doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kullanımı üzerinde durulmuştur.

Tso W.K ve Moghadan A.S. 1996 yılında eksantrik çok katlı yapıların hasar potansiyellerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada yapıların deprem sırasındaki davranışlarında birinci mod etkilerinin hakim olduğu kabul edilmiştir.

Kilar V. ve Fajfar P. 1997'de yaptıkları çalışmada, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi için bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir.

Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. tarafından 1998'de yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlenmiş, yöntemlerin hassasiyeti değerlendirilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinin hangi durumlarda geçerli sonuçlar vereceği ve hangi durumlarda analiz sonuçlarının gerçekten uzaklaşacağı belirtilmiştir (Karwinkler ve SENEVİRANTA Sasaki K.K. , Freeman S.A., Paret T.F. tarafından 1998'de yüksek mod etkilerine bağlı olarak yapıların göçme mekanizmalarının belirlenmesine yardımcı olacak, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi

yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kolaylıklarını devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerinin de kapsayacak şekilde genişletilmiş halidir.

1998 yılında Faella G., Kilar V. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik analizi için kullanılan üç boyutlu doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerin kabul edilebilirliğini araştırmak üzere, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır.

1999 yılında Kim S.D., Hong W.K., Ju Y.K. tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağlı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, bir dinamik elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod şekline göre değişmektedir. Yöntemin geçerliliği DRAIN Analiz Programından 8 elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile gösterilmiştir. Örnek çalışmada yedi katlı ve otuz altı katlı mevcut bir yapının analizleri gerçekleştirilmiştir (Kim, Hong ve Ju, 1999).

2002 yılında Antoniou S. Rovithakis A, Pinho R. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir [2].

#### 1.4. Dünya Standartlarında Performans Analizi Yöntemleri

Son dönemde özellikle A.B.D ve Japonya'da yapıların tasarımı, deprem güvenliğinin belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi için performans esaslı yeni prosedürler geliştirilmekte ve bunlar ön standart (ATC 40, FEMA 356, VISION 2000, BLUE BOOK) olarak tartışmaya sunulmaktadır. Tüm bu dokümanlarda lineer olmayan statik analiz yöntemleri önemli yer tutmaktadır. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri temel olarak, yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir. Yapıların performansının değerlendirilmesinde lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanları, Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)' dir [25].

Yapıların deprem etkileri altında performanslarının belirlenmesi için kullanılan ve bu alanda en popüler yöntemlerden birisi olan Kapasite Spektrumu Yöntemi Freeman S.A. (Freeman, 1998) tarafından geliştirilmiş ve daha sonra yöntem üzerinde çeşitli değişiklikler ve modifikasyonlar yapılmıştır. Kapasite Spektrumu Yöntemi ATC 40'da (Applied Technology Council, 1996) ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Yöntem ile ilgili olarak yapılan son gelişmelere ise FEMA 440'da yer verilmiştir [2].

Kapasite Spektrum Yöntemi' nde, grafik bir prosedür sayesinde yapının kapasitesi yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır. Yapının kapasitesi elastik ötesi statik itme analizi ile belirlenen yatay yük-yapı tepe noktası yerdeğiştirme eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilmektedir. İtme analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral deplasmanlarına dönüştürülür. Bu spektral değerler kapasite spektrumunu tanımlar. Deprem talepleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır. Ancak, bu spektrum da kapasite spektrumu gibi spektral ivme-spektral deplasman (ADRS) formatında ifade edilir. Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi (performans noktası), elastik olmayan

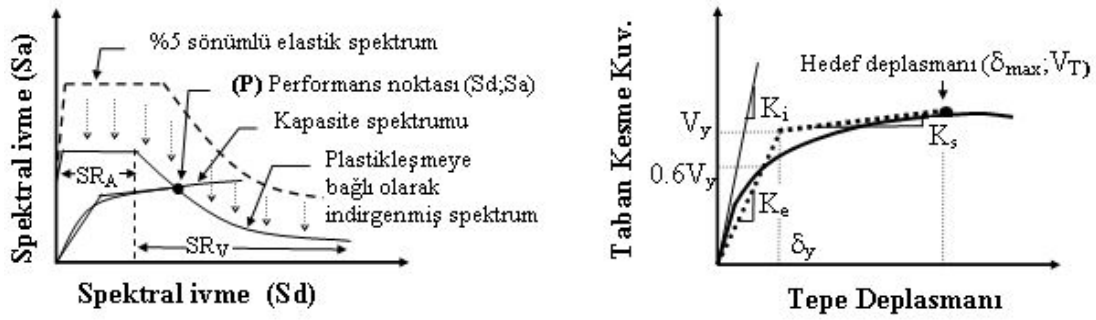
dayanım ve deplasman talebini verir. Tepe deplasmanı performans noktasına ulaşmış yapıda, kesitlerdeki iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performans düzeyi belirlenir [25].

FEMA 273 (1997)' de, deprem etki seviyeleri, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapıların onarımı ve güçlendirilmesi hakkında açıklamalar yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları ile ilgili modelleme parametrelerine yer verilmiş, çelik ve betonarme yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili kriterlere ve sınır değerlere ait kriterler sunulmuştur. Ayrıca ahşap ve hafif metal yapıların performans dayalı tasarımı ve değerlendirmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir.

FEMA 356'da (Federal Emergency Management Agency, 2000) yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde, Kapasite Spektrumu Yöntemi'nden farklı olarak, grafiksel bir çözüm yerine, yapının yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi için bir takım katsayılar kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan çok serbestlik dereceli sistemin beklenen maksimum elastik ötesi yerdeğiştirme değeri, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin elastik spektral yerdeğiştirmesinin katsayılar ile modifiye edilmesiyle hesaplanmaktadır. Deplasman Katsayıları Yöntemi ile ilgili olarak yapılan son gelişmelere FEMA 440'da (Federal Emergency Management Agency, 2004) yer verilmiştir [2].

Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde, deplasman talebi esasen, istatistiksel analizlere dayanan bazı düzeltme çarpanları kullanılarak elastik deplasman spektrumundan elde edilen elastik olmayan deplasman spektrumu ile belirlenmektedir. Bu yöntemde öncelikle kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri iki doğru parçası ile idealleştirilerek efektif periyot  $T_e$  ve ilgili düzeltme katsayıları kullanılarak deplasman talebi (hedef deplasmanı) hesaplanır. Bu deplasman değerine kadar itilmiş yapının performansının değerlendirilmesi işlemi Kapasite Spektrum Yöntemi'nde olduğu gibidir [25].





Şekil 1. 1. KSY ve DKY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi [25]

Vision 2000 (1995)' de, 1994 Northridge ve geçmiş depremlerin neden olduğu büyük yıkım ve ekonomik kayıplar göz önünde bulundurularak, yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performansa dayalı tasarımı ve değerlendirmesi ile ilgili ilk adımlar atılmıştır. Vision 2000'de doğrusal olmayan analiz yöntemlerine, bu yöntemlerin kullanılması ile ilgili avantaj ve dezavantajlara yer verilmiştir. Ayrıca deprem etki seviyeleri, performans hedefleri ve performans seviyeleri tanımlanmıştır [26].

Eurocode 8 (2004) doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi için, performans tanımlamalarına ve elamanlara ait modelleme parametrelerine yer verilmiştir [2].

Türk Deprem Yönetmeliği (2007)'nin, ilk Altı Bölümü, önceki deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımını benimsemiştir. Bu nedenle ilk akmanın oluşumunu takip eden süreçte yapıda değişen dinamik karakteristikler, burada, göz önüne alınmamaktadır. Son Bölüm olan Yedinci Bölüm'de ise Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ilkesi esas alınmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği 2007'nin Yedinci Bölümü'nde Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak bina performans düzeyinin belirlenmesi hesap adımları verilmiştir. Ayrıca yapıya etkiyen deprem etkisi, bu etki altında yapı performans hedefleri ve performans seviyeleri tanımlanmıştır.

## **BÖLÜM 2. PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME**

### **2.1. Giriş**

İnşaat Mühendisliği'nde, özellikle Yapı ve Deprem Mühendisliği'nde, son on beş yılda yaşanan gelişmeler, klasik mühendislik olarak bilinen bu disipline, yeniden bir hareketlilik ve canlılık getirmiştir. Söz konusu gelişme, tasarım felsefesinde gerçekleşmiştir. 1995 yılından itibaren, yapı ve deprem mühendisleri, yapıların sismik performanslarını sadece tahmin edebilen “Dayanıma Göre (veya Kuvvet Esaslı) Tasarım’dan, yapıların sismik performanslarının sayısal olarak belirlenebilmesini sağlayan “Performansa(veya Yerdeğiştirmeye, Şekildeğiştirmeye, Deplasmana) Göre Tasarım” ilkeleri üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmıştır [27].

Depremlerde meydana gelen yapısal hasarın, yönetmeliklerin tanımladığı eşdeğer deprem yükleri altında yapısal elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile doğrudan ilgili olmadığı, hasarın temel nedeninin sünek davranması öngörülen yapı elemanlarının şekildeğiştirme kapasitelerinin aşılması olduğu uzun bir süredir bilinmektedir. Buna karşın yürürlükteki deprem yönetmelikleri ve bunlara göre gelişen mühendislik pratiği, yapıdaki nonlineer davranışı temsil ettiği varsayılan azaltılmış sanal deprem yükleri altında, yapısal elemanların dayanımlarının yeterliliği esasına dayalı olan dayanıma göre tasarım ilkesine bağlılığını sürdürmektedir. Ancak deprem mühendisliğinde özellikle son on yılda meydana gelen gelişmeler çerçevesinde giderek daha yaygın olarak benimsenen yaklaşım, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ve yeni yapıların deprem tasarımında Yerdeğiştirmeye Göre Tasarım, daha doğru bir deyimle Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım ilkesinin esas alınmasını öngörmektedir [28].

Gerçekte tüm mühendislik boyutlandırma problemlerinin performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği üzere, tüm betonarme taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında iki performans seviyesi esas alınır; kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki servis yükleri altında taşıyıcı sistemde beklenen arttırılmış yük değerleri altında taşıyıcı sistemdeki hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek şekilde kalması ve sistem elemanlarında aşırı yerdeğiştirmelerin ortaya çıkmaması istenir. İkinci performans seviyesinde ise taşıyıcı sistemde beklenen arttırılmış yük değerleri altında, sistemde güç tükenmesine varılmadan kabul edilebilir bir güvenliğin olması beklenir [29].

Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği'nde amaç, olası bir depremde performansları belirlenebilen yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yönteminde, tasarım yer hareketi altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar seviyelerinin sayısal olarak belirlenebilmesi mümkündür. Bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır [27].

Çalışmanın bu bölümünde, performans esaslı tasarım veya değerlendirme aşamaları olan; bina için performans hedefinin belirlenmesi, göz önüne alınan deprem için binadaki deprem taleplerinin (doğrusal elastik olmayan statik itme analizi yöntemi Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre) belirlenmesi, deprem talebi karşısında bina performans düzeyinin belirlenmesi, başlıkları DBYBHY 2007'ye paralel olarak incelenmiştir.

## 2.2. Performans Hedeflerinin Belirlenmesi

Belirli bir deprem hareketi altında, bir bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir [3].

Bina performans hedefi, binanın kullanım amacına, deprem seviyesine ve bu deprem seviyesi için oluşması beklenen hasar düzeyine bağlı olarak belirlenir. Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri [30]

Binanın Kullanım Amacı Ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %50	50 yılda %50
<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 İeren 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>	–
<b>HK:</b> Hemen Kullanım; <b>CG:</b> Can Güvenliği; <b>GÇ:</b> Göçme öncesi			

## **2.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri**

### **2.3.1. Yapı elemanlarının kırılma türleri**

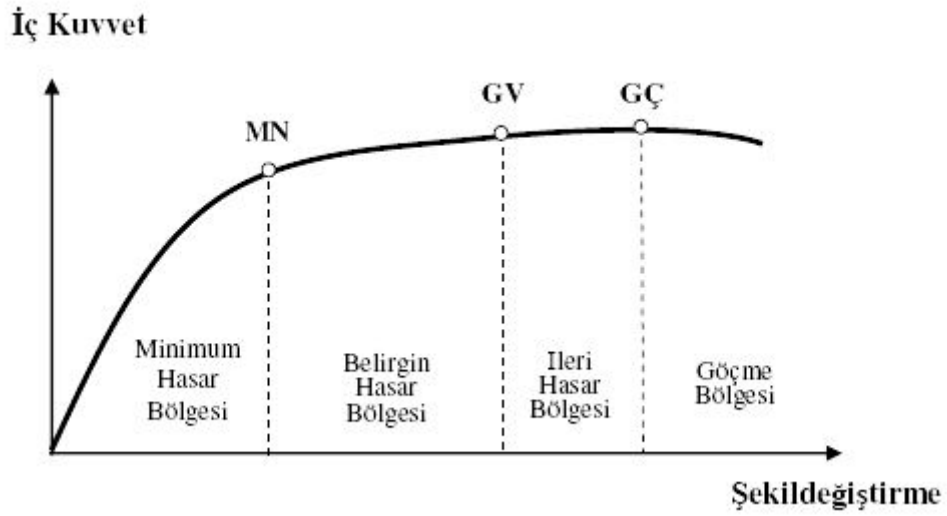
Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılacaktır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir.

### **2.3.2. Kesit hasar sınırları**

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar minimum hasar sınırı (MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez (Şekil 2.1. ).

### **2.3.3. Kesit hasar bölgeleri**

Kritik kesitleri minimum hasar sınırına ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, minimum hasar sınırı ile güvenlik sınırı arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, güvenlik sınırı ve göçme hasar sınırı arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, göçme sınırını aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde kabul edilecektir (Şekil 2.1. ) [30].



Şekil 2. 1. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

#### 2.3.4. Kesit hasar tanımları

Doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile hesaplanan iç kuvvetlerin ve şekildeğiştirmelerin, 2.3.3.'de tanımlanan kesit hasar sınırları ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hasar bölgelerine karar verilir.

#### 2.3.5. Eleman hasar tanımları

Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirler. Eleman hasarları için 2.3.3. ve 2.3.4.'deki tanımlar aynen geçerlidir.

### 2.4. Bina Performans Düzeyleri

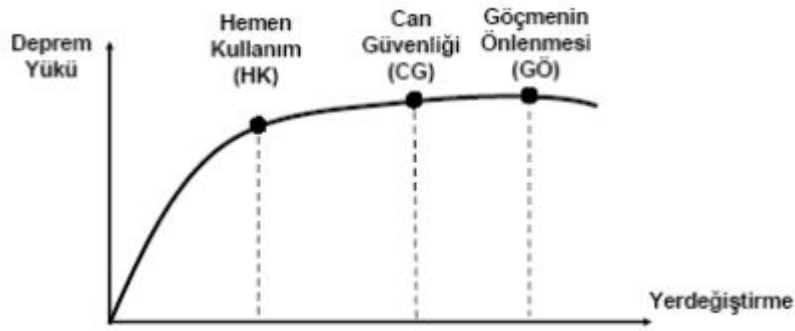
Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapı sisteminde oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir.

Hemen Kullanım (Hasarsızlık) Performans Seviyesi (Fully Operational), HK: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Can Güvenliği (Orta Hasar) Durumu (Life Safety), CG: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadır. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlar hasarlı olmakla birlikte dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı dönmeler oluşabilir, ancak gözle fark edilebilir düzeyde değildir.

Göçmenin Önlenmesi (Ağır Hasar) Durumu (Near Collapse), GÖ: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişleridir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımak için yeterlidir, ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarlarının bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Göçme Durumu (Collapse): Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir, fakat rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir [3].



Şekil 2. 2. Bina performans düzeyleri

## 2.5. Performans Hedeflerine Karşı Gelen Deprem İvme Spektrumları

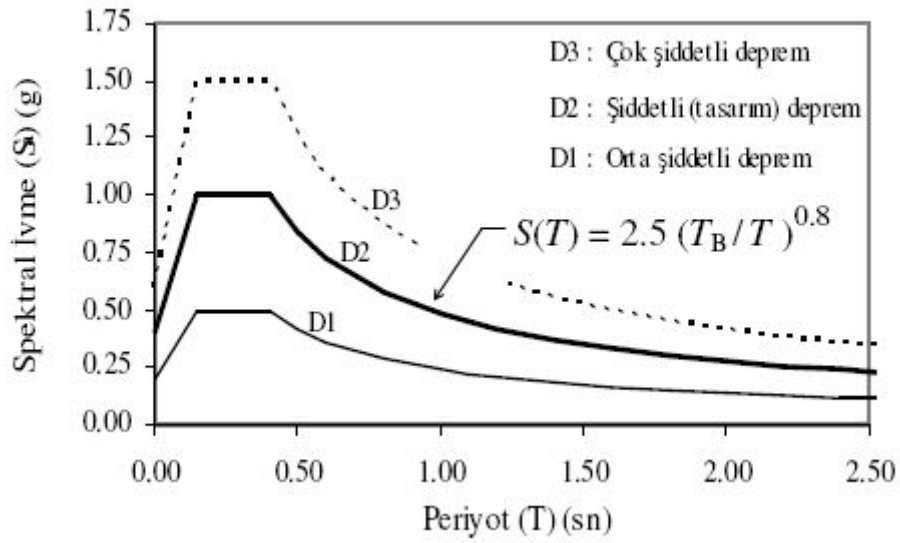
Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

a. Servis (kullanım) depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 75 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısıdır kadardır.

b. Tasarım depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 500 yıldır. Bu deprem 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nde esas alınmaktadır.

c. En büyük deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olan depremdir. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 1.50 katıdır [3].





Şekil 2. 3. DBYBHY ivme spektrumu [30]

### 2.5.1. Spektrum karakteristik periyodları ve etkin yer ivme katsayısı

DBYBHY-2007 'de tasarıma esas yer hareketinin belirlenmesinde kullanılan, ivme spektrumlarının  $T_A$  ve  $T_B$  karakteristik değerlerinin zemin sınıflarına göre dağılımı Tablo 2. 2.'de, deprem bölgelerine göre sınıflandırılan etkin yer ivmesi katsayıları ( $A_0$ ) Tablo 2. 3.'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. Spektrum karakteristik periyodları ( $T_A$ ,  $T_B$ )

Yerel Zemin Sınıfı	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Tablo 2. 3 Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

## 2.6. Performansa Dayalı Tasarım Hesap Yöntemleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için bina performans düzeyleri tanımlanmıştır (Bkz Bölüm 2.4.). Deprem geçirmiş binaların hasar düzeylerinin belirlenmesi için de aynı performans tanımları kullanılabilir.

Göz önüne alınan deprem için binadaki deprem taleplerinin hesabında doğrusal elastik yöntemler (lineer elastik) ve doğrusal elastik olmayan yöntemler (nonlinear, inelastik) kullanılmaktadır.

Yapı sistemlerinin yatay kuvvet etkisindeki analizlerinde, genel olarak basitleştirilmiş statik yöntemler kullanılmaktadır. Yönetmeliklerde de yer alan bu yöntemlere göre yapılan analizler, yapıların deprem etkilerine karşı elastik sınırlar içinde davranacağı esasına dayanmaktadır. Doğrusal davranışı esas alan bu yöntemlerde, malzemeye ait gerilme-şekildeğiştirme ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) bağıntıları doğrusal-elastik alınmakta ve yerdeğiştirmelerin sınırlı olduğu varsayılmaktadır.

Deprem etkilerine göre yapı sistemlerinin analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, yönetmeliklerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemleri davranış katsayısına bağlıdır ve hesaplanan katsayıya göre bir davranış beklenmektedir. Gerçekte ise, deprem etkileri yapıyı bu katsayının olmadığı bir davranışa maruz bırakmaktadır.

Elastik analiz yöntemleri, yapının elastik kapasitesinin iyi bir şekilde belirlenmesine ve ilk elastik ötesi davranışın nerede olabileceğini göstermesine karşı, yapının göçme mekanizmasını belirleyemez ve elastik ötesi davranışlar sonucu oluşan kuvvet dağılımlarını da dikkate almamaktadır.

Ayrıca deprem etkilerinin elastik sınırlar içinde karşılanması kabulü ekonomik olmayan çözümlere neden olmaktadır. Yapının ömrü boyunca karşılaşması ihtimali düşük olan deprem yüklerinin, sürekli olarak yapı sistemi üzerinde yer alan düşey yükler gibi elastik sınırlar içinde hesaplanması çok doğru olmamaktadır. Bu durumda deprem etkileri altında yapının elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması gerekmektedir ve bu kapasitenin hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan analiz şarttır [26].

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerin amacı, verilen bir deprem için öncelikle kesit bazında, sünek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, yine her bir kesit için tanımlanmış bulunan şekildeğiştirme kapasiteleri ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, önce kesit bazında ve daha sonra da bina bazında yapısal performans değerlendirmesi yapılmasını esas almaktadır [31].

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre en önemli avantajı, artan yükler altında sistemde bulunan yapısal elemanlar sırayla kapasitelerine ulaştıkça, bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara dağılmasına (yeniden dağılım) izin vermesidir. Böylece iç kuvvet dağılımı daha gerçekçi olarak hesaplanabilmektedir. Diğer yandan en önemli dezavantajlarından bir tanesi doğrusal olmayan çözüm yöntemlerinin henüz standartlaşmamış olmasıdır. Bir diğer dezavantaj ise deprem etkisi altında performans değerlendirmesine esas teşkil eden doğrusal olmayan sisteme ait maksimum yerdeğiştirmelerin yeterli hassasiyetle hesaplanamaması, ancak yaklaşık yöntemlerle tahmin edilebilmesidir [32].

Deprem performansı hesaplama yöntemleri:

a. Doğrusal Elastik (Lineer) Hesap Yöntemleri

- Eşdeğer deprem yükü yöntemi
- Mod birleştirme yöntemi
- Zaman tanım alanında hesap yöntemi

b. Doğrusal Elastik Olmayan (Nonlinear) Hesap Yöntemleri

- Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
- Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

## 2.7. Deprem Hesabına İlişkin Temel İlke ve Kurallar

Deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bu amaçla doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin birebir aynı sonucu vermesi beklenmemelidir. DBYBHY’de tanımlanan genel ilke ve kurallar her iki türdeki yöntemler için de geçerlidir. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır.

– Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY 2.4’de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 7.8’e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında DBYBHY 2.4.2’de tanımlanan Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır ( $I = 1.0$ ).

– Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Hareketli düşey yükler, DBYBHY 7.4.7’ye göre deprem hesabında göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır.

– Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri DBYBHY Bölüm 6'ya göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları DBYBHY 2.7.1.2'ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.
- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre DBYBHY 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- DBYBHY 3.3.8'e göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar:
  - a. Analizde beton ve donatı çeliğinin DBYBHY 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
  - b. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
  - c. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

–Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

a. Kirişlerde:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

b. Kolon ve perdelerde,

$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.40$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

## 2.8. Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol

Doğrusal olmayan yöntemlerden Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nde eşdeğer deprem yükleri bir defada değil adım adım artırılarak uygulanır. Bu nedenle bu yöntemler “statik itme analizi” olarak adlandırılır. İki ayrı doğrusal olmayan yöntem Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin farkını ise göz önüne alınan mod sayısı belirler [32].

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar:

– DBYBHY 7.4'de tanımlanan genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için DBYBHY 7.6.4'de tanımlanan kurallara uyulmalıdır.

– Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

–Artımsal itme analizinin DBYBHY 7.6.5'de tanımlanan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, DBYBHY 2.4'de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 7.8'de yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine

karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

– Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY 7.6.8'e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için DBYBHY 7.6.9'da tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

## **2.9. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi**

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezi'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınacaktır ( $L_p = 0.5 h$ ).

## 2.10. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Çalışmada 17 Ağustos 1999 Depremi'nde hasar görmemiş ve göçmüş binanın performansa dayalı değerlendirilmesinde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü” yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında kullanılan yöntemin amacı, kullanılabilmesi için sağlanması gereken şartlar ve yöntemin uygulama esası üzerinde durulacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır [30].

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken şartlar:

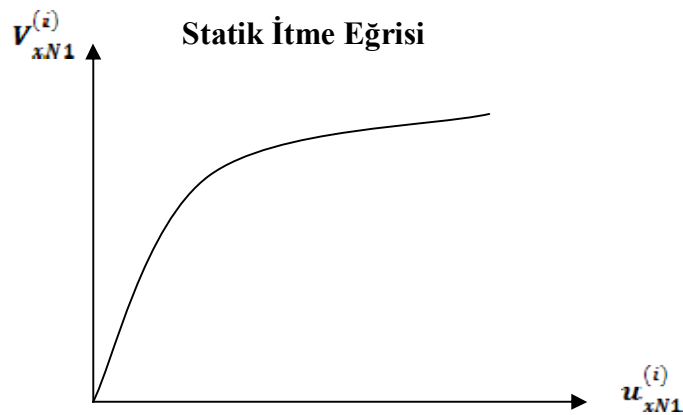
- Binanın kat sayısının (bodrum hariç) 8'den fazla olmaması,
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  olması,
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.



Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ilk kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınacaktır [30].

### 2.10.1. Modal kapasite diyagramının elde edilmesi

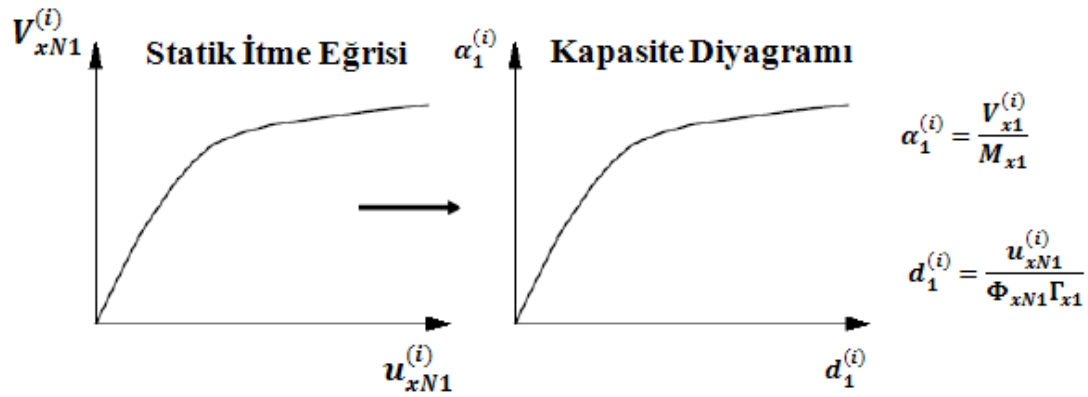
Performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmenin iki temel parametresi deprem istemi ve kapasitedir. Deprem istemi (talep) yapıya etkileyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Yapısal kapasite, statik itme eğrisi (pushover curve veya kapasite eğrisi) ile temsil edilir. Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, “yapı tepe noktası yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti” değişimini gösteren statik itme (pushover) eğrisi (Şekil 2.4.) elde edilir.



Şekil 2. 4. Statik itme eğrisi (pushover curve)

Nonlinear Statik Yöntem'in esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yerdeğiştirmelere ve özellikle maksimum plastik Őekildeğiřtirmelere ilişkin deprem istemini belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerini, seçilen performans dőzeyleri için tanımlanan Şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir. Bu, nedenle, tek başına, statik itme eğrisinin analiz edilen taşıyıcı sistemin nonlinear dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerini global olarak gőstermenin ötesinde, doğrudan bir anlamı bulunmamaktadır. Statik itme eğrisinin anlam kazanabilmesi için, eğrinin koordinatları, sistemin birinci doğal titreşim modu ile temsil edilen tek serbestlik dereceli (TSD) eşdeğer sistemin yerdeğiştirmesine karşı gelen modal yerdeğiştirme ve aynı sistemin normalize edilmiş dayanımına karşı gelen modal sözde ivme (pseudo acceleration) koordinatlarına dőnőřtürölmesi gerekmektedir. Böylece, tanımlanan sismik tehlike etkisi altında eşdeğer TSD sistemdeki en büyük yerdeğiştirmeyi ifade eden nonlinear spektral yerdeğiştirmeden yararlanılarak, deprem istemlerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. [31].

Statik itme eğrisine uygulanan koordinat dőnőřümü ile koordinatları "modal yerdeğiştirme-modal ivme" olan modal kapasite diyagramı DBYBHY 7.6.5.4'e göre elde edilir (Şekil 2.5.).



Şekil 2. 5.Statik itme eğrisinin modal kapasite diyagramına dőnőřtürölmesi

### 2.10.2. Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı

Modal yerdeğiştirme isteminin hesaplanmasındaki amaç, yapı tepe noktası yerdeğiştirme isteminin bulunmasıdır. Yapı tepe noktası yerdeğiştirmesi hesabında kullanılan modal yerdeğiştirme istemi hesap adımları DBYBHY Bilgilendirme Eki 7C’de açıklanmıştır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramının DBYBHY 2.4’de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için spektrumda yapılan değişiklikler de göz önüne alınarak birinci moda ait maksimum modal yerdeğiştirme veya modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi,  $d_1^{(p)}$ , doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeye  $S_{di1}$  eşittir:

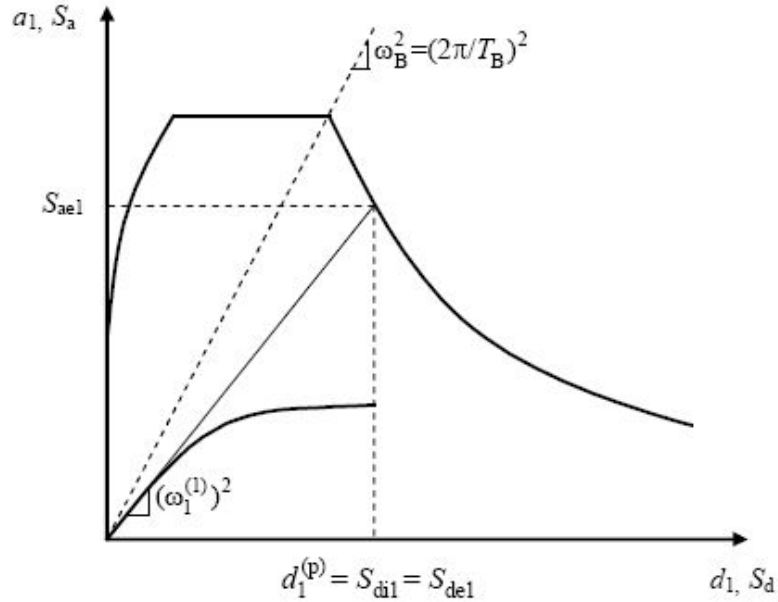
$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad \text{Denk. [2.1.]}$$

Doğrusal olmayan spektral deplasman,  $S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında,  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{del}$  ’e bağlı olarak DBYBHY Denk.(7C.1) ile elde edilir. Doğrusal elastik olmayan deplasman hesabında kullanılan birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranını,  $C_{R1}$ , başlangıç periyodunun,  $T_1^{(1)}$ , ivme spektrumundaki  $T_B$  karakteristik periyodundan uzun yada kısa olmasına göre farklı şekilde hesaplanır.

$T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun, DBYBHY 2.4’de tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyod  $T_B$ ’ye eşit veya daha uzun olması durumunda doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme,  $S_{di1}$ , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine,  $T_1^{(1)}$ , olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait lineer elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{del}$  ’e eşit alınacaktır ( $C_{R1}=1$ ). şekil 2.6.ve şekil 2.7’de koordinatları ( $d_1$ ,  $a_1$ ) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ )-spektral ivme ( $S_a$ )” olan davranış spektrumu ile bir arada çizilmiştir.

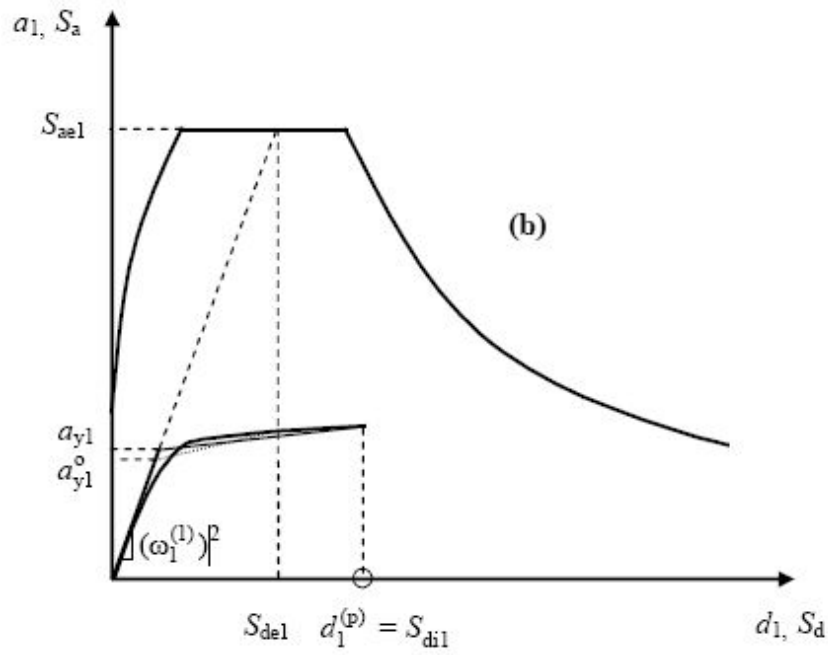
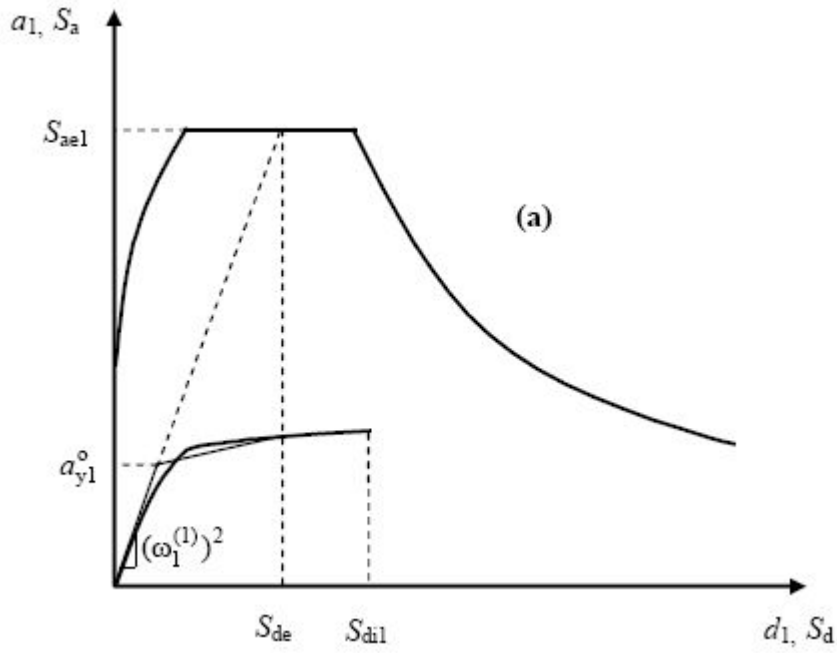
Yapı sistemlerinin performansının belirlenmesinde kullanılan talep spektrumu bir yapının, deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir. Nonlinear statik yöntemlerin temel dayanağı veya dayandığı temel varsayım, eğer, bina tamamen elastik davranıyorsa, yapacağı spektral deplasmanı binanın nonlinear davranması durumunda yapacağı inelastik spektral deplasmana eşit olmasını öngören “Eşit Yerdeğiştirme Kuralı”dır (Equivalent Displacement Rule). Diğer bir ifade ile, belirli bir değerden daha yüksek periyoda sahip (esnek yapıların) elastoplastik sistemlerin maksimum deplasmanının, aynı periyod ve sönüme sahip elastik sistemlere yaklaşık olarak eşit olması “eşit deplasman kuralı” prensibi olarak bilinmektedir.

Eşit deplasman kuralı özellikle esnek yapılar için söz konusudur ve geçerlidir. Daha küçük periyodlu veya rijit yapı sistemlerinde, elastik ötesi spektral deplasman değeri elastik spektral deplasmandan daha yüksek değere sahiptir.  $T_1^{(1)} \geq T_B$  olması halinde  $S_{d1}$  elde edilişi Şekil 2.6.’da gösterilmiştir [31].



Şekil 2. 6.  $T_1^{(1)} \geq T_B$  olması halinde inelastik spektral deplasmanın elde edilmesi

Başlangıç periyodu,  $T_1^{(1)}$ , ivme spektrumu karakteristik periyodundan,  $T_B$ , daha kısa  $T_1^{(1)} \leq T_B$  olması durumunda ise spektral yerdeğiştirme oranı ardışık yaklaşımla hesaplanır. İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür.



Şekil 2. 7.  $T_1^{(1)} \leq T_B$  olması halinde inelastik spektral deplasmanın elde edilmesi

Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1}=1$  kabulü ile eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. DBYBHY Denk. 7C.4 ve 7C.5 kullanılarak inelastik spektral deplasman değeri hesaplanır (Şekil 2.7.).

### 2.10.3. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı

Son itme adımı  $i=p$  için DBYBHY Denk. (7.4)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi  $d_1^{(p)}$  'nin DBYBHY Denk. (7.5)'de yerine konulması ile,  $x$  deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi,  $u_{xN1}^{(p)}$ , elde edilecektir:

### 2.10.4. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi

Yapı tepe noktası yerdeğiştirme isteminin hesabından sonra, hesaplanan istem değeri yapıya uygulanarak tekrar bir statik itme analizi yapılır. Analiz sonucunda kritik kesitlerdeki zorlanma durumuna bakılır. Kritik kesitlerin iç kuvvet ve/veya şekildeğiştirmelerinin kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerlerle karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hasar durumlarına karar verilir. Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

a. Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010$$

b. Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040$$

c. Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\varepsilon_s)_{GC} = 0.06$$

Kesit hasar durumlarının belirlenmesinden sonra eleman bazında hasar incelemesi yapılır. Eleman bazında hasar incelemesinde, en fazla hasar görmüş kesit göz önüne alınır. Binalar için tanımlanan dört farklı hasar durumuna bağlı olarak, bina performans düzeyinin belirlenmesinde uygulanacak kurallar aşağıdaki gibidir:

Hemen Kullanım Performans Düzeyi:

– Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde olmalıdır.

Can Güvenliği Performans Düzeyi:

– Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

– İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısının %20'nin altında olması gerekmektedir. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetleri toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

–Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi:

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü 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, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Göçme Durumu Performans Düzeyi:

- Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [30].

#### 2.10.5. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Göz önüne alınan deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 2.4'de verilen değeri aşmamalıdır. Aksi durumda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen bina hasar düzeyi değerlendirmeleri göz önüne alınmayacaktır.

Tablo 2. 4 Göreli kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
$\delta_{ji} / h_{ji}$	0.01	0.03	0.04



## **BÖLÜM 3. SAYISAL UYGULAMALAR**

### **3.1. Giriş**

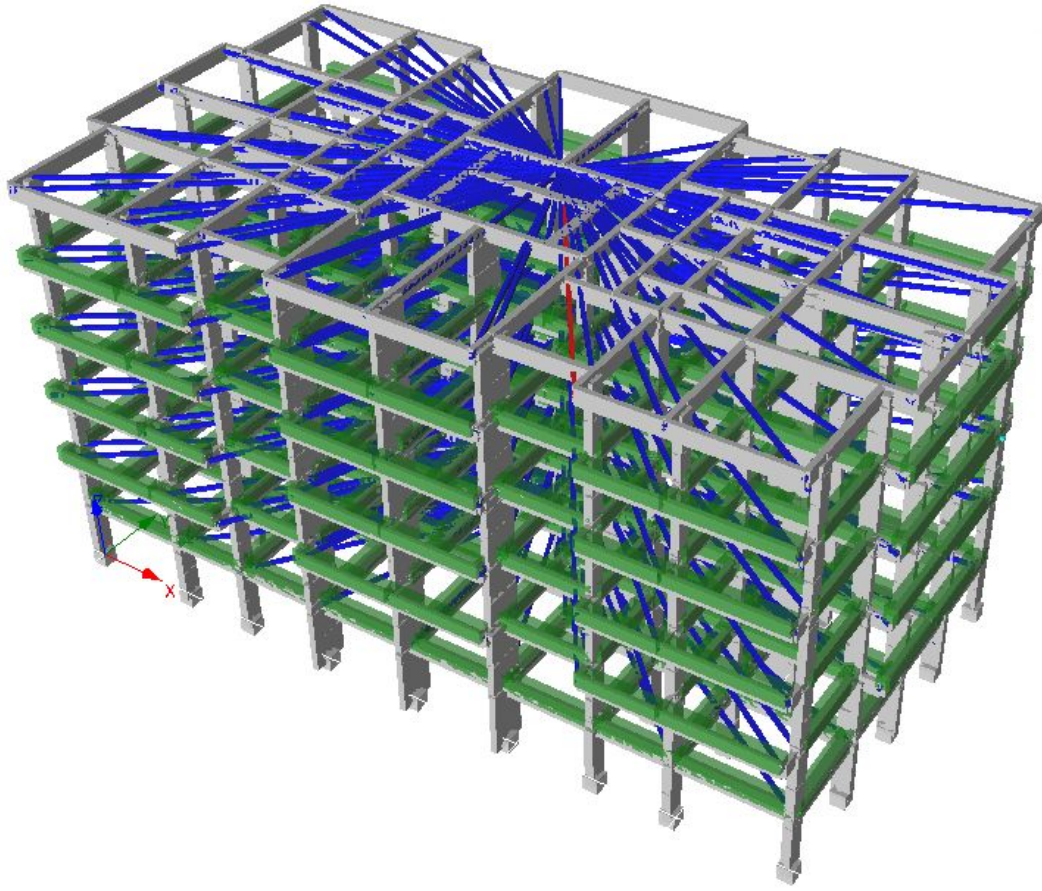
Bu bölümde 17 Ağustos 1999 Depremi'nde hasar görmemiş ve göçmüş bir binanın, DBYBHY-2007 Bölüm 7'de yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" ile performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Binanın performans değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar ile gerçekte deprem etkisi altındaki hasar durumu karşılaştırılacaktır. Yöntemin gerçeklikle uyumluluğı irdelenecektir.

Artımsal statik itme analizi ve performans değerlendirilmesi aşamasında Seismostruct bilgisayar programı kullanılmıştır [33].

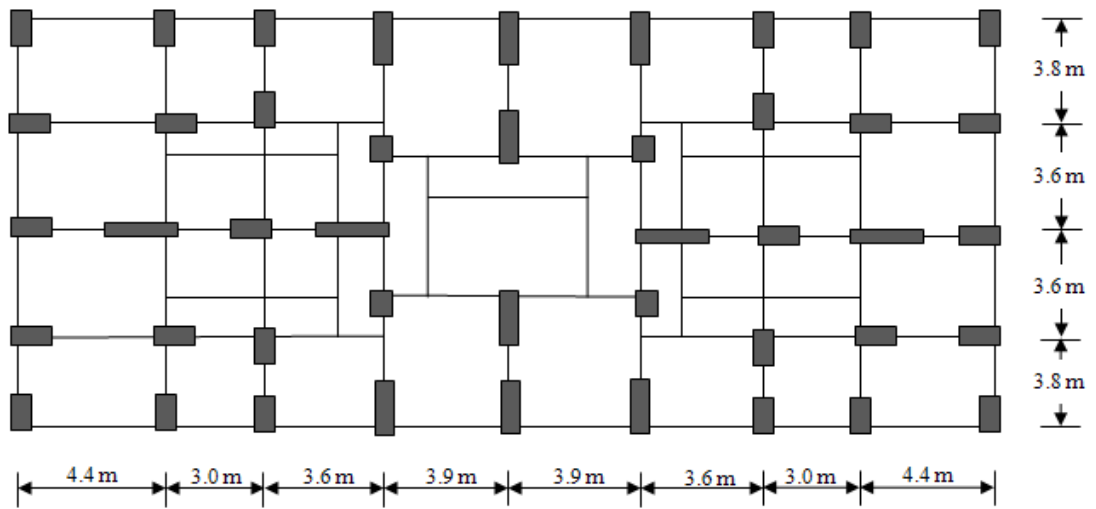
### **3.2. Hasarsız Yapı Sistemi**

Çalışmada ilk incelenen bina 17 Ağustos 1999 Depremi'nde hasar görmemiş bir binadır. Bina, bodrum üstü 5 kattır, bodrum kat yüksekliğı 2.6m, normal katları 2.8m kat yüksekliğıne sahiptir. Bina taşıyıcı sistemi çerçevelerden ve perdelerden oluşmaktadır.

Bina taşıyıcı sisteminin X yönünde 8 açıklığı, Y yönünde 4 açıklığı bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemdeki perde boyutları 25x150 cm kolon boyutları tüm katlarda değişmektedir. Kiriş boyutları ise bodrum katta 50x40 cm ve 40x40 cm, diğer katlarda 20x60 cm ve 25x60 cm boyutlarındadır.



Şekil 3. 1. Hasarsız binanın taşıyıcı sisteminin 3 boyutlu matematik modeli



Şekil 3. 2. Hasarsız bina zemin kat kalıp planı

### 3.2.1. Bina bilgileri

Kat adedi	6
Bodrum kat yüksekliği	2.6 m
Normal kat yüksekliği	2.8 m
Bina toplam yüksekliği	16.6 m
Bina kullanım amacı	Konut

### 3.2.2. Malzeme bilgileri

Beton sınıfı	C16 ( $f_{cm}= 20$ MPa)
Donatı çeliği	S420 ( $f_{ym}= 420$ MPa)
Betonarme elastisite modülü, [ $E_c$ ]	28000 MPa
Donatı çeliği elastisite modülü, [ $E_s$ ]	200000 MPa

### 3.2.3. Proje parametreleri

Deprem bölgesi	1
Etkin yer ivmesi katsayısı, [ $A_0$ ]	0.4
Bina önem katsayısı, [ $I$ ]	1
Yerel zemin sınıfı	Z2
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A=0.15$ s, $T_B=0.4$ s

### 3.2.4. Yükler

Beton yoğunluğu	25.00kN/m <sup>3</sup>
Dış duvar yükü	3.80 kN/m <sup>2</sup>
İç duvar yükü	2.50 kN/m <sup>2</sup>

### 3.3. Hasarsız Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

#### 3.3.1. Yöntemin kullanılabilirliğinin kontrolü

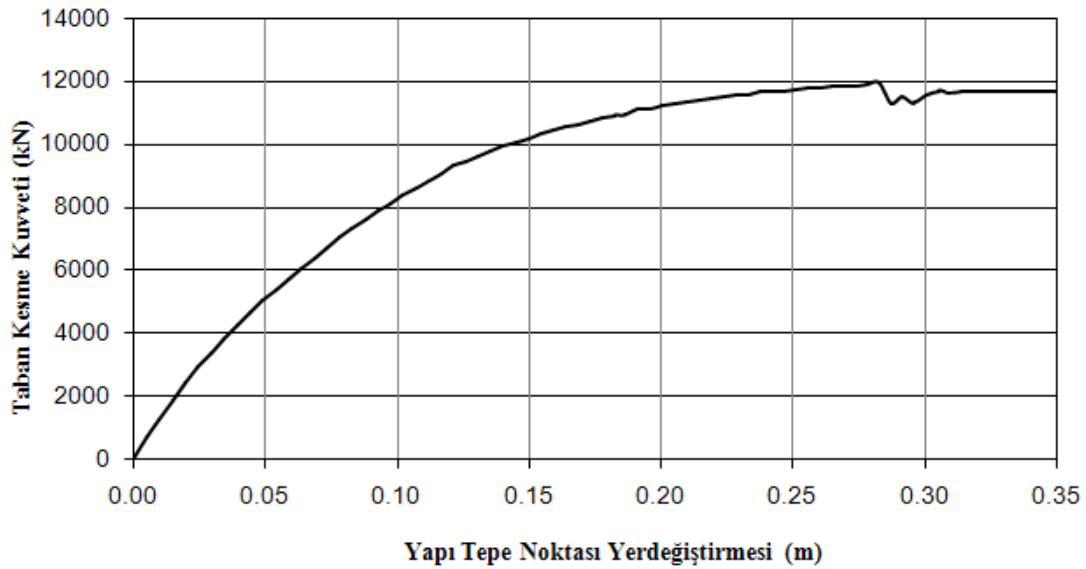
Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin kullanılabilmesi için sağlanması gereken şartlar Bölüm 2.9'da verilmiştir. İlk olarak incelenen binanın bu şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. İncelenen binanın toplam kat adedi (bodrum katı hariç) 8'i aşmamaktadır. Ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu tüm katlarda sağlamaktadır. X deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.79 ve Y deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.78 olarak hesaplanmıştır. Yöntemin uygulanabilmesi için gerekli tüm şartlar sağlandığı için Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılması uygundur denmiştir.

#### 3.3.2. Düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz

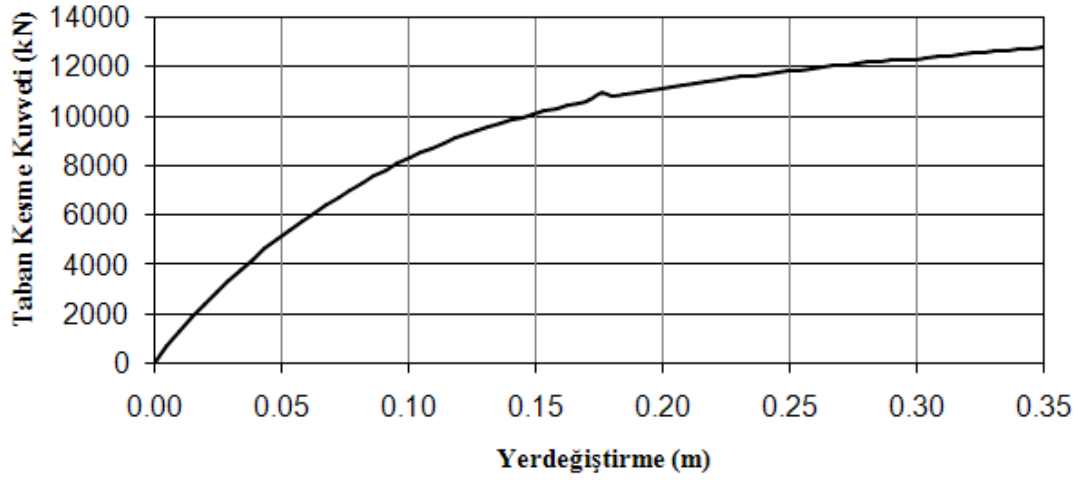
Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır. Düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarının elastik sınırdaki kalması gerekmektedir. Aksi takdirde artımsal statik itme analizine geçilmeyecektir. Yapılan analiz sonuçları elastik sınırdaki kaldığı için ikinci adım olan statik itme analizine geçilmiştir.

### 3.3.3 Artımsal statik itme analizi

Düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları doğrusal elastik sınırdan kalmıştır. Başlangıç koşulu olarak göze alınan doğrusal olmayan statik analizden sonra artımsal itme analizine geçilmiştir. Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımıyla doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanmıştır (DBYBHY 7.6.5.3). ve yapılan artımsal yüklemeler sonucunda Seismostruct bilgisayar programından X ve Y deprem doğrultusu için statik itme eğrisi Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'deki gibi elde edilmiştir.



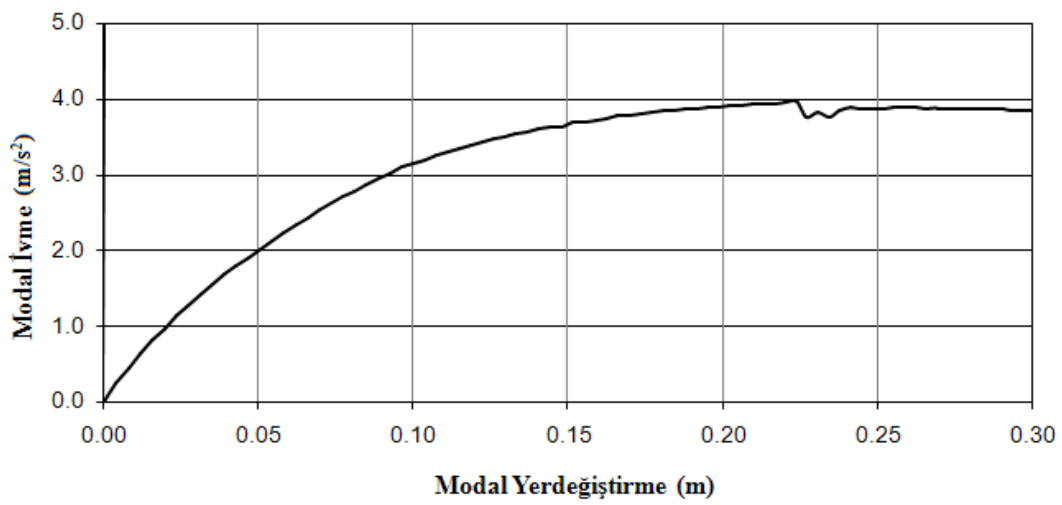
Şekil 3. 3. X Deprem doğrultusu statik itme eğrisi



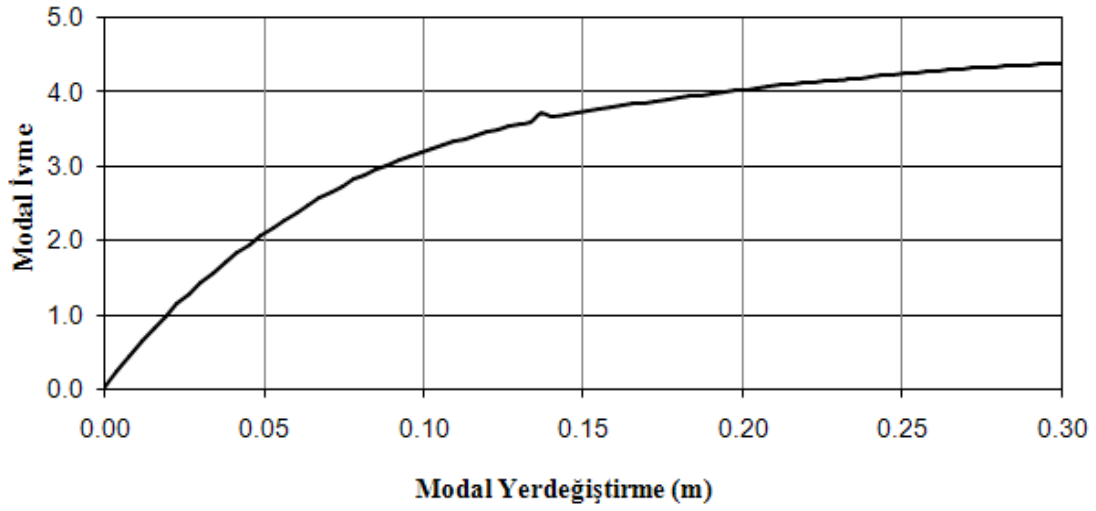
Şekil 3. 4 Y Deprem doğrultusu statik itme eğrisi

### 3.3.4. Modal kapasite diyagramı elde edilmesi

Artımsal itme analizi sonucunda elde edilen X ve Y doğrultusundaki statik itme eğrisi DBYBHY Denk.(7.1) ve (7.2) kullanılarak koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olan modal kapasite diyagramına dönüştürülmüştür.



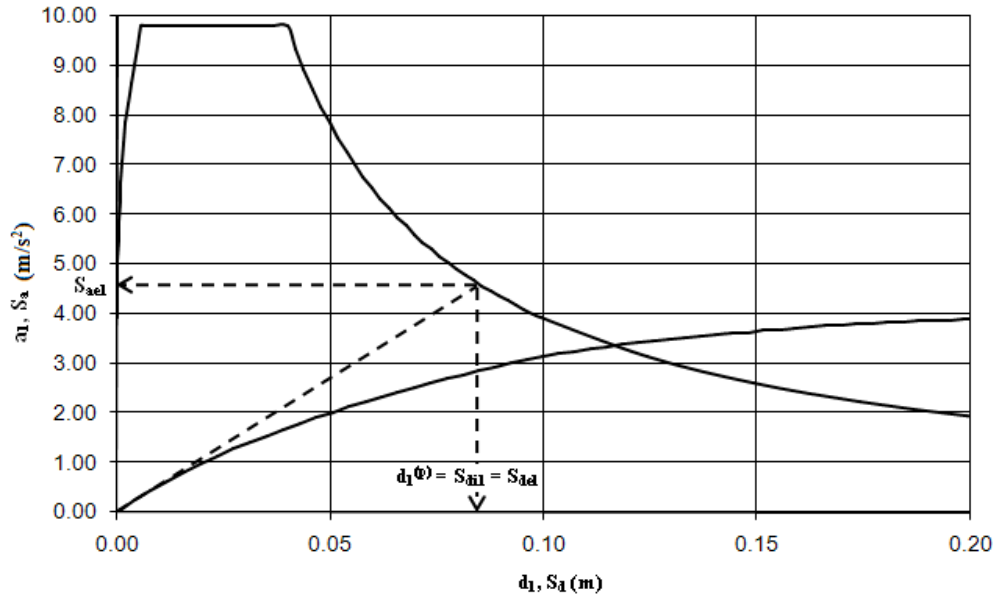
Şekil 3. 5. X Doğrultusu modal kapasite diyagramı



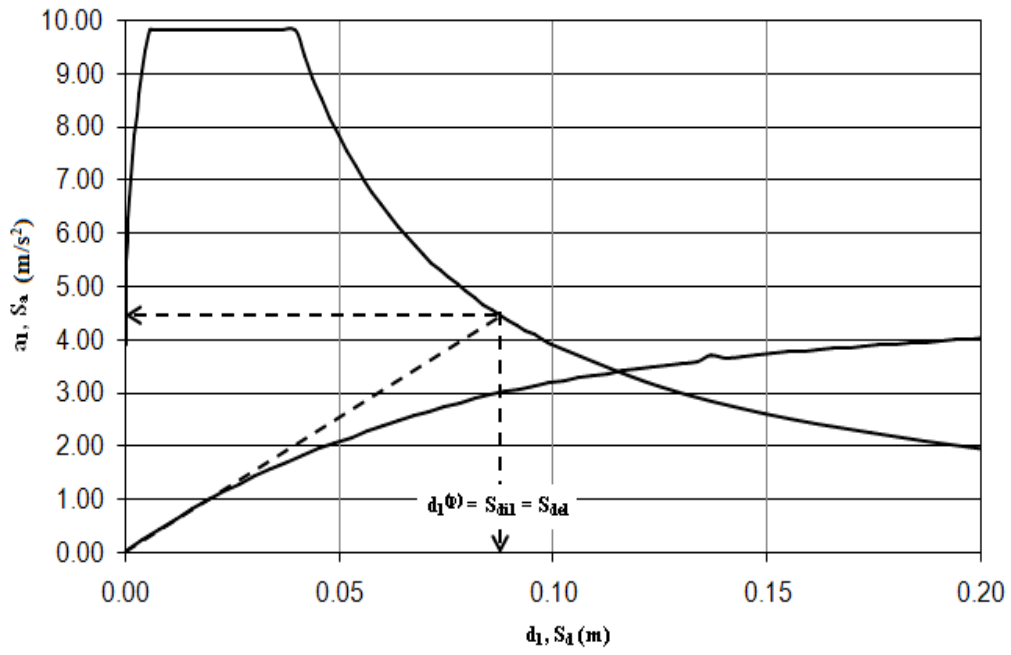
Şekil 3. 6. Y Doğrultusu modal kapasite diyagramı

### 3.3.5. Modal yerdeğişirme isteminin hesabı

Yapı tepe noktası isteminin hesaplanması için modal yerdeğişirme isteminin elde edilmesi gerekmektedir. Modal yerdeğişirme istemi, binanın kapasitesi ve depremin istemine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu amaçla, bir önceki adımda elde edilen koordinatlar “a-d” olan modal kapasite diyagramı ile, koordinatları “ $S_a S_d$ ” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir (Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.).



Şekil 3. 7 X Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ )



Şekil 3. 8 Y Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ )



Modal yerdeğiştirme istemini elde etmek için ilk olarak nonlineer spektral deplasman hesaplanmıştır.  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyodu, davranış spektrumu karakteristik periyodu  $T_B$ 'den uzun olduğu için eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca nonlineer spektral deplasman, doğrusal elastik sisteme ait lineer elastik spektral deplasmana eşit olarak alınmıştır ( $S_{dil}=S_{del}$ ). Buna göre X doğrultusu için modal yerdeğiştirme istemi hesabı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$S_{dil} = C_{R1} S_{del} \quad \text{Denk. [3.1.]}$$

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad \text{Denk. [3.2.]}$$

$$S_{ael}=4.3164 \text{ m/s}^2$$

$$(\omega_1^{(1)})^2=46.21 \text{ s}^2$$

$S_{del}=0.0934 \text{ m}$  olarak bulunmuştur (Şekil 3.7. ).

$T_1^{(1)}=0.924 \text{ s} > T_B=0.4 \text{ s}$  olduğundan dolayı  $C_{R1}=1$ 'dir. Buradan;

$$S_{dil} = 1 * 0.0934 = 0.0934 \text{ m' dir.}$$

$d_1^{(p)} = S_{dil} = 0.0934 \text{ m}$  olarak Denk. [2.1.]'den hesaplanır.

Y doğrultusu için modal yerdeğiştirme istemi hesabı Denk. [3.1.]ve Denk. [3.2.]'den;

$$S_{ael}=4.46 \text{ m/s}^2$$

$$(\omega_1^{(1)})^2=50.97 \text{ s}^2$$

$S_{del}=0.0875 \text{ m}$  olarak bulunmuştur (Şekil 3.8. ).

$T_1^{(1)}=0.88 \text{ s} > T_B=0.4 \text{ s}$  olduğundan dolayı  $C_{R1}=1$ 'dir. Buradan;

$$S_{dil} = 1 * 0.088 = 0.088 \text{ m' dir.}$$

$d_1^{(p)} = S_{dil} = 0.088 \text{ m}$  olarak Denk. [2.1.]'den hesaplanır.

### 3.3.6. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı

X ve Y deprem doğrultusundaki yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı DBYBHY 7.6.5.7.'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad \text{Denk. [3.3.]}$$

$$u_{xN1}^{(p)} = 0.023 * 54.901 * 0.0934 = 0.118 \text{ m}$$

Y doğrultusu yapı tepe noktası yerdeğiştirmesi Denk. [3.3.]'den;

$$u_{yN1}^{(p)} = 0.0236 * 54.408 * 0.088 = 0.113 \text{ m}$$

Binaya, hesaplanan doğrultuda yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemine kadar bir statik itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi sonucunda elde edilen kesit Şekildeğiştirme istemleri, kesit hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesit hasar durumlarına karar verilmiştir. X ve Y deprem doğrultusunda yapılan itme analizi sonucunda hesaplanan tüm kesit iç kuvvetlerin ve Şekildeğiştirmelerin, tanımlanan kesit hasar sınırları ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin minimum (MN) hasar bölgesinde olduğuna karar verilmiştir. Eleman hasar sınırı belirlerken dikkat edilmesi gereken husus en fazla hasar görmüş kesitin göz önüne alınmasıdır. Tüm kesitler minimum (MN) hasar bölgesinde olduğu için tüm elemanlar minimum hasar bölgesindedir. Bina performans düzeyi ise ilgili kattaki elemanların hasar durumlarına bakılarak belirlenir. Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve bina performans seviyesi Hemen Kullanım (Hasarsızlık, HK) Performans Seviyesi olarak belirlenmiştir.

### 3.3.7. Görelİ kat ötelemelerinin kontrolü

İç kuvvet ve Şekildeğiştirme değerleri kontrolü yapıldıktan sonra göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin görelİ kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için kontrol edilir. Kat ötelemelerinin Tablo 2.4.'deki değerİ aşmaması gerekmektedir. Aksi durumda yapılan hasar değerlendirmesi göz önüne alınmayacaktır.

X doğrultusu için görelî kat ötelemesi kontrolü;

5. kat için görelî kat ötelemesi kontrolü;

$$\delta_{ji}/h_{ji} = (0.118 - 0.109) / 2.8 = 0.0032 < 0.01$$

5. kat için, görelî kat ötelemesi minimum hasar sınırındadır. X ve Y doğrultusu için tüm katlara ait görelî kat ötelemesi kontrolleri ve hasar sınırları Tablo 3. 1. ve Tablo 3. 2.'de verilmiştir.

Tablo 3. 1. X doğrultusu için görelî kat ötelemesi kontrolü

Düğüm Noktası	Yer Değıştirme	Kat	Görelî Kat Ötelemesi Oranı ( $\delta_{ji} / h_{ji}$ )	Hasar Durumu
n547	0.118	5	0.0032 < 0.01	MN
n546	0.109	4	0.0057 < 0.01	MN
n545	0.093	3	0.0079 < 0.01	MN
n544	0.071	2	0.0096 < 0.01	MN
n543	0.044	1	0.0093 < 0.01	MN
n542	0.018	Bodrum	0.0069 < 0.01	MN

Tablo 3. 2. Y doğrultusu için görelî kat ötelemesi kontrolü

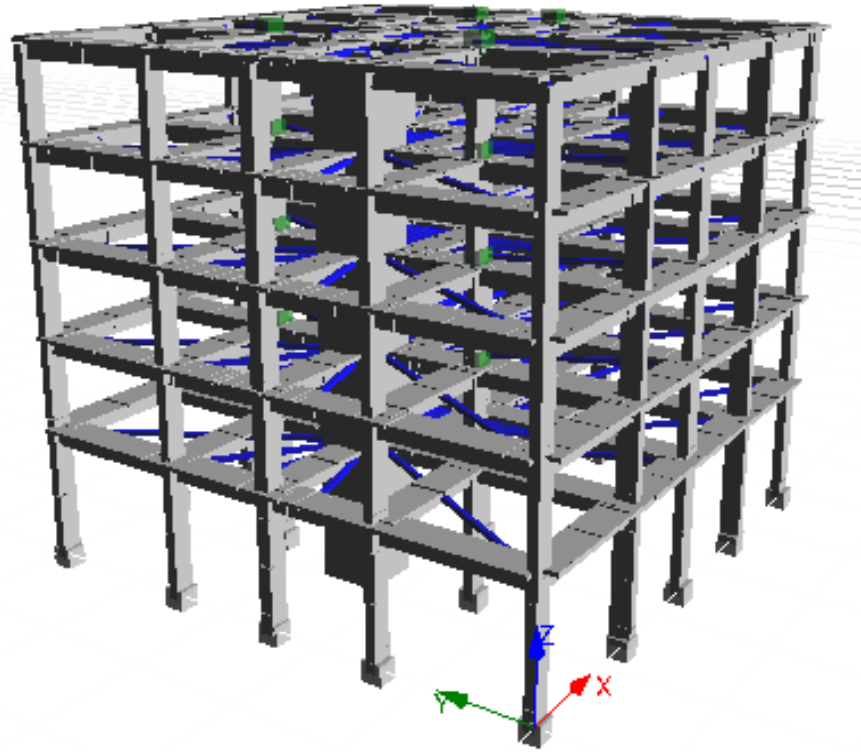
Düğüm Noktası	Yer Değıştirme	Kat	Görelî Kat Ötelemesi Oranı ( $\delta_{ji} / h_{ji}$ )	Hasar Durumu
n547	0.113	5	0.0053 < 0.01	MN
n546	0.098	4	0.0057 < 0.01	MN
n545	0.082	3	0.0078 < 0.01	MN
n544	0.060	2	0.0085 < 0.01	MN
n543	0.036	1	0.0082 < 0.01	MN
n542	0.013	Bodrum	0.0090 < 0.01	MN

Görelî kat ötelemeleri kontrolü sonucunda binanın performans düzeyinin Hemen Kullanım performans düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

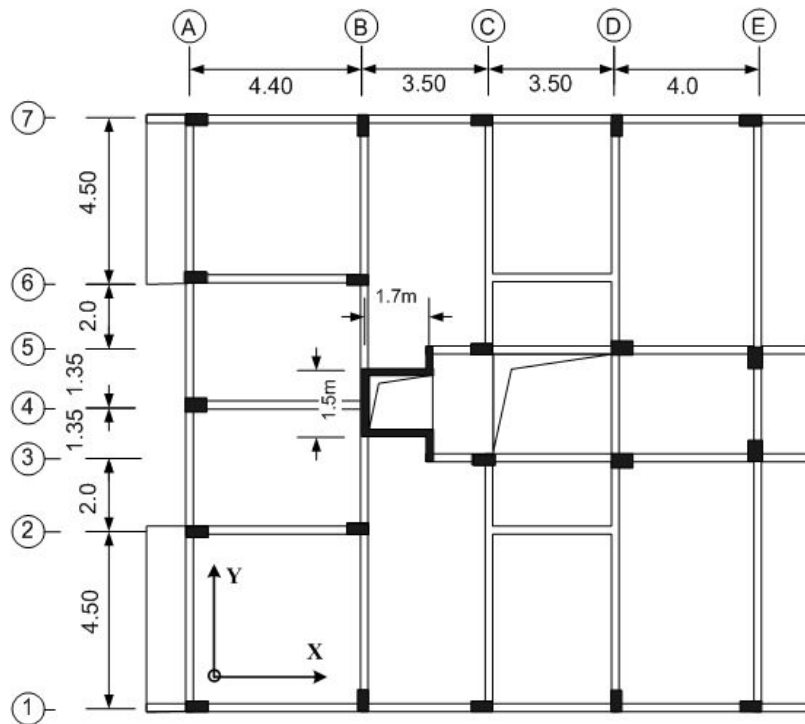
### 3.4. Göçmüş Yapı Sistemi

Çalışmada ikinci olarak incelenen bina 17 Ağustos 1999 Depremi'nde göçmüş bir binadır. Bina 5 katlı, zemin kat yüksekliği 4.0 m, normal katlar 2.8m kat yüksekliğine sahiptir (Şekil 3.9.). Bina oturma alanı 304m<sup>2</sup> 'dir. Binanın taşıyıcı sistemi çerçevelerden ve asansör çevresine yerleştirilmiş bir çekirdek perdeden oluşmaktadır. Bina bir doğrultuda simetriktir, eksantrisitesi düşüktür, burulma rijitliği ise yeterlidir (Şekil 3.10.).

Kolon boyutları A4, D3, D5, E3 ve E5 kolonları 0.40x0.60 m, diğer kolonlar 0.30x0.60 m boyutlarındadır. Asansör boşluğu perde boyutları 1.50x1.70x0.25 m kalınlığındadır (Şekil 3.10.). Kiriş boyutları 0.25x0.60 m dir. Yapıya ait malzemenin mekanik özellikleri, kabuk beton basınç dayanımı, 16 MPa, maksimum gerilmede kabuk beton birim şekil değiştirmesi, 0.002 ve çelik akma dayanımı 420 MPa 'dır.



Şekil 3. 9. Göçmüş binanın taşıyıcı sisteminin 3 boyutlu matematik modeli



Şekil 3. 10. Göçmüş bina kat kalıp planı

### 3.4.1. Bina bilgileri

Kat adedi	5
Bodrum kat yüksekliği	4.0 m
Normal kat yüksekliği	2.8 m
Bina toplam yüksekliği	15.2 m
Bina kullanım amacı	Konut

### 3.4.2. Malzeme bilgileri

Beton sınıfı	C16 ( $f_{cm}= 20$ MPa)
Donatı çeliği	S420 ( $f_{ym}= 420$ MPa)
Betonarme elastisite modülü, [ $E_c$ ]	28000 MPa
Donatı çeliği elastisite modülü, [ $E_s$ ]	200000 MPa

### 3.4.3. Proje parametreleri

Deprem bölgesi	1
Etkin yer ivmesi katsayısı, [ $A_0$ ]	0.4
Bina önem katsayısı, [ $I$ ]	1
Yerel zemin sınıfı	Z3
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A=0.15$ s, $T_B=0.6$ s

### 3.4.4. Yükler

Beton yoğunluğu	25.00kN/m <sup>3</sup>
Dış duvar yükü	3.80 kN/m <sup>2</sup>
İç duvar yükü	2.50 kN/m <sup>2</sup>

### **3.5. Göçmüş Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi**

#### **3.5.1. Yöntemin kullanılabilirliğinin kontrolü**

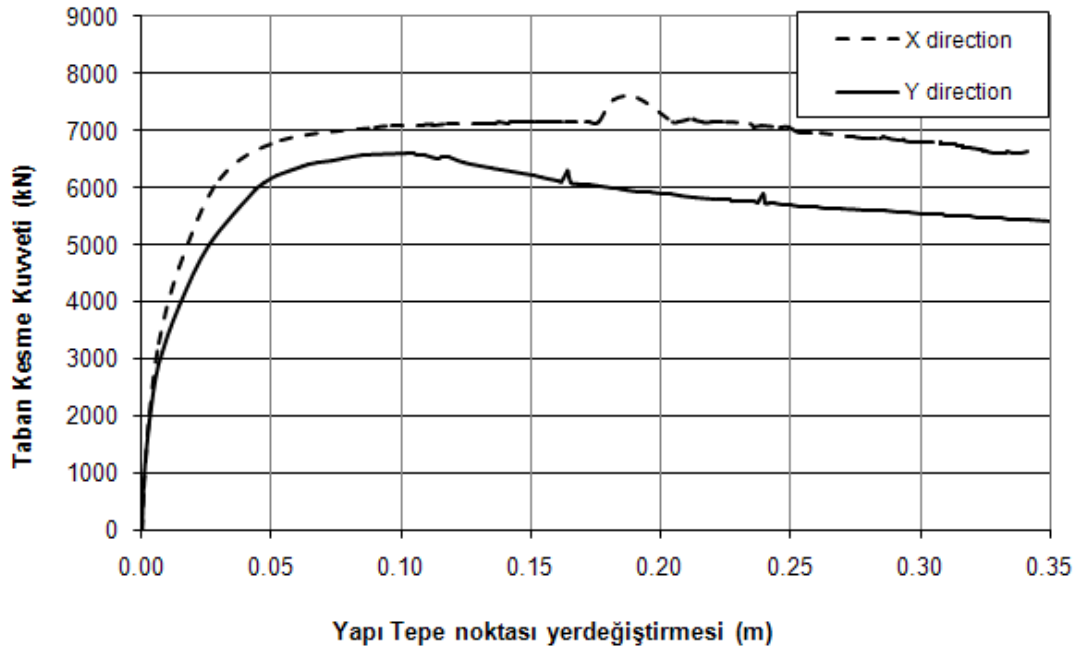
İncelenen binanın toplam kat sayısı 8'i aşmamaktadır. Ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu tüm katlarda sağlamaktadır. X ve Y deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.84 'dir, bu oran 0.70'den daha büyük olduğu için bu şartı sağlamaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için gerekli tüm şartlar sağlandığı için Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılması uygundur denmiştir.

#### **3.5.2. Düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz**

Düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz sonuçları elastik sınırdan kalmıştır ve sonraki aşama olan artımsal statik itme analizinin başlangıç koşulu sağlanmıştır.

#### **3.5.3 Artımsal itme analizi**

Seismostruct bilgisayar programından X ve Y deprem doğrultusu için statik itme eğrisi Şekil 3.11.'deki gibi elde edilmiştir.

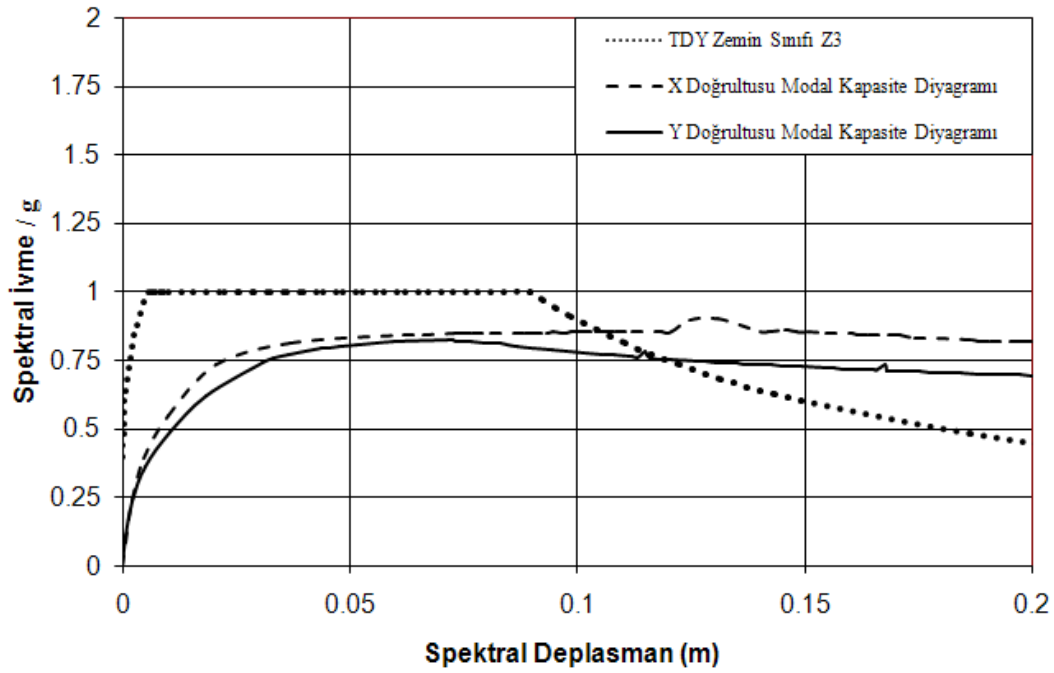


Şekil 3. 11. X ve Y deprem doğrultusu statik itme eğrisi

### 3.5.4. Modal kapasite diyagramı ve modal yerdeğiştirme isteminin hesabı

X ve Y doğrultusu için elde edilen modal kapasite diyagramları ile davranış spektrumu, modal yerdeğiştirme istemi hesabı için Şekil 3.12.'deki gibi bir arada çizilmiştir.





Şekil 3. 12. X ve Y Doğrultusu modal kapasite-davranış spektrumu ( $S_{di}=d_1^{(p)}$ )

### 3.5.5. Yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı

X ve Y deprem doğrultusundaki yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi hesabı DBYBHY 7.6.5.7.'ye göre hesaplanmıştır. Buna göre;

X doğrultusundaki yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi  $u_{xN1}^{(p)} = 0.108$  m, Y doğrultusundaki yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemi  $u_{yN1}^{(p)} = 0.0873$  m olarak hesaplanmıştır.

Binaya, hesaplanan doğrultularda yapı tepe noktası yerdeğiştirme istemine kadar bir statik itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi sonucunda elde edilen sonuçlar kesit, eleman bazında ele alınmış ve daha sonra bina performans düzeyine karar verilmiştir. Bina yapılan hesaplamalar sonucunda bina can güvenliği performans düzeyinde çıkmıştır.

## BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

17 Ağustos 1999 Marmara depreminin ardından birçok yerli ve yabancı araştırma grupları tarafından doğal deprem laboratuvarı olarak algılanan Adapazarı, deprem şartnamelerine yeni girmeye başlayan yeni hesap yöntemlerinin sınanması açısından çok önemli bilgiler sağlamıştır. Bu çalışmada Türkiye Deprem Şartnamesi'ne yeni giren ve mevcut yapıların deprem performansını hesaplamayı amaçlayan doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sınanmıştır.

Seçiler binaların yapı kalitesinin iyi olması, mühendislik hizmeti görmesi gözönünde bulundurulduğunda, bu çalışmada incelenen ilk yapıdan çıkan sonuç, 1975 deprem yönetmeliğine göre projelendirilen ve inşa edilen bir yapının öngörülenin çok üzerinde deprem performansı göstermesidir. Bu sonuç, deprem sonrası pek çok kamu kuruluşuna ve özel kişilere ait binaların, 1998 Deprem Yönetmeliği'ni sağlamaması nedeniyle güçlendirilmesine karar verilmesinin genellikle bilimsel temele dayanmadığını göstermektedir. İncelenen ikinci yapıdan çıkan sonuç, deprem yükünün ağırlıklı olarak perdelerle taşınan binalarda doğrusal elastik olmayan statik yöntemlerin iyi sonuçlar veremeyeceğidir. Çünkü perdede mafsallı oluştuğunda yapının dinamik karakteristikleri tamamen değişmektedir. Bu nedenle iyi sonuçlar elde edilememektedir.

Çalışmada incelenen ve depremde göçtüğü belirtilen yapının performansı CG olarak hesaplanmıştır. Bunun en önemli nedenlerinden biri, yapının perdeli yapı olması nedeniyle deprem isteminin düşük hesaplanması ve zemin katında dolgu duvarın olmaması nedeniyle zayıf kat düzensizliği olabileceği tahmin edilmiştir. Çünkü bu çalışmada, dolgu duvarların taşıyıcı sisteme etkisi gözönüne alınmamıştır. Fakat, Güney Batı doğrultusunda göçen bina, statik itme işleminde simüle edilmiştir.

Bu çalışmanın motivasyonu, Türkiye bilim çevrelerinde yaygın olan bir kanaat olan “performansa dayalı hesap yöntemlerinin 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği’ne girmeden önce yeterli bilimsel çalışma yapılmalıydı” görüşüne dayanmaktadır. Ancak sadece iki bina incelenebilmiştir. Çalışma, depremde farklı performans gösteren çok sayıda binalarla genişletildiği takdirde, Yönetmeliğe yeni giren yöntemlerin kalibre edilmesinde önemli rol oynayacaktır. Ayrıca, bu çalışmada dolgu duvar etkisi ihmal edilmiştir. İncelenecek binalarda dolgu duvarların etkisi de göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmada, talep spektrumu olarak tasarım spektrumu kullanılmıştır. Talep spektrumu, tasarım spektrumunun orta şiddetli depremler için 0.5, şiddetli depremler için 1.0 ve çok şiddetli depremler için 1.5 katsayısı ile çarpılarak elde edilmiştir. Bu katsayıların bilimsel bir dayanağı yoktur. Gelecekte yapılacak çalışmalarda öncelik talep spektrumunun elde edilmesine verilmelidir. Çünkü deprem isteminin hesaplanması en önemli parametrelerdendir.

## KAYNAKLAR

- [1] KUTANIS, M., Statik Itme Analizi Yöntemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi, YOGS, Pamukkale-DENİZLİ, 7-8 Aralık 2006.
- [2] OFLAZ, U., Nonlinear Statik Pushover (Iteleme) Analizi, URL: <http://www.y-gm.net/push.asp>, Mart.2008.
- [3] ÖZER, E., Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım.
- [4] KUTANİS, M., ORAK, E., ÖZCAN, Z., Betonarme Binaların Performans Düzeylerinin Deprem Geçirmiş Binalarla İlişkilendirilerek Belirlenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.
- [5] GÜLKAN, P., and SÖZEN, M., Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions, ACI Journal 71 (21), 604-610, 1974.
- [6] SHIBATA, A., and SÖZEN, M. A., Substitute-Structure Method for Design In R/C, Journal of The Structural Division, ASCE, Vol. 102, No. ST1, January, pp. 1-18, 1976.
- [7] PRIESTLY, M. J. N., Myths and Fallacies, in Earthquake Engineering-Conflicts Between Design and Reality, Bulletin, NZ National Society for Earthquake Engineering, New Zealand, Vol. 26, No. 3, pp. 329-341.
- [8] PRIESTLY, M. J. N., and KOWALSKY, M.J., Direct Displacement-Based Seismic Design of Concrete Buildings, Bulletin, Nz National Society for Earthquake Engineering, New Zealand, Vol. 33, No. 4, pp. 421-444, 2000.
- [9] PRIESTLY, M. J. N., Myths and Fallacies, in Earthquake Engineering, Revisited, The Mallet Milne Lecture, IUSS Press, Pavia, Italy, 2003.
- [10] SAIIDI, M., and SÖZEN, M.A., Simple Nonlinear Seismic Response of R/C Structures, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 107, 937-952, 1981.
- [11] FAJFAR, P., and FISCHHINGER, M., N2-A Method for Non-Linear Seismic Analysis of Regular Buildings, Proceedings, 9<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings Book, Tokyo, Kyoto, Japan, Paper 7-3-2, 1988.

- [12] FREEMAN, S. A., Performance Based Earthquake Engineering During The Last 40 Years, Earthquake Engineering: Essentials and Applications Workshops, EERC METU, Ankara, July, 2005.
- [13] AYDINOĞLU, M.N., An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Elastic Spectral Deformation for Multi-Mode Seismic Evaluation, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 3-36, 2003.
- [14] PARET, T. F., SASAKI, K. K., D. H. EILBECK and FREEMAN, S. A., Approximate Inelastic Procedures to Identify Failure Mechanism from Higher Mode Effects. In Proc., 11<sup>th</sup> World Conf. Earthquake Engineering, Paper No. 966, Acapulco, Mexico, 1996.
- [15] SASAKI, F., FREEMAN, S., and PARET, T., Multi-Mode Pushover Procedure (MMP)-A Method to Identify The Effect of Higher Modes in A Pushover Analysis, Proc. 6<sup>th</sup> U.S. National Conference on Earthquake Engineering Seattle, CD-ROM, EERI, Oakland, 1998.
- [16] CHOPRA, A.K. and R.K. GOEL, A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimating Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation. PERR Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
- [17] MOGHADAM, A. S., A Pushover Procedure for Tall Buildings. Proceedings of The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, London, United Kingdom, Paper No. 395, 2002.
- [18] BRACCI, J.M., KUNNATH, S.K., and REINHORN, A.M., Seismic Performance and Retrofit Evaluation of Reinforced Concrete Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, pp. 3-10, 1997.
- [19] GUPTA, B. and KUNNATH, S.K., Adaptive Spectra-Based Pushover Procedure for Seismic Evaluation of Structures. Earthquake Spectra 16 (2), 367-391, 2000.
- [20] ELNASHI, A.S., Advanced Inelastic Static (Pushover) Analysis for Earthquake Applications. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 12, No. 1, pp. 51-69, 2001.
- [21] PAPANIKOLAOU, V. K., and ELNASHI, A. S., Evaluation of Conventional and Adaptive Pushover Analysis I: Methodology, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 9, No. 6, pp. 923-941, 2005.
- [22] PAPANIKOLAOU, V. K. and ELNASHI, A. S., Evaluation of Conventional and Adaptive Pushover Analysis II: Methodology, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 127-151, 2006.

- [23] ANTONIU, S. and PINHO, R., Advantages and Limitations of Adaptive and Non-Adaptive Force-Based Pushover Procedures. Journal of Earthquake Engineering, Vol 8, No. 4, pp. 497-552, 2004a.
- [24] ANTONIU, S. and PINHO, R., Development and Verification of a Displacement-Based Adaptive Pushover Procedure, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 5, pp. 643-661, 2004b.
- [25] IRTEM, E., TÜRKER, K., HASGÜL, U., Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 6-8 Ekim 2004.
- [26] UÇAR, T., Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] KUTANIS, M., Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Performans Yaklaşımı-1, İMO Sakarya Bülteni.
- [28] AYDINOĞLU, N., Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yöntemi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.
- [29] MERMER, S., Mevcut Bir Yapının Yeni Deprem Yönetmeliğine (DBYBHY-2007) Göre Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [30] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [31] KUTANIS, M., Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Performans Yaklaşımı-2, İMO Sakarya Bülteni.
- [32] SUCUOĞLU, H., Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirilmesi, 2007.
- [33] SEISMOSOFT Seismostruct-A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures (Online). Available from URL: <http://www.seismosoft.com>, Ekim 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

Elif ORAK, 07.02.1985 tarihinde Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2003 yılında Sakarya Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2006 yılında bitirdi. 2006-2007 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2006 yılı Aralık ayından beri Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.