

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPI DİNAMİK DAVRANIŞININ YÖNETMELİK
ÇERÇEVESİNDE TANIMLANMIŞ DEPREM YÜKLERİ İÇİN
DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE
İNCELENMESİ**

KORAY KONDAKCI

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ




YAPI DİNAMİK DAVRANIŞININ YÖNETMELİK
ÇERÇEVESİNDE TANIMLANMIŞ DEPREM YÜKLERİ İÇİN
DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE
İNCELENMESİ

KORAY KONDAKCI

Doç.Dr. Kemal BEYEN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. İhsan Engin BAL
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.

Doç.Dr. Fuat OKAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.07.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İlk olarak yaşamımın her anında yanımda olan ve beni her konuda büyük bir özveriyle destekleyen aileme çok teşekkür ederim. Yüksek lisans programında aldığım eğitim boyunca deprem mühendisliği konularında gelişmemde elimden tutan ve beni hep destekleyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kemal Beyen'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Son olarak, Bu tezin hesap ve yazım aşamasında beni yalnız bırakmayan beni hem sosyal hem de akademik olarak destekleyen Sevgi Harman ve Serkan Engin'e çok teşekkür ederim.

Haziran – 2014

Koray KONDAKCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. YÖNETMELİKLERLE İLGİLİ GELİŞMELER.....	3
2. ÜLKEMİZDE DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE İLGİLİ GELİŞMELER.....	50
2.1. Yapısal Elemanların Hasar Sınırları ve Bölgeleri.....	50
2.2. Betonarme Yapılarda Deprem Performansı.....	5
2.2.1. Hemen kullanım performans seviyesi.....	6
2.2.2. Can güvenliği performans seviyesi.....	6
2.2.3. Göçme öncesi performans seviyesi	7
2.2.4. Göçme durumu	7
2.3. Deprem Etkisi	8
2.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	8
2.5. Betonarme Yapılarda Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri	9
2.6. Deneysel Modal Analiz	11
3. DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	13
3.1. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleri	13
3.2. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri	14
3.2.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi	14
3.2.1.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirlik	
koşulları.....	15
3.2.1.2. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde yapılan	
kabuller.....	15
3.2.1.3. Kapasite eğrisinin elde edilmesi	17
3.2.1.4. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi	19
3.2.1.5. Deprem talep spektrum eğrisinin elde edilmesi.....	20
3.2.1.6. Modal kapasite eğrisi ile deprem talep spektrum eğrisinin	
kesiştirilmesi.....	21
3.2.1.7. Kesit hasarlarının tespit edilmesi	23
3.2.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi.....	26
3.2.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	26
4. ÇALIŞMA BİNASI	27
4.1. Geçmişten Günümüze Model Güncelleme Ve Kriterleri	30
4.1.1. Nümerik modelin tanılama sonuçlarıyla güncelleme çalışmaları	31
4.1.2. Güncellemede verimlilik değerlendirilmesi	33
4.2. Bina Modelinde Güncelleme Çalışmaları.....	33
5. PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ	52
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	69

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kesit hasar sınırları ve bölgeleri	5
Şekil 2.2.	Yapı performans düzeyleri	6
Şekil 2.3.	Tipik bir deneysel modal analiz yöntemi ölçüm düzeneği	12
Şekil 3.1.	Tipik bir betonarme elemanda kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi	16
Şekil 3.2.	Pekleşme etkisine göre moment-plastik dönme bağıntıları	16
Şekil 3.3.	Yapıya ait doğrusal ve doğrusal olmayan kapasite eğrileri	18
Şekil 3.4.	Modal kapasite eğrisi.....	20
Şekil 3.5.	Birinci derece deprem bölgesine ait tasarım depremi altında deprem talep spektrumu	21
Şekil 3.6.	$T_1 > T_B$ durumunda spektral yer değiştirmenin bulunması.....	21
Şekil 3.7.	$T_1 < T_B$ durumunda spektral yer değiştirmenin bulunması.....	22
Şekil 3.8.	Sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları.....	23
Şekil 3.9.	Donatı çeliği malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları	24
Şekil 4.1.	Binanın dış cephe fotoğrafı.....	27
Şekil 4.2.	a) Döşeme hasarı (b) Kolon alt bölgesinde mafsallaşma (c) Kiriş eğilme hasarı (d) Kolon kesme hasarı	28
Şekil 4.3.	Hasarlı kolonlar	29
Şekil 4.4.	Kütle güncellemesine bağlı FRF değişimi.....	32
Şekil 4.5.	Rijitlik güncellemesine bağlı FRF değişimi	32
Şekil 4.6.	İzleme-kaydetme şebekesi (AREL-DAC serisi) [11].....	34
Şekil 4.7.	Yapı üzerinde kurulan ağ.....	34
Şekil 4.8.	Yapay deprem üretici.....	35
Şekil 4.9.	x yönlü ivme değerleri.....	36
Şekil 4.10.	y yönlü ivme değerleri.....	36
Şekil 4.11.	x yönlü yükleme için x yönlü ivme değerleri	37
Şekil 4.12.	x yönlü yükleme için y yönlü ivme değerleri	37
Şekil 4.13.	y yönlü yükleme için x yönlü ivme değerleri	38
Şekil 4.14.	y yönlü yükleme için y yönlü ivme değerleri	38
Şekil 4.15.	Çevrel titreşim etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri	39
Şekil 4.16.	Çevrel titreşim etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri	40
Şekil 4.17.	x yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri	41
Şekil 4.18.	x yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri	42
Şekil 4.19.	y yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri	43
Şekil 4.20.	y yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri	44
Şekil 4.21.	Binanın üç boyutlu modeli.....	45
Şekil 4.22.	x yönlü birinci hakim mod.....	46
Şekil 4.23.	y yönlü birinci hakim mod.....	47

Şekil 4.24. Deneysel verilerden elde edilen birinci hakim modlara ait mod şekilleri	47
Şekil 4.25. x yönlü birinci hakim mod	49
Şekil 4.26. y yönlü birinci hakim mod	50
Şekil 5.1. Boyutları 32x100 olan kirişin plastik mafsal özellikleri	53
Şekil 5.2. Boyutları 20x100 olan kolonun etkileşim diyagramı	53
Şekil 5.3. Boyutları 20x100 olan kolonun plastik mafsal özellikleri	54
Şekil 5.4. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri	55
Şekil 5.5. x doğrultusundaki yüklemeyi içeren PUSHESX analiz durumunun SAP2000’de tanımlanması	55
Şekil 5.6. SAP2000’de PUSHESX analiz durumundan elde edilen kapasite eğrisi	56
Şekil 5.7. SAP2000’den PUSHESX ile elde edilen kapasite eğrisi ve kesiştirmesi	57
Şekil 5.8. PUSHESX ile itme analizinin son adımında 0.188 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu	58
Şekil 5.9. x doğrultusundaki yüklemeyi içeren PUSHTEKMX analiz durumunun SAP2000’de tanımlanması	59
Şekil 5.10. PUSHTEKMX ile itme analizinin son adımında 0.174 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu	60
Şekil 5.11. x doğrultusundaki yüklemeyi içeren PUSHCOKMX analiz durumunun SAP2000’de tanımlanması	61
Şekil 5.12. PUSHCOKMX ile itme analizinin son adımında 0.174 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu	62
Şekil 5.13. Zaman tanım alanında analiz durumunun SAP2000’de tanımlanması	63
Şekil 5.14. YPT_60 kaydı	64
Şekil 5.15. YPT_330 kaydı	64
Şekil 5.15. YPT_UP kaydı	65
Şekil 5.17. Zaman tanım alanında analiz sonrası mafsalların durumu	66
Şekil 5.18. x doğrultusu için elde edilen histeresis eğrisi	67
Şekil 5.19. y doğrultusu için elde edilen histeresis eğrisi	67
Şekil 5.20. x doğrultusu için elde edilen yaklaştırılmış histeresis eğrisi	68
Şekil 5.21. y doğrultusu için elde edilen yaklaştırılmış histeresis eğrisi	68
Şekil 6.1. Giriş katındaki hasarlar	70
Şekil 6.2. 1. kattaki hasarlar	70
Şekil 6.3. 2. kattaki hasarlar	71
Şekil 6.4. 3. kattaki hasarlar	71
Şekil 6.5. 4. kattaki hasarlar	71
Şekil 6.6. 5. kattaki hasarlar	72
Şekil 6.7. 6. kattaki hasarlar	72

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Deprem etkisi parametreleri.....	8
Tablo 2.2. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	9
Tablo 3.1. Donatı çeliği malzemesine ait gerilme - şekil değiştirme değerleri.....	24
Tablo 3.2. Beton ve donatı çeliği malzemesinde performans değerlendirmesi için hasar sınırları.....	25
Tablo 4.1. Yapı cihaz dağılımı	35
Tablo 4.2. Birinci hakim modların periyotları ve kütle katılım oranları hakkında bilgiler	46
Tablo 4.3. Nümerik çalışma sonucu elde edilen x yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması.....	48
Tablo 4.4. Nümerik çalışma sonucu elde edilen y yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması.....	48
Tablo 4.5. Birinci hakim modların periyotları ve kütle katılım oranları hakkında bilgiler.....	49
Tablo 4.6. Nümerik çalışma sonucu elde edilen x yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması.....	50
Tablo 4.7. Nümerik çalışma sonucu elde edilen x yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması.....	51
Tablo 5.1. Γ_x hesaplanması	57
Tablo 5.2. Mod katkılarının dağıtılması.....	59
Tablo 5.3. Mod katkılarının dağıtılması.....	60
Tablo 6.1. Yöntem sonuçlarına göre hasar gören kolonların durumu ile kolonların mevcut hasar durumu arasındaki uyumluluk (%)	73
Tablo 6.2. Yöntem sonuçlarına göre hasarsız kolonların durumu ile kolonların mevcut hasarsız durumu arasındaki uyumluluk (%).....	73

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

$a_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
c	: Tarafsız eksen uzunluğu
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
d_{max}^e	: Elastik yer değiştirme
d_{max}^{ep}	: Elasto-plastik yer değiştirme
$(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
I	: Bina önem katsayısı
$[K]$: Rijitlik matrisi
L_p	: Plastik mafsal boyu
$[M]$: Kütle matrisi
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan eksenel kuvvet
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$u_{xn1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cg}	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
θ_p	: Plastik dönme istemi
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranı

$[\Phi]$: Mod şekli matrisi
φ_p	: Plastik eğrilik istemi
φ_t	: Toplam eğrilik istemi
Φ_{xn1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
φ_y	: Eşdeğer akma eğriliği

Kısaltmalar

ATC	: Applied Technology Council (Uygulamalı Teknoloji Konseyi)
CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Ulusal Acil Durum Yönetim Ajansı)
GC	: Göçme Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Performans Seviyesi
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
MAC	: Modal Assurance Criterion (Modal Gerçekleşme Kriteri)
MN	: Minimum Hasar Sınırı

YAPI DİNAMİK DAVRANIŞININ YÖNETMELİK ÇERÇEVESİNDE TANIMLANMIŞ DEPREM YÜKLERİ İÇİN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

ÖZET

Yer kabuğunun en hareketli levhaları üzerinde yer alan ülkemizde deprem sebebiyle meydana gelen can kayıpları, ülke yönetimini hep bu konuyla ilgilenmek zorunda bırakmıştır. 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğiyle birlikte yapıda oluşması muhtemel hasarların tahmini üzerine yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Doğrusal olmayan teoriyi esas alan yöntemin, yapının deprem performansının daha gerçekçi olarak belirlenmesini mümkün kılacağı düşünülmektedir. Ancak, analiz sonuçları değerlendirildiğinde, binaların yöntemlere göre farklı sonuçlar verdiği ve gerçek bir depremin oluşturacağı hasarın tam olarak belirlenemediği görülmüştür. Bu nedenle performans belirlemede kullanılan analiz yöntemlerinin irdelenmesinin ve güncellenmesinin gerektiği ve yapının dinamik karakteristiklerini daha gerçekçi yansıtan yapı tanı yöntemlerinin aktif bir şekilde kullanılmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Gölcük'teki 7 katlı bir apartman yapısı, yapı tanı çalışmaları ile kalibre edilmiş ve yönetmeliğin DBYBHY 2007 Bölüm 7'de belirtilen doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Yapı güncelleme yöntemlerinin kullanılarak binanın mevcut dinamik özelliklerini taşıyan matematiksel modeli oluşturmak hedeflenmiş daha sonra bu model doğrusal olmayan hasar görebilirlik analizlerinde kullanılmıştır. Çalışmada, incelenen binadaki mevcut hasarın, Yönetmelikte tanımlı yöntemlerle tahmin edilen hasarlardan oldukça farklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Yönetmeliği, Performansa Dayalı Tasarım, Yapı Tanılama.

INELASTIC ANALYSIS OF THE STRUCTURAL DYNAMIC RESPONSE FOR THE CODE PROPOSED EARTHQUAKE LOADS

ABSTRACT

In our country, situated on the most active plates of the Earth, the loss of life occurring due to earthquakes is always forced government to deal with it. Methods about prediction of possible structure damage have been used on with Earthquake Code enacted in 2007. Method based on nonlinear theory is considered to be more realistic to determine the seismic performance of the structure. When results were evaluated, it is seen that analyses give different results according to varieties in methods and real earthquake damage will not be determined exactly. Therefore, it is considered that examining and updating of analysis methods used for determination of performance is necessary and using structure identification methods which reflects dynamic characteristics of structure more realistically will provide the benefits. In this study, 7-story building is in Gölcük, calibrated with structural identification methods and was investigated using nonlinear analysis methods which is given Turkish Earthquake Code 2007 Section 7. Mathematical model which carries existing dynamic characteristics were aimed to generate using structural modification methods and then this model were used in damage analysis. In the study, the existing damage on the examined building was found to be quite different from the damage, estimated by methods defined in the Code.

Key words: Earthquake Code, Performance Based Design, Structural Identification.

GİRİŞ

Son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge, Japonya'daki 1995 Kobe ve Türkiye'deki 1999 Marmara depremlerinde meydana gelen can kayıpları araştırmacıları yürürlükteki deprem yönetmeliklerini sorgulamaya yöneltmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan depremlerde meydana gelen büyük hasar sonucu, yapıların deprem etkileri altında yeterli bir dayanımını öngören performans kriterine alternatif olarak, yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Yer değiştirmeye bağlı performans kriterini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirme çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Performans kriterini esas alan yöntemlerin geliştirilmesine yönelik olarak, Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından yayınlanan Bluebook ve Vision 2000, Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA 273, FEMA 356, projeleri geliştirilmiştir. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB), Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) ve Earthquake Engineering Research Institute (EERI) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır [1, 2, 3, 4, 5].

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerin kullanımı FEMA 273, FEMA 356 ve ATC 40'ın yayınlanmasından sonra hızla artmıştır. Araştırmacılar aynı deprem seviyesi altındaki aynı binalar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin

farklı davranış talepleri verdiğini ortaya koymuşlardır. Bu davranış taleplerindeki farklılıklar ilgili yöntemler üzerinde araştırmalar yapılarak yöntemlerin birbirleri ile kıyaslanmasını gerektirmiştir. Bunun sonucu olarak yöntemlerin yapı davranış taleplerini belirlemedeki eksikliklerini gidermek ve daha güvenilir doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirmek amacıyla ATC 55 projesi başlatılmıştır. ATC 55 projesi kapsamında doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile ilgili araştırmalar yapılmış ve FEMA 440 raporunda ilgili yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin geliştirilmesi (güncellenmesi) ile ilgili bilgiler yayınlanmıştır [6].

Benzer bilimsel araştırmalar Türkiye’de de yapılmış ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliği güncellenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda 2007 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik hazırlanmıştır. Bu yeni deprem yönetmeliğinin 7. Bölümünde “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” ve 7.6. Bölümünde “Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile Belirlenmesi” başlığı altında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

Bu çalışmada, Yönetmeliğin 7.6. Bölümünde açıklanan doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin, oluşacağını öngördüğu hasarların, gerçeği ne kadar yansıttığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan depremde hasar almış Gölcük’teki 7 katlı bir apartman yapısı incelenmiştir. Söz konusu yapının dinamik davranışının daha gerçekeği bir biçimde elde edilmesi için yapı tanı çalışmaları kullanılmış ve yapıya ait analitik model bu yöntemlerle güncellenmiştir. Daha sonra güncellenmiş model üzerinde Deprem Yönetmeliğinde tanımlı İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Analizi yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar mevcut yapıdaki tespitlerle karşılaştırılmıştır.

1. YÖNETMELİKLERLE İLGİLİ GELİŞMELER

BlueBook (1991)'de, performansa dayalı tasarım ile ilgili son gelişmelerin yer aldığı deprem tasarımı ile genel hususlara (performans hedefleri, yatay yükler, yöntemler vb.) yer verilmiştir [1].

VISION 2000 (1995)'de, 1994 Northridge depreminden sonra, geçmiş depremlerden edinilen tecrübelerden de yararlanarak performansa dayalı tasarımın ilk adımları atılarak yapılar için performans hedefleri, performans seviyeleri, deprem tehlike seviyelerinin tanımlamaları yapılmıştır. Projede ayrıca performansa dayalı tasarım için doğrusal olmayan analiz yöntemlerine, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek performansa dayalı tasarımın genel çerçevesi çizilmiştir [2].

ATC 40 (1996)'da, betonarme yapıların deprem yükleri altındaki performansının değerlendirilmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir. Aynı zamanda doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi için performans hedefleri, yapılarda karşılaşılan yapısal eksikliklere ve bunların giderilmesi için onarım ve güçlendirme teknikleri de açıklanmıştır. Ayrıca yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi için modelleme parametreleri ve bu parametrelere ait sınırlar da verilmiştir [3].

FEMA 273 (1997)'de, betonarme, çelik, ahşap ve hafif metal yapıların deprem yükleri altındaki performansının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi hakkında tanımlamalara ve yaklaşımlara, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine yer verilmiştir. Aynı zamanda deprem tehlike seviyeleri, performans hedefleri bina performans seviyelerinin vb. tanımları yapılmış ve sınır değerleri belirtilmiştir. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametreleri ve davranış sınırlarına ait kriterler önerilmiştir [4].

Eurocode8 (2003)'de, yapıların performans gereksinimlerine ve bunun için gerekli performans kriterlerine, depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel kurallara,

betonarme, elik, kompozit, ahşap ve yığma yapılar için tasarım ilkelerine, tasarım için analiz yöntemlerine, yapıların performans değerlendirmelerini yapabilmek için yapısal davranış parametrelerine ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerine yer verilmiştir [7].

Eurocode8 (2004)'de, yapıların performans değerlendirmelerini yapabilmek için performans tanımlamalarına, yapısal değerlendirme için gerekli tanımlamalara, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmeleri için modelleme parametrelerine ve doğrusal olmayan analiz (statik ve dinamik) yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir [8].

FEMA 356 (2000)'de, FEMA 273 projesinin 2000 yılında düzenlemesi ile ön standart olarak ortaya çıkan bu projede, betonarme, elik, ahşap ve hafif metal yapıların performans esaslı tasarım ve değerlendirmede yeni yaklaşım ve önerilere yer verilmiştir. Deprem yükleri altındaki yapıların performanslarının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Ayrıca, betonarme ve elik elemanlara ait yapısal davranış kriterleri revize edilmiştir [5].

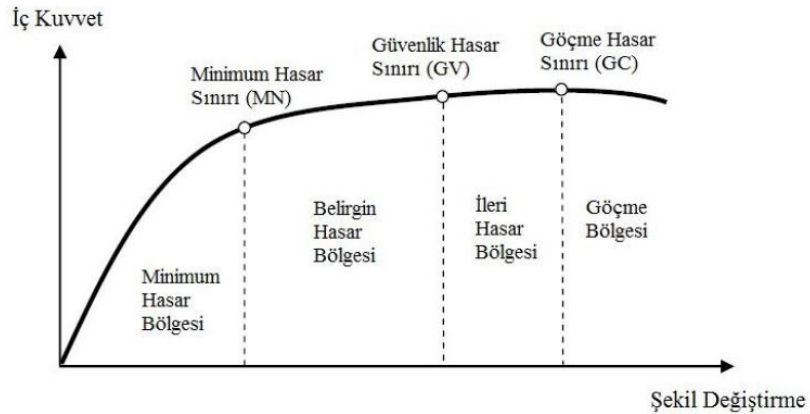
FEMA 440 (2004)'da ATC 40'da açıklanan Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve FEMA 356'da yer alan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi'nin (YKY), yapı davranış taleplerini belirlemekteki parametreler değerlendirilmiştir. ATC 55 kapsamında ortaya çıkan bu raporda, yöntemlerde belirlenen eksiklikleri gidermek ve daha güvenilir doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirmek amacıyla yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin geliştirilmesi (güncellenmesi) ile ilgili bilgiler yer almıştır. Ayrıca ATC 40'daki etkin sönümün hesaplanması, eşdeğer doğrusallaştırma ve FEMA 356'daki hedef yer değiştirmenin belirlenmesinde kullanılan katsayılar (C1, C2, C3) üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir [6].

2. ÜLKEMİZDE DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE İLGİLİ GELİŞMELER

2007 deprem yönetmeliği, 1998 yönetmeliğine göre önemli yenilikler getirilmiştir. Bu yeniliklerin bir kısmı 1998 yönetmeliğinin içerdiği bölümlerin yeniden düzenlenmesi olmakla birlikte en önemli yenilik şüphesiz 2007 yönetmeliğine “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” bölümünün eklenmesi olmuştur. Deprem Yönetmeliği’nde deprem performansının belirlenmesine ilişkin esaslar aşağıda verilmiştir.

2.1. Yapısal Elemanların Hasar Sınırları ve Bölgeleri

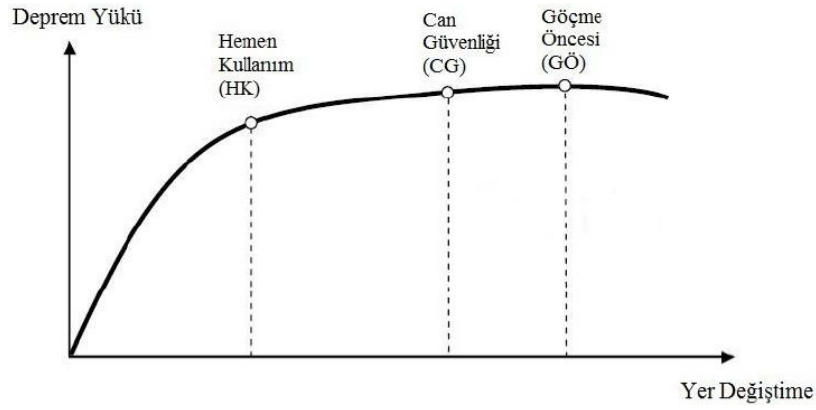
Sünek elemanlar için kesit düzeyindeki hasarlar için üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı’dır. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir, bu elemanlar göçmüş kabul edilir [9].



Şekil 2.1. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

2.2. Betonarme Yapılarda Deprem Performansı

Deprem Yönetmeliği'nde, betonarme yapılar için dört farklı performans seviyesi tanımlanmıştır. Taşıyıcı elemanların neredeyse hiç hasar görmeyeceğinin öngörüldüğü binaların Hemen Kullanım Performans Seviyesi'ni, hasarın deprem sebepli can kaybının oluşmayacağına öngörüldüğü binaların Can Güvenliği Performans Seviyesi'ni, hasarının ileri boyutlarda olmasına karşın toptan göçmenin oluşmayacağına öngörüldüğü binaların Göçme Öncesi Performans Seviyesi'ni sağladığı kabul edilmektedir [9].



Şekil 2.2. Yapı performans düzeyleri

Yapıların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Hemen kullanım performans seviyesi

Deprem Yönetmeliği'ne göre 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 elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [10].

2.2.2. Can güvenliği performans seviyesi

Deprem Yönetmeliği'ne göre eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [10]:

- 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 (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin 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 asmaması gerekir.

2.2.3. Göçme öncesi performans seviyesi

Deprem Yönetmeliği'ne göre gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [10]:

- 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.
- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.2.4. Göçme durumu

Bina, Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [10].

2.3. Deprem Etkisi

Performansa dayalı tasarımda, kullanım amacına göre beklenen yapı performans seviyelerinin hangi tür deprem etkisi altında elde edilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bu sebeple, performans analizlerinde kullanılmak için farklı düzeylerde deprem etkileri tanımlanmalıdır. Deprem etki düzeyi, spektrum eğrisinin tanımlanması ile belirlenir. Spektrum eğrisi, yönetmelikte tasarım depremi olarak adlandırılan deprem türü etkisi altında belirlenmiştir. Spektrum eğrileri, deprem etkilerinin yapı ömrü içerisindeki 50 yıllık zaman dilimindeki aşılma olasılığı ve dönüş periyodu ile belirlenmektedir [9]. Deprem etkisi parametreleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Deprem etkisi parametreleri

Deprem Türü	Deprem Etkisi Katsayısı	50 yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	0,50	50%	72 yıl
Tasarım Depremi	1,00	10%	474 yıl
En Büyük Deprem	1,50	2%	2475 yıl

Tablo 2.1'de gösterilen deprem etkisi katsayıları, tasarım depremi altında tanımlanmış deprem spektrumuna etki etmektedir. Farklı deprem türleri altındaki deprem performansları için, spektrum bu katsayılar altında değişecektir.

2.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Binalar için hedeflenen performans düzeyleri, bina kullanım amacı ve Tablo 2.1'de gösterilen deprem türleri bakımından Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Yapısal kesitlerin hasar durumundan elde edilen bilgiler kat bazında performans değerlendirilmesi için gerekir. Bu şekilde taşıyıcı sistem için performans düzeyi belirlenir.

Tablo 2.2’de bina türleri için öngörülen performans düzeyleri, bina önem katsayısının (I) performans analizinde farklı yorumlanmış halini göstermektedir. Farklı deprem türleri altında tasarım depremi için tanımlanmış olan deprem spektrumunun doğrusal olmayan analiz için bina önem katsayısı (I=1,0) olarak alınmaktadır.

Tablo 2.2. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

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

2.5. Betonarme Yapılarda Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri

Taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarının elde edilmesi için taşıyıcı sistem hakkında yapısal bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Elde edilmesi gereken bilgiler, yönetmelikte Bina Geometrisi, Eleman Detayları ve Malzeme Özellikleri olarak adlandırılmış üç başlık altında toplanmıştır [10].

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler,

binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir. Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür [9].

Bina Geometrisi, Eleman Detayları ve Malzeme Özellikleri bakımından değerlendirilen yapılar, elde edilen bilgilerin kapsamına göre Bilgi Düzeyleri bakımından sınıflandırılır ve buna bağlı olarak Bilgi Düzeyi Katsayısı her bir düzey için tanımlanır. Elde edilen katsayılar, yapısal elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır. Bilgi düzeyleri üç başlık altında toplanmıştır.

- Sınırlı Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi “Deprem Sonrası Hemen Kullanımı Gereken Binalar” ile “İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar” için uygulanamaz. Kesit ve kapasite hesaplarında beton basınç dayanımı (f_{cm}) için yapılan deneyler sonucu elde edilen en düşük beton basınç dayanımı kullanılacaktır. Donatı sınıfı görsel inceleme ile tespit edilecek ve bu sınıftaki çeliğin akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bilgi düzeyi katsayısı kapasite hesaplarında 0,75 olarak kullanılacaktır.

- Orta Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise, sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır. Kesit ve kapasite hesaplarında beton basınç dayanımı (f_{cm}) için yapılan deneyler sonucu elde edilen ortalama beton basınç dayanımı ile standart sapmanın farkı kullanılacaktır. Donatı sınıfı görsel inceleme ile tespit edilecek ve bu sınıftaki çeliğin akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bilgi düzeyi katsayısı kapasite hesaplarında 0,90 olarak kullanılacaktır.

- Kapsamlı Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır. Kesit ve kapasite hesaplarında beton basınç dayanımı (f_{cm}) için yapılan deneyler sonucu elde

edilen ortalama beton basınç dayanımı ile standart sapmanın farkı kullanılacaktır. Donatı sınıfı görsel inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma kopma dayanımları ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz değer eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bilgi düzeyi katsayısı kapasite hesaplarında 1,00 olarak kullanılacaktır.

Deprem performansı ile ilgili değerlendirme yapabilmek için yapısal bilgiler, yapısal elemanların kapasitelerine etki etmektedir. Performans analizinde, malzeme modellerinde beton ve donatı malzeme dayanımları, malzeme katsayısı ile azaltılmaz ve mevcut dayanımlar kullanılır

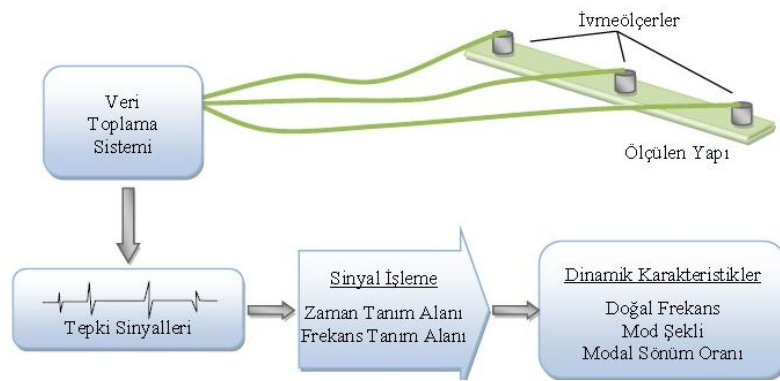
2.6. Deneysel Modal Analiz

Binalardan bilgi toplanmasına ilişkin maddeler dinamik davranışı etkileyen parametrelerin ve yapı dinamik davranışının gerçekçi olarak belirlenmesini için yetersizdir. Dinamik karakteristikler olarak adlandırılan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranının mevcut yapının özelliklerini yansıtacak şekilde deneysel yöntemler ile belirlenebilmesi, yapı dinamik davranışının daha gerçekçi elde edilmesine imkan sağlamaktadır [11].

Geçmiş demiryolu raylarındaki hasarların çekiç darbeleriyle oluşturulan titreşimlerin dinlenilerek belirlenmesine dayalı olan deneysel modal analiz yöntemi, günümüzde yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntemin esası, yapıya uygulanan bir etki altında yapının göstermiş olduğu tepkilerin ölçülmesine dayanmaktadır. Ölçülen etki ve tepki sinyalleri arasında tanımlanan fonksiyon her bir yapı için karakteristik özellikte olan dinamik parametreleri içermektedir. Bu yöntem makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [12, 13].

Deneysel Modal Analiz yöntemi yapılarda deprem, rüzgar, trafik, insan hareketi gibi çevresel etkilerden oluşan titreşimleri dikkate alarak yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapıya etkiyen titreşimlerin genliği ve zamanla değişimi bilinmemektedir. Yapıya ait dinamik karakteristikler yapı üzerinden ölçülen tepki verilerinin zaman ve frekans tanım alanlarında işlenmesiyle elde edilmektedir.

Bu yöntemin yeterince anlaşılabilmesi için temel titreşim biçimlerinin ve rezonans etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Titreşim, başlangıç şartları veya uygulanan dış yükler altında yapıların göstermiş oldukları tepkilerdir. Temel olarak, serbest titreşim ve zorlanmış titreşim olmak üzere iki farklı titreşim türü söz konusudur. Serbest titreşimde yapı, uygulanan başlangıç şartları altında titreşir. Bu tür titreşimde, en küçük doğal frekans (temel frekans) yapıda en etkili olan frekanstır. Bu tür titreşim, belirli bir süre sonra yapıdaki sönümün etkisiyle sona erer. Zorlanmış titreşim ise, yapının uygulanan bir dış yük altındaki titreşimidir. Bu tür titreşim, yük yapıya etkidiği sürece devam eder [12]. Bir yapı dış yükten dolayı titreştirildiğinde, yapının doğal frekansı ile dış yükün frekansının aynı olduğu bir duruma gelinebilir. Bu durumda yapı oldukça büyük genlikte titreşim yapar ve rezonans durumu olarak adlandırılır. Deneysel Modal Analiz yönteminde yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiğini gösteren akış şeması Şekil 2.3'de verilmektedir [14, 15].



Şekil 2.3. Tipik bir deneysel modal analiz yöntemi ölçüm düzeneği

3. DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği, mevcut ve güçlendirilmiş binaların değerlendirmesi için iki farklı yöntem önermektedir. Bunlar doğrusal elastik hesap yöntemi ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemidir. Bu bölümde doğrusal elastik hesap yöntemi basitçe özetlenecek doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi detaylı olarak açıklanacaktır.

3.1. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleri

Doğrusal elastik hesap yönteminin uygulanması, incelenen binanın modellenmesi ile başlar. 2007 Deprem Yönetmeliği mevcut binaların değerlendirmesinde yeni binaların tasarımından farklı olarak çatlama kesit hesabı öngörmektedir. Rijitlik azaltma katsayıları uygulanacaktır. Yeni binaların tasarımından farklı olan bir diğer husus ek dışmerkezlilik uygulanmamasıdır.

Doğrusal elastik analiz sonuçlarının elde edilmesinin ardından eleman kapasiteleri ve eleman kırılma davranışları belirlenir.

Eleman kırılma davranışı bir elemanın herhangi bir ucunda kesme kapasitesi ile kapasite kesmesinin karşılaştırılması ile belirlenir. Kesme kapasitesi ile kapasite kesmesinden daha az ise o eleman gevrek değilse sünektir..

Eleman kırılma davranışının belirlenmesinin ardından, sünek elemanlarda azaltılmamış ($R=1$) deprem yüklemesi altında hesaplanan moment istemlerinin ilgili kesitlerin artık moment kapasitelerine bölünmesi ile Etki-Kapasite Oranı istemleri (r) hesaplanır. Gevrek elemanlarda r değeri, doğrusal elastik hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin kesme kuvveti kapasitesine oranıdır.

Hesaplanan r istemleri eleman tipine göre yönetmelik Tablo 7.2, 7.3 ve 7.4'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılır. Eğer bir elemanın her hangi bir ucunda sınır değeri aşıyor ise, bu eleman göz önünde bulundurulmuş performans seviyesi için yeterli kabul edilmez.

Eleman performanslarının belirlenmesinin ardından bina performans hesabı gerçekleştirilir [16].

3.2. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

Yapılan bu çalışmanın bu bölümünde, performans kavramını betonarme bir yapı üzerinde uygulayabilmek için gereken doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerden, doğrusal olmayan analiz yöntemleri irdelenecektir.

Doğrusal analiz yöntemlerinde, yapıdaki elemanların bazı kabullerle ve katsayılarla elastik davranış gösterdiği kabul edilir, aslında yapısal elemanlar elasto-plastik bir davranış göstermektedir. Yapısal elemanların sahip olduğu fiziksel özellikleri gelebilecek herhangi bir kuvvete karşı gösterebileceği kapasiteleri belirlemektedir. Doğrusal elastik hesapta, bu kapasiteler yapısal elemanlar için bir sınır oluşturmaktadır, fakat kapasite ötesindeki davranış yani yapısal elemanların malzemelerinin akma dayanımlarını aşmış bir duruma geçmeleri ve yapının bütünü mekanizma durumuna geçene kadar geçirdiği süreç, doğrusal olmayan elasto-plastik davranışı tanımlamaktadır ve yapının gerçeğe daha yakın olan bu davranışı, yapı hakkında daha sağlıklı ve ekonomik sonuçlar elde etmemize yardım etmektedir. Ayrıca, yapının eleman bazında göçme durumları ve yerel göçme durumlarında oluşabilecek kuvvet dağılımları ancak doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile izlenebilmektedir [16].

DBYBHY 2007 kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir [10].

3.2.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Yer değiştirme ve şekil değiştirme değerlerine bağlı değerlendirmenin irdelendiği bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki tepe yer değiştirme talebine ulaşıldığında, olası deprem koşulları altında beklenen performans hedeflerinin belirtilen koşullar çerçevesinde sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde amaç, X ve Y doğrultusunda birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem talep sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin adım adım uygulanması ve dikkat edilmesi gereken hususlar DBYBHY 2007 çerçevesinde açıklanacaktır:

3.2.1.1. Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabilirlik koşulları

Doğrusal olmayan analiz ile çözülecek bir betonarme taşıyıcı sistemde, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ancak betonarme taşıyıcı sistem DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5.2.'de belirtilen koşulları sağlayabilirse, kullanılabilir [10]. Bu şartlar;

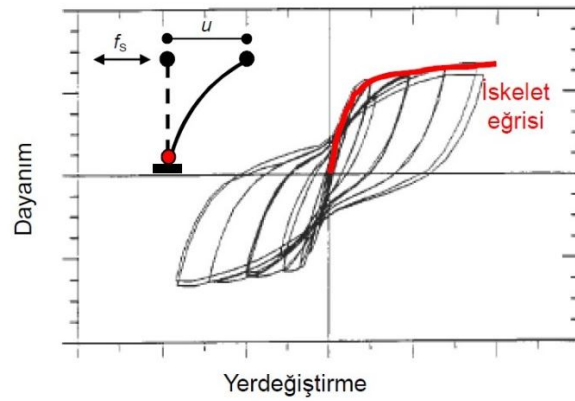
- Yapının kat sayısının bodrum hariç 8 kattan fazla olmaması,
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1,4$ koşulunu sağlaması,
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina külesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0,70 olmasıdır.

3.2.1.2. Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminde yapılan kabuller

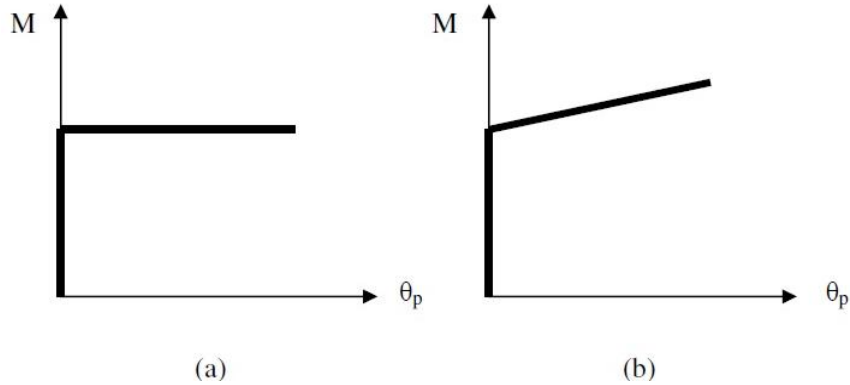
Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilebilmesi için, DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.4.'e göre yapısal elemanların fiziksel özelliklerini ilgilendiren bazı kabullerin yapılması gereklidir [10].

- Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, yığılı plastik davranış modeli kullanılacaktır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü yapı elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit kabul edilecektir.

- Plastik kesitler, yığılı plastik davranış modeline göre yaklaşık idealleştirmelerle üç boyutlu modelde çubuk elemanların uçlarına konulabilir.
- Bir yükleme deneyi sonucu olarak elde edilen doğrusal olmayan davranışın görülebileceği histeresis (ilmik) eğrileri ve eğrilerin tepe noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulmuş iskelet eğrisi Şekil 3.1’de görülmektedir. DBYBHY 2007’de tanımlı basitleştirilmiş plastik kesitlerin iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları Şekil 3.2(a)’da ve Şekil 3.2(b)’de analizleri kolaylaştırmak için verilmiştir. Şekil 3.2(a)’da pekleşme etkisi yaklaşık olarak terk edilmiş, Şekil 3.2(b)’de pekleşme dikkate alınmıştır [17].



Şekil 3.1. Tipik bir betonarme elemanda kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 3.2. Pekleşme etkisine göre moment-plastik dönme bağıntıları

- Hem aksenal kuvvet, hem de eğilme momentleri etkisi altındaki kolonların ve perdelerin kesitlerinin akma yüzeyi diyagramları mevcut malzeme dayanımları kullanılarak elde edilmesi ve eğrisel değişimin düzlemsel bir şekilde idealleştirilebilmesi kabul edilebilir [9].

- Tablalı kiriş kesitlerinde kapasiteye etki edebilecek tabladaki beton ve donatı miktarı göz önüne alınabilir [9].
- Yapının sahip olduğu malzemeleri modellerken mevcut malzeme dayanımları kullanılır ve sargılı beton malzemesi modellenirken Mander teorik gerilme - şekil değiştirme modeli uygulanır.
- Deprem etkisinin tanımında, elastik ivme spektrumu kullanılacaktır, fakat deprem talep spektrumunun tanımlanmasında Bina Önem Katsayısı ($I = 1,0$) uygulanmayacaktır çünkü DBYBHY 2007 Tablo 7.7 bu uygulamayı bina kullanım amaçlarına göre performans açısından yeniden tariflemiştir.
- Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0,003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0,01 alınabilir.
- Betonarme yapısal elemanlarda, çatlaklı kesitlere ait eğilme rijitlikleri kullanılmalıdır. Bu değerler, yapısal eleman çeşitlerine göre Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) kullanılarak hesaplanır.

Kirişlerde,

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

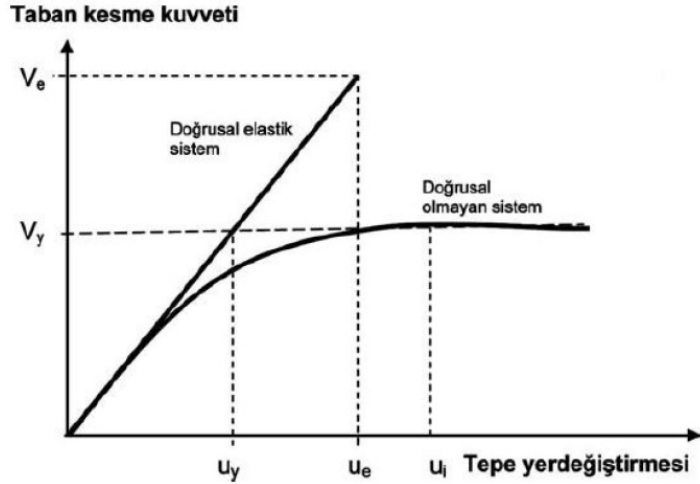
Kolonlarda ve Perdelerde,

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

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

3.2.1.3. Kapasite eğrisinin elde edilmesi

Doğrusal olmayan analizde, tüm bir yapının kapasitesi doğrusal olmayan statik itme eğrisi ile gösterilir. Doğrusal bir analizde taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bağıntısı doğrusal olarak artar, fakat doğrusal olmayan analizde yatay yüklerin modal şekli esas alarak monotonik olarak arttırılmasıyla yapı elemanlarının kapasite ötesi elasto-plastik davranışlarıyla sistemin mekanizma durumuna kadar gitmesiyle sonuçlanan bir itme analizi eğrisi tanımlanır. İtme analizinin her adımında plastik kesitlerin sayısı artar ve analiz mekanizma durumunda yani sistemin yatay yükleri taşıyamaz hale gelmesi ile sonuçlanır [9]. Şekil 3.2’de bütün bir yapıya ait doğrusal ve doğrusal olmayan örnek kapasite eğrileri gösterilmiştir [16].



Şekil 3.3. Yapıya ait doğrusal ve doğrusal olmayan kapasite eğrileri

Statik itme eğrisi diye de adlandırılan kapasite eğrisini oluşturan statik itme analizinin her adımında yatay kuvvet artmaktadır, buna bağlı olarak da tepe yer değiştirmesi artmakta ve taşıyıcı sistemin elemanlarında hasarlar ortaya çıkmaktadır ve bu hasarlar her adımda büyümektedir. Statik itme analizi ile kapasite eğrisinin elde edilebilmesi için, sıralanan adımların uygulanması gerekmektedir:

- Statik itme analizi yapan bir bilgisayar programında yapının üç boyutlu geometrik modeli oluşturulur.
- Yapının ağırlığı ifade eden kombinasyon altında doğrusal elastik bir analiz yapılır ve düşey yapı elemanlarına gelen eksenel yükler bulunur.
- Yapısal elemanların Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) kullanılarak çatlamış kesitlerine ait eğilme rijitlikleri hesaplanır ve ilgili kesitlere atanır.
- Yapı elemanlarının malzeme modelleri kesitlerde iteratif hesap yapabilen bir bilgisayar programında oluşturulur. Yapı elemanlarının taşıdığı yüklere göre moment-eğrilik bağıntıları ve akma diyagramları, bilgisayar programına hesaplatılır.
- Statik itme analizi yapabilen bilgisayar programında modellenen yapı elemanlarının uç noktalarına tanımlanan plastik kesit özellikleri atanır. Plastik kesit özellikleri kesitlere atanmadan önce idealleştirilmelidir.
- Statik itme analizi için düşey doğrultuda ve ilgili deprem doğrultularında ilgili doğrusal yüklemelerden doğrusal olmayan analiz durumları tanımlanır ve bu analiz durumlarından deprem için olanlarının izleyebileceği bir tepe noktası belirlenir, bu tepe yer değiştirmesi noktasının yeri en üst katın kütle merkezi olabilir. Bu analiz durumları bu noktaya verilecek yer değiştirmesi değerini sınır olarak algılar ve analiz

bu değere ulaşıncaya kadar devam eder ya da sistem mekanizma durumuna gelince durur. Deprem doğrultusundaki doğrusal olmayan analiz durumları, düşey doğrultuda yapının kütesinin içeren doğrusal yüklemeleri kapsayan doğrusal olmayan analiz durumunu izlemektedir.

- Yapılan bir doğrusal analizde ilgili deprem doğrultusuna ait birincil modlara ait mod sekli genlikleri yardımıyla deprem yükü değerleri bulunacaktır. Kat kütle merkezlerine deprem yükü değerleri arasındaki oran ile etkitilecek artımsal yükler, rijit diyafram olarak idealleştirilmiş kat döşemelerinin kütle merkezlerine etkitilir.

- Bu adımlardan sonra yapılan analizde, her iki doğrultuda statik itme analizi eğrileri yani kapasite eğrileri elde edilir.

3.2.1.4. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi

Elde edilen kapasite eğrisi, x ekseninde tepe yer değiştirmesi ve y ekseninde taban kesme kuvveti olmak üzere her itme adımında kaydedilen tepe yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti noktalarından oluşmaktadır, fakat bu eğri elasto-plastik tabanlıdır. Talep tepe yer değiştirmesini bulabilmek için, kapasite eğrisinin deprem spektrum eğrisi ile kesiştirilmesi gerekmektedir, fakat spektrum eğrisi doğrusal analiz için tasarım deprem durumuna (50 yılda %10 aşılma olasılığı) göre tanımlanmıştır. Bu sebeple, kapasite eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi gereklidir.

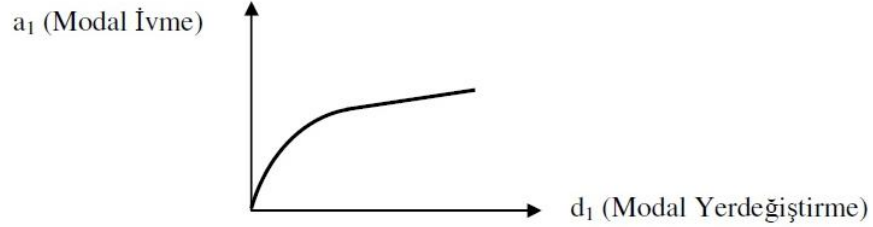
$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Gamma_{x1} \Phi_{xN1}} \quad (3.4)$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1^*} \quad M_{x1} = \frac{L_{x1}^2}{M_1^*} \quad (3.5)$$

$$L_{x1} = \sum_{i=1}^n m_i \Phi_{xi1} \quad M_1^* = \sum_{i=1}^n m_i \Phi_{xi1}^2 \quad (3.6)$$

Denklem (3.4), (3.5) ve (3.6) kullanılarak, X doğrultusundaki deprem analizi için kapasite eğrisini oluşturan taban kesme kuvveti ($V_{x1}^{(i)}$) ve tepe yer değiştirmesinin ($u_{xN1}^{(i)}$) her itme analizi adımındaki değerleri modal ivme ($a_1^{(i)}$) ve modal yer değiştirme ($d_1^{(i)}$) değerlerine dönüştürülmektedir. X doğrultusunda 1. Moda ait etkin

kütle (M_{x1}) ve X doğrultusunda 1. Moda ait katkı çarpanı (Γ_{x1}) ilgili denklemlerden hesaplanarak, dönüşüm gerçekleştirilir. Φ_{xN1} değeri, X doğrultusuna hakim moda ait yapının tepesindeki modal genliktir. Y doğrultusu için de aynı terimler ile hesap yapılır. Şekil 3.4’de örnek bir modal kapasite eğrisi gösterilmiştir.



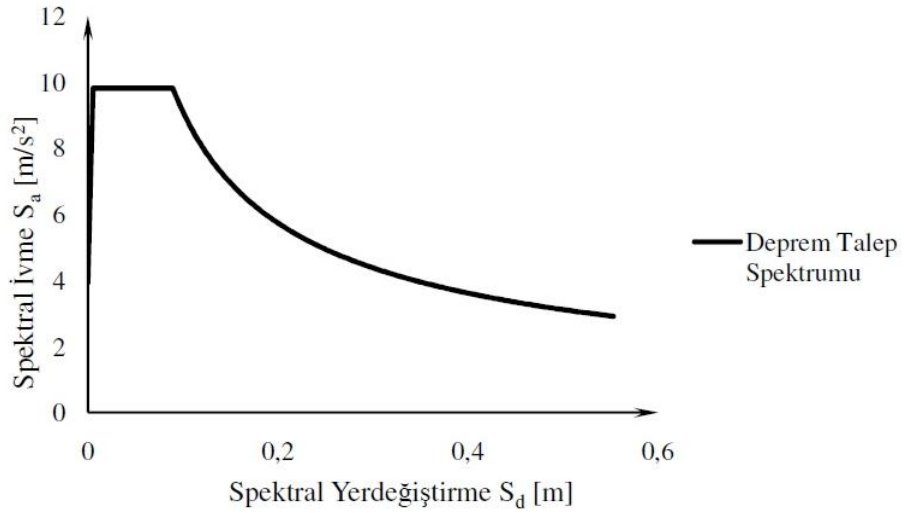
Şekil 3.4. Modal kapasite eğrisi

3.2.1.5. Deprem talep spektrum eğrisinin elde edilmesi

Doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz yapılırken, deprem etkisi spektrum eğrisi ile tanımlanmıştır. Eğrinin karakteristik periyotları zemin grubuna göre değişiklik göstermektedir ve eğri tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %10) altında tanımlanmıştır. X ekseninde periyot (T [s]) değerlerini ve Y ekseninde spektral ivme (S_a) değerlerini göstermektedir. Spektral ivmeyi gösteren eksen boyutsuzdur, çünkü yerçekimi ivmesi (g) ve etkin yer ivmesi katsayısı (A_o) değerlerine bölünmüştür. Diğer performans öngörülleri olan kullanım depremi ve en büyük deprem etkileri altında etkin yer ivmesi katsayısı sırasıyla $0,5A_o$ ve $1,5A_o$ alınmaktadır. Deprem talep spektrumu eksenlerinin boyut olarak, modal kapasite spektrumu ile kesişirme için aynı tür olması gerekmektedir.

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} = S_a \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (3.7)$$

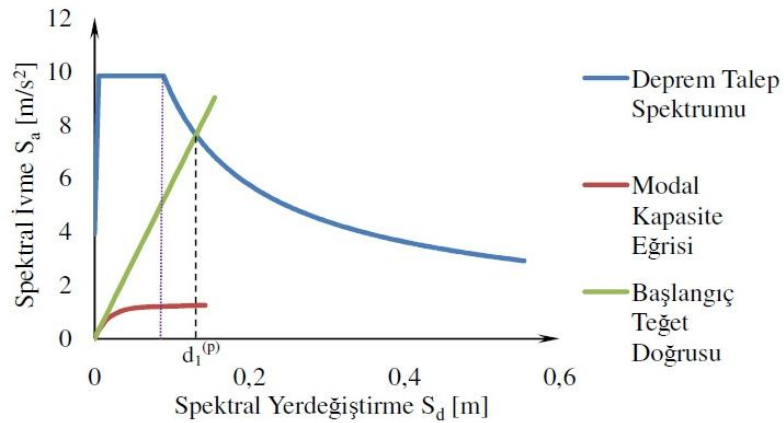
Deprem talep spektrumunun Y ekseninde spektral ivme (S_a [m/s²]) ve X ekseninde Denklem (3.7) kullanılarak spektral yer değiştirme (S_d [m]) bulunmaktadır. Denklem (3.7)’de bulunan spektral ivme değeri boyutlu olarak hesaplanan değerdir. Şekil 3.4’de 1. deprem bölgesine ($A_o=0,4$) ait tasarım depremi altında bir deprem talep spektrum eğrisini göstermektedir.



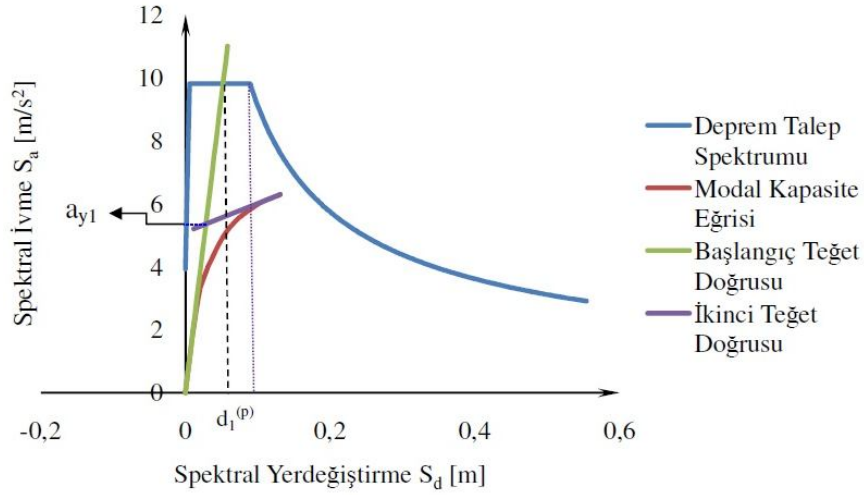
Şekil 3.5. Birinci derece deprem bölgesine ait tasarım depremi altında deprem talep spektrumu

3.2.1.6. Modal kapasite eğrisi ile deprem talep spektrum eğrisinin kesiştirilmesi

Modal kapasite eğrisi ile deprem talep spektrum eğrisinin kesiştirilmesi, depremin talebine yapı sisteminin karşı koyduğu kapasite anlamına gelen bir denge durumunu ortaya koyar. Boyut olarak aynı eksenlere aktarılan eğrilerin deprem talep spektrumunun elastik olmasından dolayı kesiştirilmesi modal kapasite eğrisinden bir başlangıç teğet geçirilmesiyle mümkün olmaktadır. Başlangıç teğet doğrusunun talep eğrisi ile kesiştiği yerdeki, spektral yer değiştirme ($d_1^{(p)}$) değeri bulunmak istenmektedir, fakat bu değer deprem doğrultusundaki periyodun büyüklüğüne göre değişmektedir. Şekil 3.5 ve 3.6'da bu değişim gösterilmektedir.



Şekil 3.6. $T_1 > T_B$ durumunda spektral yer değiştirmenin bulunması



Şekil 3.7. $T_1 < T_B$ durumunda spektral yer değiştirmenin bulunması

Şekil 3.5 ve 3.6'da görüldüğü üzere periyodu (T_1), zemin karakteristik periyodundan (T_B) büyük ya da eşit olan yapı sistemlerinde elastik ve elasto-plastik yer değiştirmelerin yakın olduğu kabul edilir, tersi bir durumda elasto-plastik yer değiştirmeyi d_{\max}^{ep} bulmak için elastik yer değiştirmenin (d_{\max}^e) bir katsayıyla (C_{R1}) büyütülmesi gerekmektedir.

$$d_{\max}^{ep} = C_{R1} d_{\max}^e \quad (3.8)$$

$$T_1 < T_B \quad C_{R1} = \frac{1}{R_{y1}} \left[1 + (R_{y1} - 1) \frac{T_B}{T_1} \right] \quad (3.9)$$

$$T_1 \geq T_B \quad C_{R1} = 1 \quad (3.10)$$

Denklem (3.8), (3.9) ve (3.10) yardımıyla spektral yer değiştirme ile ilgili periyoda bağlı değişimler yapılabilmektedir. Şekil 3.6'da görülen başlangıç teğet doğrusu ile ikinci teğet doğrusunun kesiştiği yerdeki spektral ivme değeri (a_{y1}), Denklem (3.9)'da görülen dayanım azaltma katsayısının (R_{y1}) hesaplanması için gereklidir. Denklem (3.11)'de bu formül gösterilmektedir. Burada S_{ae1} başlangıç teğet doğrusunun talep spektrumunu kestiği yerdeki spektral ivme değeridir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae}}{a_{y1}} \quad (3.11)$$

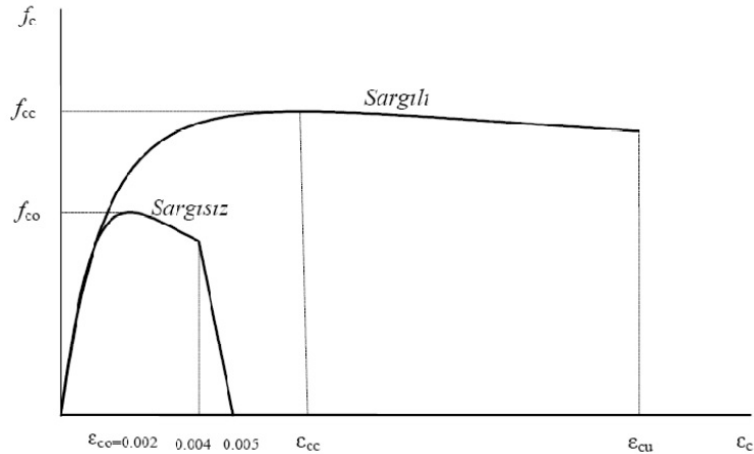
Spektral yer değiştirmenin bulunmasından sonra, $i = p$ için yani son itme analizi adımında performans noktası için talep tepe yer değiştirmesi (u_{xN1}) Denklem

(3.12)'den hesaplanarak, performans noktasında ilgili deprem doğrultuları ve türleri için sistemin iç kuvvet istemleri, şekil değiştirmeleri ve yer değiştirmeleri itme analizinden elde edilecektir.

$$u_{xN1} = \Phi_{xn1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.12)$$

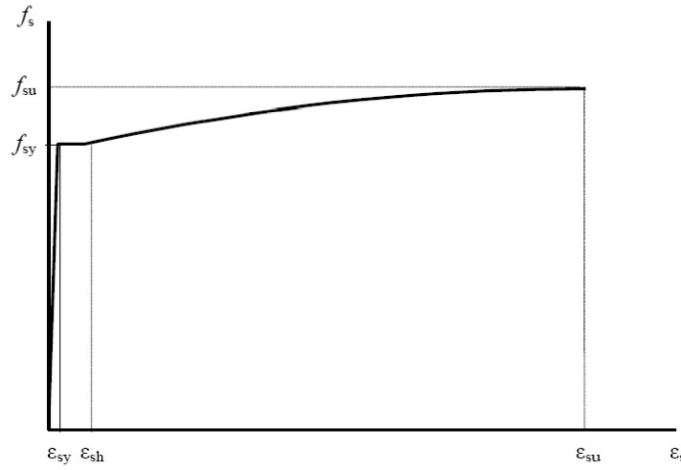
3.2.1.7. Kesit hasarlarının tespit edilmesi

Talep tepe yer değiştirmeleri ile performans değerlendirilmesi için itme analizi yapıldıktan sonra yapı sistemindeki elemanların moment-eğrilik bağıntıları elde edilir. Sünek şekil değiştirme yapan elemanların uçlarında eğrilik değerlerine bağlı beton malzemesinin ve donatı çeliği malzemesinin şekil değiştirme değerleri hesaplanır ve bu değerlerle bir hasar tespiti yapılır. DBYBHY 2007 Ek 7.B'e göre beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirme ve gerilme bağıntıları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir [10].



Şekil 3.8. Sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları

Sargılı bir betonarme kesit tanımlanırken Mander Beton Modeli kullanılabilir, burada belirtilen beton gerilmeleri betonun karakteristik beton dayanımlarını ifade etmektedir. Şekil 3.7'de görüldüğü üzere sargılı betonarme bir kesitte beton malzemesinin çatladığı andan itibaren göçme anına kadar yapabildiği şekil değiştirme değerleri, sargısız beton modeli şekil değiştirme değerlerine göre daha büyüktür.



Şekil 3.9. Donatı çeliği malzemesinin gerilme-sekil değiştirme bağıntıları

Tablo 3.1. Donatı çeliği malzemesine ait gerilme - şekil değiştirme değerleri

Kalite	f _{sy} (MPa)	ε _{sy}	ε _{sh}	ε _{su}	f _{su} (MPa)
S220	220	0,0011	0,011	0,16	275
S420	420	0,0021	0,008	0,1	550

Tablo 3.1’de görüldüğü üzere S220 ve S420 donatı çeliği malzemesi kalitesinde verilen şekil değiştirme ve gerilme değerleri Şekil 2.8’deki karşılıklarını bulmaktadır. Sonuç olarak, yapı elemanlarının alacağı herhangi doğrultudaki bir plastik dönme (θ_p), bu malzeme modellerindeki şekil değiştirme değerlerine tekabül edecektir ve hasar tespiti bu şekilde yapılacaktır.

$$\varphi_p = \theta_p / L_p \quad (3.13)$$

$$\varphi_t = \varphi_y + \varphi_p \quad (3.14)$$

Denklem (3.13)’de görüldüğü üzere analiz sonucu sünek şekil değiştiren eleman uçlarından alınan plastik dönme değerleri (θ_p [radyan]), ilgili deprem doğrultusunda çalışan eleman boyunun yarısı yani plastik mafsalsal boyuna (L_p [m]) bölünerek, plastik eğrilik (φ_p) elde edilir.

Eğrilik birim dönme açısını gösteren bir değerdir. Kesitin malzeme akma dayanımlarına kadar ulaştığı eğriliğe elastik eğrilik (φ_y), elastik eğrilikten itibaren kopma anına kadar ulaştığı değer farkına da plastik eğrilik denir [9].

$$\varphi = \varepsilon_c / c \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)'de gösterilen eğrilik formülü betonarmede kullanılan basit eğilme altındaki bir kesitte beton birim şekil değiştirmesi (ε_c) ve tarafsız eksen uzunluğu (c) değerlerinin sınır şekil değiştirmelere bağlı olarak değişmesinden elde edilen bir bağıntıdır [9].

Denklem (3.14) kullanılarak toplam eğrilik (φ_t) hesap edilir ve bu eğrilik değerine göre şekil değiştirme durumları (betonun en büyük kısılması ve donatı çeliğinin en büyük uzaması) betonarme kesitlerde bulunan eğilme momenti ve eksenel kuvvet değerleri de hesaba katılarak, Tablo 3.2'de verilen hasar sınırı değerlerine göre kat bazında yapısal elemanlarda şekil değiştirme sınırlarına göre hasar tespiti yapılmaktadır [9].

Tablo 3.2. Beton ve donatı çeliği malzemesinde performans değerlendirmesi için hasar sınırları

Hasar Sınırı	Şekil Değiştirme Sınırı	
	Betonda Birim Kısalma	Donatı Çeliğinde Birim Kısalma ve Uzama ε_s
Minimum	$\varepsilon_{cu} = 0,0035$	0,010
Güvenlik	$\varepsilon_{cu} = 0,0035 + 0,01 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0,0135$	0,040
Göçme	$\varepsilon_{cg} = 0,004 + 0,014 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0,018$	0,060

Bu tabloda gösterilen herhangi bir kesitte minimum hasar sınırında en dış beton lifindeki birim şekil değiştirme ε_{cu} ve güvenlik ile göçme hasar sınırında eninde donatı içinde kalan beton lifindeki şekil değiştirme ε_{cg} olarak verilmiştir [3]. Ayrıca güvenlik ve göçme hasar sınırında elde edilecek betonda birim kısalma değerlerine hasar tespiti yapılacak olan kesitteki olması gereken ve olan enine donatıların hacimsel oranları etki etmektedir, yani kesitlerde enine donatı olmadığı varsayılp, kesitte bulunan hacimsel oran (ρ_s), sıfır kabul edilemez, çünkü performans değerlendirilmesinde betondaki şekil değiştirmeler yani ε_{cu} ve ε_{cg} değerleri birbirine çok yaklaşık çıkabileceği için hasar sınırları minimum ve güvenlik değerleri birbirlerine yaklaşır ve binalar için belirtilen performans düzeylerinin sağlanmasında sorunlar ortaya çıkabilir.

Bu adımlardan sonra, yapı elemanlarının uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri incelenerek, ilgili deprem doğrultusunda deprem performansı belirlenir ve performans düzeyinin ilgili sınırlarda kalıp kalmadığı kontrol edilir.

3.2.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirlik koşullarında belirtildiği üzere sınırlı bir kullanım alanı vardır, yapının kat sayısı, simetrik olması ve deprem hesabında etkin modların ilk modlar olması vb. fiziksel özellikler artımsal mod birleştirme yöntemi için uygulanabilirlik koşullarını oluşturmaz. Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizinde birbiri ardına oluşan iki plastik kesitin arasındaki her bir itme adımındaki adım adım doğrusal elastik davranış ele alınır. Mod şekli genlik değerlerine göre monotonik olarak arttırılan modal yer değiştirmeler incelenerek, her adımda mod birleştirme kurallarının uygulandığı bir doğrusal davranış spektrumu analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesit belirlenir; yer değiştirme, plastik şekil değiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır [9, 10].

3.2.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Yapı sisteminin spektrum eğrisi ile uyusan bir deprem kaydı altında doğrusal olmayan davranış göz önünde tutularak hareket denkleminin sayısal olarak çözümlenerek, doğrusal olmayan çözümlemeye olduğu gibi plastik şekil değiştirme, yer değiştirme ve iç kuvvet istemleri zamana bağlı olarak bulunur. Plastik kesitlerin plastik dönmeleri bulunur. Bu plastik dönmelerin karşılık geldiği beton ve donatı çeliği şekil değiştirmeleri ile hasar tespiti yapılır.

Yapısal elemanların statik itme analizi adımlarında güç tükenmesi durumlarının kontrolleri gerekmektedir. Kesit etkileri karşı gelen mevcut kapasitelerle karşılaştırılır. Gevrek güç tükenmesinin karşısına geçilmek ve istenen performans seviyelerini yakalayabilmek için güçlendirme önerileri getirilebilir [9, 10].

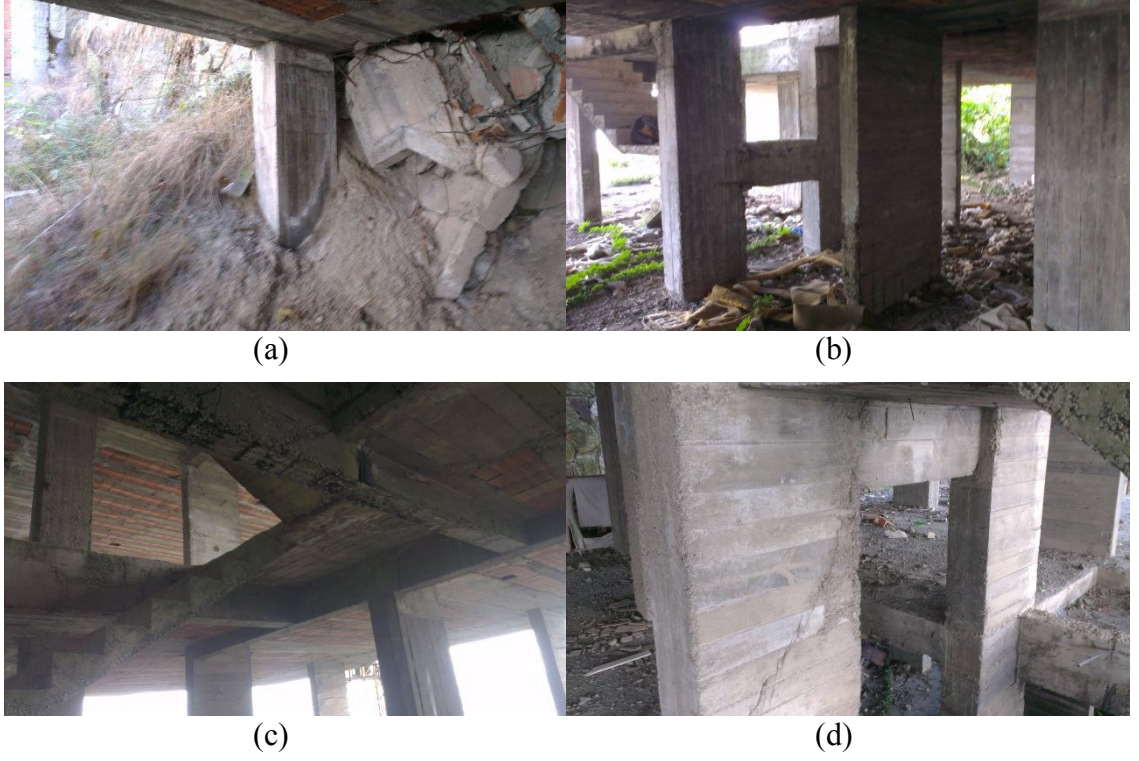
4. ÇALIŞMA BİNASI

Çalışma için, Gölcük – Halidere mevkiinde yer alan, betonarme karkas haldeyken 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine yakalanan ve hasar alan bir yapı seçilmiştir. Şekil 4.1’de binanın dış cephe fotoğrafı verilmiştir.



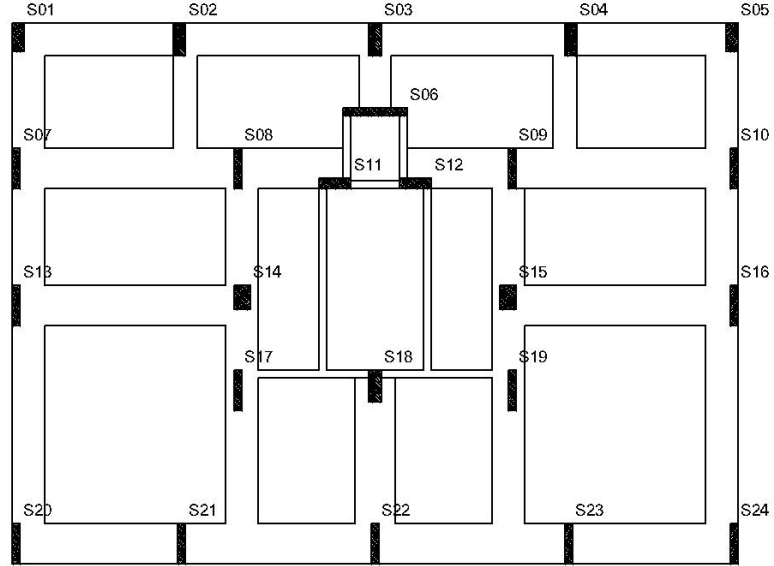
Şekil 4.1. Binanın dış cephe fotoğrafı

Yapı yerinde incelenmiş Şekil 4.2’de binadaki hasarlara ait birtakım fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.2. (a) Döşeme hasarı (b) Kolon alt bölgesinde mafsallaşma (c) Kiriş eğilme hasarı (d) Kolon kesme hasarı

Şekil 4.3'te hasarlı yatay yük taşıyan elemanlar gösterilmektedir. Elemanların yalnızca alt ucunda hasar vardır.



HASAR TESPİT ÇİZELGESİ							
Kolon adı	Giriş Katı	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat
S01	X	X	X	X			
S02	X	X	X	X			
S03	X	X	X	X			
S04	X	X	X	X			
S05	X	X	X	X			
S06	X	X	X	X	X		
S07	X	X	X	X			
S08	X	X	X	X			
S09	X	X	X	X			
S10	X	X	X	X			
S11	X	X	X	X	X		
S12	X	X	X	X	X		
S13	X	X	X	X			
S14	X	X	X	X			
S15	X	X	X	X			
S16	X	X	X	X			
S17	X	X	X	X			
S18	X	X	X	X			
S19	X	X	X	X			
S20	X	X	X	X			
S21	X	X	X	X			
S22	X	X	X	X			
S23	X	X	X	X			
S24	X	X	X	X			

Şekil 4.3. Hasarlı kolonlar

Hasarlı yapının hasar almadan (17 Ağustos 1999) önceki durumunu elde etmek ve güvenilir tepki değerlerinin alınabileceği bir modellemede yansıtılmak istenmektedir. Türk Deprem Yönetmeliğinin (2007) 7.4.5, 7.4.6 ve 7.4.7 şartlarını sağlayan analitik model daha sonra hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacaktır.

4.1. Geçmişten Günümüze Model Güncelleme Ve Kriterleri

Modelleme sürecinde kullanılan yapı geometrisi, yapısal malzeme bilgileri ve analiz içindeki bilinmeyenlerin veya belirsizliklerin giderilmesi için yapılan güncellemenin, analitik sonuçları iyileştirdiğini, 1970'lerle başlayan ve 1990'larda çok güçlü olarak kullanılan Deneysel Modal Analiz (DMA – Experimental Modal Analysis (EMA)) çalışmalarının mekanik ve uzay taşıtlarında uygulanmaya başlanmasıyla önem kazandığını ve gelişimini devam ettirdiğini görüyoruz. 1990'larda başlayan benzeşim çalışmaları içinde model güncelleme teknolojileri (test cihaz ve düzenekleriyle, analiz metotlarıyla) bir standart araç olarak yer almış ve model tutarlılığının değerlendirilmesi – geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği içinde yapı test prototiplerinin oluşturulması ve deprem gibi dinamik kuvvetlerin doğal ve rassallık özelliklerini birebir üretilmesi gibi güçlüklerden dolayı yapı dinamik testleri biraz farklı istikamette gelişmiştir. Bu süreç mevcut mühendislik yapılarının (bina, köprü, viyadük vs.) analizlerinde (yapı sağlığı izleme, durum tespiti, hasar görebilirlik çalışmaları içinde) özellikle saha testlerinde önemli uygulama bulmuştur. Sonlu Eleman Modellerin (SEM) saha testleriyle kalibre edilmesinin kazandırdıkları benzerlerinin yapılmasından başka, genellersek yönetmeliklere girmesine kadar tasarım ve imalatın gelişmesini sağlamıştır. Güncellenmiş, güvenilirliği yüksek model, nümerik ortamın oluşturduğu sanal laboratuvar şartlarında, gelecekte karşılaşılma ihtimali olan farklı yük şartları için tekrarlanabilecek sayısız farklı teste, tam temsil özelliği olan yapı modelini sokabilme imkânını doğurmuştur. Son uygulama sahası olarak hasar tanılama çalışmaları ve yapı sağlığı/işletme izleme ya da köprü işletme güvenliği örnek olarak verilebilir. Betonarme köprü modeli üzerinde taşıyıcı sistem güncelleme uygulamalarının araştırıldığını görmekteyiz. Kablolü köprüler gibi daha kompleks yapılar için model güncelleme tabanlı yapı sağlığı izleme çalışmaları (ölçme ağları ve veri toplama sistemlerinin eş zamanlı çok sayılı izleme noktasından toplanan anlık verilerin yönetimi, analizi ve sonuçlarının anlık değerlendirilerek yapı durumu hakkında anlık kararları kapsayan bir canlı yapı sağlığı oluşturulması) şu an için önümüzde duran, çözülmesi gereken gerçek inşaat mühendisliği veya yapı işletme mühendisliği problemidir. Yapı sonlu eleman modeli güncelleme algoritmaları, basit bina türü yapılar için bazı akademik ve ticari sonlu eleman paket programlarında yer almıştır [18].

4.1.1. Nümerik modelin tanılama sonuçlarıyla güncelleme çalışmaları

Tarihsel gelişiminde ilk uyarlamalarda, kütle, sönüm ve rijitlik değerlerindeki belirsizlikleri veya rassal değer salınımlarını gidermek için küçük değişimlere müsaade edilirdi. Yapı dinamiği açısından, güncellemeler özdeğer denklemleri içerisinde tekrar aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Bu tanım ile fiziki bilgiden sayısal modele, sonrasında modal modele daha sonra da tepkisel davranış modeline doğru bir güncelleme seyri gerçekleşecektir [18].

$$|([K]+[\Delta K])-\omega^{*2}([M]+[\Delta M])|\{\mu\}=\{0\} \quad (4.1)$$

$$\{\mu\}=[\emptyset]\{\eta\} \quad (4.2)$$

$$|([K]+[\Delta K])-\omega^{*2}([M]+[\Delta M])|[\emptyset]\{\eta\}=\{0\} \quad (4.3)$$

veya

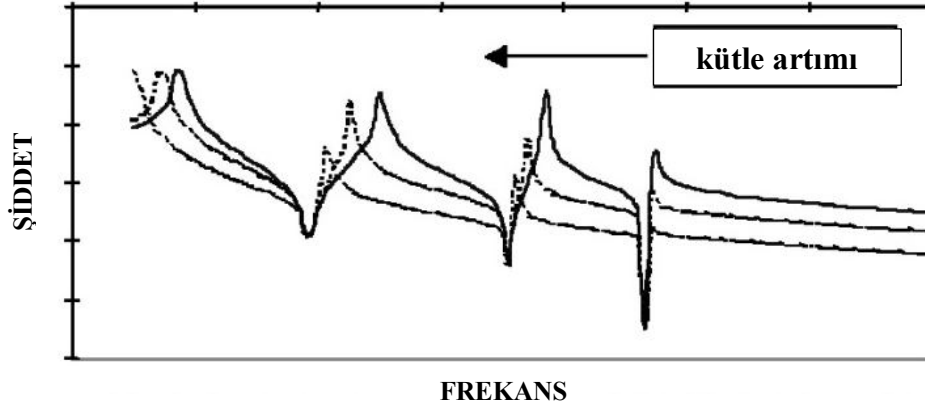
$$|[K^*] - \omega^{*2}[M^*]|\{\eta\} = \{0\} \quad (4.4)$$

Burada;

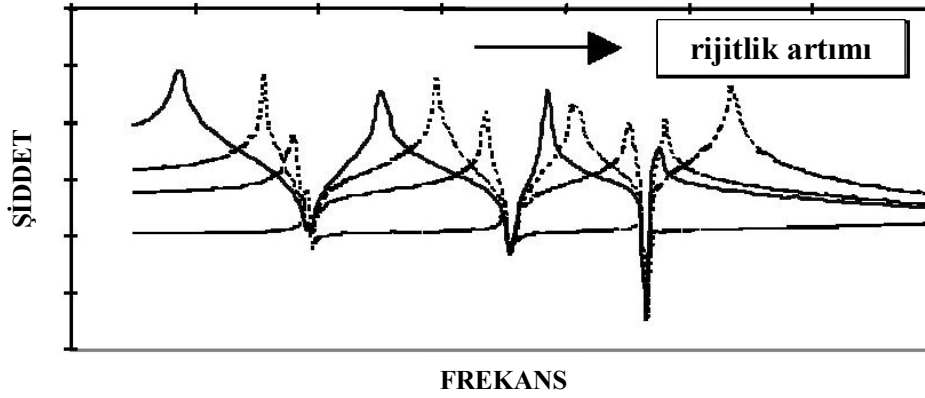
$$[K^*] = [\omega_r^2] + [\emptyset]^T[\Delta K][\emptyset] \quad (4.5)$$

$$[M^*] = [I] + [\emptyset]^T[\Delta M][\emptyset] \quad (4.6)$$

Güncellenmemiş modların lineer kombinasyonundan kalibre edilmiş yapı modu oluşturulduğundan, $\{\mu\}=[\Phi]\{\eta\}$ ifadesi bir lineer kombinasyonu içinde tutabilmektedir. Denklem (4.2), Denklem (4.1)'de yerine konulursa Denklem (4.3) ifadesiyle yeni bir özdeğer denklemi ve kapalı formuyla Denklem (4.4)'da tekrar ifade edilebilecektir. Bu haliyle, Denklem (4.4) yapının ilk tanımlanan kütle ve rijitlik matrislerini aslında kalibrasyon için temel referans almadığını göstermektedir. Bu ise kütle ve rijitlik matrislerinin elde olmadığı ama deneysel verilerden elde edilen mod şeklinin ($[\Phi]$) elde olduğu yapılar için bu ifadenin kullanılabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, herhangi bir yapısal değişiklik ($[\Delta M]$ ve $[\Delta K]$) durumunda, Denklem (4.3) ile yapıyı gerçekte değiştirmeden dinamik davranış karakteristiği elde edilebilir [17].



Şekil 4.4. Kütle güncellemesine bağlı FRF değişimi



Şekil 4.5. Rijitlik güncellemesine bağlı FRF değişimi

Model güncelleme işlemini burulmasız TSD birbirinden etkilenmeyen kütle ve yay ilişkisi içinde bir konsol sistemin üstünde denersek, rijitlik $[\Delta K]$ ve kütle $[\Delta M]$ değişimlerinin etkisini frekans tepki fonksiyonunda görebiliriz. ÇSD sistemlere bu birikimin dikkatli uygulanmasıyla deneysel mod şekillerine yansıyan model iyileştirmeleri alınabilmektedir. Küçük değişikliklerin ÇSD sistemin birçok serbestliğini etkilediğinin bilincinde olmalıyız. Şekil 4.4’de, konsolun serbest ucunda bulunan yığılı kütlelerin küçük $[\Delta M]$ kadar artırılmasıyla karakteristik yanıl serbestliğin üreteceği tepciklerin sola doğru sadece rezonans frekanslarını küçültmekte olduğunu, vadi frekansların değişmediğini görüyoruz. Şekil 4.5’de, kütle sabit kalırken artırılan $[\Delta K]$ miktarı benzer şekilde sadece rezonans frekanslarını büyüttüğünü görüyoruz.

4.1.2. Güncellemede verimlilik değerlendirmesi

Yapının nümerik modeline doğru, hızlı ve verimli bir kalibrasyon uygulanabilmesi için kütle ve elastik modül çalışma parametreleri olarak seçilebilir. Parametreye olan model hassaslığı elastik şartlarda modal frekans ve deformasyonlarından değerlendirilebilir. Verimli ve hızlı bir kalibrasyon için modal gerçekleşme kriteri (MAC) kullanılarak verimlilik izlenebilir.

MAC nümerik çalışma sonucu elde edilen mod şekillerinin saha sonuçlarıyla doğrulatilması için yaygın kullanılan bir ölçüttür.

$$a_{ij} = \frac{(\phi_i^T \phi_j)^2}{(\phi_i^T \phi_i)(\phi_j^T \phi_j)} \quad (4.7)$$

Burada “ ϕ_i ”, “i”ncinci moda ait testlerden gelen mod şekli, “ ϕ_j ” ise “j”ncinci moda ait SE Modelin verdiği mod şeklidir. Bunlar ile beraber bir eleman tasarım parametresini (veya çoksa oluşturulacak x vektörü) beraber kullanılarak, MAC’ın diyagonal ekseninde yer alan “ a_{Fi} ” (testten gelen i. mod şeklinin kullanıldığı MAC değerleri) veya “ $a_{Ui}(x)$ ” (x parametreleri için güncellenen SE Modelden gelen i. mod şeklinin kullanıldığı MAC değerleri) Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanabilir [18].

4.2. Bina Modelinde Güncelleme Çalışmaları

Binanın mevcut dinamik özelliklerine ait bilgiyi elde etmek amacıyla yapıya, hasarsız özelliğiyle çevrel titreşim testleri ve stabiliteyi zorlayan harmonik kuvvetler altında yapay depremler uygulanmıştır.

Yürütülen titreşim ölçümlerinde yapının genel dinamik davranış özelliklerine en büyük katkıyı vereceği düşünülen kat serbestlikleri göz önüne alınarak kısıtlı sayıdaki cihazla yapının plandaki durumuna (rijitlik merkezi, kütle merkezi, yanal rijitlik değerlerine) özgün izleme şebekesi iki düşey kolon ile oluşturulmuştur. Bir gözlem noktasında üç bileşen (İvme ölçer, Enerji besleme ünitesi, RF-modem modülü ve GPS-anten) oluşan izleme-kaydetme şebekesi Şekil 4.6’de görülmektedir.

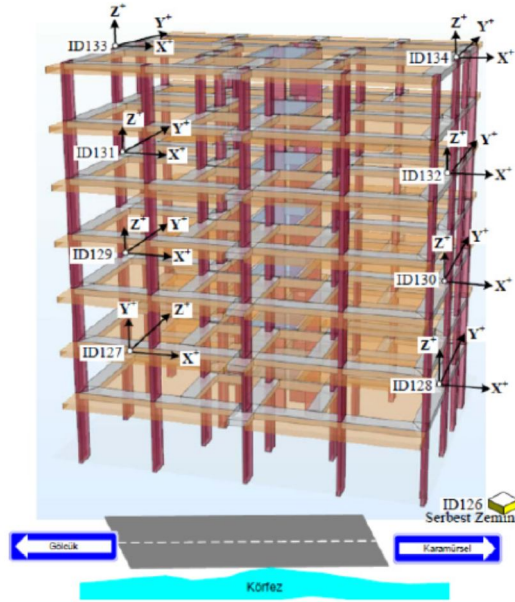


Şekil 4.6. İzleme-kaydetme şebekesi (AREL-DAC serisi)

Binanın;

- Cihaz konumları
- Testte kullanılan cihaz kimliğiyle
- Bileşenlerin yönelimleriyle

ilgili bilgiler Şekil 4.7 ve Tablo 4.1 üstünde verilmiştir.



Şekil 4.7. Yapı üzerinde kurulan ağ

Tablo 4.1. Yapı cihaz dağılımı

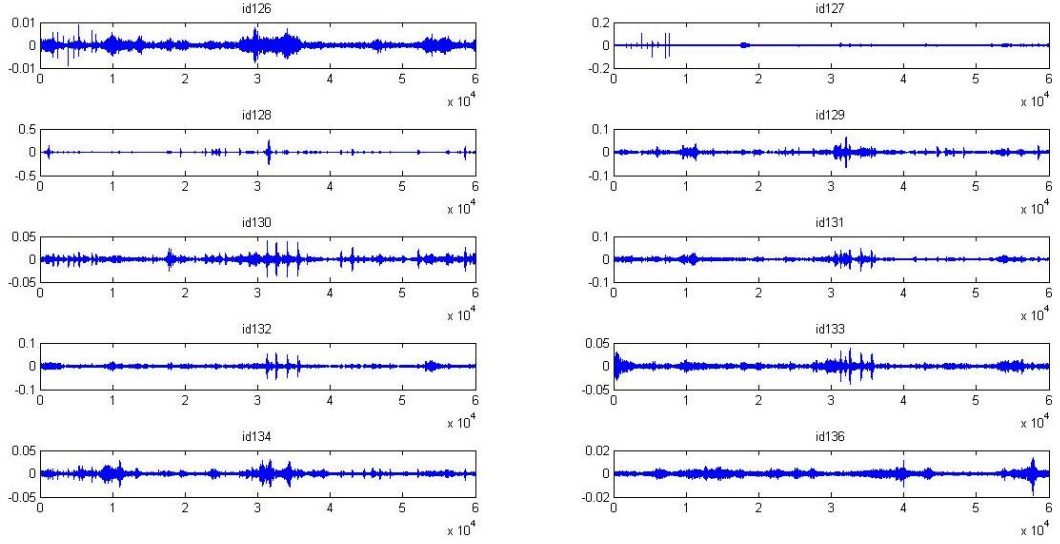
Kat Serbestlikleri	Ağ-kanat-1	Ağ-kanat-2
Çatı Katı	id133	id134
6. Kat	cihaz yok	cihaz yok
5. Kat	id131	id132
4. Kat	cihaz yok	cihaz yok
3. Kat	id129	id130
2. Kat	cihaz yok	cihaz yok
1. Kat	id127	id128
Giriş Kat	id126	
Serbest Saha	id136	

Stabiliteyi zorlayan harmonik kuvvetlerin oluşturulması için Şekil 4.8’de görülen Kinometrics’in üretimi olan 103 seri numaralı titreşim jeneratörü ve bir frekans kontrol ünitesi kullanılmıştır.

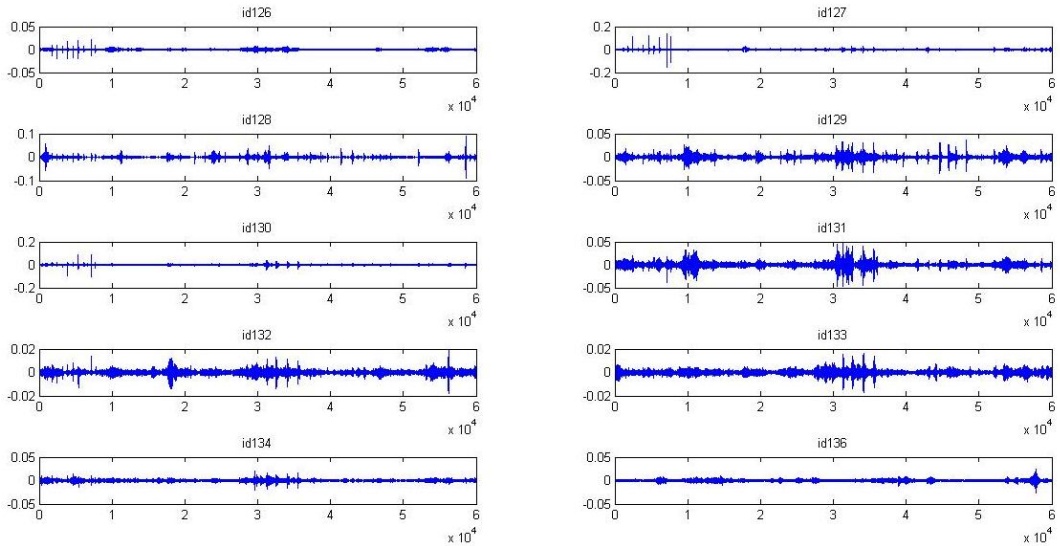


Şekil 4.8. Yapay deprem üretici

Yapı üzerinde ve açık sahadan elde edilen çevrel titreşim sinyallerinin zaman tanım alanındaki hikayeleri Şekil 4.9 ve 4.10'de verilmiştir:

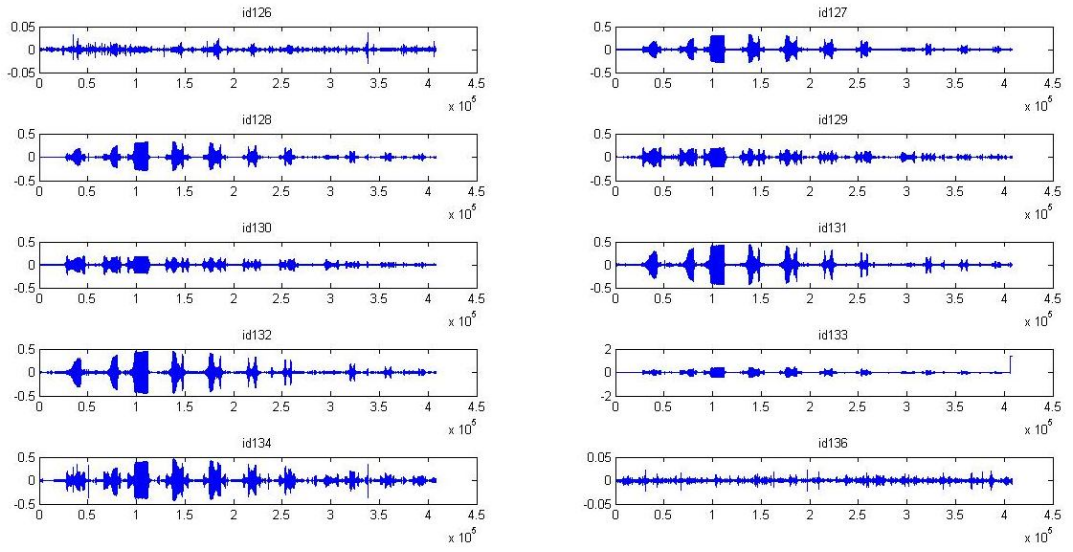


Şekil 4.9. x yönlü ivme değerleri

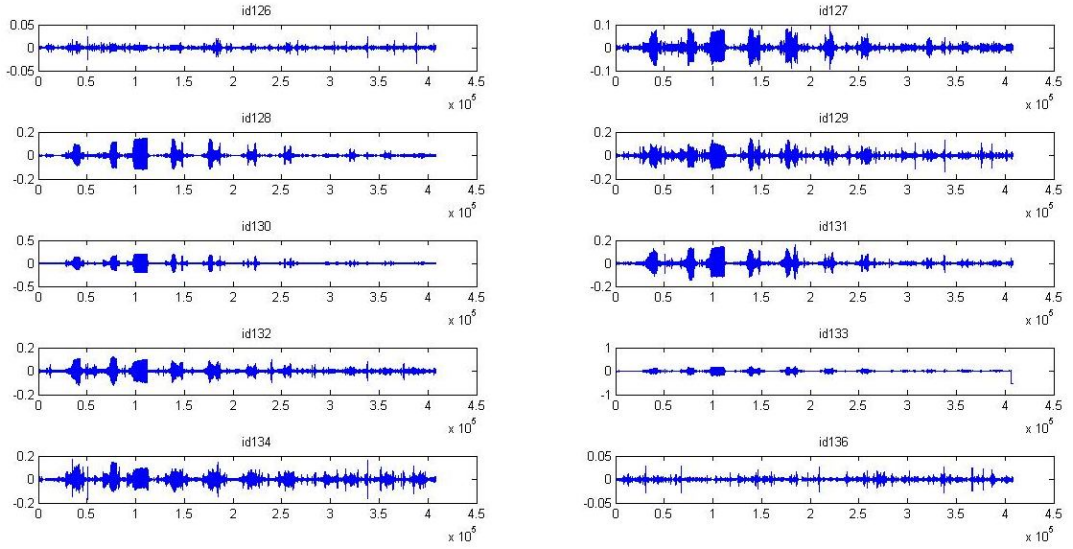


Şekil 4.10. y yönlü ivme değerleri

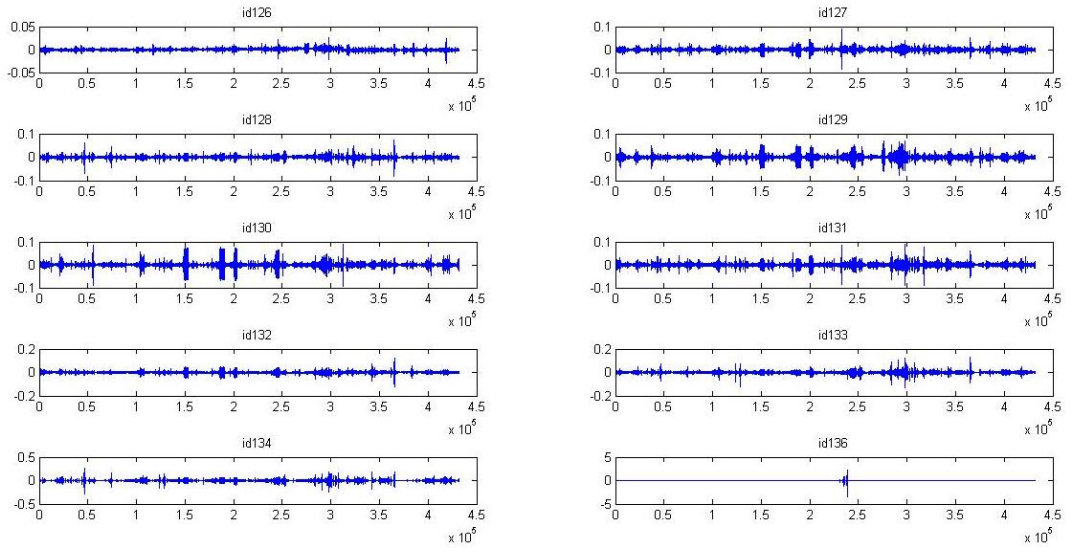
Zorlama kuvvet etkisinde, yapı üzerinde ve açık sahadan elde edilen titreşim sinyallerinin zaman tanım alanındaki hikayeleri, x yönlü yükleme için Şekil 4.11 ve 4.12'da, y yönlü yükleme için Şekil 4.13 ve 4.14'de verilmiştir:



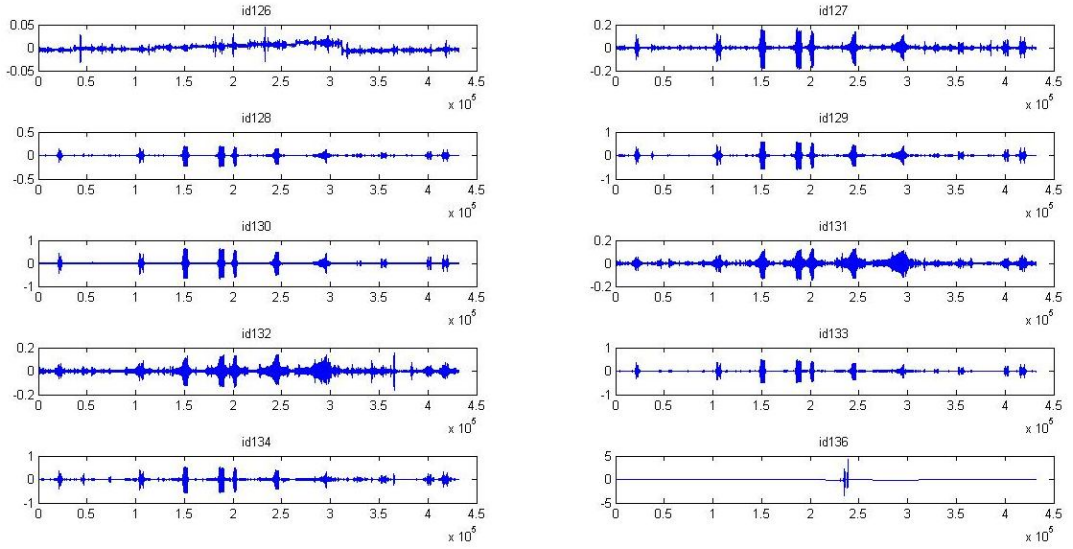
Şekil 4.11. x yönlü yükleme için x yönlü ivme değerleri



Şekil 4.12. x yönlü yükleme için y yönlü ivme değerleri

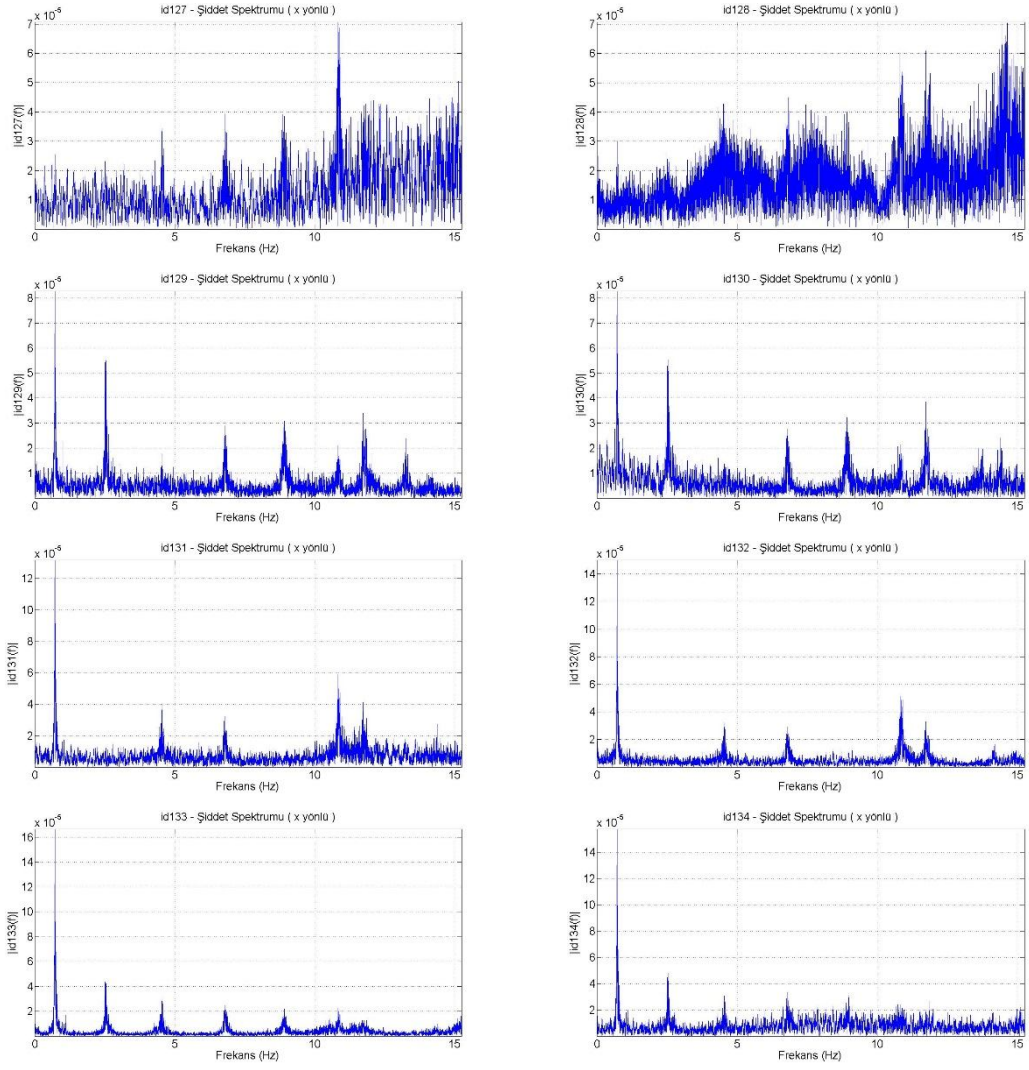


Şekil 4.13. y yönlü yükleme için x yönlü ivme değerleri

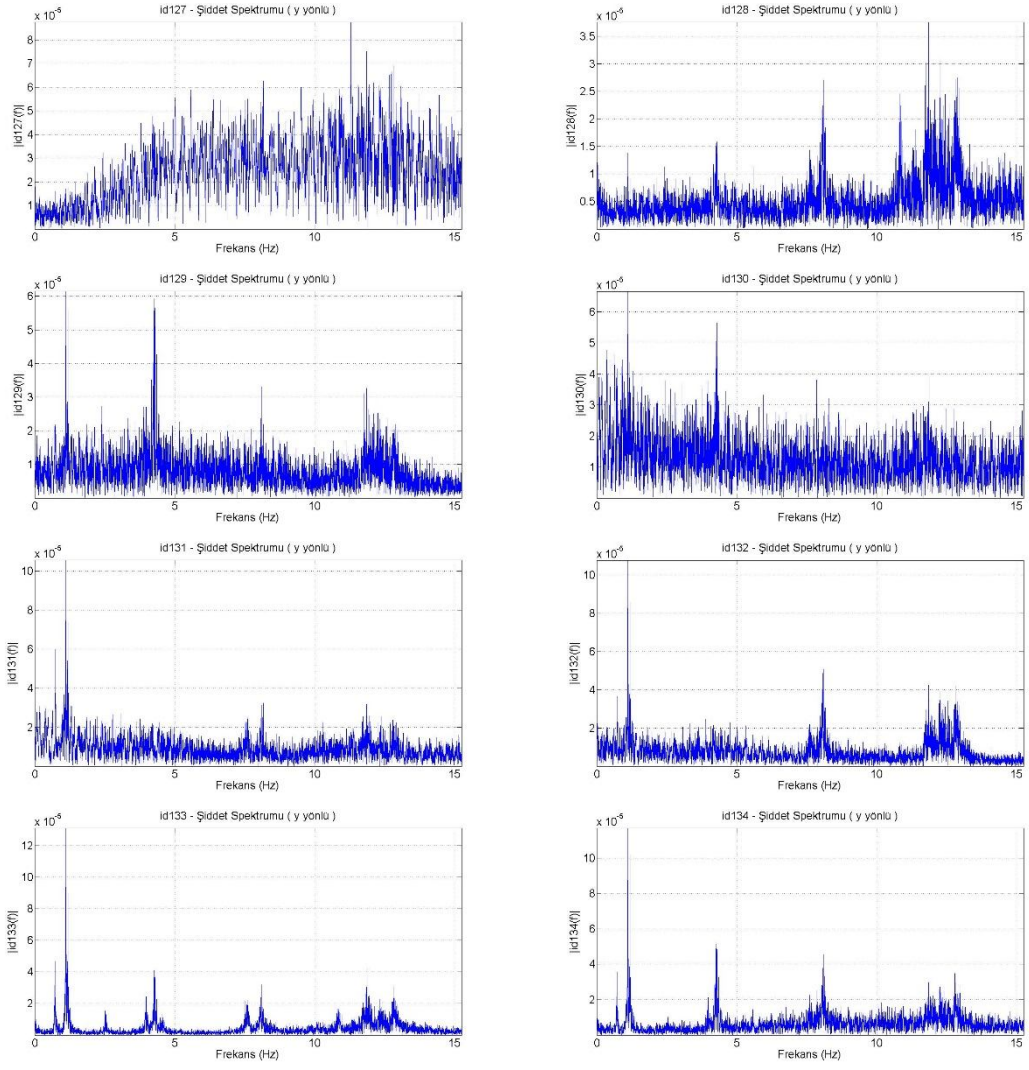


Şekil 4.14. y yönlü yükleme için y yönlü ivme değerleri

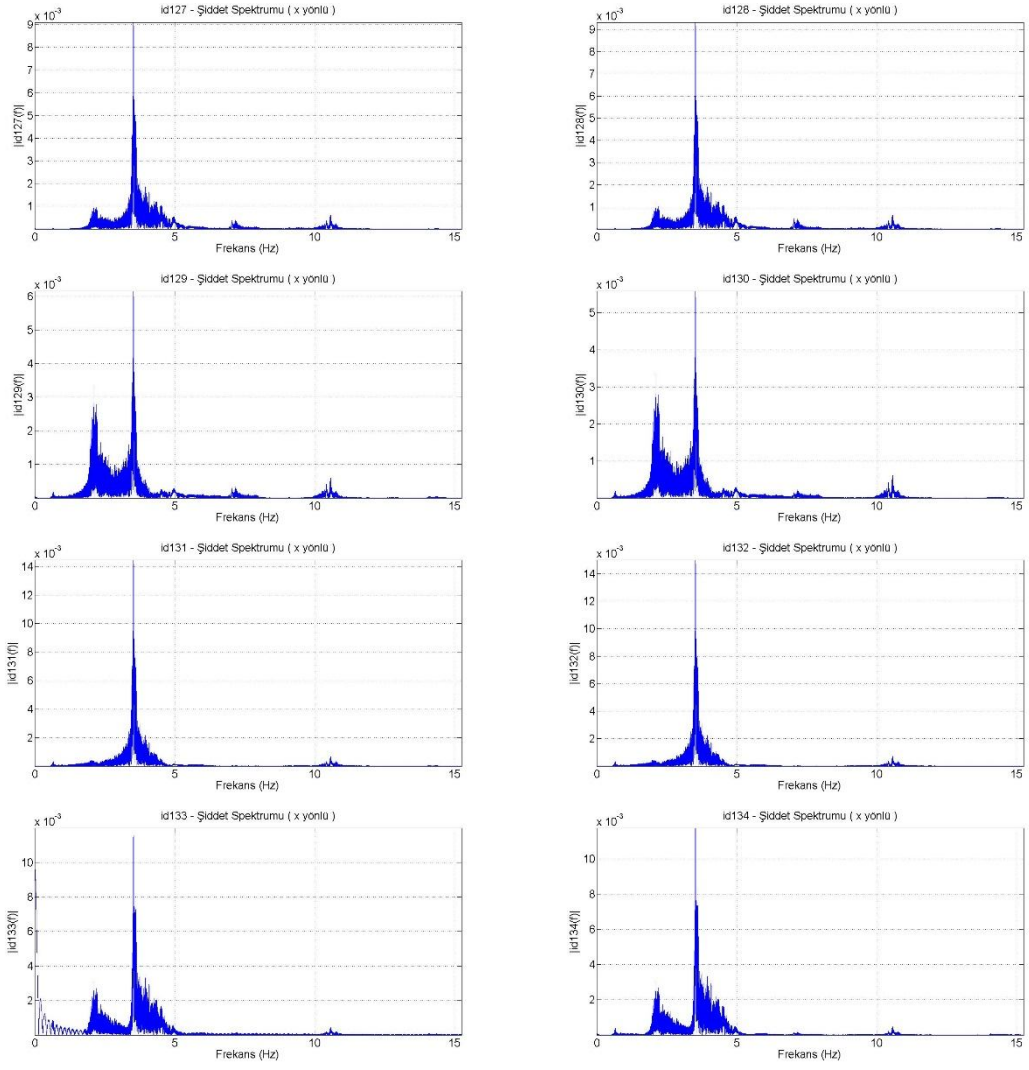
Modal parametreler hakkında yorum yapabilmek için frekans tanım alanında çalışmamız gerekmektedir. Fourier Dönüşümleri kullanılarak sinyal içerisindeki frekans bileşenlerine ulaşılabilmektedir. Fourier Dönüşümü için MATLAB R2010a programı kullanılmıştır [12]. Katlarda ölçülen frekans tanım alanında ivme değerlerinin durumu Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20’de verilmiştir.



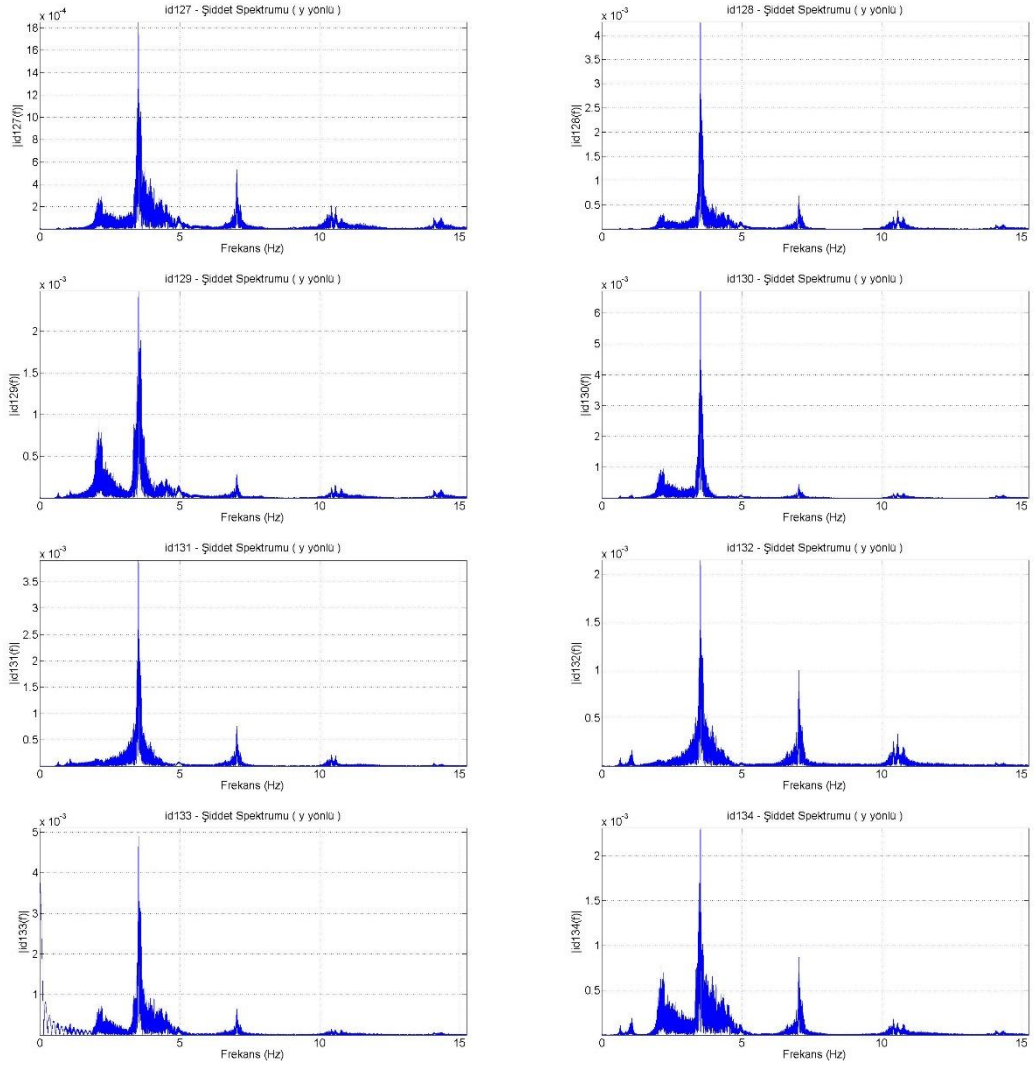
Şekil 4.15. Çevrel titreşim etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri



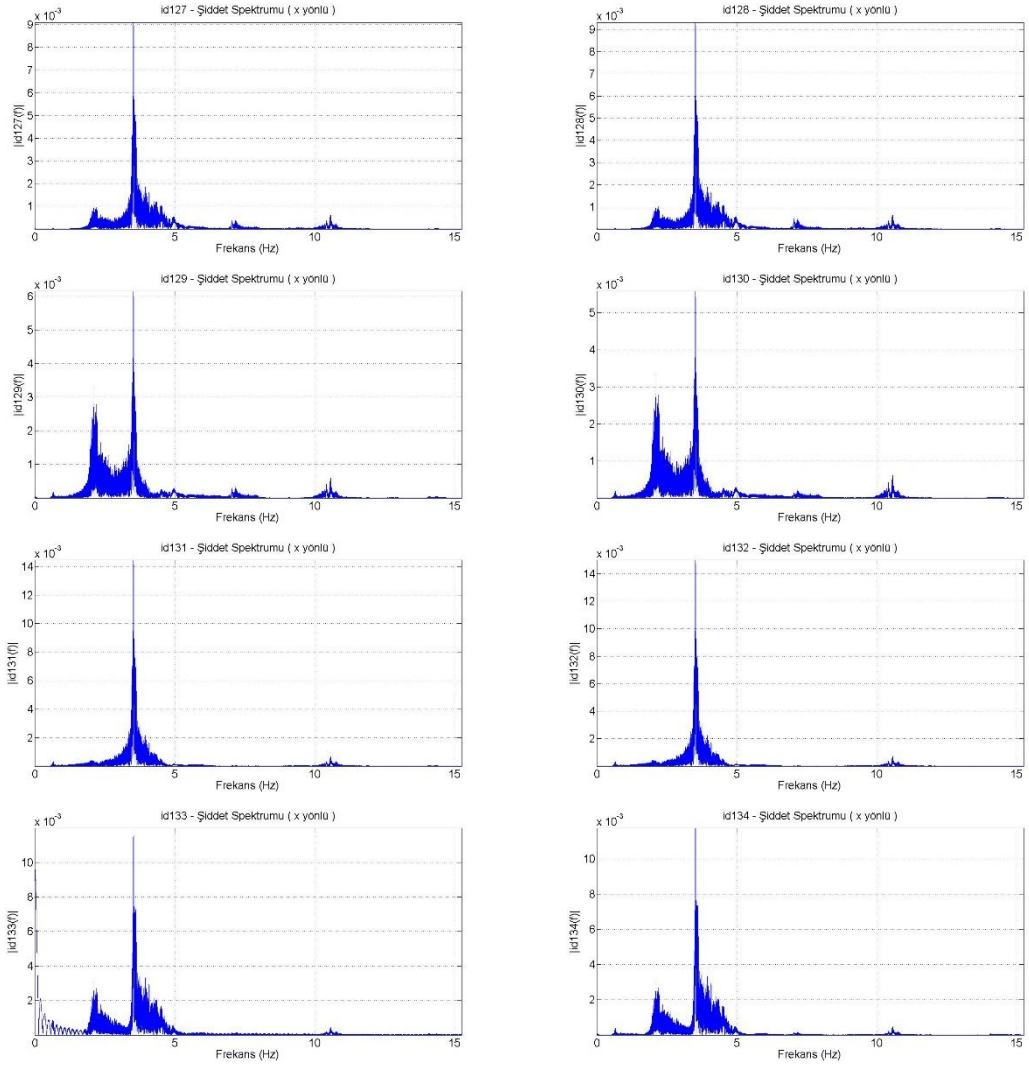
Şekil 4.16. Çevrel titreşim etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri



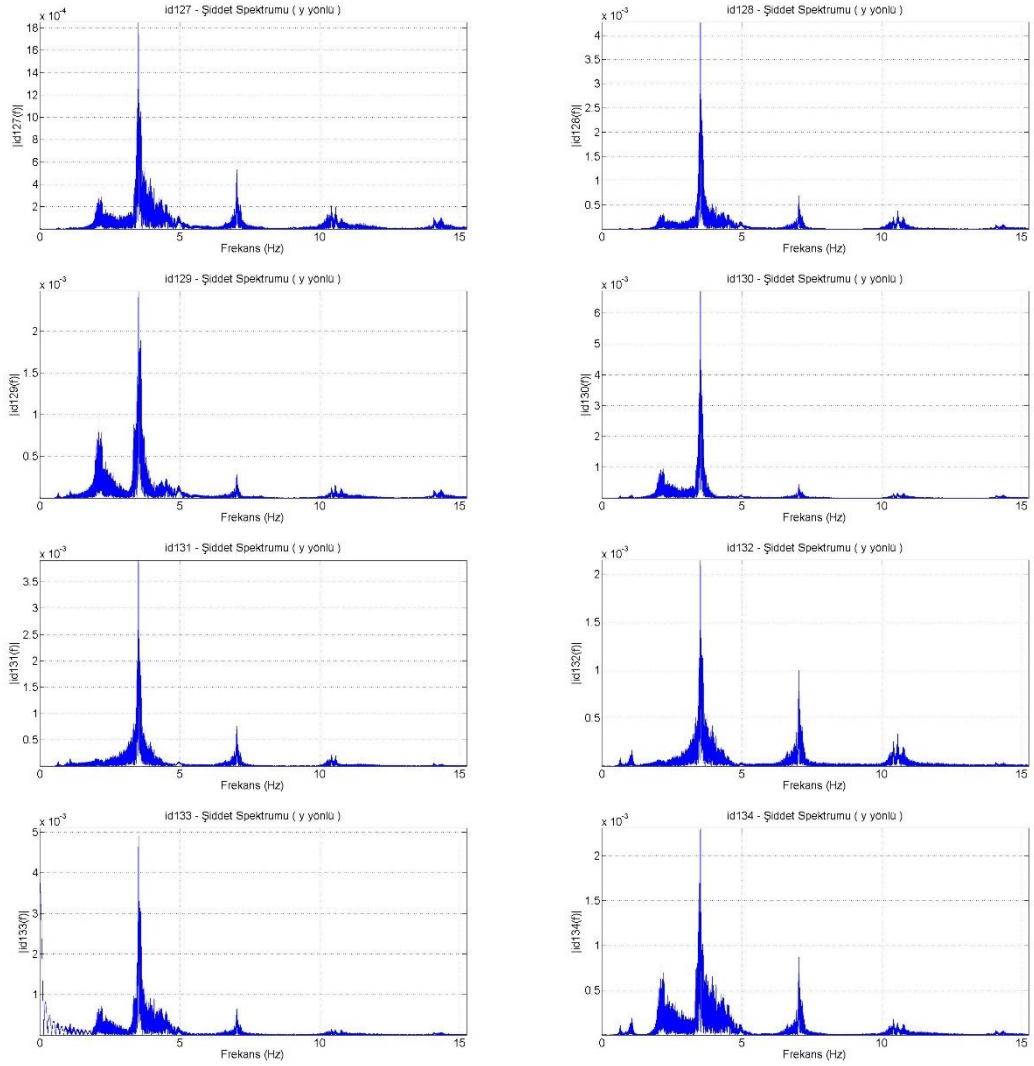
Şekil 4.17. x yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri



Şekil 4.18. x yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri



Şekil 4.19. y yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen x yönlü ivme değerleri



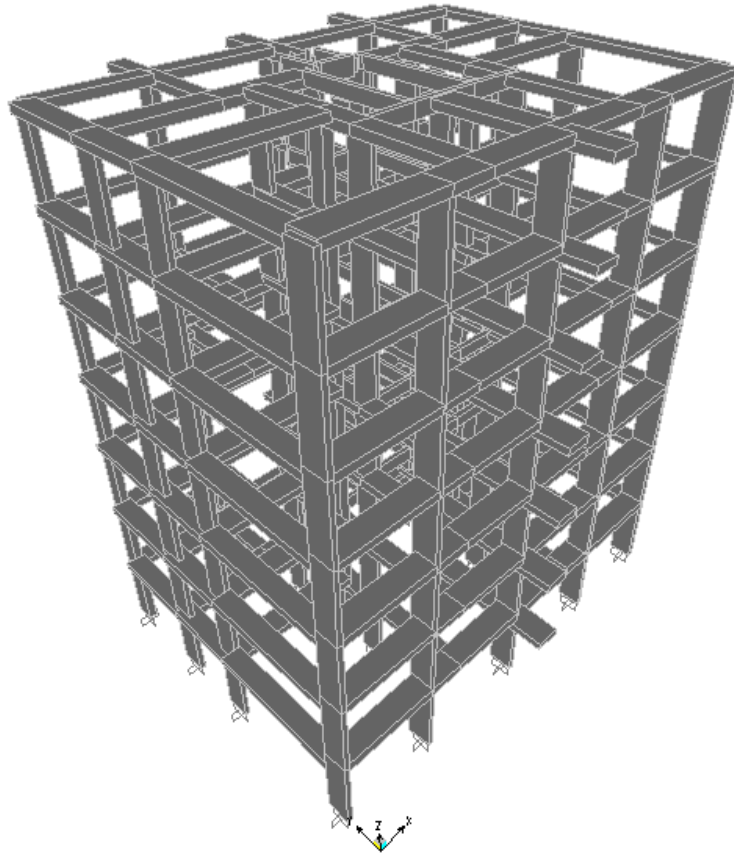
Şekil 4.20. y yönlü zorlama kuvvet etkisinde katlarda ölçülen y yönlü ivme değerleri

Dalgaların daha büyük genlikli salınım eğilimi gösterdiği frekanslar, mod frekanslarıdır. Şekillerden de görüleceği gibi hakim modal frekanslar, çevrel titreşim etkisinde 0,74, 1,1, 2,5, 4,2, 4,5, 6,8 Hz. olarak, zorlama kuvvet etkisinde de 0,65, 0,85, 1, 2,1, 3,5, 6,9 Hz olarak tespit edilebilmektedir.

Kuvvet etkisindeki ölçümlerde gözlenen, mod periyotlarındaki büyüme, hasarın varlığını doğrulamaktadır. Yapının her iki yük şartlarında tam tepe frekanslarında tepkiler üretmemesi fakat benzer yakın frekanslarda tepkiler üretmesi, tepe genlikleri arasındaki göreceli oranın serbest ve zorlama yük şartlarında farklılıklar oluşturması, zorlama kuvvetler altında ihtiyaç duyulan tam çerçeve çalışma şartlarının bazı hasarlı

elemanlardan dolayı toplam davranışta katkılarının düşmesi dikkat çekici olup, kuvvetli yükleme şartlarının serbest şartlara göre zorlayıcı yapısının temel etken olduğu kanaati hakimdir. Çevrel titreşimlerde x ve y yönü frekanslarının benzerliği yapının planda kareye yakın olması ve hasarlı son durum itibariyle yakın benzer yanal rijitliklere sahip olmasıyla rijidlik merkeziyle kütle merkezinin simetri eksenlerinin kesişim noktasına kaymasıyla açıklanabilmektedir. Yapının, üzerindeki düşey yükler etkisinde stabil oluşu göz önünde bulundurularak çevrel titreşimlerden elde edilen bilgilerin, hasar almadan önceki durumu yansıttığı öngörülmektedir.

Yapının, mevcut kalıp planları ve kesitleri kullanılarak, SAP2000 V.14.2.0 programı ile oluşturulmuş üç boyutlu bilgisayar modeli Şekil 4.21’de görülmektedir. Şekildeki modelde kirişler, kolonlar ve perdeler çubuk elemanlar gibi modellenmiştir, perdelerin diğer elemanlar ile birleşimlerinde sonsuz rijit fiktif çubuk elemanlar kullanılmıştır.

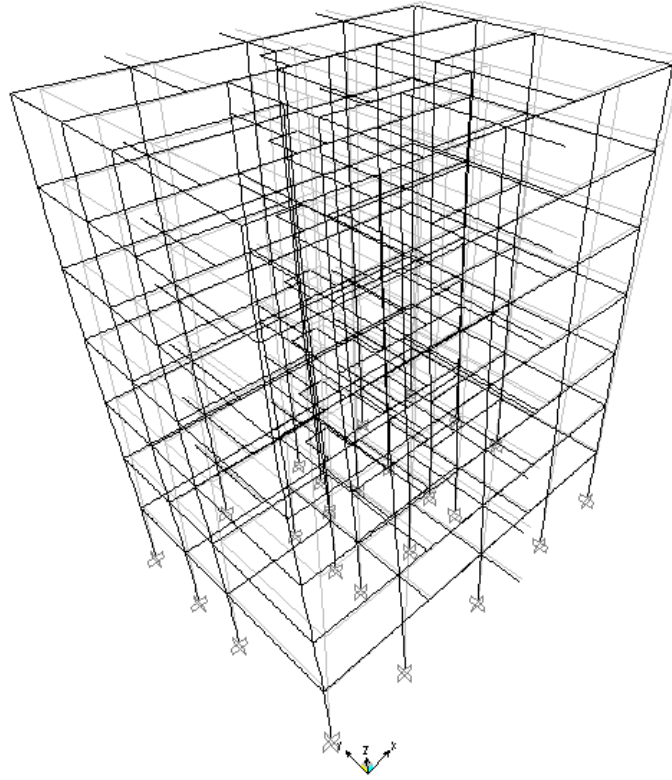


Şekil 4.21. Binanın üç boyutlu modeli

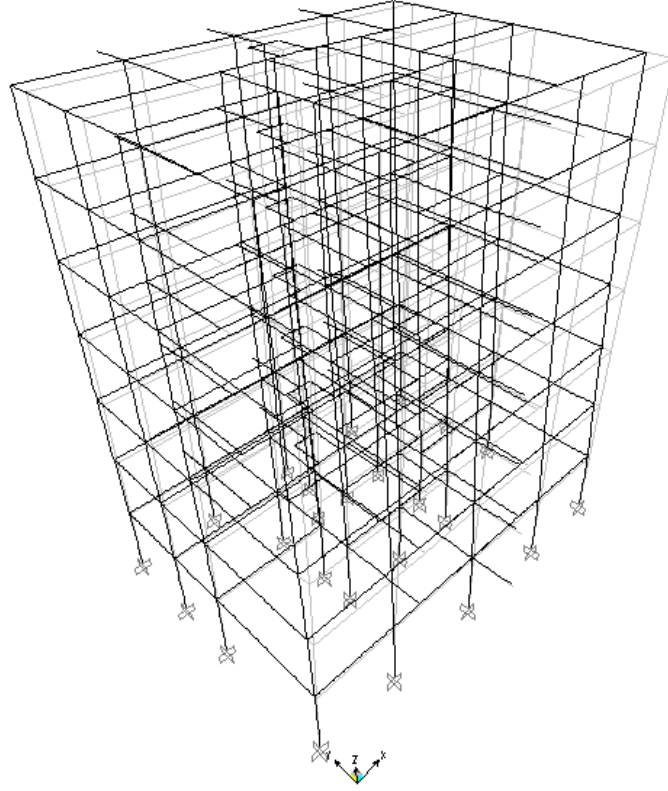
Taşıyıcı elemanların hasar gören kısımlarından, donatı çeliği sınıfının, S220 olduğu belirlenmiştir. Beton sınıfını belirleyebilmek için, mod frekanslarına uyumlu sistemi sağlayacak rijitlik aranmıştır. Elastisite Modülü 28000 Mpa olan betonun (20 Mpa'lık beton dayanımına denk gelmektedir.) kullanılmış olduğu öngörülen, modelden hesaplanan x yönlü ve y yönlü birinci hakim modlara ilişkin bilgiler Şekil 4.22, 4.23 ve Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2. Birinci hakim modların periyotları ve kütle katılım oranları hakkında bilgiler

Mod Frekansı	X Yönlü Yer Değişime İçin Kütle Katılım Oranı (%)	Y Yönlü Yer Değişime İçin Kütle Katılım Oranı (%)
0,965242	77	0
1,446305	0	78

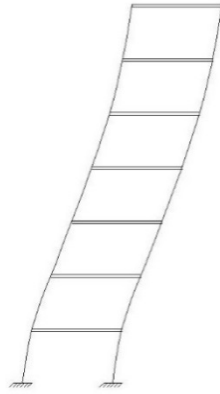


Şekil 4.22. x yönlü birinci hakim mod

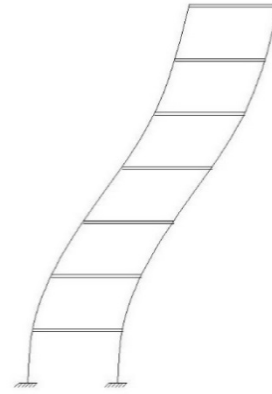


Şekil 4.23. y yönlü birinci hakim mod

Deneysel verilerden hesaplanan x yönlü ve y yönlü birinci hakim modlara ilişkin mod şekilleri Şekil 4.24’de verilmektedir.



Deneysel verilerden elde edilen x yönlü birinci hakim moda ilişkin mod şekli (0.75 Hz’de)



Deneysel verilerden elde edilen y yönlü birinci hakim moda ilişkin mod şekli (1.11 Hz’de)

Şekil 4.24. Deneysel verilerden elde edilen birinci hakim modlara ait mod şekilleri

Modal gerçekleşme kriteri (MAC) kullanılarak, nümerik çalışma sonucu elde edilen mod şekillerinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması Tablo 4.3 ve 4.4’te görülmektedir.

Tablo 4.3. Nümerik çalışma sonucu elde edilen x yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması

Kat	Deneysel Olarak		Analitik Olarak		
	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	
Çatı Katı	0,0736	1,00	0,0341	1,00	Modal Gerçekleşme Kriteri = 0,998
6. Kat	---	---	---	---	
5. Kat	0,0642	0,87	0,02845	0,83	
4. Kat	---	---	---	---	
3. Kat	0,0377	0,51	0,0177	0,52	
2. Kat	---	---	---	---	
1. Kat	0,0126	0,17	0,00425	0,13	

Tablo 4.4. Nümerik çalışma sonucu elde edilen y yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması

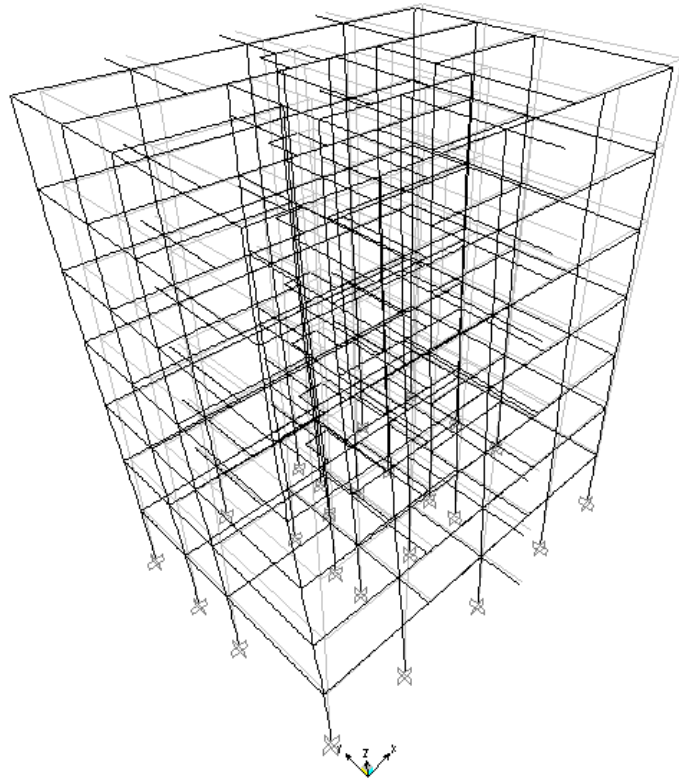
Kat	Deneysel Olarak		Analitik Olarak		
	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	
Çatı Katı	0,0251	1,00	0,0362	1,00	Modal Gerçekleşme Kriteri = 0,998
6. Kat	---	---	---	---	
5. Kat	0,0216	0,86	0,029	0,80	
4. Kat	---	---	---	---	
3. Kat	0,0130	0,52	0,0169	0,47	
2. Kat	---	---	---	---	
1. Kat	0,0028	0,11	0,0034	0,09	

Mod Şekilleri uyumludur ancak frekanslar denk değildir. Rijitlik güncellemesi yapılmış ve elastisite Modülü 16500 Mpa olan betonun, (10,9 Mpa'lık beton dayanımına denk gelmektedir.) kullanılmış olduğu öngörülen, modelden elde edilen x yönlü ve y yönlü mod bilgileriyle ile çevrel titreşim verilerinden elde edilen x yönlü ve y yönlü mod bilgilerinin uyduğu görülmüştür. Modelden hesaplanan x

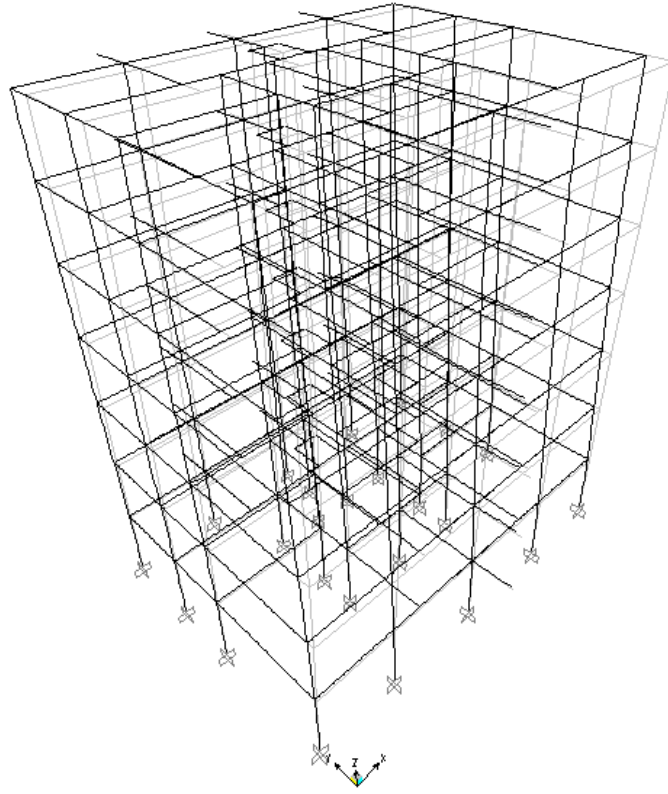
yönlü ve y yönlü birinci hakim modlara ilişkin bilgiler Şekil 4.25, 4.26 ve Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.5. Birinci hakim modların periyotları ve kütle katılım oranları hakkında bilgiler

Mod Frekansı	X Yönlü Yer Değişime İçin Kütle Katılım Oranı (%)	Y Yönlü Yer Değişime İçin Kütle Katılım Oranı (%)
0,741428	77	0
1,111532	0	78



Şekil 4.25. x yönlü birinci hakim mod



Şekil 4.24 : y yönlü birinci hakim mod

Modal gerçekleşme kriteri (MAC) kullanılarak, nümerik çalışma sonucu elde edilen mod şekillerinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması Tablo 4.6 ve 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.6. Nümerik çalışma sonucu elde edilen x yönlü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması

Kat	Deneysel Olarak		Analitik Olarak		
	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	
Çatı Katı	0,0736	1,00	0,0341	1,00	Modal Gerçekleşme Kriteri = 0,998
6. Kat	---	---	---	---	
5. Kat	0,0642	0,87	0,02845	0,83	
4. Kat	---	---	---	---	
3. Kat	0,0377	0,51	0,0177	0,52	
2. Kat	---	---	---	---	
1. Kat	0,0126	0,17	0,00425	0,13	

Tablo 4.7. Nümerik çalışma sonucu elde edilen y yönü mod şeklinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması

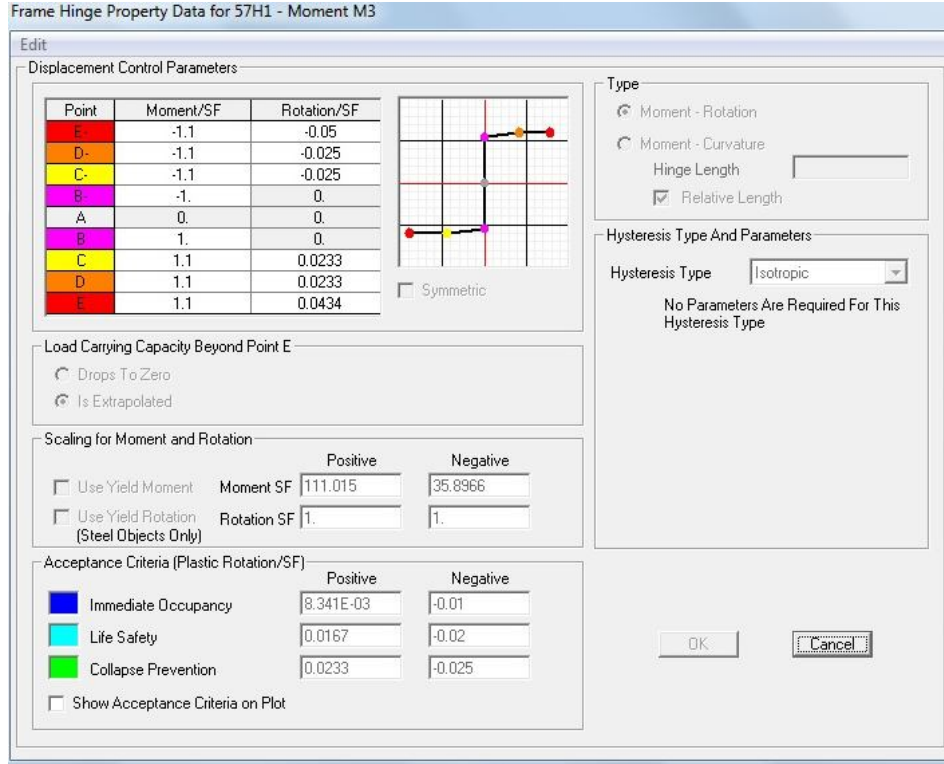
Kat	Deneysel Olarak		Analitik Olarak		
	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	Ölçülen Yer Değişirme (mm)	Normalize Edilmiş Yer Değişirme	
Çatı Katı	0,0251	1,00	0,0362	1,00	Modal Gerçekleşme Kriteri = 0,998
6. Kat	---	---	---	---	
5. Kat	0,0216	0,86	0,029	0,80	
4. Kat	---	---	---	---	
3. Kat	0,0130	0,52	0,0169	0,47	
2. Kat	---	---	---	---	
1. Kat	0,0028	0,11	0,0034	0,09	

5. PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

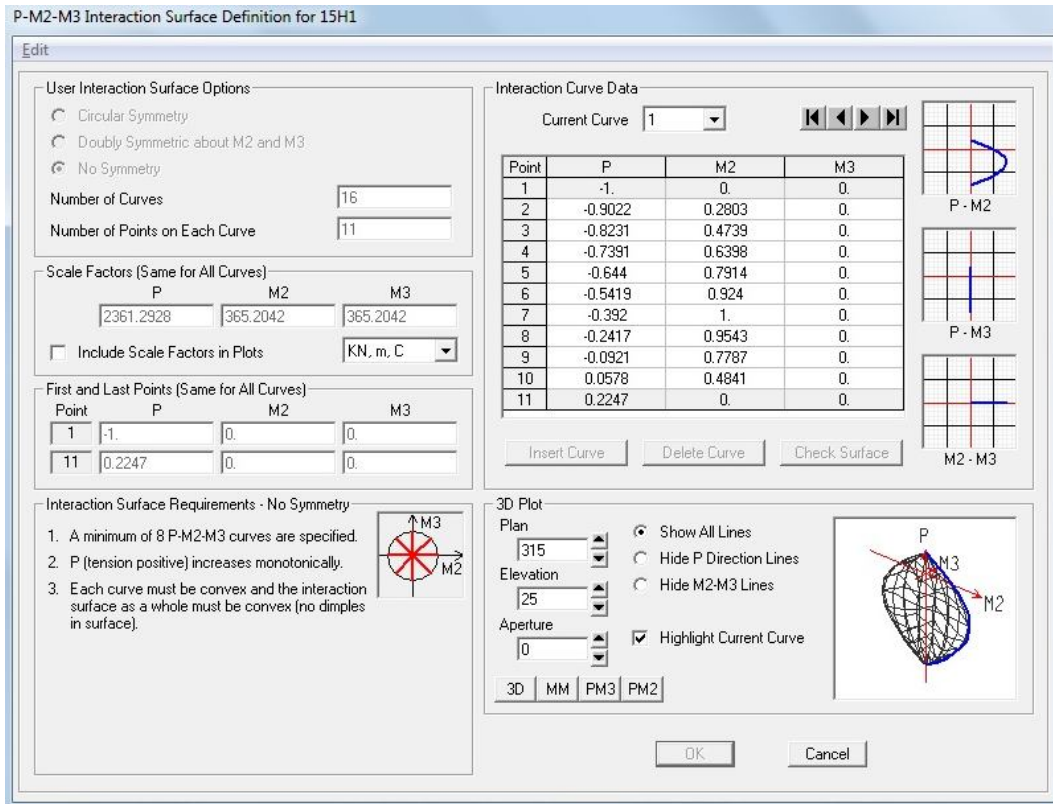
Bu bölümde, önceki bölümlerde anlatılan doğrusal olmayan analizlerden İtme Analizi Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile kalibrasyonu yapılmış mevcut betonarme konut binasının performans belirlenmesi yapılacaktır.

Doğrusal olmayan bir analiz yapabilmek için taşıyıcı elemanlara plastik mafsallar atanmıştır. Bu mafsallar elemanların uç noktalarında tanımlanmıştır. Kirişlerde yalnızca eğilme etkisi, kolonlarda ve perdelerde ise hem eğilme hem de düşey yükler etkisi göz önüne alınmıştır. Kesit dayanımlarının hesabında etkili olan boy donatı adeti mevcut projesinden alınmıştır. Etriye aralığı ise hasar gören kısımlarda gözlem yapılarak 250 mm olarak belirlenmiştir. Modelin mevcut halini tam olarak yansıttığı ön görüldüğünden bilgi düzeyi katsayı “1” seçilmiş, yönetmelikte tanımlı çatlama kesit için rijitlik küçültmesi işlemi uygulanmamıştır.

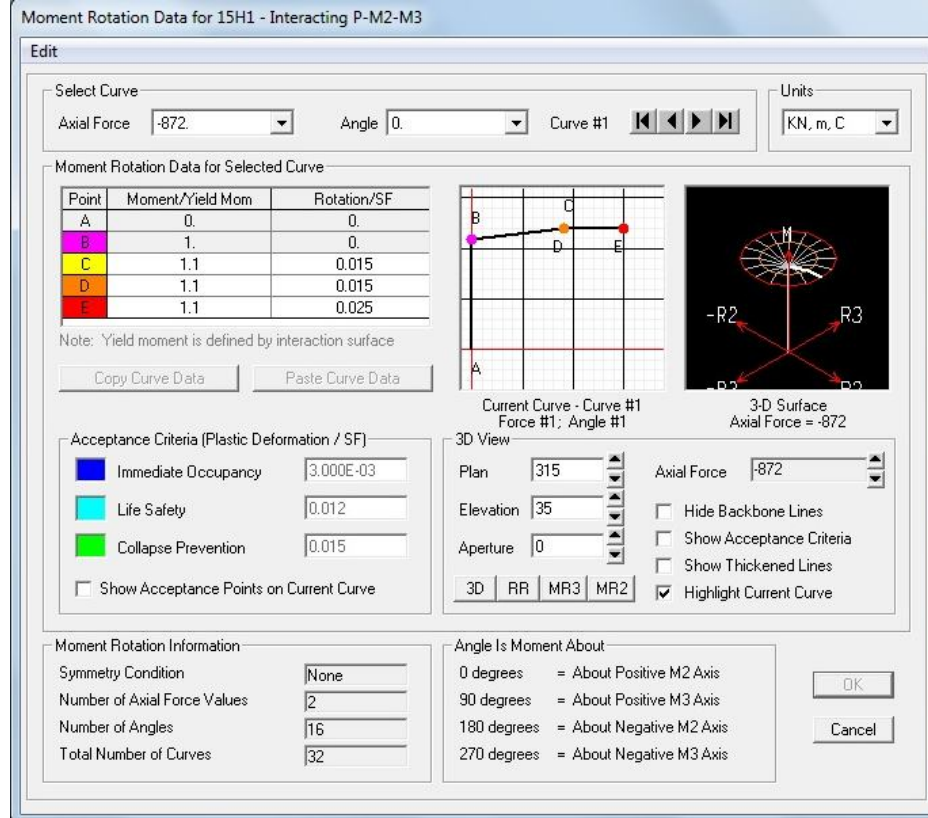
Şekil 5.1’de boyutları 32cmx100cm olan bir kirişe, Şekil 5.2 ve 5.3’te boyutları 20cmx100cm olan kolona ait doğrusal olmayan davranış için model üzerinde tanımlanmış plastik mafsallık özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.1. Boyutları 32x100 olan kirişin plastik mafsal özellikleri



Şekil 5.2. Boyutları 20x100 olan kolonun etkileşim diyagramı

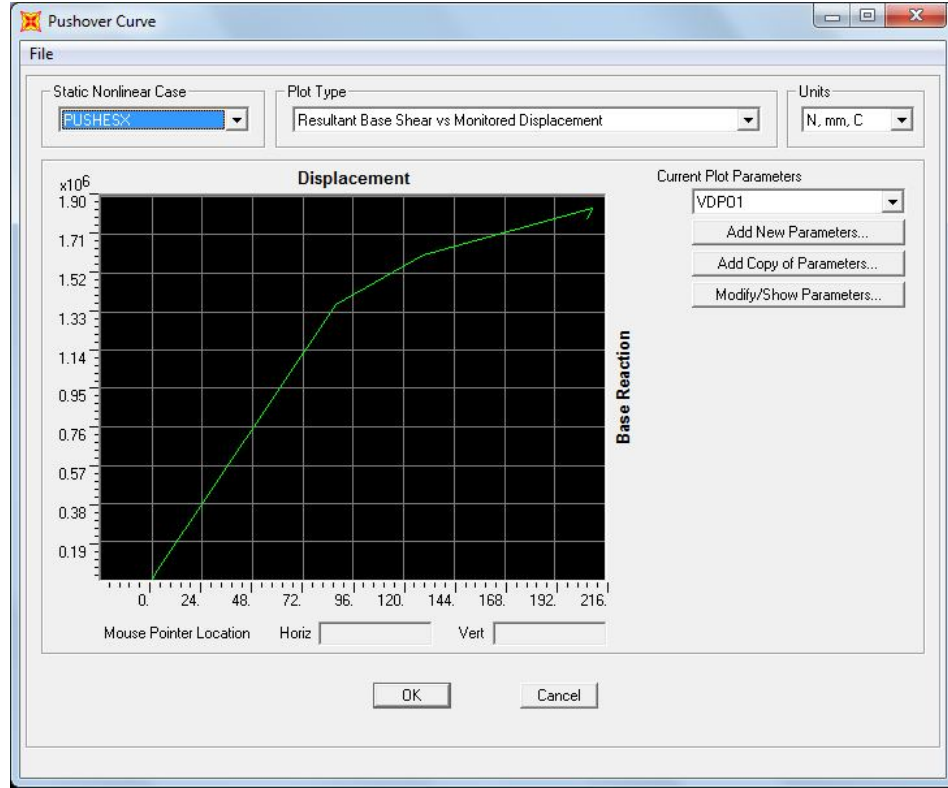


Şekil 5.3. Boyutları 20x100 olan kolonun plastik mafsallık özellikleri

Statik itme analizi durumlarında tepe yer değiştirmesi, yapının en üst kat kütle merkezi noktasının ya da bu noktaya yakın bir noktanın yer değiştirmesi olarak izlenmektedir. Bu nokta, SAP2000’de analiz durumlarının uygulama kontrolü bölümünde tanımlanmalıdır. Düşey analiz durumunda, itme analizi gerilmelerin sıfır olduğu ilk durumdan yapının en alt uç noktalarına toplam düşey yükün tamamı indirilene kadar devam eder ve bu arada program her doğrultuda tepe deplasmanını belirlenen üst kat noktasından kaydetmektedir. Yapı karkas durumda olduğundan düşey analiz durumu için yapının zati ağırlığından başka ek bir kuvvet tanımlanmamıştır.

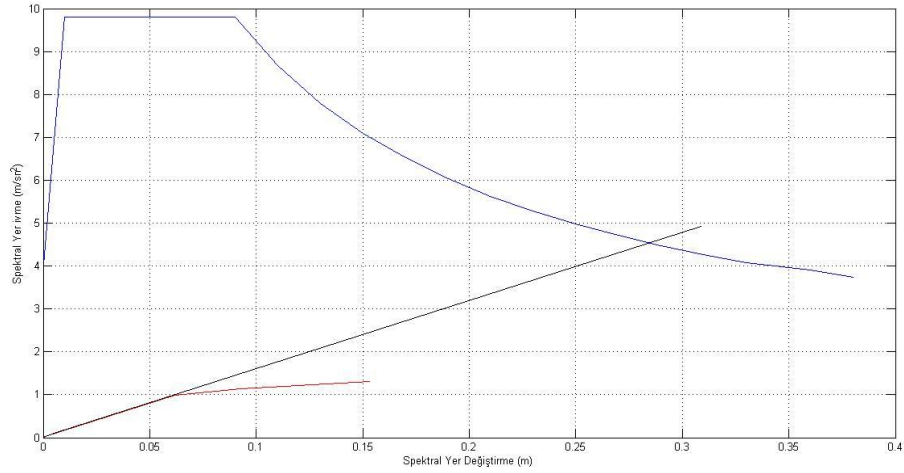
İtme analizi, kat kütle merkezlerine etkiyen deprem yüklerini bulunduran doğrusal olmayan analiz durumudur ve analiz yapının daha zayıf olduğu x doğrultusu için yapılacaktır. Analiz, düşey yüklemenin bittiği yerden, x doğrultusunda itme analizine devam etmektedir. Tepe yer değiştirmesi kontrolü ile analizin üst katta belirlenen kat kütle merkezi noktasının ya da buraya yakın bir noktanın ne kadar yer değiştirmeye yapılacağına karar verilebilmektedir.

x doğrultusunda yapılan itme analizi sonucunda SAP2000'den elde edilen kapasite eğrisi Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. SAP2000'de PUSHESX analiz durumundan elde edilen kapasite eğrisi

Yapının bulunduğu bölgenin genelinde Z3 yerel zemin sınıfı görülmektedir. Bu zemin sınıfı kullanılarak 50 yılda asılma olasılığı %10 olan deprem için oluşturulan deprem talep spektrumu eğrisi, elde edilen modal kapasite eğrisi ile birleştirilmiştir. Başlangıç teğet doğrusu yardımıyla spektral talep tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Modal kapasite eğrisi ve talep spektrumunun kesiştirilme işlemi yapılmış olup Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. SAP2000'den PUSHESX ile elde edilen kapasite eğrisi ve kesişirmesi

Kapasite eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülebilmesi için, DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5.4.'e göre modal katkı çarpanı (Γ_x) bulunmuştur. Tablo 5.1'de bu değerlerin hesaplanması gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Γ_x hesaplanması

Kat	w_i [kN]	m_i [t]	Φ_{ix}	$m_i\Phi_{ix}$	$m_i[\Phi_{ix}]^2$	L_x	M	Γ_x
7	2390	243,63	1,00	243,63	243,63	1079,28	841,13	1,28
6	2390	243,63	0,94	229,01	215,27			
5	2390	243,63	0,84	204,65	171,90			
4	2390	243,63	0,69	168,10	115,99			
3	2390	243,63	0,52	126,69	65,88			
2	2390	243,63	0,32	77,96	24,95			
1	2390	243,63	0,12	29,24	3,51			

Şekil 5.7 ile elde edilen talep spektral yer değiştirmeler, DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5.7. ve Ek 7C'e göre, Denklem (5.1) (DBYBHY 2007'de Denklem 7C.1) ve Denklem (5.2) (DBYBHY 2007'de Denklem 7.5) yardımıyla talep tepe yer değiştirmesine dönüştürülecektir [9]. Doğal titreşim periyodu belirli bir sınır periyodundan daha uzun olan ($T > T_B$) görel esnek sistemlerde nonlineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesi d_{max} ile eşlenik lineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesi d_e birbirine yaklaşık olarak eşit olmaktadır ($C_{R1} = 1$ alınmıştır) [17].

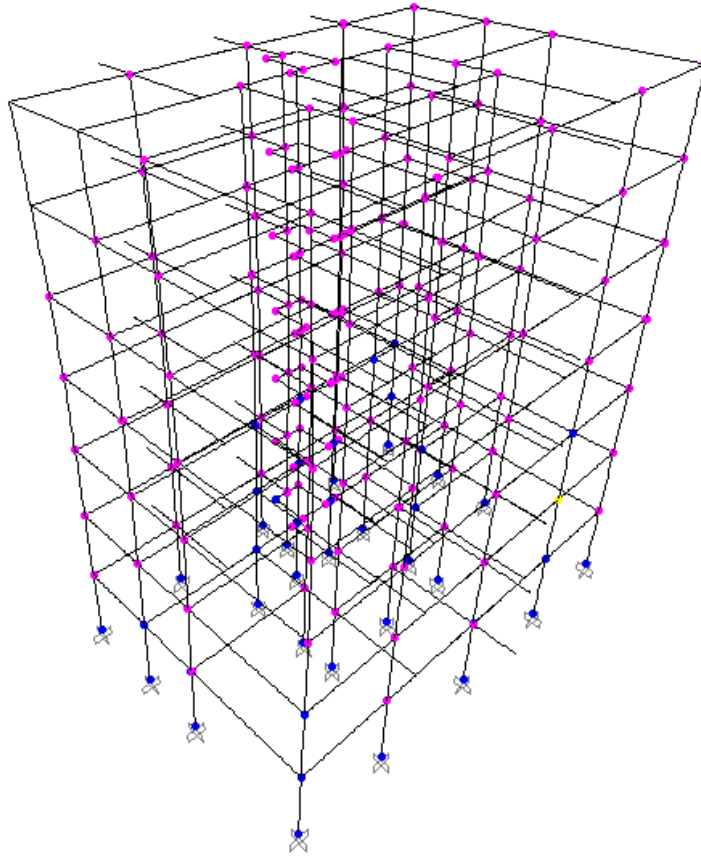
$$d_{\max}^{\text{ep}} = C_{R1} d_{\max}^e \quad (5.1)$$

$$d_{\max}^{\text{ep}} = 1 \times 0,285 = 0,285 \text{ m}$$

$$u_{xN1} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (5.2)$$

$$u_{xN1} = 1 \times 1,28 \times 0,285 = 0,365 \text{ m}$$

Ancak, numerik yapı modeli, Yönetmelikte ifade edilen hedef yerdeğiştirme değerine ulaşmadan, en alt kattaki kolonlarının hem üst ucunun hem de alt ucunun hasar alması ve mekanizma durumunun oluşması sebebiyle, çok daha küçük bir yerdeğiştirme değerinde analiz sonuçlandırılmıştır. Görüleceği gibi Yönetmelikte ifade edilmiş olan hedef yerdeğiştirmenin çok büyük bir tahmin değeri olduğu ve gerçekleşmeyeceği anlaşılmıştır. Yönetmelikte tanımlı hedef yerdeğiştirmenin yapı özelliklerine göre tanımlanması daha gerçekçi olacaktır. Şekil 5.8'de 0,188 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu görülmektedir.



Şekil 5.8. PUSHESX ile itme analizinin son adımında 0,188 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu

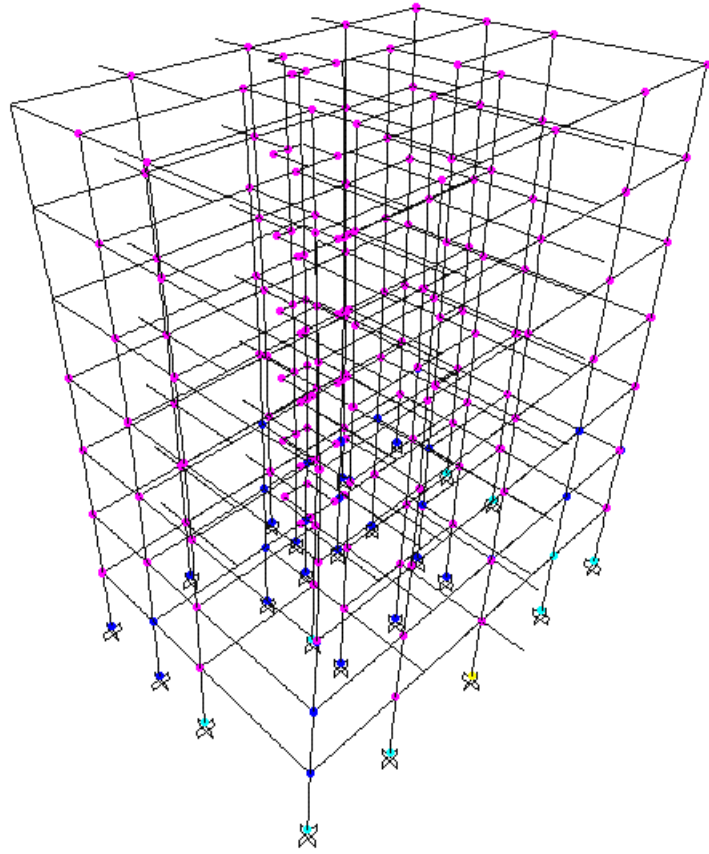
Tek Modlu İtme Analizi'nde, x doğrultusundaki ilk mod kullanılmıştır. x doğrultusundaki ilk mod kütle katılım oranı kadar hesaba dahil edilmiştir. Tablo 5.2'de ve Şekil 5.9'da PUSHTEKMX analiz durumunun SAP2000'de tanımlanması Şekil 5.10'da ise analiz sonucunda 0,174 m tepe yer değiştirmesi için mafsalların durumu gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Mod katkılarının dağıtılması

x Yönlü Mod Numarası	Periyod	Kütle Katılım Oranı	Kütle Katılım Oranının Karesi	Katılım Oranının Karesinin Toplama
1	1,348739	0,76	0,57760	1,00
Toplam			0,57760	1,00

The screenshot shows the 'Load Case Data - Nonlinear Static' dialog box in SAP2000. The 'Load Case Name' is 'PUSHTEKMX'. The 'Load Case Type' is 'Static'. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. The 'Modal Load Case' is 'MODAL'. The 'Loads Applied' table shows one entry: Mode 1, Load Name 1, Scale Factor 1. The 'Other Parameters' section shows 'Load Application' as 'Displ Control', 'Results Saved' as 'Multiple States', and 'Nonlinear Parameters' as 'User Defined'.

Şekil 5.9. x doğrultusundaki yüklemeyi içeren PUSHTEKMX analiz durumunun SAP2000'de tanımlanması



Şekil 5.10. PUSHTEKMX ile itme analizinin son adımında 0,174 m tepe yer değıştirmesi için mafsalların durumu

Çok Modlu İtme Analizi'nde, x doğrultusundaki kütle katılım oranı toplamı %90'ı sağlayan modlar kullanılmıştır. x doğrultusundaki kütle katılım oranı toplamı %90'ı sağlayan modlar kütle katılım oranları kadar hesaba dahil edilmiştir. Tablo 5.3'te ve Şekil 5.11'de PUSHCOKMX analiz durumunun SAP2000'de tanımlanması Şekil 5.12'de ise analiz sonucunda 0,174 m tepe yer değıştirmesi için mafsalların durumu gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Mod katkılarının dağıtılması

x Yönlü Mod Numarası	Periyod	Kütle Katılım Oranı	Kütle Katılım Oranının Karesi	Katılım Karesinin Oranı	Oranın Toplama
1	1,348739	0,76	0,57760	0,9808	
2	0,950631	0,04559	0,00208	0,0035	
3	0,432695	0,09624	0,00925	0,0157	
Toplam			0,58893	1,00	

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name:

Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

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

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	0.9808
Mode	2	3.500E-03
Mode	4	0.0157

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

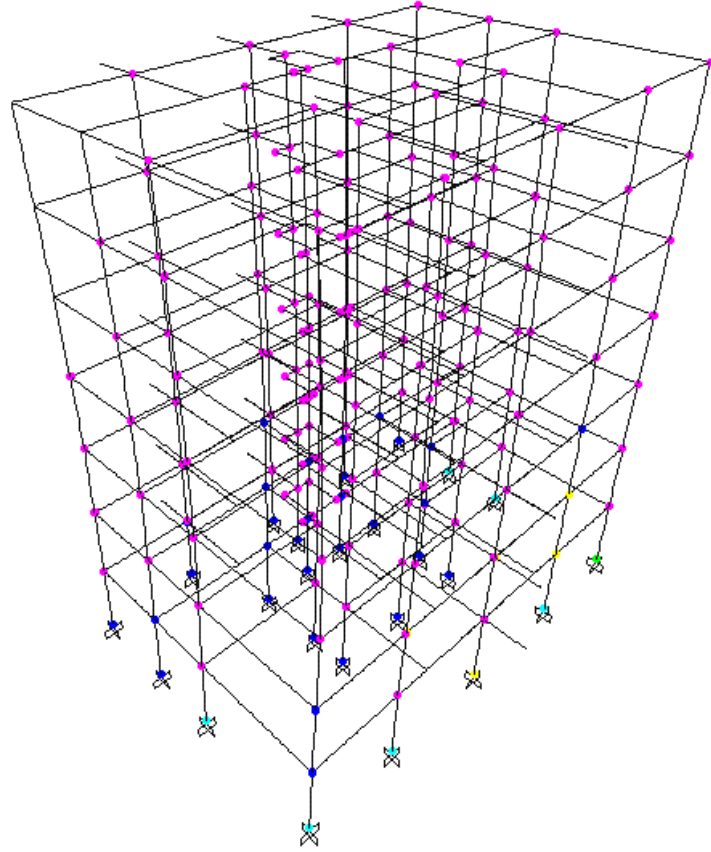
Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

Şekil 5.11. x doğrultusundaki yüklemeyi içeren PUSHCOKMX analiz durumunun SAP2000'de tanımlanması



Şekil 5.12. PUSHOKMX ile itme analizinin son adımında 0,174 m tepe yer değıştirmesi için mafsalların durumu

Zaman tanım alanında analiz için deprem merkezinden 4,2 km uzaklıkta bulunan Yarımca-Petkim'den alınan 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi verileri kullanılmıştır. Modele, Z doğrultusunda depremin YPT_UP kaydı, X doğrultusunda depremin YPT_60 kaydı, Y doğrultusunda ise depremin YPT_330 kaydı etkilmiştir ve Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Kayıtlar, Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'da gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: TH Notes:

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

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

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Time History Type:

Modal

Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	YARIMCAX	9.81
Accel	U2	YARIMCAY	9.81
Accel	U3	YARIMCAZ	9.81

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 7000

Output Time Step Size: 5.000E-03

Time History Motion Type:

Transient

Periodic

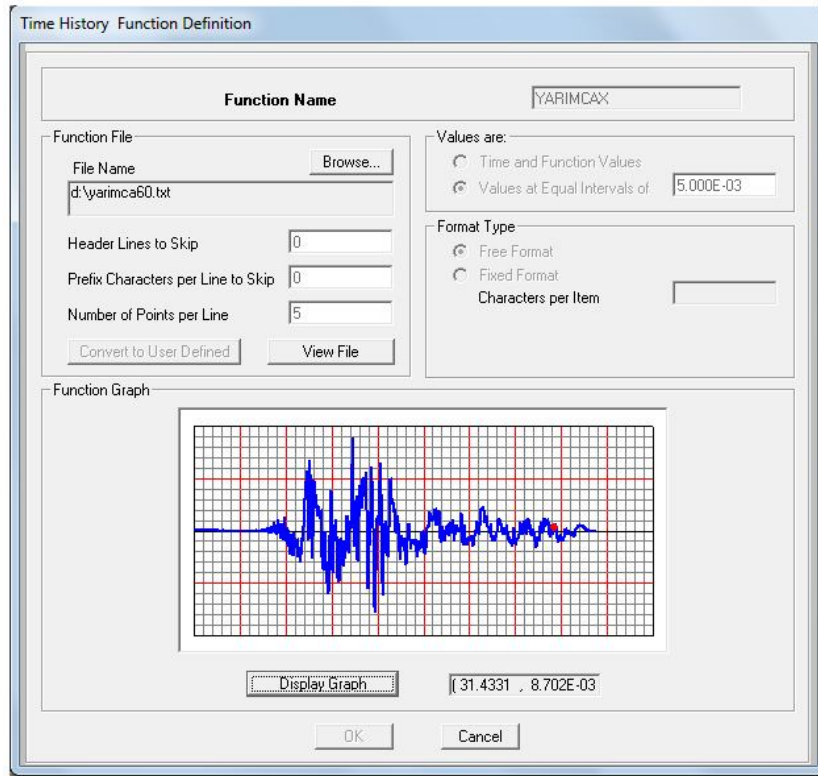
Other Parameters:

Damping: Proportional Damping

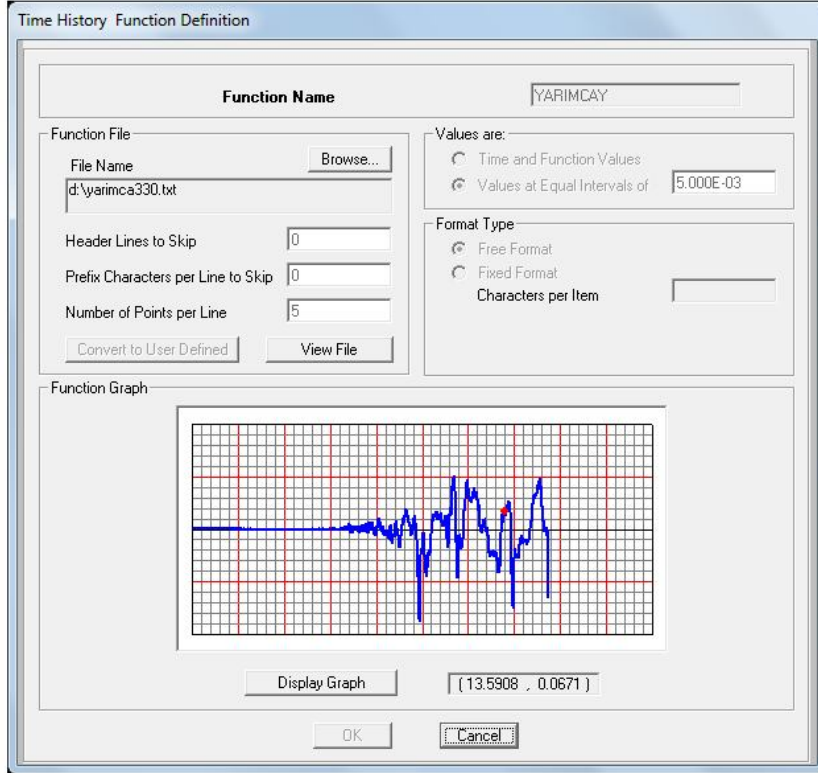
Time Integration: Hiber-Hughes-Taylor

Nonlinear Parameters: Default

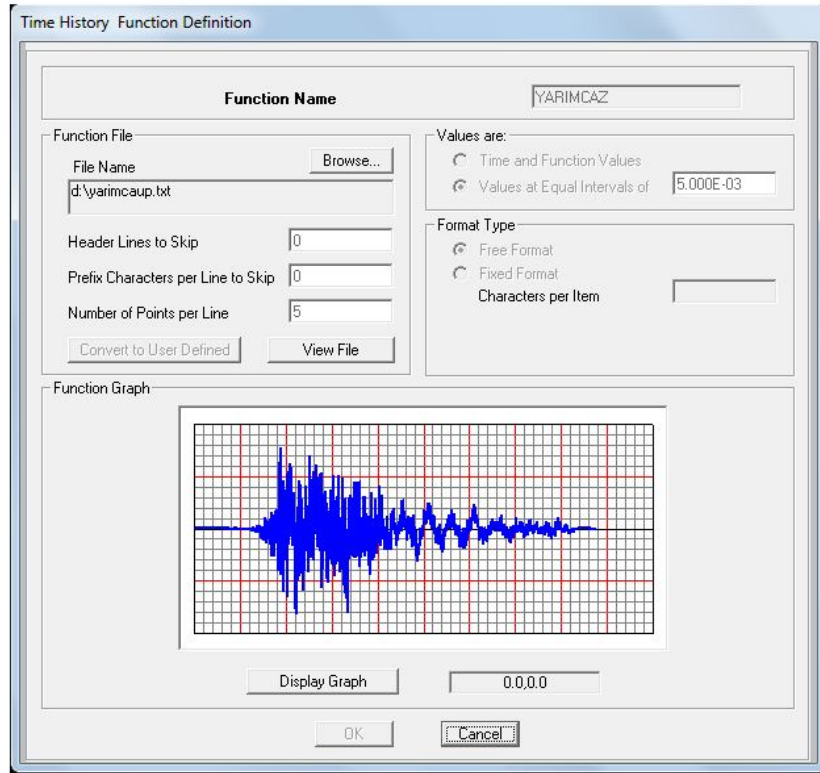
Şekil 5.13. Zaman tanım alanında analiz durumunun SAP2000'de tanımlanması



Şekil 5.14. YPT_60 kaydı

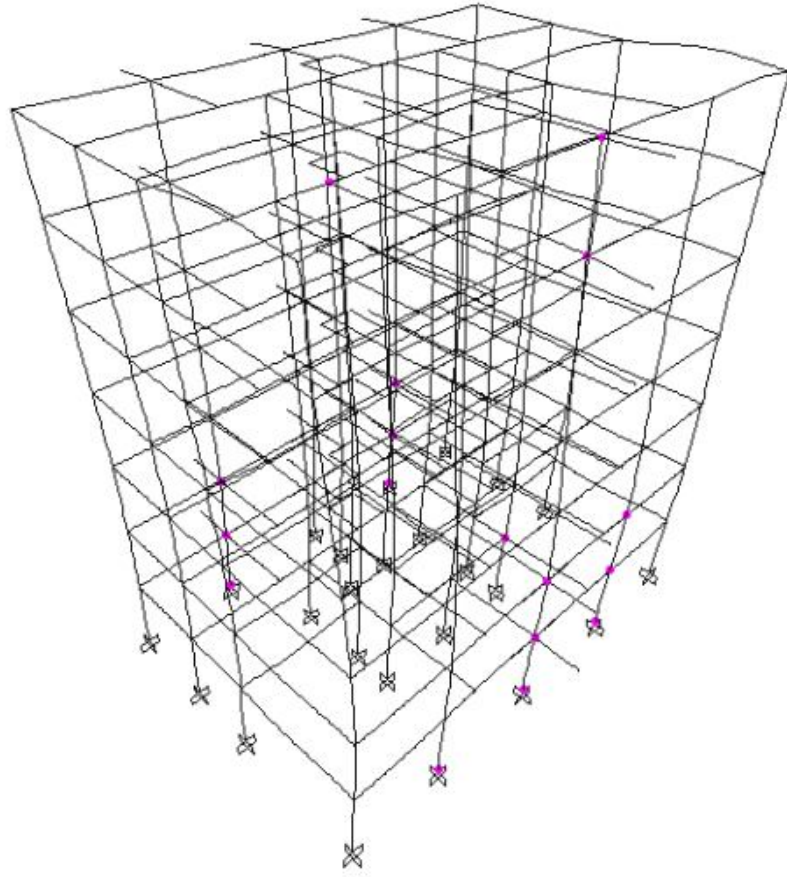


Şekil 5.15. YPT_330 kaydı



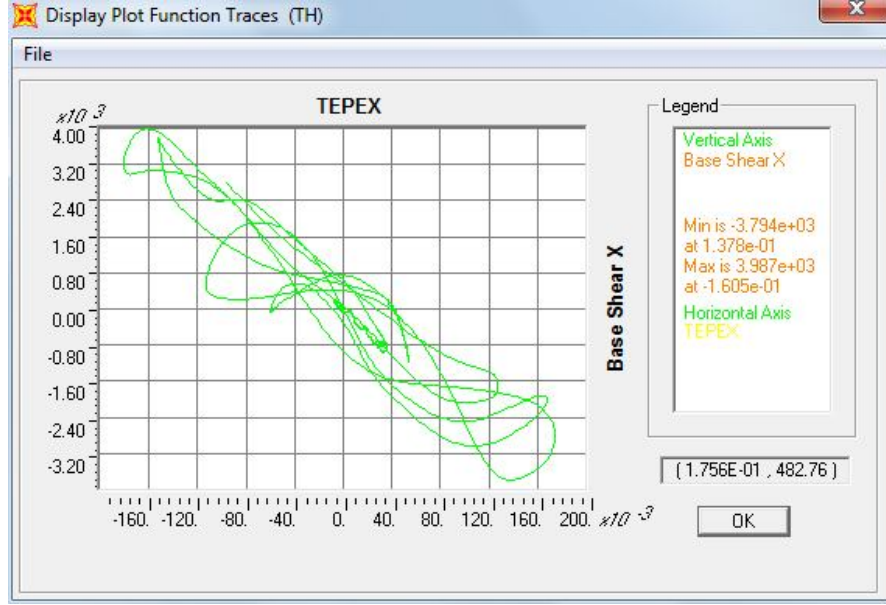
Şekil 5.16. YPT_UP kaydı

Analiz sonrası yapının hasar durumu Şekil 5.17’de görülmektedir.

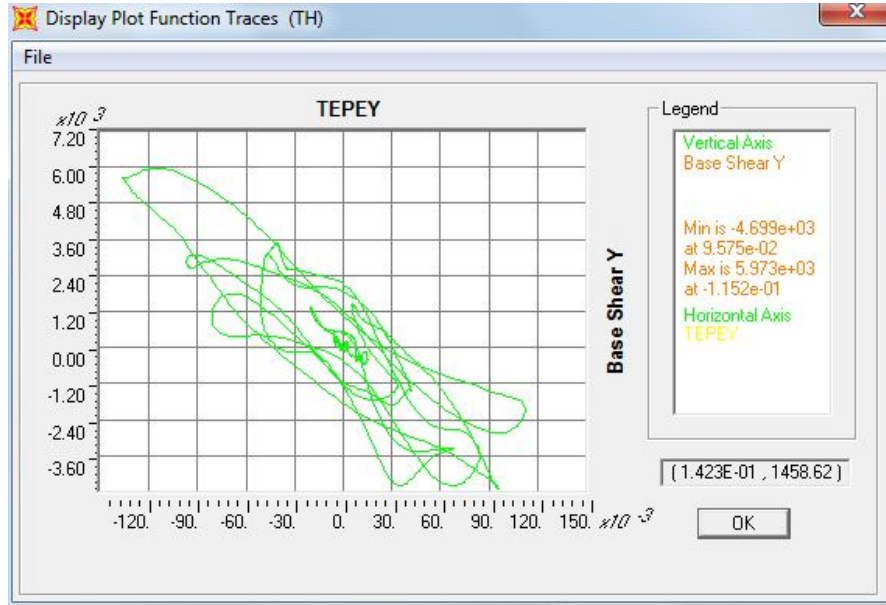


Şekil 5.17. Zaman tanım alanında analiz sonrası yapının hasar durumu

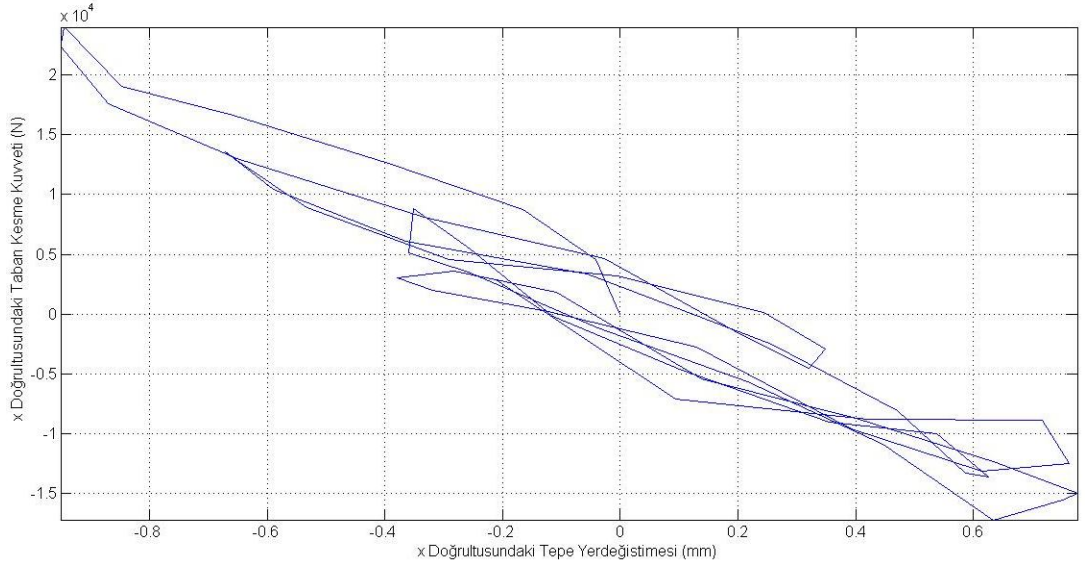
Analiz sonucunda tüm taşıyıcı elemanların kapasitesinin yetersiz olduğunu, binanın göçme durumunda olduğunu anlıyoruz. Gene analiz sonuçlarından elde edilen Tepe yerdeğiştirmesi - Taban kesme kuvveti gösteren histeresis eğrileri, yükler KN, yerdeğiştirmeler m cinsinden olmak üzere, Şekil 5.18 ve 5.19’da verilmektedir. Söz konusu eğrileri incelediğimizde de yapının hasar aldığını ve depremin talebini karşılayacak yer değiştirme enerjisini oluşturabilmek için ilmik alanının büyüdüğünü görebiliyoruz. Plastikleşmenin başlangıç noktasını daha iyi görebilmek için Şekil 5.18 ve 5.19’da verilen histeresis eğrileri Şekil 5.20 ve 5.21’de yaklaştırılarak verilmiştir.



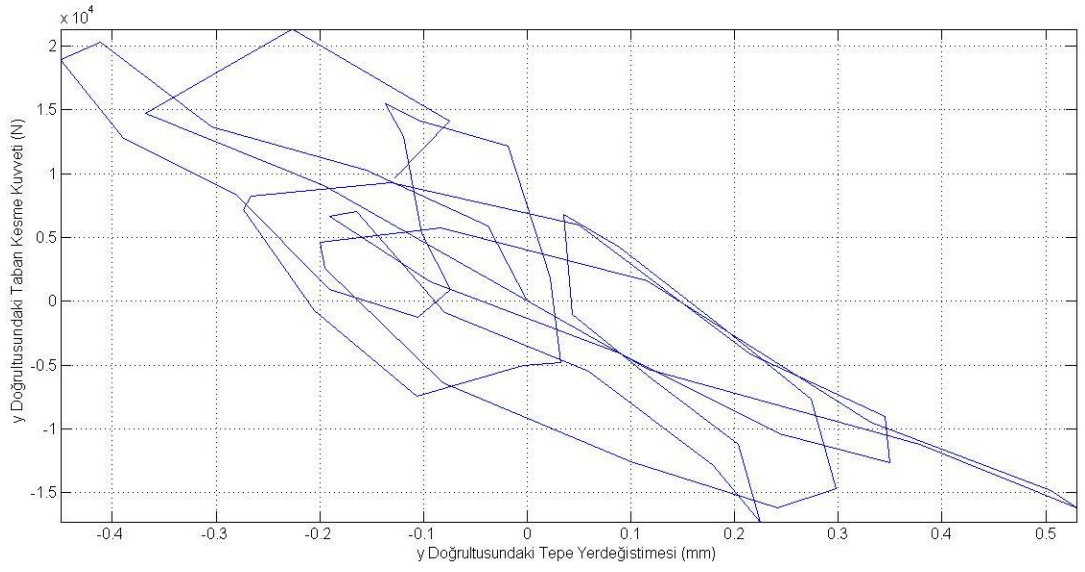
Şekil 5.18. x doğrultusu için elde edilen histeresis eğrisi



Şekil 5.19. y doğrultusu için elde edilen histeresis eğrisi



Şekil 5.20. x doğrultusu için elde edilen yaklaşılmış histeresis eğrisi



Şekil 5.21. y doğrultusu için elde edilen yaklaşılmış histeresis eğrisi

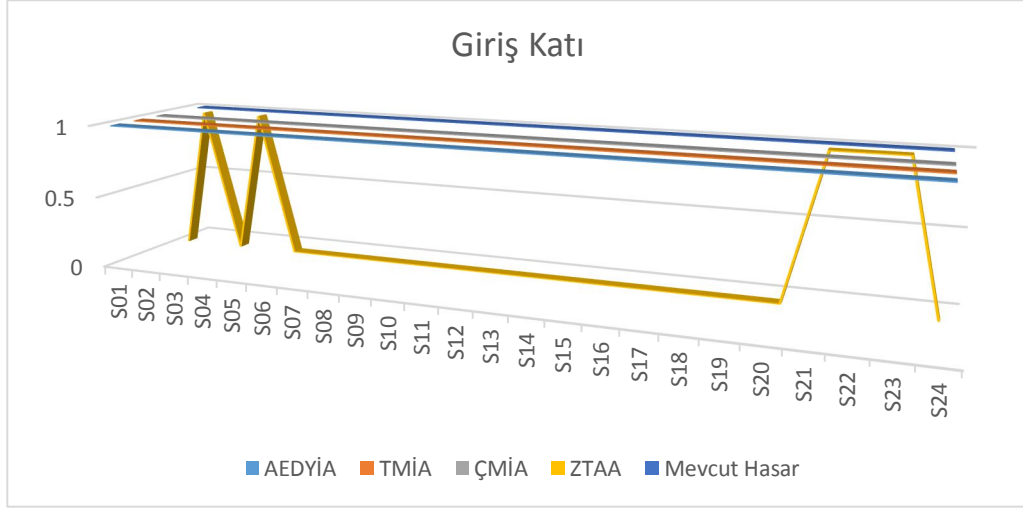
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde hasar almış mevcut bir incelenmiştir.

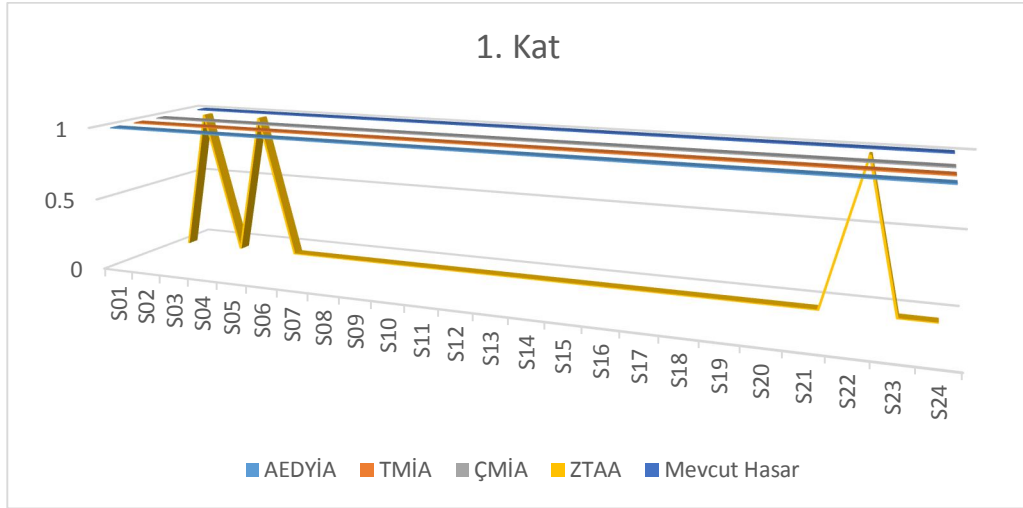
İlk olarak, hasarlı bir yapının hasar almadan önceki durumunu elde etmek ve güvenilir tepki değerlerinin alınabileceği bir model oluşturmak için Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu amaçla yapıya, hasarsız özelliğiyle çevrel titreşim testleri ve stabiliteyi zorlayan harmonik kuvvetler altında yapay depremler uygulanmıştır. Titreşim verileri ile tahmini yapılabilen x yönlü hakim mod 0,75 Hz ve y yönlü hakim mod 1,11 Hz olarak bulunmuştur. Aynı frekansları nümerik modelde de oluşturmak için yapının rijitliği güncellenmiştir. Güncellenen modelden nümerik çalışma sonucu elde edilen mod şekillerinin saha sonuçlarıyla kıyaslanması için Modal Gerçekleşme Kriteri (MAC) kullanılmış olup %99,8 oranında uyuma gözlenmiştir.

Deprem Yönetmeliğinin (2007) 7.4.5, 7.4.6 ve 7.4.7 şartlarını sağlayan nümerik model daha sonra yapı performans analizlerinde kullanılmıştır. Yapı performans analizi, yapıların şiddetli bir deprem etkisinde oluşması muhtemel hasarları ve yapının kararlılığının bozulup bozulmayacağını öngörmeyi hedeflemektedir. Deprem Yönetmeliği'nde, performans değerlendirmesi için malzemenin elastik davranacağı kabulünün yapıldığı ve elastik ötesi davranışın hesaba katıldığı yöntemler mevcuttur. Bu tez çalışmasında, hasar oluşum tahmini için Deprem Yönetmeliği'nde tanımlı, malzemenin doğrusal olmayan davranış özelliklerinin göz önüne alındığı İtme Analizi Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi kullanılmıştır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü İle İtme Analizi (AEDYİA), Tek Modlu İtme Analizi (TMİA), Çok Modlu İtme Analizi (ÇMİA) ve Zaman Tanım Alanında Analiz (ZTAA) ile elde edilen ve şiddetli bir deprem etkisinde hasar alması beklenen yatay yük taşıyıcı elemanlar ve mahallinde yapılan incelemeler neticesinde 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin binada yarattığı mevcut hasar Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4,

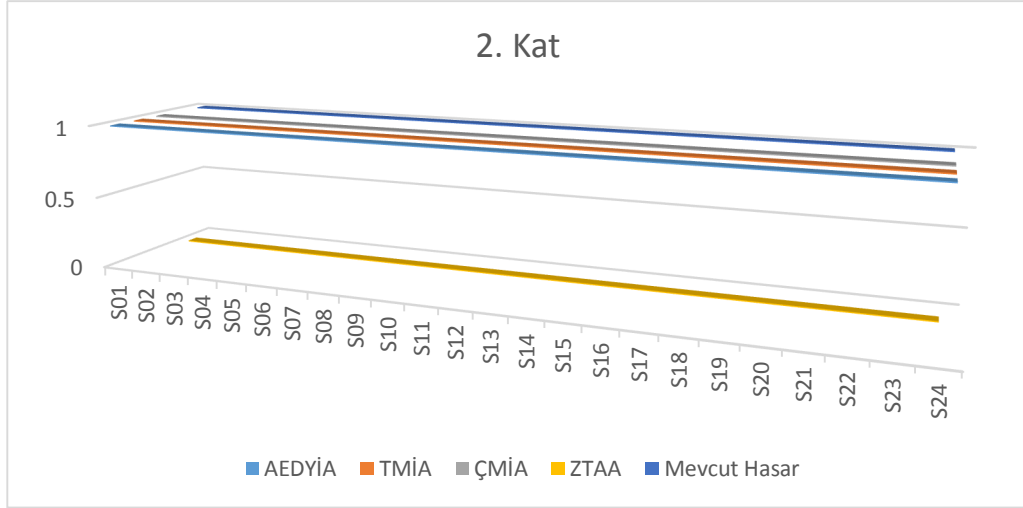
6.5, 6.6, ve 6.7 özetlenmiştir. Plastikleşmenin varlığı “1” değeri, yokluğu “0” değeri ile ifade edilmiştir.



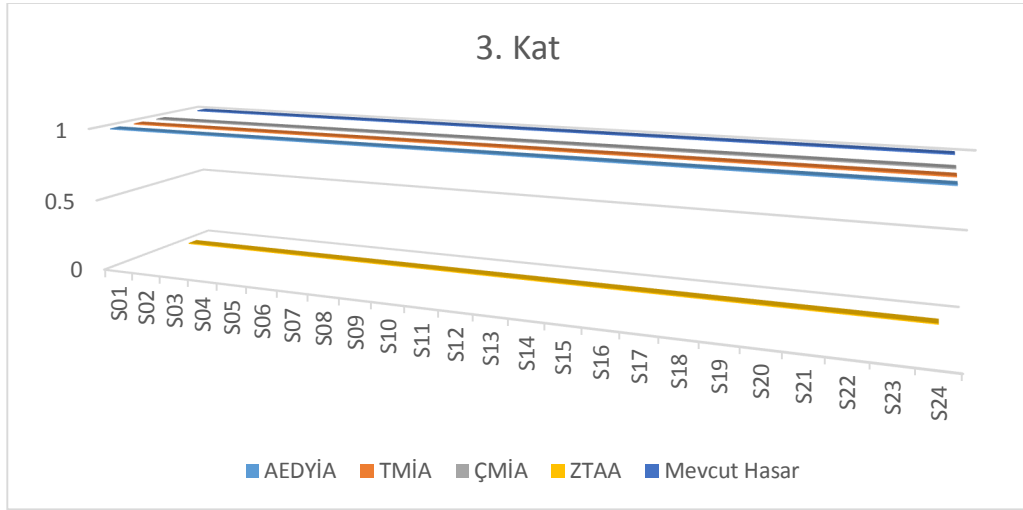
Şekil 6.1. Giriş katındaki hasarlar



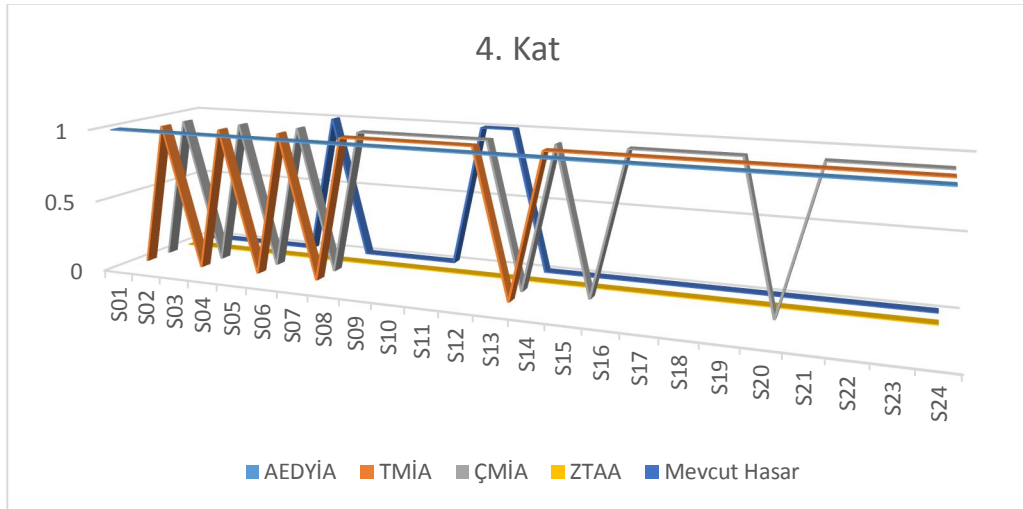
Şekil 6.2. 1. kattaki hasarlar



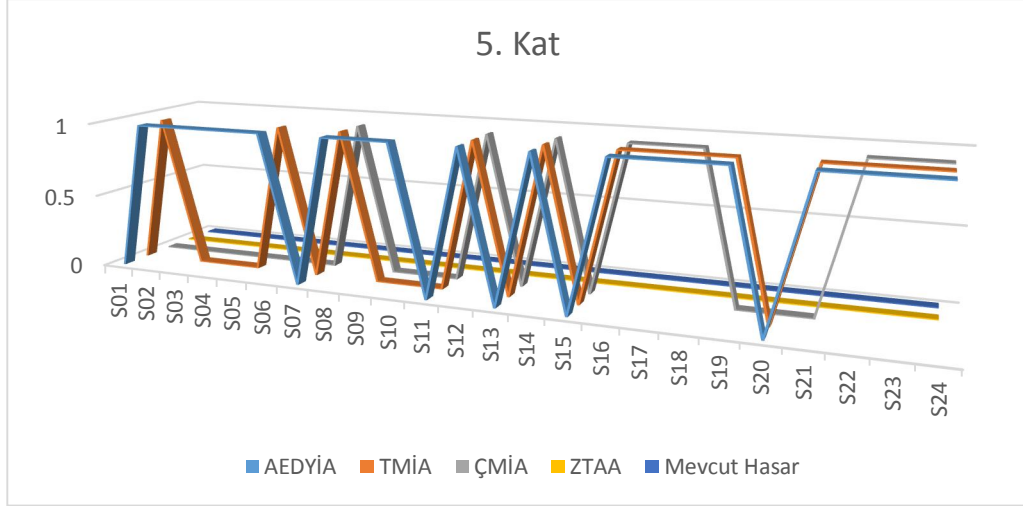
Şekil 6.3. 2. kattaki hasarlar



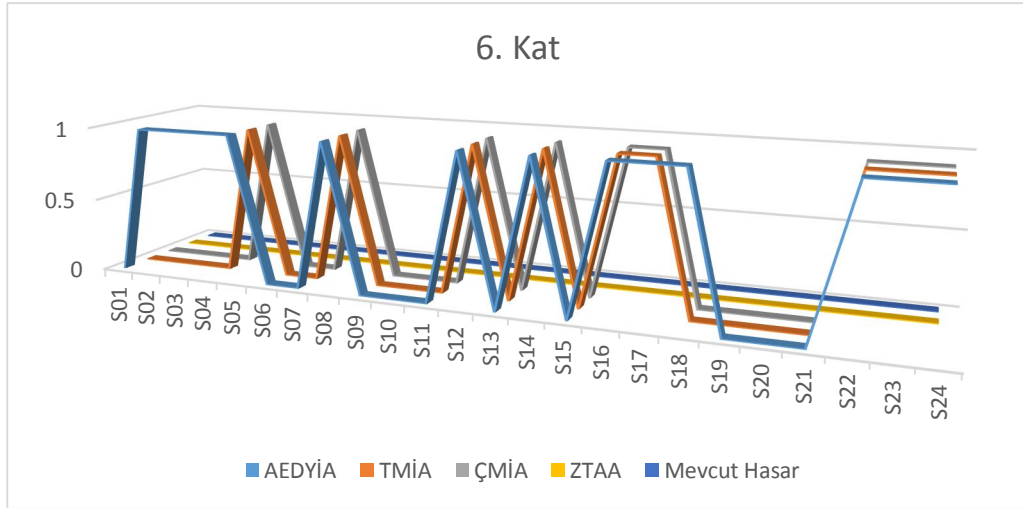
Şekil 6.4. 3. kattaki hasarlar



Şekil 6.5. 4. kattaki hasarlar



Şekil 6.6. 5. kattaki hasarlar



Şekil 6.7. 6. kattaki hasarlar

Analizlerin sonuçlarına göre hasar alacağı tahmin edilen kolonlar, mevcut yapıda hasar almış olan kolonlarla kıyaslanmış, ve Tablo 6.1’de yöntemlerin uyumluluğu sayısal olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Yöntem sonuçlarına göre hasar gören kolonların durumu ile kolonların mevcut hasar durumu arasındaki uyumluluk (%)

Kat	AEDYİA	TMİA	ÇMİA	ZTAA
Giriş katı	100,00	100,00	100,00	100,00
1. kat	100,00	100,00	100,00	100,00
2. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
3. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
4. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
5. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
6. kat	100,00	100,00	100,00	0,00

Analizlerin sonuçlarına göre hasar almayacağı tahmin edilen kolonlar, mevcut yapıda hasar almamış olan kolonlarla kıyaslanmış, ve Tablo 6.2’de yöntemlerin uyumluluğu sayısal olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Yöntem sonuçlarına göre hasarsız kolonların durumu ile kolonların mevcut hasarsız durumu arasındaki uyumluluk (%)

Kat	AEDYİA	TMİA	ÇMİA	ZTAA
Giriş katı	100,00	100,00	100,00	0,00
1. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
2. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
3. kat	100,00	100,00	100,00	0,00
4. kat	0,00	20,83	29,17	87,50
5. kat	25,00	45,83	62,50	100,00
6. kat	45,83	62,50	62,50	100,00

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 incelendiğinde en tutarlı sonuçların Çok Modlu İtme Analizi ile elde edildiği görülmektedir. Yöntemlerin, mevcut hasarlı elemanların tamamının hasar alacağını doğru tahmin etmesine karşın, hasarsız elemanlarında hasar alacağını tahmin etmiş olması ve yapının göçeceğini öngörüyor olması bir sorun olarak belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Saha çalışmalarıyla hasarlı yapı üzerinde gerçekleştirilen deneysel ölçümleri ve hasar görebilirlik analizlerini içeren bu tez çalışmasında, genel olarak gözlemlenen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmektedir.

- Yapıların dinamik karakteristiklerinin Deneysel Modal Analiz yöntemleriyle belirlenmesinin, hem ölçüm süresi ve maliyet hem de yapılarda hasar oluşturulmaması bakımından oldukça elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemle elde edilen sonuçların, yapıların analitik modellerinin için kalibre edilmesinde ve yapıda mevcut hasar tespitinde etkili sonuç verdiği belirlenmiştir.
- Elastik yer değiştirme değeri, elasto-plastik yer değiştirmeyi bulmak için C_{R1} katsayısıyla büyütülmektedir. Zemin ile ilgili bir periyot değeri olan T_B 'ye göre değişen bu katsayının, yapı karakteristiğine göre yeniden tanımlanması ve yapı hedef yerdeğştirmesinin buna göre bulunması daha gerçekçi olacaktır.
- Binada oluşan mevcut hasarların segregasyon gözlenen bölgelerde olduğu ve kolonların üst ucunda hasar gözlenmediği de hesaba katılarak, Deprem Yönetmeliği'nde tanımlı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin oldukça emniyetli kısımda kaldığı, analiz sonucuna göre göçmesi gereken bir yapının, şiddetli bir deprem sonrası Can Güvenliği Performans Seviyesi koşullarını sağladığı görülmüştür.
- Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinin lineer analiz yaklaşımı içinde kabul edilmiş hasar fiziği olarak da karşılığı olmayan basitleştirmelerden kurtarılması gerekliliği anlaşılmaktadır [19].

KAYNAKLAR

- [1] Structural Engineers Association of California, *Recommended lateral force requirements and commentary*, Structural Engineers Association of California, Sacramento, 1999.
- [2] Structural Engineers Association of California, *Performance based seismic engineering of buildings*, Structural Engineers Association of California, Sacramento, 1995.
- [3] Applied Technology Council, *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*, Applied Technology Council, Washington, 1996.
- [4] Federal Emergency Management Agency, *Nehrp guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, 1997.
- [5] Federal Emergency Management Agency, *Nehrp commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2000.
- [6] Federal Emergency Management Agency, *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2004.
- [7] European Committee for Standardization, *Design of structures for earthquake resistance, part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*, European Committee for Standardization, The European Union, 2003.
- [8] European Committee for Standardization, *Design of structures for earthquake resistance, part 3: assessment and retrofitting of buildings*, European Committee for Standardization, The European Union, 2004.
- [9] Celep Z., *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümlene*, Beta Dağıtım, İstanbul, 2007.
- [10] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, *Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [11] Bayraktar A., Binaların dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2010, **21**, 5185-5205.
- [12] Ewins D. J., *Modal testing: theory and practice*, John Wiley & Sons, New York, 1995.

- [13] Maia N. M. M., *Theoretical and experimental modal analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [14] Zhang L., Why output-only modal testing is a desirable tool for a wide range of practical applications, *Proceeding of the 21st International Modal Analysis Conference*, Florida, 3-6 February 2003.
- [15] Brincker R., An overview of operational modal analysis: major development and issues, *Structural Vibration Solutions A/S*, http://www.svibs.com/solutions/literature/2005_10.pdf (Ziyaret Tarihi: 25 Haziran 2012).
- [16] Sucuoğlu H., 2007 Deprem yönetmeliğinde yer alan “mevcut binaların değerlendirilmesi” yöntemlerinin artıları ve eksileri, İMO, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/16392.pdf> (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2014).
- [17] Aydınoğlu M.N., Deprem mühendisliğinde temel kavramlar, İPKB, http://www.ipkb.gov.tr/ismep/Orneklerkitabi/BolumI/BolumI_1_NurayAydi noglu.pdf (Ziyaret Tarihi: 01 Kasım 2013).
- [18] Beyen K., Mevcud yapılar, nümerik modellerinin güvenilirliği ve analiz sonuçlarına etkileri, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 25-27 Eylül 2013.
- [19] Beyen K., Yeni yönetmeliğin sunduğu doğrusal elastik olmayan statik analiz yönteminden elde edilen yapı tepkilerindeki belirsizlikler, *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 30 Mayıs-3 Haziran 2011.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2004 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2010-2014 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.