

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRME YAPILAN BETONARME
BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ
SAHA VERİLERİYLE İRDELENMESİ

SAMET AYSİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRME YAPILAN
BETONARME BİR YAPININ DEPREM
PERFORMANSININ SAHA VERİLERİYLE
İRDELENMESİ

SAMET AYSİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF THE EARTHQUAKE
PERFORMANCE OF A REINFORCED
RETROFITTED CONCRETE BUILDING UTILIZING
WITH ACCELEROMETERED DATA RECORDS**

SAMET AYSİN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2023 tarih ve 2023/11 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/05/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan SAMET AYSİN'in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Dr. Öğr. Üyesi AHMET ANIL DİNDAR

ÜYE

(II.TEZ DANIŞMANI)

: Doç. Dr. ALİ BOZER

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi AHU KÖMEÇ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi ÜLGİN MERT TUĞSAL

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi ZİYA MÜDERRİSOĞLU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, Amerika Los Angeles şehrinde bulunan Van Nuys Holiday Inn betonarme çok katlı bir otel yapısının güçlendirme imalatı öncesi performans durum değerlendirmesi yapılmıştır. Yapının incelenmesinde önem arz eden özelliği Yapı Sağlığı İzleme Sistemi (YSİS) elemanlarıyla enstrümente edilmiş olmasıdır. Test binasının, 1994 Northridge depremi etkisiyle almış olduğu yapısal hasarından ötürü, güçlendirme imalatlarının yapılmasına ve bu imalatların perde elemanlarla gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Ancak güçlendirme elemanlarının konum bilgisi, donatı detayları gibi bilgileri, dönem yapı sahiplerinin kararından ötürü mevcut değildir. Çalışmada, güçlendirme öncesi yapının, yerinde tespit edilen malzeme bilgileri ve yaşamış olduğu depremler esnasında kaydedilen ivmeölçer kayıtçılarının kullanıldığı matematiksel modeli oluşturularak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemiyle durum değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme bulguları, aletsel ölçümlerden elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılarak, tutarlılığı incelenmiştir. Çalışma sayesinde, sahadan alınan titreşim verilerine göre güncellenmiş bir betonarme binanın sayısal modeli, karşılaştırma örneği olarak literatüre kazandırılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi, Yapı Sağlığı İzleme Sistemi (YSİS), VN7SH Test Binası, İvmeölçerler, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, Enerji Esaslı Sismik Değerlendirme.

SUMMARY

The scope of this thesis, the performance evaluation of a reinforced concrete multi-storey hotel structure was made at Van Nuys Holiday Inn located in Los Angeles, USA. The important feature in the examination of the building is that it is instrumented with the elements of the Structural Health Monitoring System (SHM). Due to the structural damage of the test building according to the 1994 Northridge earthquake, it was decided to make reinforcement works and to carry out these works with shear-wall elements. However, information such as location information and reinforcement details of the reinforcement shear-wall elements are not available due to the decision of the owners of the testbed building. In this study, the mathematical model of the pre-reinforcement structure, in which the known material information determined and the acceleration records recorded during the earthquakes it has experienced, was created, and its evaluation was carried out with nonlinear calculation method in the time history. Evaluation findings were compared with the results obtained from instrumental measurements and their consistency was examined. Thanks to the study, the numerical model of a reinforced concrete building updated according to the vibration data obtained from the field will be brought to the literature as a comparison example.

Key Words: Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, Structural Health Monitoring (SHM), VN7SH Benchmark Testbed Building, Accelerometers, Nonlinear Time History Analysis, Energy Based Seismic Assessment.

TEŞEKKÜR

Başta, eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen AİLEM'e,

Lisans eğitimimden bu yana tecrübelerini her zaman benimle paylaşan, yüksek lisans eğitimine yönelmemde sonsuz katkıları bulunan Doç. Dr. Ali Bozer'e,

Yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan değerli hocalarım ve Dr. Öğr. Üyesi Ahu Kömeç, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl Dindar'a,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan PRJ-2713 proje ekibinden çalışma arkadaşlarım Ahmet Furkan Uğur ve Habip Ferhat Kurtay'a, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Kapsam ve İçerik	2
1.3. Literatür Araştırması	3
2. YAPISAL GÜVENLİK TESPİTİNDE YAPISAĞLIĞI YAKLAŞIMI	7
2.1. Tanım ve Gelişimi	7
2.2. Hesap Yöntemleri	8
2.2.1. Operasyonel Modal Analiz (OMA) Yöntemi	9
2.3. YSİ Sistemlerinde Sensör Yerleşimleri ve Uygulama Esasları	12
2.4. Ülkemizdeki ve Dünyadaki Yönetmelikler	12
3. YÖNTEM	15
3.1. Yapılarda Performans Kavramı ve Gelişimi	15
3.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemler	16
3.3. Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Uygulama Sınırları	17
3.4. Hesap Adımları ve Bulgular	20
3.5. Bina Hakkında Bilgilerin Toplanması	22
3.6. Malzeme Dayanımları ve Kütlelerin Modellenmesi	23
3.7. Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi	24
3.8. Performans Hedefi ve Hasar Bölgeleri	25
3.9. Moment-Eğrilik İlişkisi	27
3.10. Süneklik ve Plastik Mafsal Kavramları	29
3.11. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	31

4. ANALİTİK ÇALIŞMA	34
4.1. Mevcut Bina Hakkında Bilgiler	34
4.2. Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	40
4.3. Mevcut Yapının Matematiksel Modeli	44
4.3.1. Malzeme Bilgilerinin Atanması	45
4.3.2. Malzeme Dayanımları ve Kütlelerin Atanması	47
4.3.3. Etkin Kesit Rijitliklerinin Atanması	49
4.3.4. Eleman Elastik Ötesi Davranışlarının Belirlenmesi	49
4.4. Ardışık Depremler	51
4.4.1. Analiz Sonuçlarının Yer Değiştirme Üzerinden İrdelenmesi	53
4.4.2. Analiz Sonuçlarının Enerji Büyüklüğü Üzerinden İrdelenmesi	58
4.4.3. Yapı Sisteminde Enerjinin Tüketim Karakteristikleri	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
5.1. Sonuçlar	65
5.2. Öneri	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kisaltmalar</u>	<u>Acıklamalar</u>
$\overline{DCR}$	: Kat İçerisinde Bulunan Elemanların Ortalama Talep-Kapasite Oranı
κ	: Knowledge Factor
V_i	: Kolon Elemanlarda Meydana Gelen Kesme Kuvveti
L_P	: Plastik Mafsallık Boyu
F	: Sistemin Dengeye Ulaşmasında Uygulanan Kuvvet
k	: Yay Sabiti, Rijitlik
x	: Çekilen Elemanın Başlangıç Konumuna Uzaklığı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BPF	: Band-pass Filtreleme
ÇTT	: Çevresel Titreşim Testi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
$(EKO)_i$	: Etki-Kapasite Oranı
GDMA	: Geleneksel Deneysel Modal Analiz
OMA	: Operasyonel Modal Analiz
YSİM	: Yapı Sağlığı İzleme Merkezi
YSIS	: Yapı Sağlığı İzleme Sistemi
ZTT	: Zorlanmış Titreşim Testi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Tipik bir operasyonel modal analiz yöntemi ölçüm düzeneği.	9
2.2: Ölçülmüş sinyalin ivme-zaman grafiği.	11
2.3: Ölçülmüş sinyalin frekans grafiği.	11
2.4: Frekans yoğunluğu skalası.	12
2.5: İvmeölçer yerleşimi (kat seviyesine göre değişkendir).	13
3.1: İdeal malzemeler.	17
3.2: Doğrusal analiz hesap yöntemleri.	20
3.3: Doğrusal olmayan analiz hesap yöntemleri.	21
3.4: Sismik analiz prosedürleri.	22
3.5: Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.	25
3.6: Modelleme ve kabul kriterlerini tasvir etmek için genelleştirilmiş bileşen kuvvet-deformasyon ilişkisi.	26
3.7: Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kolonlar.	27
3.8: Sargılı ve sargısız betonun monolitik yükleme etkisinde gerilme-değiştirme modeli.	28
3.9: Donatı çeliği deneysel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	28
3.10: Doğrusal olmayan davranışta kesitte, elemanda ve taşıyıcı sistemde süneklik.	30
3.11: Kesitin elastik tepki sonrası idealleştirilmesi.	31
3.12: Plastik mafsallı matematiksel modeli.	31
4.1: Van Nuys otel günümüz görünümü.	34
4.2: San Fernando Vadisi'nin merkezindeki Van Nuys konumu genel yerleşimi.	35
4.3: VN7SH binası: a) Tipik kat planı, b) Temel planı, c) Tipik eninekesit, d) 17/7/1965 Tarihli toprak delme verileri.	36
4.4: Kolon elemanlarda kullanılan donatı bilgileri.	38
4.5: Kolonlarda etriye düzeni.	38
4.6: Kiriş elemanlarda kullanılan donatı bilgileri.	39
4.7: Hasar almış bina genel görünümü.	40

4.8: (a) 1971 San Fernando depremini kaydeden üç AR-240 ivmeölçerin ve (b) CR 1 kayıt sisteminin 13 kanalının ve SMA-1 ivmeölçerin (kanal 14, 15 ve 16) konumu), 1970'lerin ortası ile 1994 arasındaki tüm depremleri kaydetmesi.	41
4.9: Whittier87 kanal 1 ivme-zaman kaydı.	42
4.10: Whittier87 kanal 13 ivme-zaman kaydı.	42
4.11: Landers92 kanal 14 ivme-zaman kaydı.	42
4.12: Landers92 kanal 16 ivme-zaman kaydı.	42
4.13: BigBear92 kanal 14 ivme-zaman kaydı.	43
4.14: BigBear92 kanal 16 ivme-zaman kaydı.	43
4.15: Northridge94 kanal 14 ivme-zaman kaydı.	43
4.16: Northridge94 kanal 16 ivme-zaman kaydı.	44
4.17: Yapı genel görünümü.	45
4.18: Grade40 ve Grade60 sınıfı donatı malzemesinin tanımlanması.	46
4.19: Beton sınıflarının tanımlanması.	46
4.20: Tipik betonarme kolon modeli.	47
4.21: Tipik beklenen (ortalama) dayanımın tanımlanması.	47
4.22: Northridge depreminin başlangıcında Van Nuys Binası için hesaplanan hâkim periyot.	48
4.23: Sayısal modelde sağlanan hâkim periyot.	48
4.24: Referans kat kütleleri.	48
4.25: Tipik etkin eğilme rijitliklerinin tanımlanması.	49
4.26: Tipik kiriş elastik ötesi davranışının tanımlanması.	50
4.27: Tipik kolon elastik ötesi davranışının tanımlanması.	51
4.28: Zemin kattaki ivme ölçerden alınan gerçek titreşim ivmelerinin birleştirilmiş hali.	52
4.29: Deprem kayıtları arasındaki boşluk süresi 100sn olarak belirlenmiştir.	53
4.30: Yapının zaman içindeki tepe noktasının yer değiştirmesi.	54
4.31: Northridge 1994 depremi tepe deplasman değişimi.	54
4.32: İvmeölçer ve sayısal model tepe deplasman tüm zaman serileri genel karşılaştırması.	55
4.33: İvmeölçer ve sayısal model tepe deplasman ayrı ayrı karşılaştırması.	56
4.34: Northridge 1994 depremi görelî kat ötelenmesi değerleri.	57
4.35: Birleştirilmiş süredeki enerji zaman serileri.	59

4.36: İlk 3 deprem için enerji zaman serileri.	60
4.37: Northridge 1994 depremi için enerji zaman serisi.	61
4.38: Northridge 1994 depremi için enerji zaman serisi.	61
4.39: Tüm depremler sırasında yapıda tüketilen enerjinin katlarda ve elemanlarda dağılımı ve yüzdeleri.	62
4.40: Kat düzleminde A-B-C-D akslarındaki kolonların enerji tüketme dağılımı.	63
4.41: Kat düzleminde A-B-D akslarındaki kenar kirişlerin enerji tüketme dağılımı.	64



TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: TBDY yüksek bina tanımı.	13
2.2: Bina yüksekliğine göre kanal sayısı.	14
2.3: İvmeölçer teknik özellikleri.	14
3.1: Bilgi düzeyi katsayıları.	23
3.2: TBDY yeni yapılacak binalar beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.	23
3.3: ASCE/SEI41 beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.	24
3.4: Etkin eğilme rijitlikleri.	24
3.5: Mevcut betonarme bina değerlendirmesinde deprem tasarım sınıfına göre performans hedefleri.	26
3.6: Doğrusal olmayan dinamik analiz yönteminde gerekli yer hareketi kayıtları.	32
4.1: Katlarda kullanılan beton sınıfları.	37
4.2: Elemanlarda kullanılan donatı çeliği sınıfları.	37
4.3: Whittier87 depremi teknik özellikleri.	42
4.4: Landers92 depremi teknik özellikleri.	43
4.5: BigBear92 depremi teknik özellikleri.	43
4.6: Northridge94 depremi teknik özellikleri.	44
4.7: Titreşim periyotları.	57
4.8: Kat bazında enerji tüketimi ve elemanlara dağılımı.	62

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Nüfus yoğunluğunun artması ve sosyoekonomik şartların her geçen yüzyılda gelişmesiyle birlikte beşerî nüfusun, mevcut imkanlardan faydalanmaları adına, şehirlerin merkez bölgelerinde yoğunlaşmalarına sebep olmuştur. Bu kentleşme hızına bağlı olarak, şehir merkezlerinde yatay yönlü geleneksel yapılaşmaların, yerini düşey yönde yapılaşmaya bırakmaya başlamasıyla orta ve yüksek katlı yapıların yapılması ve yaygınlaşması kaçınılmaz bir hal almıştır. Dünyadaki yoğun deprem hareketlerinin yaşandığı bölgelerden biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı hattında bulunan coğrafyamızda, nüfus yoğunluğu bakımından önde gelen şehirlerinin de depremsellik etkilerinin yüksek olmasıyla ülkemiz, dünyadaki sismik hareketliliğin görüldüğü başlıca bölgelerden biri konumunda yer almaktadır. Olası deprem etkisi sonrası hasar alacak olan yapılarda, depremin büyüklüğü hasarın oluşup oluşmamasında önemli olmakla birlikte yapının deprem hareketine karşı göstereceği davranışını belirleyen dayanımı, sünekliği, rijitliği gibi deprem davranışını etkileyen faktörler de etkili olmaktadır. Hasar etkilerini minimize etmek adına, gerekli olan uygun taşıyıcı sistemlerin seçimi ve uygulanmaları elzem olmaktadır [1]. Bilindiği üzere Newton'un 2. Hareket Yasası gereğince, yapılarda yüksekliğin artmasıyla birlikte kütle artması ve buna bağlı olarak, yapıya etkileyen yer hareketi ivmesinin bir sonucu olarak, yapıya etkileyen toplam taban kesme kuvveti de artış göstermektedir. Taşıyıcı sistemin doğru seçimi, taşıyıcı elemanların plandaki yerleşimi, uygun plak sisteminin seçilmesi, düzensizlik etkileri, gerekli dayanım, süneklik, rijitlik de yapıların deprem esnasında performansının belirlenmesinde başlıca unsurlardandır [2]. Bahsedilen güvenlik mertebelerinin sağlanabilmesi adına, depremsellik etkilerinin dikkate alındığı şartnameler hazırlanmış ve ilgili mühendislik alanlarındaki araştırmalar ve yenilikler doğrultusunda revize edilip güncellenmektedir. Yapıları deprem etkilerine karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlamak söz konusu olduğunda, yer hareketlerine karşı yıkılmadan, yapısal ömrünü tamamlaması ve can kaybının önüne geçilecek şekilde tasarlanmaları esastır. Bu nedenle yapıların büyük ölçekteki deprem etkilerine karşı

Kısmi veya toptan göçmeye sebebiyet vermeyecek seviyede hasarlar alacak ve aynı zamanda can güvenliğini sağlayacak şekilde nihai tasarımları yapılmaktadır [3]. Deprem vb. statik ve dinamik etkiler altında tasarlanacak yapılarda ve mevcut yapıların kullanımlarının değerlendirilmesinde günümüz yönetmeliklerinde iki tür hesap yaklaşımı mevcuttur. Kuvvet hesabını temel alan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi, malzeme ve elemanlarda doğrusal olmayan elastik ötesi davranış etkilerini dikkate alan Doğrusal Olmayan Elastik Ötesi Hesap Yöntemi.

1.2. Kapsam ve İçerik

Bu çalışmanın kapsamında, mevcut betonarme yapıların performanslarının değerlendirilmesinde, Türk ve Amerikan yönetmeliklerinde yer alan doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yönelik literatürün araştırılması ve bunların değerlendirilmesi yer almaktadır. Bunun yanında çalışmada, Amerika'nın California eyaletine bağlı Los Angeles şehrinde bulunan Van Nuys Holiday Inn Hotel yapısının, 1994 Northridge depremi referansında güçlendirme imalatları öncesi maruz kaldığı deprem etkilerinin, yapısal sağlık izleme metotlarından elde edilen ivme veri setleri kullanılarak hasar etkilerinin matematiksel model üzerinde tespit edilmesi ve depremlerin yapıda oluşturduğu enerji dağılımlarının belirlenmesi ele alınmaktadır. Yapının belirlenen deprem etkileri altındaki yapısal durumu değerlendirilecektir.

Yapının güçlendirme imalatları öncesi matematiksel yapı modeli, CSI Inc. ETABS [4] sonlu elemanlar programı olan yapısal tasarım ve analiz programında modellenmiştir. Sayısal modellemede doğrusal olmayan elastik ötesi malzeme ve davranış özellikleri, 3 boyutlu model üzerinde kullanılmıştır. Yapının, Northridge depremi ve öncesi maruz kaldığı 4 farklı depremden, yapı üzerindeki sensörlerin kaydettiği ivme veri setleri ile yapının güçlendirme öncesi dinamik karakteristiklerdeki değişimler, doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemiyle incelenecektir. Çalışma sonunda yapılacak çözümlemeler ile aletsel ölçümlerden elde edilen sonuçların tutarlılığını göstermek, bu çalışmanın başarı ölçütüdür.

1.3. Literatür Araştırması

Bu bölümde yapıların doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre değerlendirilmesinde, Yapı Sağlığı İzleme Sistemi (YSİS) enstrümanlarından ve literatürde kabul görmüş yazılımlardan faydalanılarak, mevcut yapıların performanslarının belirlenmesinde geçmişte yapılan birtakım önemli çalışmalardan bahsedilmiştir.

Krawinkler, H. (Ed.) (2005) Tez konusunda çalışılan test binası için referans sayılacak nitelikte yapı geometrisi, malzeme, kesit özellikleri, zemin, yapının kullanım süresi boyunca yaşamış olduğu depremler ve hasar tahmin tespitleri, güçlendirme önerisi ve maliyeti, ilgili yönetmelik yaklaşımları vb. konularda kapsamlı bilgileri içermekte olup, 2 boyutlu çerçeve sistemde incelenen bir itme analizi yöntemi uygulanıp, yapısal hasarların örnek modelde tespit edilmesi çalışılmıştır [5].

Sattar, S. (2022) Yapısal sağlık izlemesi enstrümanlarıyla izlenen ve ölçümsel, gözlemsel verileri içeren belirlenmiş yapılar için doğrusal olmayan dinamik etkiler, literatürde kabul gören paket programlar kullanılarak incelenmiş olup, 7. bölümünde, tez konusunda değerlendirilmesi yapılacak yapının 2 boyutta doğrusal olmayan yöntem kullanılarak değerlendirilmesi ve 3 boyutta doğrusal hesap yöntemiyle değerlendirmesi yapılarak, ilgili performans kontrolleri ve sonuçları paylaşılmıştır [6].

Roohi, M., Hernandez, E. M., & Rosowsky, D. (2021) Van Nuys binasının maruz kaldığı Big Bear ve Northridge ölçülmüş deprem kayıtlarının referans seçildiği, 2 boyutta yapısal modelin oluşturularak doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yönteminin örnek modelde uygulanmasıyla, ölçülmüş kayıtlarla analiz sonucu elde edilen sonuçlarının, deplasman, kesme kuvveti talep-kapasitesi, eleman bazında enerji dağılımları konu başlıkları altında karşılaştırmaları yapılmıştır [7].

Todorovska, M. I., & Trifunac, M. D. (2006) Araştırmada, söz konusu binanın yapımından 1994 Northridge depremine kadarki süreç içerisinde yaşamış olduğu tüm deprem kayıtlarının, yapının 2boyutta Doğu-Batı yönü referans alınarak incelendiği, depremlerin yapı elemanlarında rijitlik kaybına neden olabilmesiyle sismik dalgaların yayılmasını (seyahat süresi) etkilemesiyle yapısal sağlık izlemesi yöntemlerinde karşılaşılan problemlerin bu vesileyle sorgulandığı geniş çaplı bir araştırma çalışması yapılmıştır [8].

Gičev, V., & Trifunac, M. D. (2012) Van Nuys binasının gerçek zamanlı yapısal sağlık izlemesi araştırmalarının araştırılması açısından örnek nitelikte bir yapı olmasına vurgu yapılmıştır. Tek boyutta dalgaların yayılımlarına bağlı olarak, önceden belirlenmiş hasar tespit senaryolarının bu binada yapısal hasarlar yerlerinin belirli olması sebebiyle işlevselliği ve olasılığı irdelenmiş ve hasar tespitinin önceden yapılabileceğine dair çıkarımlarda bulunulmuştur [9].

Pakyürek, E. K. (2006) Yüksek lisans tezinde zemin katta bulunan bir ivmeölçerden alınan veriler, doğrusal olmayan tanımlamaların da yapıldığı bir paket programda modellenmiştir. Programda mevcut olan azalım parametreleri (rijitlik, dayanım) vb. kullanılarak hasar seviyeleri tayin edilmiştir. Deplasman karşılaştırmaları, yapı tepesinden seçilen bir ivmeölçer referans alınan ve program ilgili analiz sonucundan elde edilen bu azalım parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Hangi oranda tutarlı olup olmadığının sonuçları paylaşılmıştır [10].

Li, Y. R., & Jirsa, J. O. (1998). Bir paket programla Northridge deprem kayıtları kullanılarak, yapıda hasarların grldği doğu-batı kısmı referans alınmış, 2 boyutta doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ve itme analizi yöntemleri kullanılarak korelasyon yardımıyla kesme hasarları tespiti için örnek bir tanımlama yapılmıştır. Ayrıca farklı kat seviyeleri için kayıtlardan ve analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri karşılaştırılmıştır [11].

Jamal, R. & Yüksel, B. (2021) Makalede, 3 katlı ve 3 açıklıklı ereve tipi taşıyıcı sistemine sahip betonarme örnek bir model yapısının ilgili yönetmeliklere göre, etkin kesit rijitlikleri, düşey yük, plastik mafsallık özellikleri gibi tanımlama farklılıkları irdelenmiştir. İtme analizi yöntemi kullanılarak performans değerlendirmesi; tepe yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti, kat kesme kuvvetleri, göreli kat ötelenmeleri gibi sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır [12].

Foroughi, S., & Yüksel, B. (2022) Makalede, 5 katlı çerçeveli sisteme sahip betonarme bir yapıda iki farklı tip (kare ve dairesel) kolon kesit özelliğinde örnek yapıların artımsal itme analizi yöntemi kullanılarak yapı performans sonuçlarına etkilerini incelemişlerdir [13].

Bayülke, N. (2006) Araştırma yazısında az katlı betonarme yapılar için perde duvar eklenerek güçlendirmesi yapılan yapılarda karşılaşılan çeşitli uygulama sorunları irdelenmiş ve bu sorunlara tartışmaya açık çözüm nerileri sunulmuştur [14].

Yüzbaşı J., Yerli H.R. (2018) İki farklı okul binasının mevcut halleriyle ve güçlendirme elemanları eklenmiş durumlarını orta ve büyük ölçekli bir deprem etkisi altında doğrusal olmayan performans değerlendirmesi yöntemiyle ilgili analizlerinin yapılarak, sonuçlarının karşılaştırıp yapılar için yeniden yapım maliyetleri ve güçlendirilmeleri halinde maliyetleri hesaplanmıştır [15].

Soyoz ve diğerleri (2013) Boğaziçi Üniversitesi Merkez kampüsünde bulunan 6 katlı betonarme bir yapının çevresel titreşimler altında, kolon ve perde elemanlarının güçlendirilmesi öncesi ve sonrası yapı için mod şekilleri, frekansları ve sönüm oranları gibi algoritmaları kullanarak dinamik karakteristiklerin belirlenmesi ve karşılaştırılmalarının yapılması hakkında bilgiler sunulmuştur [16].

Sert (2019) Yapı tanımlama algoritmalarıyla 5 katlı örnek betonarme bir yapının Kocaeli depreminin GTÜ'de kaydedilmiş verisinin kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiziyle, dinamik karakteristiklerinin çıkarılması ve yapısal sağlık izlemesi yöntemlerinde kullanılabilecek çalışmalara örnek olması için bir araştırma sunmuştur [17].

Meral, E. (2021) Araştırma makalesinde düşük ve orta yükseklikte betonarme yapıların (3, 6, 9 katlı) doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin yapılarak talep deprem istemlerinin (taban kesme kuvvetleri, tepe noktası ötelenmeleri, deplasman talepleri ve görelî kat ötelenmeleri başlıkları altında karşılaştırmaları yapılmıştır [18].

Sert A. Beyen K. (2018) Zaman tanım aralığında, 4 katlı örnek bir yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak oluşturulan modellerinden ivme-zaman grafikleri elde edilmiştir. Bu veriler sistem tanımlama algoritmalarıyla çözülmüş ve matematiksel modelin dinamik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir [19].

Korkmaz, K. A., & Demir, F. (2012) Araştırma makalesinde doğrusal olmayan artımsal statik itme yönteminin kullanıldığı, 5 katlı örnek betonarme bir yapı değerlendirilmiştir. 4 farklı zemin rijitlik değerinin kullanıldığı örnek yapı zemine ankastre ve yay elemanlarla modellenip zemin durumunun kötü olduğu deprem etkilerinin dahil olduğu durumlar için rijit kabulün yetersiz olduğu belirtilmiştir [20].

Ercan, I. Ş. I. K., & Öztürk, G. (2017) Çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, aynı kalıp sisteminin kullanıldığı, kat adetleri ve kat yükseklikleri farklı, beşer tip betonarme bina örneğinin statik itme analizi yöntemi kullanılarak kat sayısı ve yüksekliğinin yer değiştirme istemi, hasar miktarı gibi sonuçlara etkilerini incelemiştir [21].

Freeman, S. A., Honda, K. K., & Chaw, W. H. (1971) Araştırmada 1971 San Fernando depreminin Van Nuys binası üzerindeki etkilerini incelemiştir. Mevcut depremin 8. saniyesinden sonra temel periyodun 0.8s'den 1.5s'ye kaydığını, bu da rijitlik kaybı olduğundan bazı elemanların plastik davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Katlar arası yer değiştirme kontrollerinde bu durumun sağlaması yapılmıştır [22].

Naeim, F., Hagie, S., Alimoradi, A., & Miranda, E. (2006). Otomatik hasar değerlendirmesinin yapılabirliğinin hedeflendiği ve sonuca ulaştığı bir araştırmada sunulmuştur. Her kattaki tesirlerin pik noktasının hesaba katılarak değerlendirmesinin yapıldığı yöntemin, özellikle yapısal sağlık izleme enstrümanlarıyla takip edilen yapıların irdelenmelerinde katkıları olacağı belirtilmiştir. Tez konusunda incelenen yapının Big Bear ve Northridge ölçülmüş kayıtları kullanılarak, yapının kısa ve uzun her iki doğrultusunda dalga analizi yöntemi kullanılmıştır. Böylece olası bir deprem etkisi sonrasında, hızlı bir şekilde hasar olasılıklarını değerlendirip yapının durumu hakkında rapor veren bir çalışma yapılmıştır [23].

Somerville, P., & Collins, N. (2002) Makalede, 50 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı %2, %10 ve %50 olan, yakın fay hattı etkilerinin ve zemin tipinin de dikkate alındığı, 1971 San Fernando, 1986 North Palm Springs, 1997 Whittier Narrows, 1994 Northridge kayıtlarını, ölçeklendirilmiş tepki spektrumuna dönüştürülmüş formuyla, bölge için belirlenmiş tepki spektrumunu, 0.5s öncesi ve sonrası periyotlara göre karşılaştırılmıştır. Öncesi periyot için kayıtlardan elde edilen spektral değerlerin daha büyük, sonrası için ise benzerlik göstermekte olduğu söylenmiştir [24].

2. YAPISAL GÜVENLİK TESPİTİNDE YAPI SAĞLIĞI YAKLAŞIMI

Tezin bu bölümünde dünyada ve Türkiye’de son yüzyılla birlikte ortaya çıkan bu yeni tekniğin ne olduğu, işlevselliği, amacı, yapılar için önemi gibi konularda genel bilgiler paylaşılmıştır.

2.1. Tanım ve Gelişimi

Dünya geneline bakıldığında, 2000’li yıllarla birlikte yazılım ve donanım alanlarında kayda değer büyük değişimler ve gelişmeler yaşanmıştır. Yapısal sağlık takibi de bu değişimler ve gelişmelerle birlikte ortaya çıkan, enstrüman yöntemi olarak sensörlerin (ivmeölçerlerin) kullanıldığı çok da eski sayılmayacak bir teknik özelliğindedir. Böylece yapıların dinamik etki tepkilerinin incelenmesinde kesin sonuçları verebilecek en doğru tabanlı yöntem olmasıyla, bugüne kadar yapılan laboratuvar çalışmalarını bu bağlamda bir ağ oluşturarak dışarıya ve tüm dünyaya açık hale getirmiştir. Özellikle büyük ölçekli depremlerin yapılarda oluşturabileceği hasarların önceden tespit edilebilmesi çalışmalarına ışık tutan bu yöntem, gerçek zamanlı kayıtlar almasıyla hasar analizlerinde literatüre yeni çözüm önerileri ve bakış açıları kazandırmıştır. Böylelikle izleme sistemlerinde kullanılan cihazlar, sensörler, yazılımlar, yapı sahipleri ve karar vericilerin tercihlerine sunularak en uygun yöntem seçilmeye başlanmıştır [25].

Hasar oluşabilecek elemanların yerlerinin ve mertebelerinin önceden tespit edilmesinde kullanılan sağlık izlemesi sistemi, yapılarda öngörülen kat seviyelerindeki bölgelere yerleştirilen ivmeölçerlerle bir akıllı bina olma özelliği göstermektedir. Hasar tespitlerinin bu metotla nasıl öngörüleceği hususunda mod şekilleri ve frekans dönüşümü gibi yapılara göre farklılık gösteren karakteristikler kullanılmaktadır. Modsal parametreler gürültü, ortam kaydı, yerdeğiştirmeler ve sismik kayıtlar vasıtasıyla hesaplanabilmektedir. İzleme sistemleri üzerine dünya çapında birçok çalışma ve yayınlar bulunmakta ve gelişimini sürdürmektedir [26]. Bu teknikle, yapıların projelendirilmiş analitik modelinden elde edilen sonuçlarıyla, imalat sırası ve sonrası gibi aşamalarından kaynaklı varsa farklılıklar tespit edilebilir ve yapının model güncellemesi yapılabilir. Bu süreçlerin dijital ortamda gerçek zamanlı kayıt alan

enstrümanlarla yapılabilmesiyle mühendislik yapılarının daha güvenli tasarlanabilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2. Hesap Yöntemleri

İvmeölçer enstrümanlarının kullanılmasıyla sismik etki oluşturabilecek büyüklükteki titreşim hareketleri, yapılarda belirlenen bölgelerde konumlandırılmasıyla yapısal tepkiler anlamlandırılıp kayıt altına alınabilmektedir. Ölçülen bu ivme-zaman tanım alanındaki sinyal tepkileri, gün/hafta/ay ve belirlenen zaman aralıklarında kayıt altına alınabilip işlendiğinde, herhangi bir yapısal hasar teşkil edilmesi durumunda, öncesi ve sonrası durum için bir karşılaştırma yapılabilir ve yapının davranışındaki değişiklikler böylelikle gözlemlenebilir. Bu tepkilerin incelenmesinde aktif olarak kullanılan yöntem, literatürde "Deneysel Modal Analiz" olarak bilinmektedir. Mühendislik uygulamalarında uygun çözüm yöntemi olarak kabul gören bu analiz yöntemin temel taşları 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Demiryolu raylarında oluşmuş olan hasarların tespit edilebilmesi için balyozlarla vurularak raylarda etki kuvvetlerinden oluşan titreşimler ve rayların bu etkiye karşı göstereceği tepkiler incelenmiştir. Yapılarda da bu etki-tepki evrensel yasası geçerli olmaktadır. Deneysel modal analizde, etki kuvvetlerinin büyüklüklerini, sismik etkilerin magnitudüne göre farklılık göstereceğinden hesaplamalarda 2 farklı analiz yöntemi uygulamasını gerekli kılmıştır.

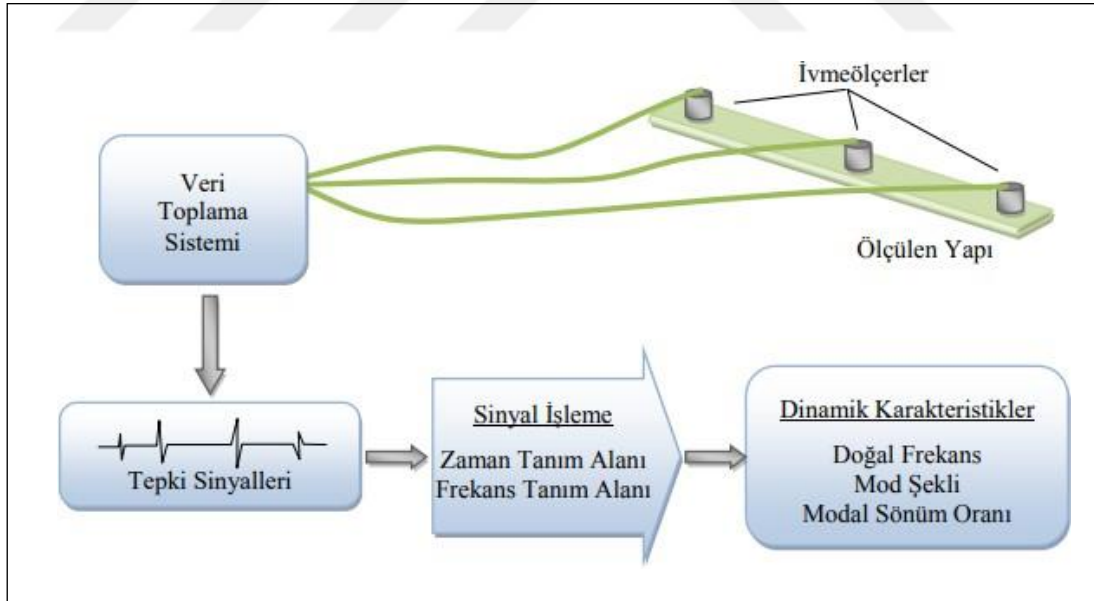
- Geleneksel Deneysel Modal Analiz, Zorlanmış Titreşim Testi (GDMA, ZTT)
- Operasyonel Modal Analiz, Çevresel Titreşim Testi (OMA, ÇTT)

GDMA'da etki ve tepki kuvvetlerinin bilinmesi koşulu vardır ki davranışın belirlenmesinde tepki/etki spektral fonksiyonların oranları önemli olmaktadır. Etki kuvvetlerinin bilinmesi yapıya balyoz örneğinde olduğu gibi hesaplanmış, bilinen kuvvetlerin teşkil edilmesiyle mümkündür. Bundan dolayıdır ki Zorlanmış Titreşim Testi olarak da literatürde bilinmektedir. OMA'da ise GDMA'nın aksine etki kuvvetleri belli değildir. Bu da yapı davranışında gerçek durum gözetilerek titreştiğini (rüzgâr, araç, ortam gürültüleri vb.) temsil etmektedir. Böylece ivme-zaman tanım alanındaki sinyal tepkilerinin spektral yoğunlukları ihtiyaca göre zaman ve frekans tanım alanlarında matematiksel birtakım hesaplama ve dönüşümler yapılarak sonuca

ulaşılır. Gerçek durumun dikkate alınmasıyla, gelişigüzel titreşimlerin proses edilmesi işlemi, literatürde Çevresel Titreşim Testi olarak da bilinmektedir. Deneysel Modal Analiz yöntemi kullanılarak dinamik karakteristikler (doğal frekans, mod şekli, sönüm oranı vb.) belirlenir. Bahsedilen karakteristikler yapıların kendine has bir özelliği olduğundan gerçekçi model için bu analiz yöntemine göre değerlendirmelerin yapılması önem arz etmektedir [27].

2.2.1. Operasyonel Modal Analiz (OMA) Yöntemi

Serbest titreşim veya zorlanmış titreşim etkileriyle ivmeölçer enstrümanlarından alınan veriler işlenmemiş kayıtlar (ham data) olma özelliğine sahiptir. Verilerin depremsel etkiler gibi dinamik etkiler sonucu model güncelleme aşamasında karşılaştırmalarının yapılabilmesinde birtakım filtrasyon işlemlerinden geçip proses edilmiş (işlenmiş) olmaları gerekmektedir. Bu filtrasyon işlemlerinden geçtikten sonra karşılaştırmaları yapmak ancak doğru sonuçları verecektir. OMA yöntemi genel akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir [28], [29].



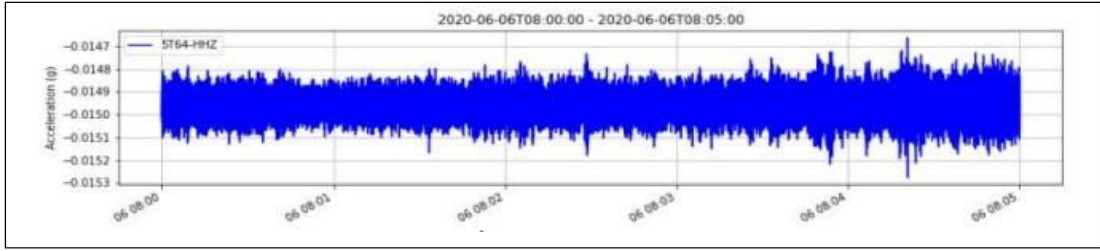
Şekil 2.1: Tipik bir operasyonel modal analiz yöntemi ölçüm düzeneği.

Gerçek deprem ham kaydı verilerinin de sinyal işleme hesap adımlarında kullanılabilmesi için yapısal verilerin konuma bağlı olarak ölçeklendirilmesi ve gürültü içeren frekanslardan filtreleme yapılarak ayrılması gerekmektedir. Böylece sismik etki oluşturabilecek titreşimlerin proses edilmesiyle, dinamik karakteristiklerdeki olası değişimleri yakalayabilmek daha sağlıklı olacaktır. OMA hesap adımları aşağıda genel maddeler halinde verilmiştir.

- İlk aşamada kayıtları alınan verilerin çevresel titreşim etkilerinden ayrıştırılması yani filtrelenmesi gerekmektedir. Yaygın olarak Band-pass (BPF) filtreleme yöntemi tercih edilmektedir. Band-pass yöntemi incelenecek verinin, verilen tanım alanında bir alt limit ve üst limit belirlenerek verilerin görüntülenmesinde yardımcı olan bir araçtır.
- Filtrelemede öncelikli amaç, kaydı ortam gürültülerinden ayırtmak olup bir diğer amaçta kayıtların hangi frekans aralığında görüntülenmesinin istenmesinden kaynaklanmaktadır.
- Zaman tanım alanında ölçülen sinyaller, Fourier Dönüşümü ve benzeri algoritmalarla integre edilerek mod şekillerini temsil eden frekans-genlik tanım alanına dönüştürülür.
- Böylece analitik modelden elde edilen mod şekilleri, doğal frekans, sönüm oranları sonuçları ile OMA'dan elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve uyumluluk için gerekli korelasyonlar yapılır.
- Burada OMA yöntemi kullanılarak hesaplanan mod şekillerinin, analitik modelde hesaplananın aksine ölçeklendirilmemiş ve modal katılım çarpanlarının dahil olmadığı sonuçlar olduğu bilinmelidir.

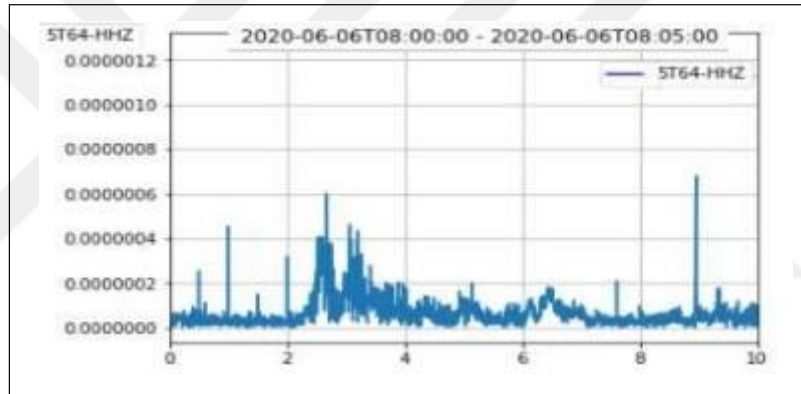
Aşağıda örnek bir sinyal için, Band-pass filtreleme yöntemi kullanılarak, 0.05 Hz ile 25.0 Hz görüntüleme aralığının tercih edildiği, serbest titreşim hareketi etkisindeki test yapısına ait ivme-zaman sonuçlarının, Hızlı Fourier Dönüşümü fonksiyonu kullanılarak frekans-genlik tanım alanına integre edilmesini gösteren, OMA başlangıç aşamasını özetleyen örnek bir çalışma sunulmuştur.

Kaydedilen örnek sinyal verisinin, ilgili dönüşümler kullanılarak ivme-zaman grafiğinde gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.



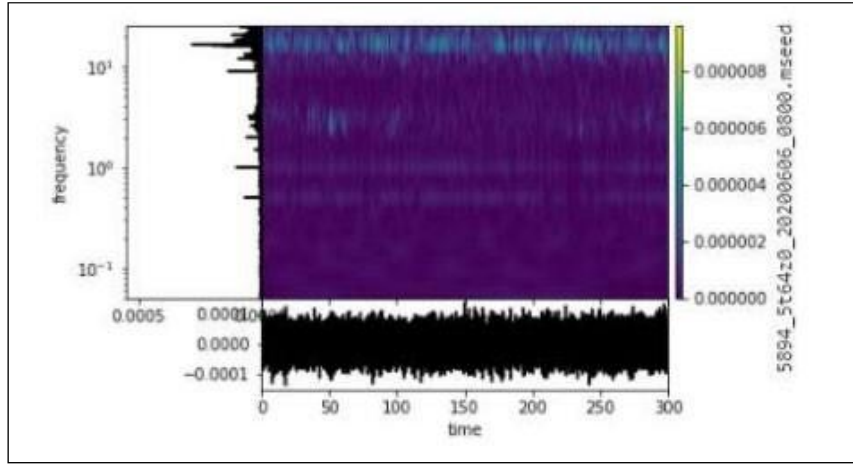
Şekil 2.2: Ölçülmüş sinyalin ivme-zaman grafiği.

İvme-zaman eksenlerinde oluşturulan veri setinin, yine ilgili dönüşümler kullanılarak frekans-genlik grafiğinde gösterimi Şekil 2.3’te sunulmuştur.



Şekil 2.3: Ölçülmüş sinyalin frekans grafiği.

Oluşturulan ivme-zaman ve frekans-genlik grafiklerini bir arada irdelemek adına, alternatif olarak sunulabilecek frekans yoğunluğu skalası Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Frekans yoğunluğu skalası.

2.3. YSİ Sistemlerinde Sensör Yerleşimleri ve Uygulama Esasları

Yapısal sağlık izlemesi enstrümanlarıyla statik ve dinamik etkiler altındaki davranışları izlenecek olan yapılarla ilgili ülkemizde, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nca (AFAD) tarafından 2018'de konunun önde gelen temsilcileri ile görüşmelere başlanmıştır. Yürürlüğe 2019'da girmesi planlanan sistem için bir yönerge [30] hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yönerge 2020 yılıyla birlikte ilgili bakanlık tarafından onaylanarak yürürlüğe girmiştir.

Yönerge içeriğine bakıldığında, 5 ana bölümden oluşmakta ve bunlar; sistemin amacı ve kapsamı, izleme enstrümanlarının sahip olması gereken teknik birtakım özellikleri, gerekli ölçüm cihazı sayısı ve konumlandırılma bilgileri, kontrol ve denetim mekanizması, binadan alınan sonuçların değerlendirilmesi ve kayıt altına alınmasıyla Yapı Sağlığı İzleme Merkezi (YSİM) ile paylaşılması gibi konular hakkında bilgiler içermektedir.

2.4. Ülkemizdeki ve Dünyadaki Yönetmelikler

Yapısal sağlık izleme tekniği ve esasları dünyada 2000'li yıllardan itibaren Kanada, Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, Çin, Avustralya gibi ülkeler başta olmak üzere, uluslararası şartnamelerce kabul gören bir operasyonel ve deneysel hesap yöntemidir. Ülkemizde ise bu tekniğe ilk defa 2018 yılında resmî gazetede yayınlanan ve 2019 yılıyla yürürlüğe girmiş olan mevcut yönetmelikte [31] yüksek binalarda

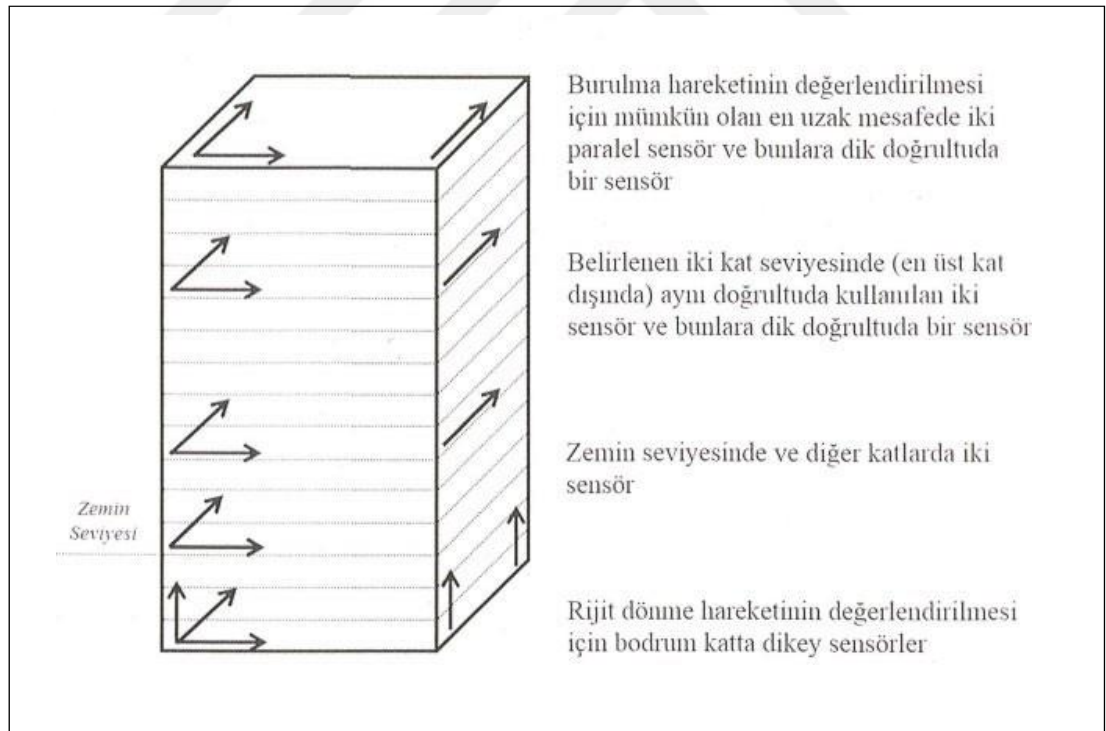
kullanılması ve uygulama projelerinde gösterilmesi üzere yer verilmiştir. Yüksek bina tanımlaması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: TBDY yüksek bina tanımı.

Bina Yükseklik Sınıfı	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70m$	$H_N > 91m$	$H_N > 105m$

Bölüm 13.8’de verilen bilgiye göre, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1, 1a, 2, 2a ve $H_N > 105$ m olan binalarda izleme sistemlerinin kurulmasıyla binadan alınan kayıtların, AFAD ve yapı sahiplerince kayıt altına alınarak yönergeye [30] uygun olacak şekilde sistemin lokalizasyonunun sağlanması gereklidir.

İvmeölçer yerleşimi, kanal sayısı gibi ilgili detaylar ilerleyen şekillerde ve tablolarda verilmiştir.



Şekil 2.5: İvmeölçer yerleşimi (kat seviyesine göre değişkendir).

Gerçek zamanlı kayıtlarla izlemesi yapılacak binalarda kullanılması öngörülen minimum ivme ölçer sayısı Tablo 2.2.'de verilmiştir. Gerekli görülmesi halinde kanal sayısının artırılması konusu AFAD sorumluluğundadır.

Tablo 2.2: Bina yüksekliğine göre kanal sayısı.

Zemin Seviyesinin Üstündeki Bina Yüksekliği (m)	Kullanılacak Minimum Kanal Sayısı
105-155	16
156-205	24
> 205	32

Yapıda kullanılması öngörülen ivme ölçerlerin, özellikle dinamik etkilere bağlı gerçek zaman kayıtlarını sağlıklı bir biçimde analiz edebilmek için sahip olmaları gereken minimum teknik özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: İvmeölçer teknik özellikleri.

Dinamik Aralık	> 144 dB+
Frekans Aralığı	0.01 – 200 Hz
Gürültü Seviyesi	< 1 μ g RMS
Ölçüm Aralığı	+/- 2g

Bahsedilen yöntem ve teknik özelliklere ek olarak, kayıt alacak her kanal için 200 Hz örnekleme aralığı (saniyede 200 veri) koşulu sağlanmalıdır. Yine gerekli görülmesi halinde bu örnekleme aralığı yönergeye [30] göre 500 Hz'e kadar yükseltilebilir.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, öncelikle doğrusal hesap yönteminin yönetmeliklerce belirlenen uygulama sınırları anlatılmıştır. Yerinde mevcut betonarme yapıların, deprem etkilerine karşı performanslarının belirlenmesi hususunda, doğrusal olmayan hesap ve değerlendirmede kullanılan hesap adımlardan bahsedilmiştir.

3.1. Yapılarda Performans Kavramı ve Gelişimi

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel prensibi, belirlenen deprem tehlikesi altında yapı elemanlarının veya sistemin tamamının güvenliğinin sağlanması, hasarın istenilen seviyede ve yerlerde oluşmasıdır. Ülkemiz gibi deprem tehlikesinin altında olan coğrafyalarda, yapı yönetmelikleri ve deprem tehlikesinin belirlenmesi devamlı bir gelişim içindedir. Bu sebeple, geçmiş yıllarda inşa edilen binaların, tabi oldukları yapı yönetmeliklerinde belirtilen tasarım ve uygulama yaklaşımlarının olması söz konusudur. Güncel yönetmelik ve geçerli şartlara göre mevcut yapıların değerlendirilmesi oldukça güncel ve ileri seviye bir çalışma olup ülkemizde ilk defa 2007 yılında yayınlanan ulusal yönetmelikle [32] gündeme gelmiştir. İlgili yönetmelik kapsamında, mevcut yapılar doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle irdelenerek istenen performans seviyesinin sağlanmaması halinde yapı güvenliğini arttırmak amacıyla güçlendirme çalışmasının yapılması hakkında bilgiler verilmektedir. Ülkemizde 1999 yılında yaşanan Marmara depremleri ardında mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda çok sayıda teorik ve deneysel araştırmalar ve yerinde uygulamalar yapılmıştır. Söz konusu uygulamalarda genel olarak yetersiz olan yapı elemanlarının etrafına mantolama yapılmakta ve gerekli görülen hallerde de ek betonarme perdeler yerleştirilmektedir. Güçlendirme çalışması sonrasında yapıya kazandırılan rijitliğin, yapıda güvenliği sağladığı düşünülmektedir. Doğrusal olmayan analiz, yapının deprem etkileri altındaki yer değiştirmeleri ve taşıyıcı sistem elemanlarındaki şekil değiştirmelerinin incelenmesini sağlamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yapabilmek için, öncelikli olarak taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin hesaplanması ve deprem yüklerinden oluşan etkilerin karşılaştırılması ile yapılır. Yapılarda yüklemelerden oluşan kesit tesirleri ve deprem etkileri talep (istem) olarak adlandırılır. İşte bu noktada performans

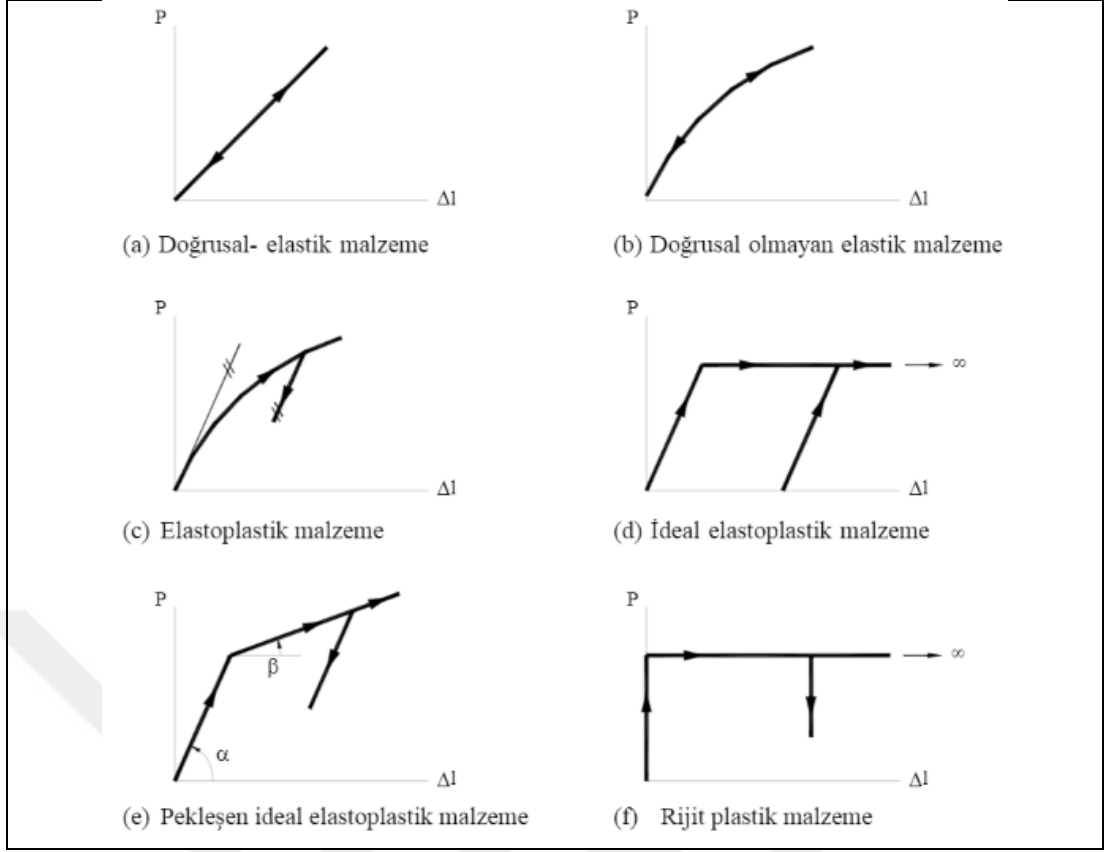
kavramı devreye girer, performans yapılar da oluşan talep (istem) ve kapasitenin karşılaştırılması ve sonuçlarının değerlendirilip önceden belirlenen hasar sınırlarına göre yorumlanması olarak karşımıza çıkar [33].

3.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemler

Doğada doğrusal (elastik) ve doğrusal olmayan (plastik) davranışı prensip olarak bir yay örneğinde irdelemek gerekirse, belirli bir kuvvet-deplasman ilişkisi çerçevesinde yay elemanı çekilip bırakıldığında, mevcut şeklini koruyarak bir enerji kaybı olmadan, etkiye aynı oranda tepki vererek serbest hareketini tamamlaması, yani başladığı noktaya kalıcı şekil değişimleri yaşamadan dönmesi elemanın elastik davrandığını göstermektedir. Fakat öyle bir kuvvet-deplasman tanımında çekildiğinde, ki bu kuvvetin, elemanın elastik davranışı hareketini olumsuz etkileyeceği düşünülürse, bu durumda yay elemanı elastik özelliğini yitirmiş, artık kalıcı şekil değiştirmiştir ve mekanizma durumu göstermiştir. Eşitlik (3.1)'de bu bağıntı verilmiştir. Burada k değeri elemanların elastik veya plastik davranış göstereceğinin tayin edilmesinde önemlidir.

$$F = kx \quad (3.1)$$

Yapılar için de yukarıda anlatılan duruma benzer bir davranış söz konusudur. Beton, çelik, donatı çeliği, betonarme gibi malzemeler bu kuvvet-deplasman döngüsü etkileşimi içerisinde doğrusal ve doğrusal olmayan birtakım davranışlar gösterebilmektedir. Akma noktası olarak adlandırılan, malzemenin elastik ya da plastik davranış göstereceğini tayin etmede kullanılan bu sınır noktası, üzerine etki edebilecek yükleme çeşitlerine bağlı olarak, aşıldığında kalıcı şekil değiştirmelere bağlı plastik davranışı, aşılmadığında ise elastik davranış göstermiş olup yüklemeler kaldırıldığında malzeme eski haline geri dönebilmektedir. Aşağıda bu durumu özetleyen, kuvvet-deplasman etkileşiminde genel malzeme davranışları ve doğrusal olmayan davranışın idealize kabullerini içeren örnek görseller verilmiştir.



Şekil 3.1: İdeal malzemeler.

3.3. Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Uygulama Sınırları

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, yapıların dinamik ve statik etkiler altında tasarım ve değerlendirmelerinin yapılmasında, kuvvet kavramına dayalı, dayanıma göre tasarım yapan doğrusal (elastik) analiz metodu, kullanılan en yaygın ve kabul gören yöntemdir. Doğrusal olmayan analiz ve değerlendirme yöntemine göre daha az zaman alan, belirsizliklerin ve kabullerin nispeten daha az, uzmanlık ve tasarım gözetmeni gibi kriterleri gerektirmeyen bu yöntemin uygulama sınırları, TBDY-2018 [31] ve ASCE/SEI41-13'te [35] maddeler halinde verilmiştir.

- Bina yüksekliğinin, deprem tasarım sınıfına göre belirlenen $DTS = 1, 1a, 2, 2a$ için $17.5 < H_N \leq 28$
- $DTS = 3, 3a, 4, 4a$ için $28 < H_N \leq 42$ aralıklarından büyük olduğunda.
- Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği
- Tüm deprem yönlerinde düşey taşıyıcı elemanların, kesme kuvvetleriyle ölçeklendirilen etki-kapasite sonuçlarının ortalamasının, ilgili deprem yönü

yatay elemanların etki-kapasite oranları ortalamasından (üst kat hariç her kat seviyesinde) fazla olması.

- Tüm deprem yönlerinde düşey taşıyıcı elemanların, kesme kuvvetleriyle ölçeklendirilmiş etki-kapasite sonuçları ortalamasının 3'ten büyük olması, (üst kat hariç her kat seviyesinde)
- Tüm deprem yönlerinde yatay taşıyıcı elemanların etki-kapasite oranları ortalamasının 5'ten büyük olması.

Yukarda anlatılan koşullardan birinin yapıda görülmesi durumunda doğrusal- elastik hesap yöntemine göre analiz ilgili yönetmeliğe [31] göre uygulanamaz kabul edilecek ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılacaktır.

Taşıyıcı elemanlar (kolon, perde) için etki-kapasite (EKO) tayininde kullanılacak değerlendirme metodu Eşitlik (3.2)'de verilmiştir. Burada eğilme etkisindeki elemanların kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde, dayanım kesme kuvvetinin depremin talep ettiği kesme kuvvetine oranını ifade eden bir kapasite tasarımı ilkesi kontrolünü içermektedir.

$$EKO = \frac{\sum_i V_i (EKO)_i}{\sum_i V_i} \quad (3.2)$$

Burada V_i , kolon elemanlarda meydana gelen kesme kuvvetini, $(EKO)_i$ etki-kapasite oranını temsil etmektedir. Benzer durum için doğrusal hesap yöntemi uygulama sınırları ASCE/SEI41-13 [35]'te aşağıda verilen maddelerde anlatılmıştır.

- Doğrusal statik veya dinamik analiz sonucu, belirlenen düzensizlik davranışlarının yapıda görülmesi (yumuşak kat, düzlem içi ve düzlem dışı deprem etkilerine dayanıklı süreksiz eleman bulunması)
- Elastik ve elastik olmayan davranışın tayin edilmesinde, talep-kapasite oranlarına (DCRs) göre değerlendirme yapılır
- Tüm yüklemeler ve kontroller yapıldıktan sonra herhangi bir eleman için, talep kapasite oranı ≤ 1.0 ise, elemanın deprem etkilerine karşı elastik davranış göstereceği beklenir.

- Tüm yüklemeler ve kontroller yapıldıktan sonra herhangi bir eleman için, talep kapasite oranı > 1.0 ise, elemanın deprem etkilerine karşı plastik davranış göstereceği beklenir.
- Yapı doğal titreşim periyodunun tepki spektrumu analizinden elde edilen periyodun 3.5 katından eşit veya büyük olması $T_p \geq 3.5T_s$
- Çatı katı dahil olmamak üzere kat yatay uzunluğunun bitişiğindeki kat yatay uzunluğuna göre 1.4'ünden fazla olması
- Göreli kat ötelemesi kontrollerinin bir sonucu olan burulma düzensizliği olması
- Çatı katı dahil olmamak üzere birbirine komşu katlar arasında göreli kat ötelemeleri kontrollerinin bir sonucu olan düşey rijit düzensizliğinin olması
- Yapının dik açılarla gelebilecek deprem etkilerine karşı koyamaz bir konstrüksiyona sahip olması

Yukarda anlatılan koşullardan birinin yapıda görülmesi durumunda doğrusal-elastik hesap yöntemine göre analiz ilgili yönetmeliğe [35] göre uygulanamaz kabul edilecek ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılacaktır. Taşıyıcı elemanlar (kolon, perde) için etki-kapasite (EKO) tayininde kullanılacak değerlendirme metodu Eşitlik (3.3)'te verilmiştir.

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_1^n DCR_i V_i}{\sum_1^n V_i} \quad (3.3)$$

Burada $\overline{DCR}$, kat içerisinde bulunan elemanların ortalama talep-kapasite oranını, DCR_i kat içerisinde bulunan kritik eleman için talep-kapasite oranını, V_i yapının elastik davranacağı varsayılarak deprem etkileri dahil edilerek bir i eleman için hesaplanan toplam yanal kesme kuvvetini, n kat içerisindeki toplam eleman sayısını temsil etmektedir.

Eşitlik (3.2) ve (3.3)'e bakılınca, etki-kapasite oranlarının belirlenmesinde benzer parametrelerin kullanıldığı söylenebilir. Belirtilen maddeler, mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesi sürecinde, tavsiye edilen analiz yönteminin seçilmesinde önem arz etmektedir. Bu koşulların sağlanmaması durumunda doğrusal olmayan analiz ve değerlendirme yöntemlerinin kullanılması şartnamelerce zorunlu tutulup, eleman ve yapının esas kapasiteleri hakkında daha doğru bilgilerin elde edileceği bilinmektedir.

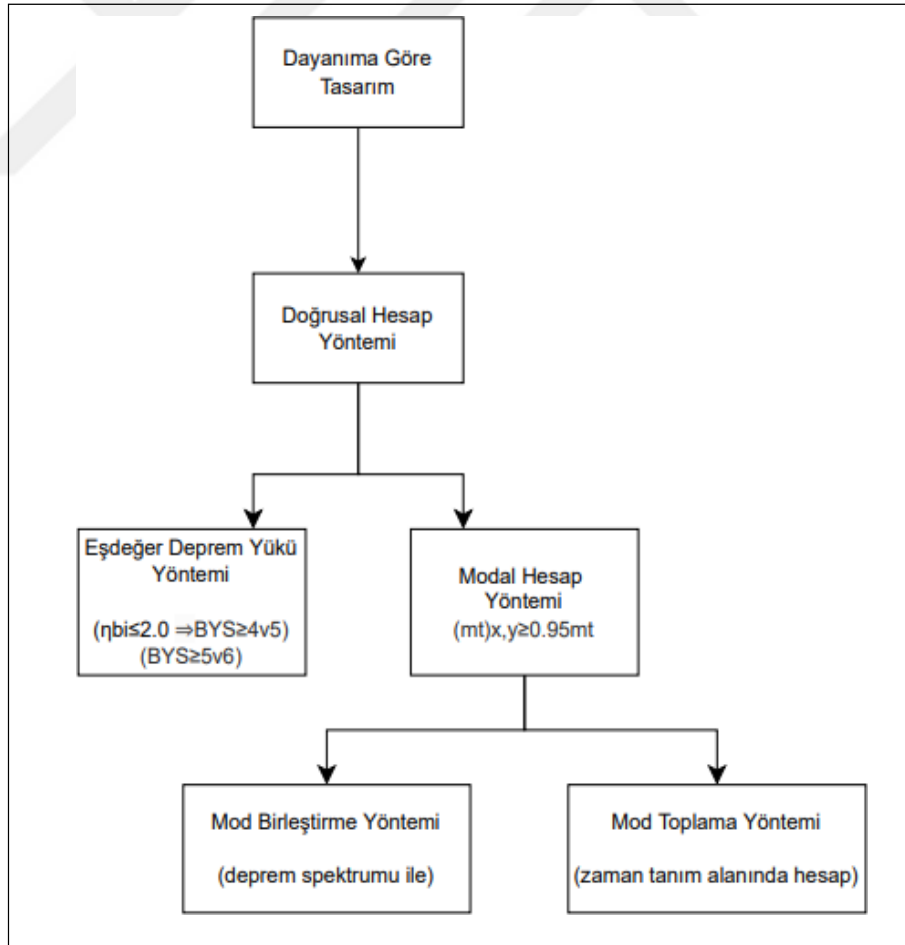
3.4. Hesap Adımları ve Bulgular

Bu bölümde yapıların performanslarının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Söz konusu bu tezde kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi adımları ve uygulamaları ilerleyen bölümlerde detaylarıyla irdelenmiştir.

Doğrusal analiz yönteminde kullanılan hesap yöntemleri aşağıda verilmiştir.

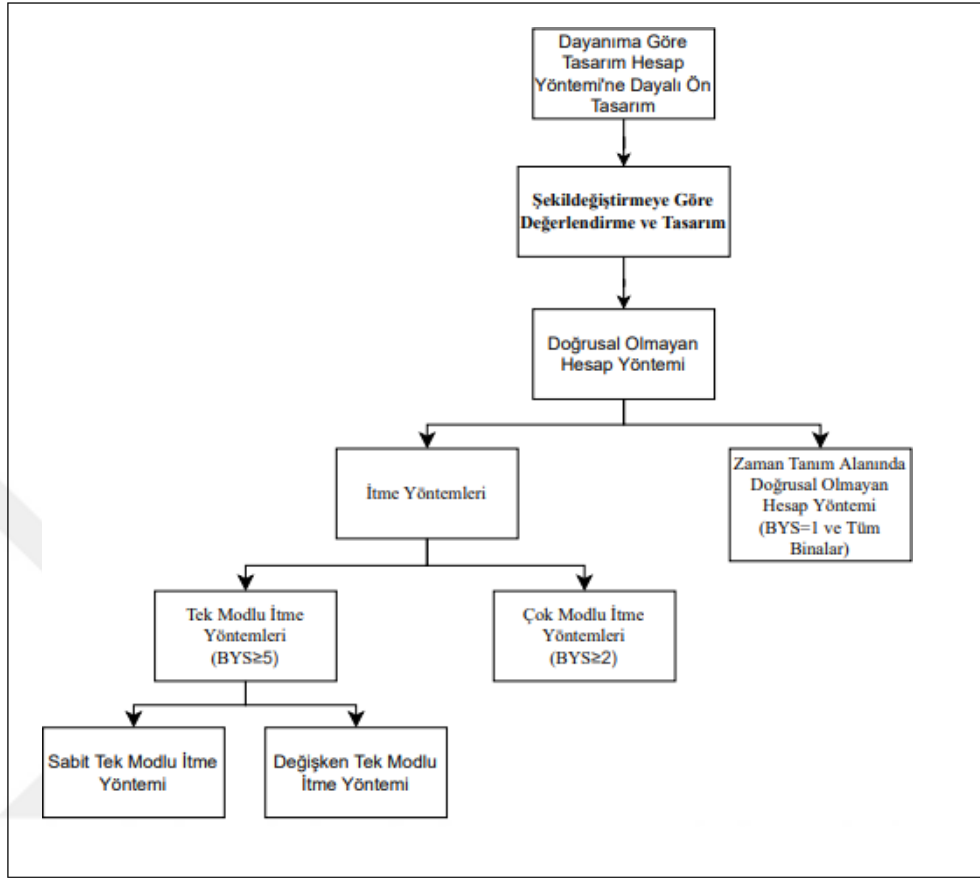
- Eşdeğer Deprem Yüğü Hesap Yöntemi
- Modal Hesap Yöntemi

Uygulamada Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi limit durumlarının sınırlı olması gereği pek tercih edilmeyip Modal Hesap Yöntemi, en çok tercih edilen ve yaygın olarak kullanılan metottur.



Şekil 3.2: Doğrusal analiz hesap yöntemleri.

Doğrusal olmayan analiz yönteminde kullanılan hesap yöntemleri Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Doğrusal olmayan analiz hesap yöntemleri.

ASCE/SEI41 yönetmeliklerinde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri esasları Şekil 3.4'te verilmiştir.

Structural Model	Linear	Nonlinear
Seismic Loading	$E, A, I, L, G \text{ etc.} = \text{Constant}, K = \text{Constant}$	$E \neq \text{Constant}, EI \neq \text{Constant}, K \neq \text{Constant}$
Static	1. Equivalent Lateral Force (ELF) Procedure	5. Several Pushover Analysis Methods or Nonlinear Static Procedures (NSPs)
Dynamic	2. Response Spectrum Analysis (RSA) Procedure (or Mode Spectral Analysis)	6. Nonlinear Modal Response History Analysis or Fast Nonlinear Analysis (FNA)
	3. Modal Response History (or Time History) Analysis Procedure (Modal RHA/THA)	
	4. Linear Response History (or Time History) Analysis Procedure (Direct Integration Linear RHA /LTHA)	7. Nonlinear Response History (or Time History) Analysis Procedure (Direct Integration Nonlinear RHA/THA)

Şekil 3.4: Sismik analiz prosedürleri.

3.5. Bina Hakkında Bilgilerin Toplanması

Mevcut/yerinde binaların deprem performanslarının belirlenebilmesi için incelenecek betonarme binalarda, tasarımsal birtakım özelliklerin bilinmesi gerekmektedir.

- Yapıda kullanılan çelik/beton/donatı çeliği malzeme sınıflarının belirlenmesi
- Yapının en, boy, yükseklik ölçüleri
- Kullanılan elemanların enkesit ölçüleri
- Zemin, Temel bilgileri
- Betonarme yapılar için kullanılan donatı sayıları, çapları ve aralıkları
- Onaylanmış projesi varsa yerinde uyumluluğu

gibi veriler göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi yapılacak olan yapı hakkında ön bilgiler toplanır. Projesi olmayan yapılar için röleve olarak adlandırılan kolon, kiriş vb. elemanların mevcut yerlerinin tespitinin yapıldığı bir çizim çalışması oluşturulur. Burada önemli olan kullanılan malzeme özelliklerinin tespit edilmesidir ki bu tespit nasıl yapılacağı hakkında esaslar yönetmeliklerde anlatılmıştır. Buna göre verilerin toplanmasıyla birlikte, eleman kapasitelerinin hesabında kullanılmak üzere bilgilerin TBDY [31]'ye göre sınıflandırılması, Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Bilgi düzeylerine bakıldığında, adından da mütevellit, kapsamlı, sınırlıya göre daha çok verinin toplandığı binalardır. Sınırlı bilgileri içeren yapılar sadece özel yapı olmaması şartıyla hesap ve değerlendirmede kullanılmaktadır.

Konu hakkında benzer sayılabilecek bilgi, diğer yönetmelikte [30] ise betonarme yapılar nezdinde, Bölüm 10.2.4 Knowledge Factor konu başlığı altında anlatılmıştır. Bahsedilen beton bileşen kabul kriterlerinin, yapıda hasar, malzemede belirsizlik gibi bulguların görülmesi durumunda 0.75 bilgi faktörünün (κ , knowledge factor) kullanılması gerektiğini önermektedir.

3.6. Malzeme Dayanımları ve Kütlelerin Modellenmesi

Mevcut/yerinde binalarda, betonarme kesit özellikleri ve malzeme dayanımları, binalardan alınan karot örnekleriyle belirlendikten sonra, doğrusal olmayan hesap yöntemiyle ilgili analizlerinin yapılması sürecinde, TBDY [31]’de bahsedildiği üzere belirlenen mevcut dayanımları kullanılacaktır. Yeni yapılacak binalarda ise beklenen (ortalama) dayanımlar kullanılmak suretiyle ilgili analiz ve değerlendirme hesapları yapılacaktır.

ASCE/SEI41 [35] yönetmeliğinde durum farklıdır. Mevcut malzeme dayanımları belirlendikten sonra, beklenen (ortalama) dayanım katsayılarıyla etki ettirilerek hesaplara dahil yapılır.

Tablo 3.2: TBDY yeni yapılacak binalar beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$
Yapı Çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5f_{yk}$
Yapı Çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3f_{yk}$
Yapı Çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$
Yapı Çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$

Tablo 3.3: ASCE/SEI41 beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.

Malzeme Özelliği	Faktör
Beton Basınç Dayanımı	1.50
Yapısal Çelik Çekme ve Akma Dayanımı	1.25
Connector Çelik Akma Dayanımı	1.50

Statik etkiler altında, binalar için öngörülen zati ve hareketli yük parametreleri ilgili yönetmeliklerce, yapı kullanım sınıflarına göre belirlenmiştir.

3.7. Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi

Doğrusal hesap yönteminde kullanıldığı gibi, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde de taşıyıcı elemanlar için belirlenen çatlamış kesit rijitliklerinin, değerlendirmesi yapılacak binalarda kullanılması gerekmektedir. TBDY ve ASCE/SEI41’de kolon ve kiriş elemanlar için belirlenen rijitlik değerleri Şekil 3.5’te verilmiştir.

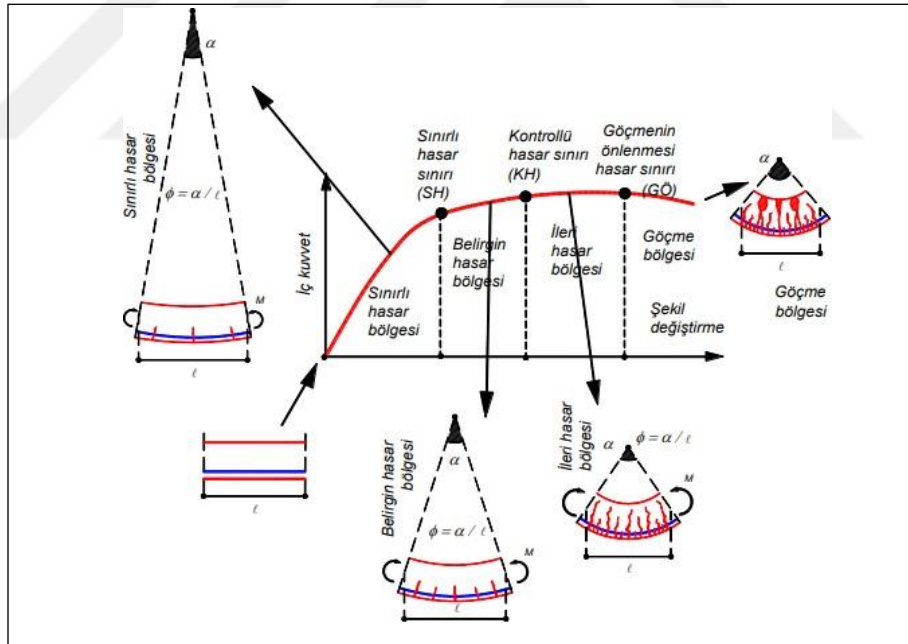
Tablo 3.4: Etkin eğilme rijitlikleri.

TBDY-2018	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Çubuk Elemanlar	Eğilme	Kesme
Çerçeve Kirişi	0.35	1.00
Çerçeve Kolonu	0.70	1.00
ASCE41-13	Etkin Rijitlik Değerleri	
Eleman	Eğilme Rijitliği	Kesme Rijitliği
Kirişler-ön gerilmesiz	0.30	0.40
Kolonlar-basınç etkisinde $N_D \geq 0.5A_g f_c'$	0.70	0.40
Kolonlar-basınç veya çekme etkisinde $N_D \leq 0.1A_g f_c'$	0.30	0.40

3.8. Performans Hedefi ve Hasar Bölgeleri

Binaların performanslarının belirlenmesinde, eğilme etkisindeki betonarme elemanlar, kırılma türlerine göre sünek veya gevrek davranış gösterirler. Yapıların tasarımlarında, özellikle deprem gibi dinamik yükler altında, sünek davranış gösterecek şekilde deforme olması istenilen durumdur. Gevrek davranış, yatay yönlü deprem etkilerinin talep ettiği kesme türü tesirlerin, eleman kapasitesinden büyük olması durumunda ortaya çıkar ve taşıyıcı elemanlarında kesme çatlakları şeklinde gözlemlenir.

Yönetmeliklerde, eleman özelinden başlayıp yapı genelinde hedeflenen performans seviyeleri, şekildeğiştirme ve iç kuvvet taleplerine göre ilgili hesapları sonucu isimlendirilip belirlenmiştir. Doğrusal olmayan hesapla değerlendirmesi amaçlanan yapıların, sahip oldukları yapısal özelliklerine göre, belirlenen performans hedeflerini sağlamaları istenmektedir.

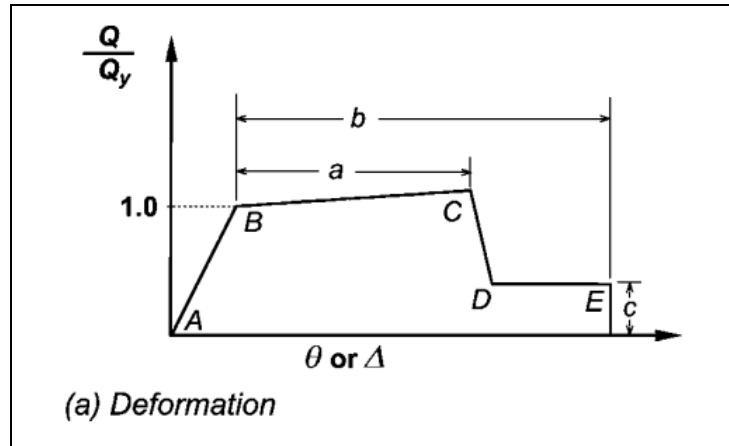


Şekil 3.5: Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.

Tablo 3.5: Mevcut betonarme bina değerlendirmesinde deprem tasarım sınıfına göre performans hedefleri.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

Şekildeğiştirme ve iç kuvvet taleplerine göre ilgili hesapları sonucu elde edilen tesir kuvvetleri, ASCE/SEI 41 yönetmeliğinde kuvvet-deformasyon grafiğinde Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Kabul kriterleri (acceptance criteria) kabul edilebilir deformasyon limitlerini temsil etmektedir. Örneğin kolon modelleme parametreleri için kabul kriterleri (a, b,, eksenel kuvvet sınırları ve donatı oranlarına göre plastik dönme olarak sunulmuştur. Modelleme parametresi a, plastik dönme deformasyonunun yanal mukavemet kaybına sahip olduğunu tanımlar. Modelleme parametresi b, kolonun eksenel çökmesi olan kolonun ömrünün sonunu tanımlayacaktır.



Şekil 3.6: Modelleme ve kabul kriterlerini tasvir etmek için geliştirilmiş bileşen kuvvet-deformasyon ilişkisi.

Modelleme değişkenleri	Kabul edilmiş kriterler		
	Plastik dönme açısı (Rad)		
	Performans seviyesi		
	IO	LS	CP
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleşirme ile kontrol edilmeyen kolonlar ^a			
$a = \left(0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{YE}}{V_{COLE}} \right) \geq 0.0$			
$\frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} \leq 0.5$ için $b = \frac{0.5}{5 + \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f_{CE}} \rho_t \frac{f_{CE}}{f_{YE}}} - 0.01 \geq a$	0.15 ^c ≤ 0.005	0.5b ^b	0.7b ^b
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} \geq 0.0$			
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleşirme ile kontrol edilen kolonlar ^c			
$a = \left(\frac{1}{8} \cdot \frac{\rho_t \cdot f_{YE}}{\rho_t \cdot f_{YE}} \right) \geq 0.0$			
$b = \left(0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} + 12 \rho_t^2 \right) \geq a$	0.0	0.5b	0.7b
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$			

Not: ρ_t , çekirdeğe yeterince sabitlenmediğinde hiçbir durumda 0.0175'ten fazla veya 0.0075'ten küçük alınmamalıdır. Tablodaki denklemler ρ_t değeri 0.0005'ten küçük olan kolonlar için geçerli değildir. V_{YE} / V_{COLE} , 0.2'den az alınmamalıdır. N_{UD} , yanal kuvvetlerin etkilerini açıklayan maksimum basınç eksenel yük hesabı olacaktır. Alternatif olarak, N_{UD} 'un bir limit-durum analizine dayanarak değerlendirilmesine izin verilecektir.

^ab, $\frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} > 0.5$ için $\frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} = 0.5$ değerinden $\frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} = 0.7$ değerinde lineer olarak azaltılacaktır, ancak a'dan küçük olmamalıdır

^b $\frac{N_{UD}}{A_g f_{CE}} > 0.1$ 'den küçük alınmamalıdır.

^cKolonların, ekte hesaplanan çelik stresinin Denklem (10-1a) veya (10-1b) tarafından belirtilen çelik stresi aştığı yetersiz gelişme veya ek yerleri ile kontrol edildiği düşünülmektedir. Yetersiz gelişme veya birleşirme ile kontrol edilen kolonlar için modelleme parametresi, yetersiz gelişme veya birleşirme ile kontrol edilmeyen sütunların parametrelerini asla aşmayacaktır.

^da Yeterli gelişme veya birleşirme ile kontrol edilen kolonlar için, birleşme bölgesinde sıfır alınacak, uzunluğu boyunca en az iki bağ grubu tarafından geçilmeyecektir.

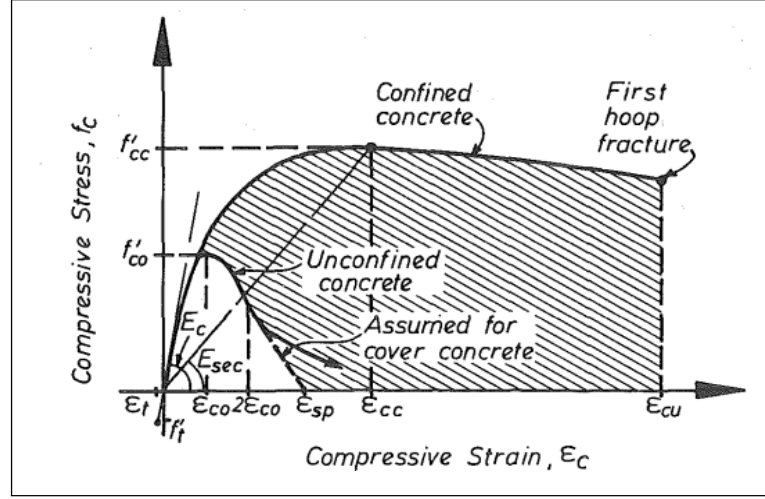
^e ρ_t , 0.0075'ten daha fazla alınmaz.

Şekil 3.7: Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kolonlar.

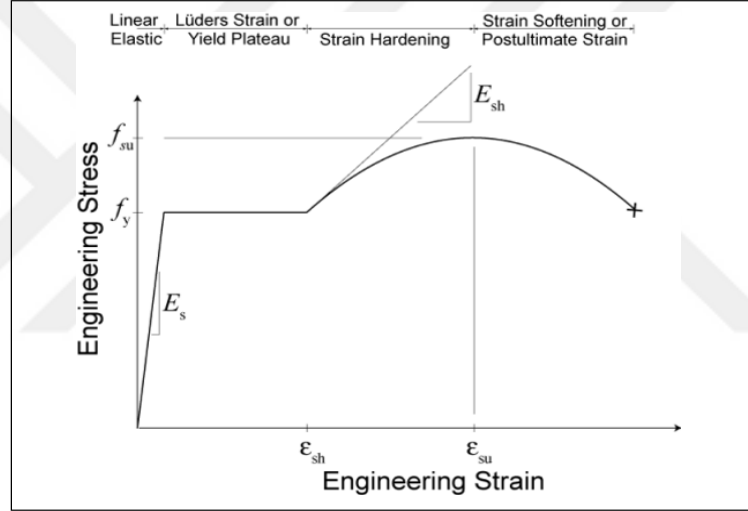
3.9. Moment-Eğrilik İlişkisi

Moment-eğrilik ilişkisi eğilme etkisindeki elemanların, özellikle doğrusal olmayan elastik ötesi davranışlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Betonarme bir kesit özelinde bakıldığında, beton ve donatı çeliği basınç ve çekme tesirleri etkisinde doğrusal olmayan davranış gösterirler. Yönetmelikte doğrusal olmayan betonarme davranışı için Mander [39] malzeme modeli, donatı çeliği için ise önerilen Park davranış modellerine ait görseller Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.8: Sargılı ve sargısız betonun monolitik yükleme etkisinde gerilme-şekil değiştirme modeli.



Şekil 3.9: Donatı çeliği deneysel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

Şekiller incelendiğinde, malzeme özelliklerine bağlı olarak, ilgili noktalardaki gerilme (f) ve birim şekildeğiştirme (ϵ) oranları farklılık göstermektedir. Beton için birim kısalma, donatı çeliği için ise birim uzama taleplerine göre parametreler, şartnamelerce değişkenlik gösterebilmektedir.

Beton ve donatı çeliği için belirlenen tesirler etkisi sonucunda gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkilerinden yola çıkılarak, elastik ve elastik ötesi davranışlar esnasında rijitlik, süneklik, dayanım, enerji dağılımı kapasitesi gibi değişimlerin gözlemlenebilmesiyle birçok kesitsel bilgiyi içermektedir. Betonarme elemanlarda moment-eğrilik analizinin yapılabilmesi için aşağıda verilen varsayımların kabul

edilmesi gereklidir. Bu varsayımlar aynı zamanda kesit taşıma gücü hesapları yapılırken de kabul edilmektedir.

- Düzlem kesit, eğilmeden (şekildeğiştirmeden) sonra da düzlem kalır
- Beton malzemenin çekme dayanımı yoktur (ihmal edilir)
- Beton ve donatı çeliği arasında tam bir kenetlenme (aderans) vardır

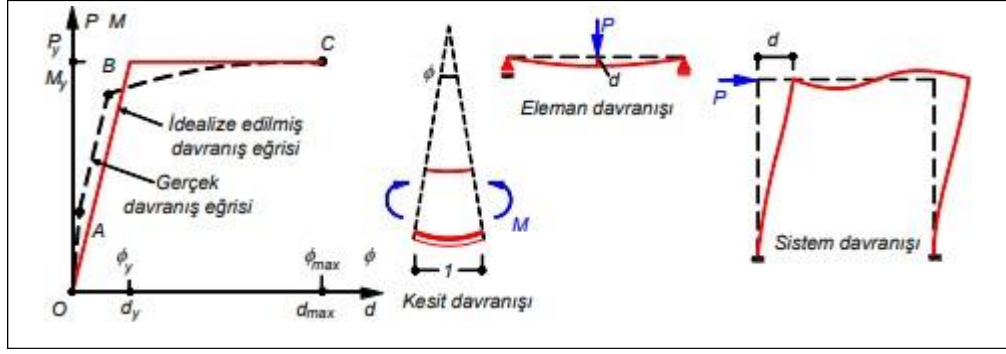
Kesitlerin moment-eğrilik analizi sonuçlarını etkileyen faktörler aşağıda listelenmiştir. Buna göre kesitin taşıyabileceği moment değeri ve eğriliği bu faktörlerin oranlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

- Kesite etkiyen eksenel yük değeri
- Donatı sargılama (ettriye) oranı
- Beton dayanımı
- Betondaki donatı oranı

Yukarda verilen faktörler birçok deney numunesi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre tayin edilmiştir. Örneğin betondaki dengeli donatı oranını değiştirmek kesitin taşıyacağı moment kapasitesini artırmada pozitif etki yapabilirken, buna karşılık eğriliğinde ise azalmaya sebep olabilmektedir.

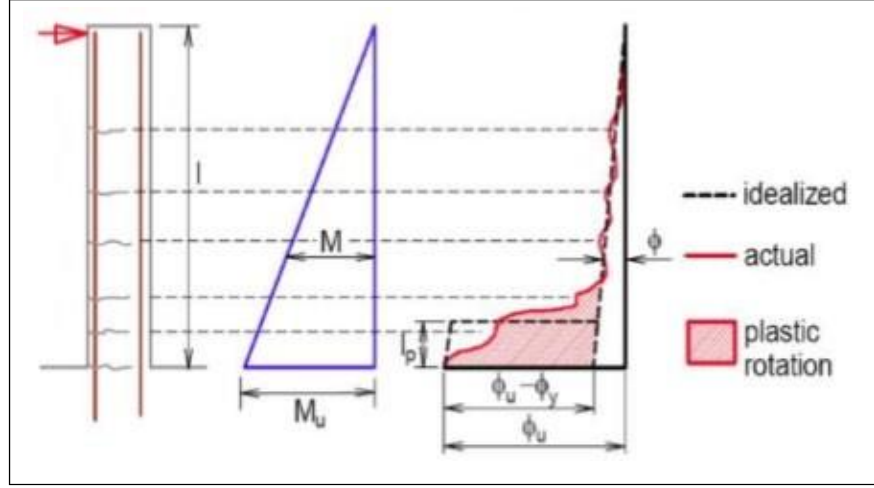
3.10. Süneklik ve Plastik Mafsal Kavramları

Eğrilik, incelenecek kesitin birim boyundaki dönmesidir. Tanım olarak süneklik ise, belirli bir yük ve şekildeğiştirme ilişkisi altında özelden genele kesitten taşıyıcı sisteme kadar, kopma noktası değerinin akma noktası değerine oranını ifade eden plastik şekil değiştirme ve yerdeğiştirme yapabilme kapasitesidir. Şekil 3.10'da eğrilik sünekliğini anlatan bir örnek verilmiştir. Gerilme etkisinde, iki eksenle yükleme-boşalma çevrimsel davranışı göstererek depremin yapıda oluşturduğu enerji bu sayede sönmülenebilmektedir [37]. Doğrusal hesaplarda bu durum Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) olarak tanımlanmaktadır.

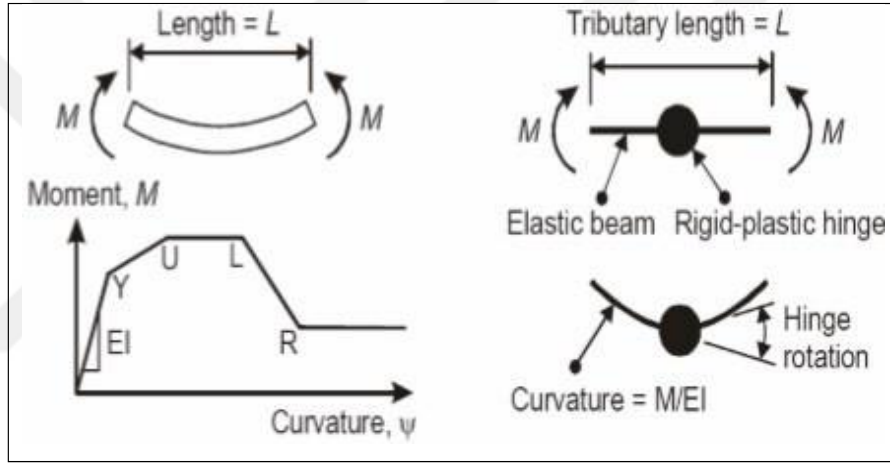


Şekil 3.10: Doğrusal olmayan davranışta kesitte, elemanda ve taşıyıcı sistemde süneklik.

Moment-eğrilik analiziyle kesitin elastik ötesi davranışı ve sınırları belirlenmiş oldu. Doğrusal olmayan analiz yönteminde kullanılacak bir diğer parametre ise plastik mafsallığın yerinin ve boyunun tayin edilmesidir. Bununla birlikte elemanda plastik davranış gösterecek kesitin yeri ve konumunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.5.'te idealize edilmiş davranış eğrisine bakıldığında, akma noktası sonrası, kesitte gözle görülür belirgin bir moment artışının olmadığını söylemek mümkündür. Buna karşın kesit eğriliğinde ise artışın olduğu görülmektedir. Bu akma noktası sonrası oluşan eğriliklerin plastik mafsallığın boyuyla çarpılarak, kesitin elastik ötesi bölgede yaptığı plastik dönmeler belirlenir ve yönetmeliklerde verilen performans seviyeleri ile karşılaştırılır. Kolon ve kirişlerde, mesnetlere yakın yerlerde moment tesirlerinin büyük olmasından dolayı, plastik mafsallaşmanın beklendiği optimum bölgelerdir. Plastik mafsallığın boyu yönetmeliklerde, faydalı uzunluğunun yarısı ($L_P = 0.5h$) olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.11: Kesitin elastik tepki sonrası idealleştirilmesi.



Şekil 3.12: Plastik mafsall matematiksel modeli.

3.11. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Tüm yapıların deprem analizi ve değerlendirmesinde kullanılabilen bu hesap yöntemiyle ilişkili birtakım tanım uygulama esasları bulunmaktadır. Kullanılacak kayıtların seçiminde ilgili yönetmeliklerde

- Bölgenin yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklüğündeki kayıtların seçilmesi
- Fay hattına yakınlığı ve uzaklığı

- Kaynak mekanizmaları ve mevcut zemin sınıfları

gibi koşullar dikkate alınarak, birbirine dik eksen için minimum $2 \times 11 = 22$ kayıt seçilerek çözüm yapılması gereklidir. Bir diğer husus ise seçilen kayıtların, yine bölge yer hareketine uyumluluğu açısından belirlenen şartlarda ölçeklenmesi gerekliliğidir.

- Belirlenen kayıtların yatay bileşenlerine ait bileşke spektrumları ortalamasının $0.2T_P$ ile $1.5T_P$ periyotları arasında kalan genlikleri, bölge için belirlenen tasarım spektrumunun belirlenen periyot sınırları arasındaki genliklerine oranı 1.3'ten küçük olmayacak şekilde ölçeklenmesi gereklidir.

Analiz sonucunda her bir kayıttan elde edilen en büyük mutlak tesirlerin ortalaması talep tesirlerin değerlendirilmesinde kullanılacaktır. ASCE 41-13'te [35] ise zaman tanım alanında analiz yönteminde kullanılacak kayıtlara ait detaylar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Doğrusal olmayan dinamik analiz yönteminde gerekli yer hareketi kayıtları.

Koşul (Aktif bir fay hattına yakınlık/uzaklık)	Sonuçların Hesaplanması Yöntemi	Yeni Bina Standartlarına Eşdeğer Temel Performans Hedefi (BPON)	Diğer Tüm Performans Hedefleri
Uzak fay (>5 km/3 mi)	Ortalama	Kayıt Çifti ≥ 10 <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>	Kayıt Çifti ≥ 10 <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>
Uzak fay (>5 km/3 mi)	Maksimum	$3 \leq \text{Kayıt Çifti} \leq 9$ <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>	$3 \leq \text{Kayıt Çifti} \leq 9$ <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>
Yakın fay (≤ 5 km/3 mi)	Ortalama	Kayıt Çifti ≥ 7 <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısının iki katıdır.</i>	Kayıt Çifti ≥ 10 <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>
Yakın fay (≤ 5 km/3 mi)	Maksimum	$3 \leq \text{Kayıt Çifti} \leq 6$ <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısının iki katıdır.</i>	$3 \leq \text{Kayıt Çifti} \leq 9$ <i>*Gerekli analiz durumu sayısı, kullanılan kayıt çifti sayısıdır.</i>

Kayıt seçimlerinde dikkat edilen hususlara bakıldığında yönetmeliğimizde [31] kayıtların nasıl belirleneceği konusu tam olarak belirlenmemiş olup tüm durumlar için en az 11 çift kaydın kullanılmasının gerekli olduğunu söyler. ASCE41-13'te [35] ise bu durum fay hattına yakınlık ve uzaklık durumlarına göre sınıflandırılmış olup, kullanılması gerekli kayıt çiftinin buna bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür.

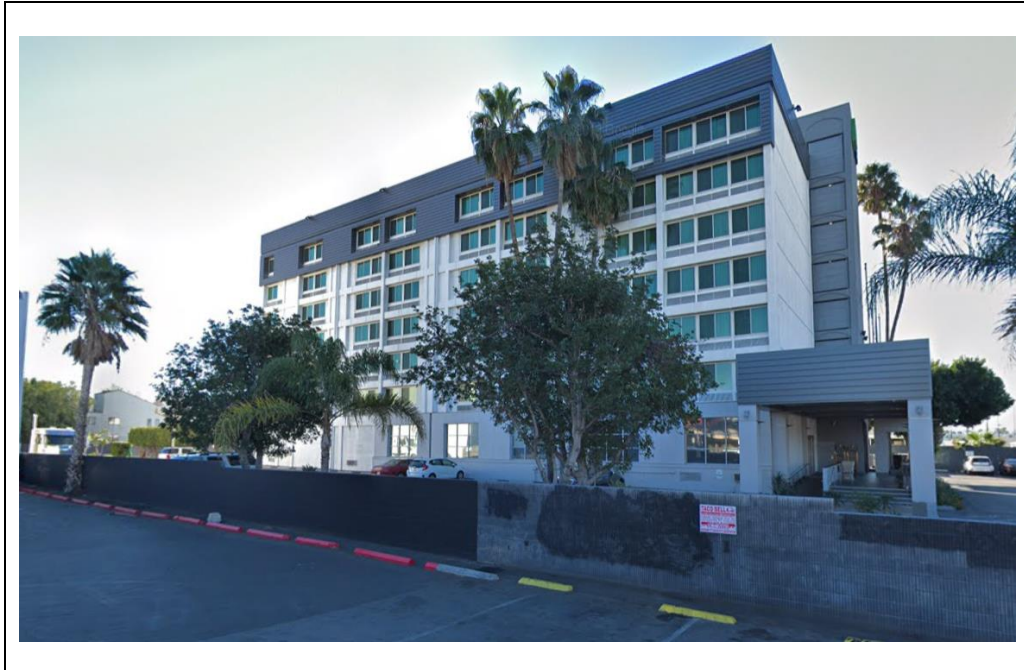


4. ANALİTİK ÇALIŞMA

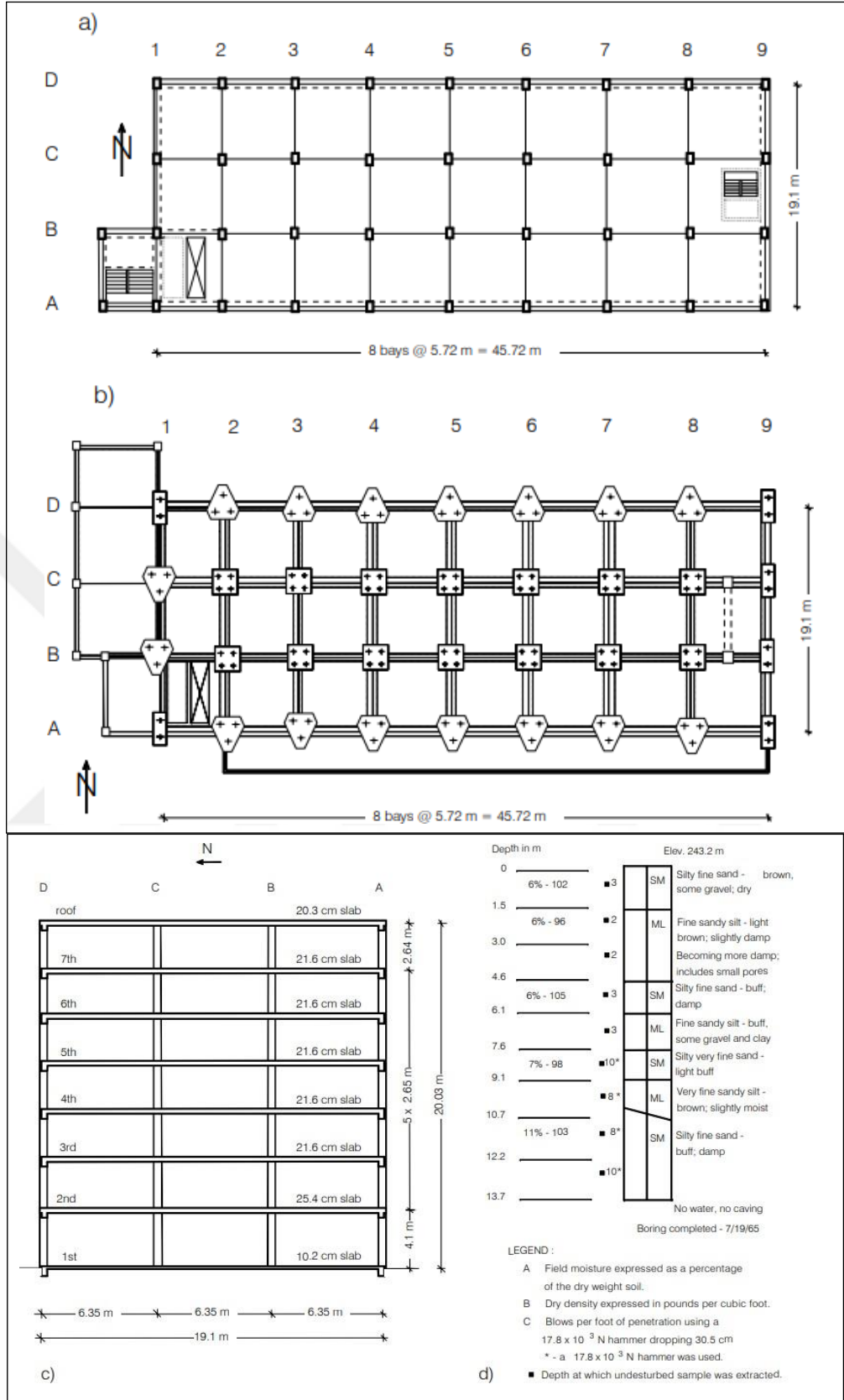
Bu bölümde güçlendirilmiş betonarme bir otel test binası yapısının, güçlendirme öncesi performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu değerlendirme sürecinde yapı sağlığı izleme enstrümanlarından faydalanılarak performans değerlendirmesi için ilgili kayıtlar kullanılmıştır. Ayrıca ölçülen kayıtlarla ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların birbiri ile tutarlı olup olmaması irdelenmiştir. Yapının deprem performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesinde ilgili olan çalışmanın içeriği, yöntemleri ve elde edilen sonuçların aletsel ölçümlerle bir karşılaştırmasını içermektedir.

4.1. Mevcut Bina Hakkında Bilgiler

Van Nuys Otel Binası, Amerika'nın Kaliforniya eyaletine bağlı Los Angeles şehrinin kuzeybatısındaki San Fernando Vadisi'nde bulunan 7 katlı, 66.000 sf. (6200 m²) alana sahip 65 ft. (19.812 m.) yüksekliğinde betonarme taşıyıcı sistemi olan bir yapıdır. Otel binası 1964 Los Angeles City Building Code'a göre tasarımı yapıp 1966 yılında imalatı tamamlandı. Otel binasının günümüz görünümü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Van Nuys otel günümüz görünümü.



Şekil 4.3: VN7SH binası: a) Tipik kat planı, b) Temel planı, c) Tipik eninekesit, d) 17/7/1965 Tarihli toprak delme verileri.

Binada kullanılan beton ve donatı çeliğine ait malzeme sınıfları ve özellikleri Tablo 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Katlarda kullanılan beton sınıfları.

Yapı İçerisindeki Konumu	Belirtilen Minimum Basınç Dayanımı $f_c' - \text{psi}$	Elastisite modülü $E - \text{psi}$
Kolonlar 1.ve 2. katlar	5,000	4.2×10^6
Kolonlar 2. ve 3. katlar	4,000	3.7×10^6
Kiriş ve Döşeme 2.kat	4,000	3.7×10^6
Diğer tüm elemanlar 3.kattan Çatı katına	3,000	3.3×10^6

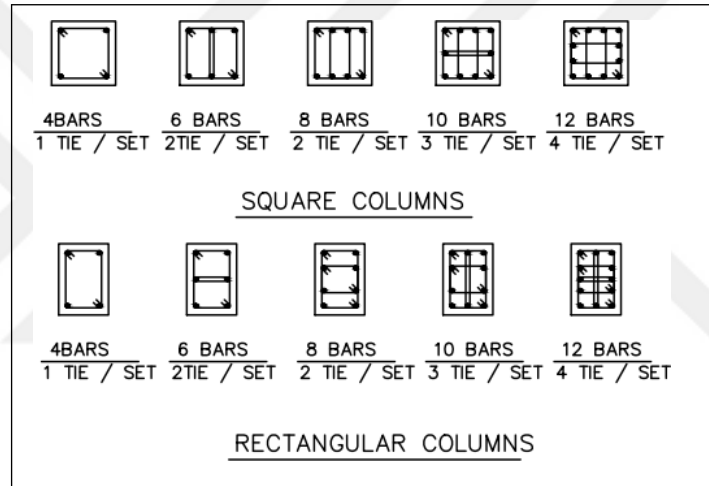
Tablo 4.2: Elemanlarda kullanılan donatı çeliği sınıfları.

Yapı İçerisindeki Konumu	Malzeme Sınıfı	Belirtilen Minimum Akma Dayanımı $f_y - \text{ksi}$	Elastisite Modülü $E - \text{psi}$
Kirişler ve Döşemeler	Intermediate grade deformed billetbars (ASTM A-15 and A-305)	40	29×10^6
Kolon donatıları	Deformed billet bars (ASTM A-432)	60	29×10^6

Kolon elemanlarda kullanılan boyuna donatı sayıları ve adetleri ile etriye bilgileri ve yerleşim detaylarına ait bilgiler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te verilmiştir.

COLUMN SCHEDULE									
COLUMN MARK	C-13 to C-17, C-21 to C-26	C-11, C-12, C-20	C-4 to C-7, C-30 to C-34	C-10, C-18 C-19, C-27	C-2, C-3 C-8, C-29 C-35	C-1, C-9 C-28, C-36	C-1A, C-10A	C-17A, C-26A	
LEVEL	COL SIZE	18" x 18"	18" x 18"	14" x 20"	14" x 20"	14" x 20"	14" x 20"	10" x 12"	10" x 12"
ROOF	VERT. BARS	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	4 - #5	
	TIES	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	
7th FL.	VERT. BARS	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	4 - #5	4 - #5
	TIES	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	#2 @ 10"
6th FL.	VERT. BARS	6 - #7	6 - #8	6 - #7	6 - #7	6 - #7	6 - #7	4 - #5	4 - #5
	TIES	#2 @ 12"	#3 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	#2 @ 10"
5th FL.	VERT. BARS	6 - #8	8 - #9	6 - #9	6 - #9	6 - #7	6 - #7	4 - #5	4 - #5
	TIES	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#2 @ 12"	#3 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	#2 @ 10"
4th FL.	VERT. BARS	8 - #9	12 - #9	6 - #9	8 - #9	8 - #9	6 - #7	4 - #6	4 - #5
	TIES	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	#2 @ 10"
3rd FL.	VERT. BARS	10 - #9	12 - #9	6 - #9	8 - #9	8 - #9	6 - #7	4 - #6	4 - #5
	TIES	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#2 @ 12"	#2 @ 10"	#2 @ 10"
2nd FL.	COL SIZE	20" x 20"	20" x 20"						
	VERT. BARS	10 - #9	12 - #9	10 - #9	12 - #9	10 - #9	9 - #9	4 - #8	4 - #6
	TIES	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 12"	#3 @ 10"	#2 @ 10"
1st FL.									

Şekil 4.4: Kolon elemanlarda kullanılan donatı bilgileri.



Şekil 4.5: Kolonlarda etriye düzeni.

2nd Floor Spandrel Beams					3rd through 7th Floor Spandrel Beams									
Beam Mark	Size		Reinforcing		Beam Mark	Size		Reinforcing top bars					Bottom Bars	
	Width (in.)	Height (in.)	Top Bars	Bottom Bars		Width (in.)	Height (in.)	7th Floor	6th Floor	5th Floor	4th Floor	3rd Floor		
ZFSB-1	16	30	Ø1 & 9 2#9 Ø2 & 8 3#8	2#8	FSE-1	16	22.5	Ø1 & 9 2#9 Ø2 & 8 2#9	2#9 same	2#9 same	3#8 same	3#8 same	2#7	
ZFSB-2	16	30	Ø2 & 8 3#8 Ø3 & 7 2#9	2#6	FSE-2	16	22.5	Ø2 & 8 2#9 Ø3 & 9 2#8	3#8 same	3#8 same	3#8 same	3#9 same	2#6	
ZFSB-3	16	30	1#9 2#9	2#6	FSE-3	16	22.5	2#8 2#8	2#9 same	3#8 same	3#8 same	3#9 same	2#6	
ZFSB-4	14	30	ØD 2#9 & 1#10 2#9 ØC 3#9		FSE-4	14	22.5	ØD 2#9 ØC 3#8	3#9 same	3#9 same	2#10 & 1#9 same	2#10 & 1#9 same	2#8	
ZFSB-5	14	30	ØC 3#9 ØB 3#9	2#8	FSE-5	14	22.5	ØC 3#8 ØB 3#8	3#9 3#9	3#9 3#9	2#10 & 1#9 2#10 & 1#9	2#10 & 1#9 2#10 & 1#9	2#8	
ZFSB-6	14	30	ØB 2#9 ØA 2#9	2#9	FSE-6	14	22.5	ØB 3#8 ØA 2#9	same 3#9	same 3#9	same 2#10 & 1#9	same 2#10 & 1#9	2#8	
ZFSB-7	16	30	Ø3 2#9 Ø2 2#9	2#7	FSE-7	16	22.5	Ø3 2#8 Ø2 2#8	same same	same same	same same	same same	2#7	
ZFSB-8	16	30	Ø2 2#9 Ø1 2#9	2#8	FSE-8	16	22.5	Ø2 2#8 Ø1 2#7	same 2#8	same 2#9	same 2#9	same 3#8	2#7	
ZFSB-9	10	14.5	2#5	2#6	FSE-9	10	12	2#5	2#5	2#5	2#5	2#5	2#6	
ZFSB-10	12	22.5	2#5	3#8	FSE-10	12	22.5	2#5	2#5	2#5	2#5	2#5	3#8	
ZFSB-11	10	12	2#4	2#4	FSE-11	10	12	2#4	2#4	2#4	2#4	2#4	2#4	
ZFSB-12	14	30	ØB 3#10 ØC 3#10	2#8	FSE-12	14	22.5	ØB 3#9 ØC 3#8	2#9 & 1#10 3#9	2#9 & 1#10 3#9	3#10 2#9 & 1#10	3#10 2#10 & 1#9	2#7	
ZFSB-13	14	30	ØC 3#10 ØD 3#10	2#10	FSE-13	14	22.5	ØC 3#8 ØD 2#9	same 3#8	same 3#9	same 2#9 & 1#10	same 2#10 & 1#9	2#7	
ZFB-1	14	30	ØB 3#10 ØA 3#10	2#9	FB-1	14	22.5	ØA 3#8 ØB 3#9	3#9 same	2#9 & 1#10 same	2#10 & 1#9 same	3#10 same	2#7	

Şekil 4.6: Kiriş elemanlarda kullanılan donatı bilgileri.

Şekiller incelendiğinde, kolonlar ve kirişler için, iç akslarda 18" x 18" (45.72 x 45.72 cm), dış akslarda ise 20" x 14" (50.8 x 35.56 cm) olarak uygulamaları yapılmıştır. Dış çerçeve kirişlerinin 2.katta uzun doğrultuda boyutları 16" x 30" (40.64 x 76.2 cm), kısa doğrultuda 14" x 30" (35.56 x 76.2 cm), üçüncü kattan çatı katına kadar ise aynı doğrultularda 16" x 22.5" (40.64 x 57.15 cm) ve 14" x 22.5" (35.56 x 77.15 cm) olarak ölçülmüştür.

Döşeme kalınlıkları, ikinci katta 10" (25.4 cm), 3.kattan 7.kata kadar 8.5" (21.6 cm) ve çatı katı için ise 8" (20.32 cm) olarak belirlenmiştir.



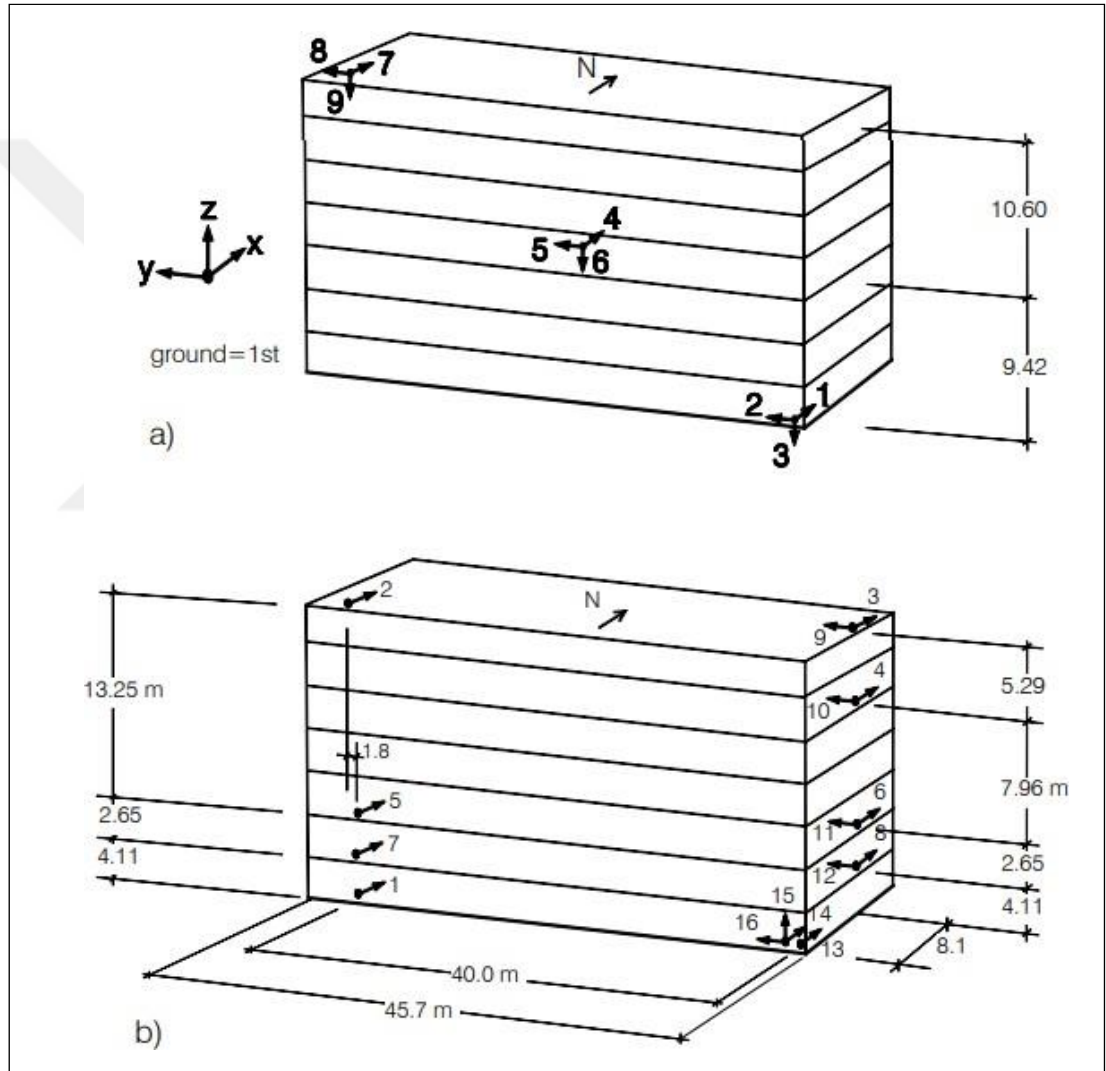
Şekil 4.7: Hasar almış bina genel görünümü.

4.2. Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

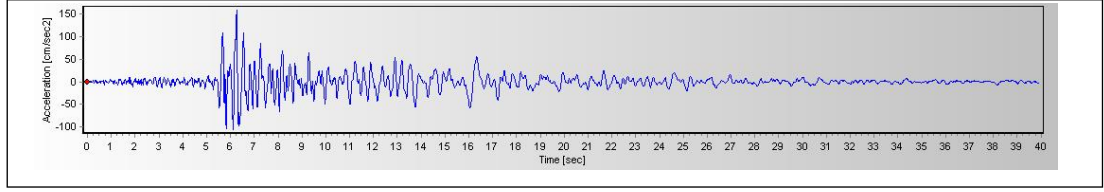
Güçlendirme öncesi değerlendirmesi yapılacak olan binada, enstrümante edilmiş ivmeölçer kayıtları kullanılmıştır. Bu kayıtlara ait veriler CESMD (Center of Engineering Strong Motion Data) internet adresinde, CE – California Strong Motion Instrumentation Program ağında, 24386 istasyon numarasında kayıtlı bulunmaktadır. Zemin kat seviyesinde bulunan kayıtçılardan, yatay ve düşey yönler seçilerek, binanın mevcut durum değerlendirmesi amaçlanmıştır. İvmeölçer sensörlerinin yerleşim düzenlerizamana göre Şekil 4.9’de verilmiştir. Kayıtlar arasından,

- WhittierNarrow87 depreminden 1 ve 13 numaralı kanallar
- Landers92 depreminden 14 ve 16 numaralı kanallar
- BigBear92 depreminden 14 ve 16 numaralı kanallar
- Northridge94 depreminden 14 ve 16 numaralı kanallar

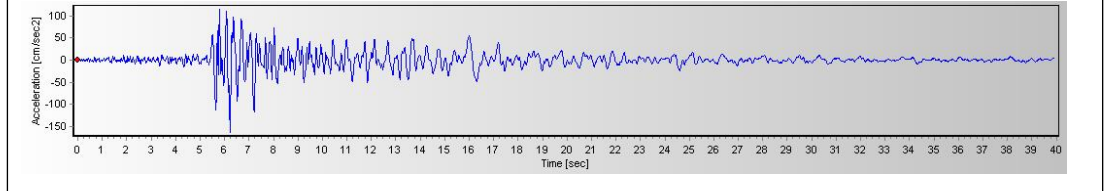
seçilerek mevcut durum değerlendirmede kullanılmıştır. Seçilen kayıtlara ait teknik özellikler ilerleyen şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.8: (a) 1971 San Fernando depremini kaydeden üç AR-240 ivmeölçerin ve (b) CR 1 kayıt sisteminin 13 kanalının ve SMA-1 ivmeölçerin (kanal 14, 15 ve 16) konumu), 1970'lerin ortası ile 1994 arasındaki tüm depremleri kaydetmesi.



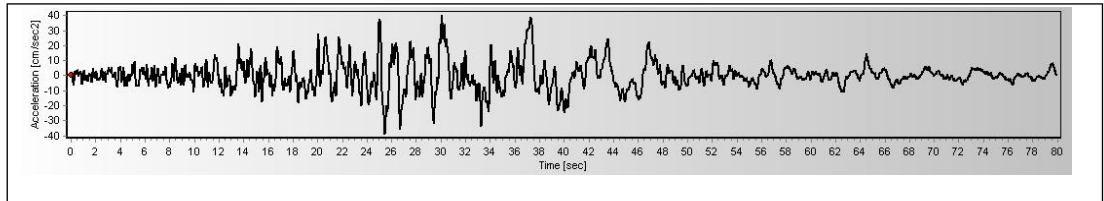
Şekil 4.9: Whittier87 kanal 1 ivme-zaman kaydı.



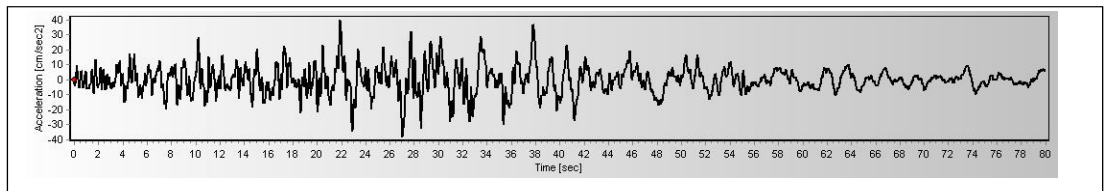
Şekil 4.10: Whittier87 kanal 13 ivme-zaman kaydı.

Tablo 4.3: Whittier87 depremi teknik özellikleri.

Deprem Adı	Büyüklik	Merkez üssü Mesafe (km)	Zemin PGA(g)	Yapı PGA(g)	Deprem Başlangıç Zamanı (UTC)
Whittier87	6.1 MI	40	0.170	0.200	1987-10-01 14:42:20



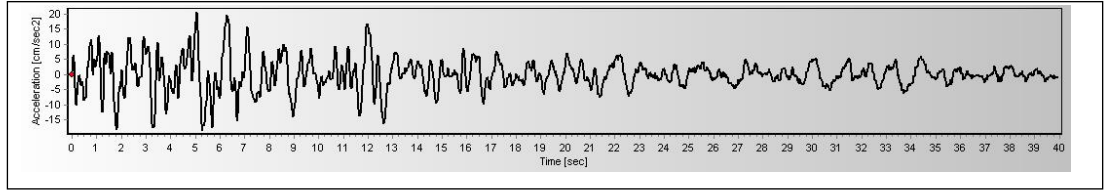
Şekil 4.11: Landers92 kanal 14 ivme-zaman kaydı.



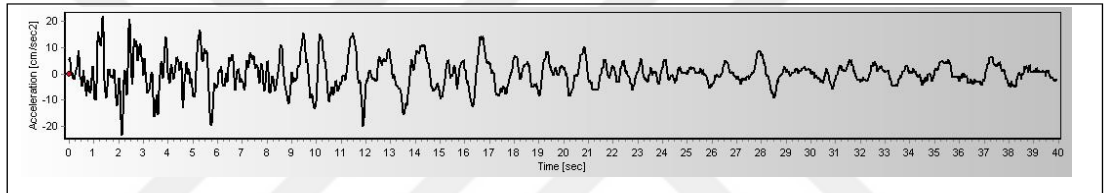
Şekil 4.12: Landers92 kanal 16 ivme-zaman kaydı.

Tablo 4.4: Landers92 depremi teknik özellikleri.

Deprem Adı	Büyükölük	Merkez üssü Mesafe (km)	Zemin PGA(g)	Yapı PGA(g)	Deprem Başlangıç Zamanı (UTC)
Landers92	7.3 MI	187.8	0.040	0.190	1992-06-28 11:57:31



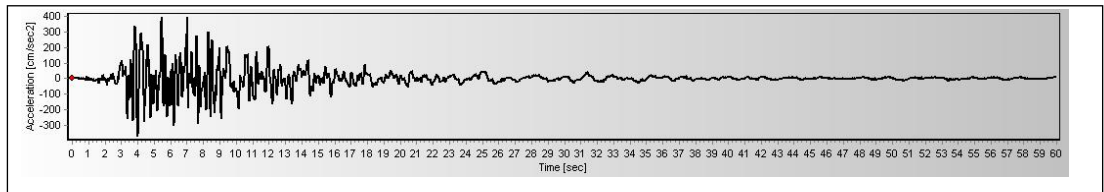
Şekil 4.13: BigBear92 kanal 14 ivme-zaman kaydı.



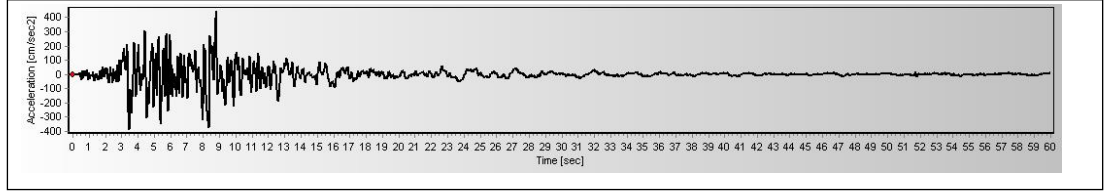
Şekil 4.14: BigBear92 kanal 16 ivme-zaman kaydı.

Tablo 4.5: BigBear92 depremi teknik özellikleri.

Deprem Adı	Büyükölük	Merkez üssü Mesafe (km)	Zemin PGA(g)	Yapı PGA(g)	Deprem Başlangıç Zamanı (UTC)
BigBear92	6.5 MI	151.6	0.030	0.060	1992-06-28 15:05:31



Şekil 4.15: Northridge94 kanal 14 ivme-zaman kaydı.



Şekil 4.16: Northridge94 kanal 16 ivme-zaman kaydı.

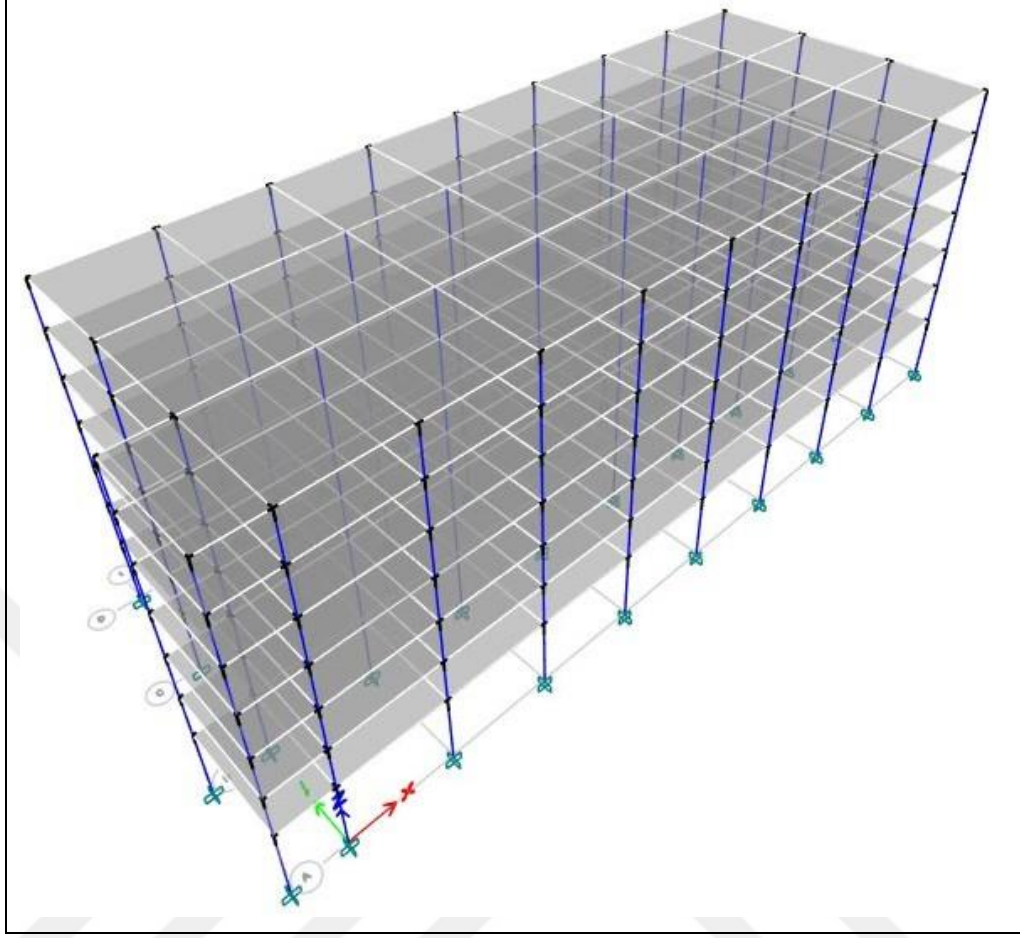
Tablo 4.6: Northridge94 depremi teknik özellikleri.

Deprem Adı	Büyüklik	Merkez üssü Mesafe (km)	Zemin PGA (g)	Yapı PGA(g)	Deprem Başlangıç Zamanı (UTC)
Northridge94	6.4 MI	7.0	0.470	0.590	1994-01-17 12:30:55

Kanallardan elde edilen kayıtlar, ortam gürültülerinden ayrıştırılmış, bandpass filtreleme yönteminin kullanıldığı, veri proses işlemlerinden geçip analiz edilmiş veri setleri özelliğindedir. Bu ve yapıdan elde edilen kayıtlar olmasından ötürü doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yönteminde kullanılması gerekli olan deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi koşulu kullanılmamıştır.

4.3. Mevcut Yapının Matematiksel Modeli

Matematiksel modeli oluşturmada, CSI Inc. ETABS [4] sonlu elemanlar programı olan yapısal tasarım ve analiz programı tercih edilmiştir. Matematiksel modellemede doğrusal olmayan elastik ötesi malzeme ve davranış özellikleri, 3 boyutlu model üzerinde kullanılmıştır.



Şekil 4.17: Yapı genel görünümü.

4.3.1. Malzeme Bilgilerinin Atanması

Bina hakkında verilen bilgilere göre beton sınıfları, donatı çeliği sınıfları, eleman kesit özellikleri programda tanımlanmıştır.

Material Property Data

General Data

Material Name: VNuys-A615Gr40

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Pink]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.28356 lb/in³

Mass per Unit Volume: 0.000734 lb-s³/in⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 29000000 lb/in²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

[Modify/Show Material Property Design Data...]

Advanced Material Property Data

[Nonlinear Material Data...] [Material Damping Properties...]

[Time Dependent Properties]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.18: Grade40 ve Grade60 sınıfı donatı malzemesinin tanımlanması.

Material Property Data

General Data

Material Name: Concrete_Skai_20.68MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Red]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.08681 lb/in³

Mass per Unit Volume: 0.000225 lb-s³/in⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 3122018 lb/in²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000069 1/C

Shear Modulus, G: 1300841.25 lb/in²

Material Property Data

General Data

Material Name: Concrete_4kai_27.57MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Yellow]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.08681 lb/in³

Mass per Unit Volume: 0.000225 lb-s³/in⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 3604957 lb/in²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000069 1/C

Shear Modulus, G: 1502082.08 lb/in²

Material Property Data

General Data

Material Name: Concrete_Skai_34.47MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Cyan]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.08681 lb/in³

Mass per Unit Volume: 0.000225 lb-s³/in⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 4030509 lb/in²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000069 1/C

Shear Modulus, G: 1679378.75 lb/in²

Şekil 4.19: Beton sınıflarının tanımlanması.

Şekil 4.20: Tipik betonarme kolon modeli.

4.3.2. Malzeme Dayanımları ve Kütlelerin Atanması

Malzeme dayanımları ASCE/SEI yönetmeliğine göre beklenen (ortalama) dayanımlar esas alınacak şekilde programda tanımlanmıştır.

Şekil 4.21: Tipik beklenen (ortalama) dayanımın tanımlanması.

Kütleler, Şekil 4.22’de verilen ayırıcı duvar yüklerinin sisteme dahil edildiği kat kütlelerinin matematiksel modelde sağlanacağı şekilde, zati ağırlıklar $1.0 \text{ kN} / \text{m}^2$, ayırıcı duvar yükleri $0.479 \text{ kN} / \text{m}^2$, hareketli yükler ASCE/SEI yönetmeliği referans alınacak şekilde, çatı katında $0.96 \text{ kN} / \text{m}^2$, normal katlarda ise $1.92 \text{ kN} / \text{m}^2$

alınmıştır. Bu kütleler referansında güçlendirme öncesi değerlendirmede belirlenen 1.5s periyot değeri sağlanmış oldu.

Research Team	Fundamental Period of the Building	
	Longitudinal / EW	Transverse / NS
Trifunac et al. (2001)	1.05 sec	1.11 sec
Gilmartin et al. (1998)	1.5 sec	1.6 sec
Islam (1996)	1.5 sec	--

Şekil 4.22: Northridge depreminin başlangıcında Van Nuys Binası için hesaplanan hâkim periyot.

E

Modal Participating Mass Ratios

File

Edit

Format-Filter-Sort

Select

Options

Units: As Noted

Hidden Columns: No

Sort: None

Modal Partic

Filter: None

	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ
▶	Modal	1	1,532	0,8776	0,0001	0
	Modal	2	1,507	0,0001	0,8543	0
	Modal	3	1,306	0,0001	0,0002	0

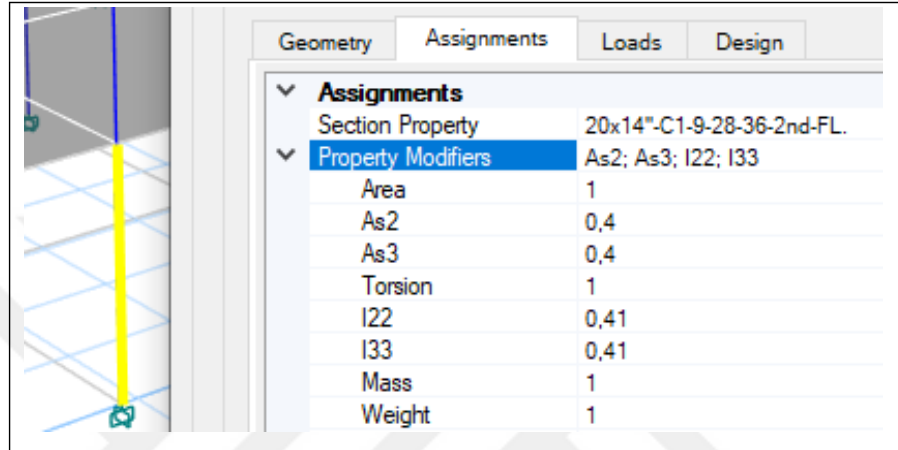
Şekil 4.23: Sayısal modelde sağlanan hâkim periyot.

Floor Level	Story Weight kips
Roof	1,372
7 th	1,521
6 th	1,521
5 th	1,521
4 th	1,521
3 rd	1,521
2 nd	1,766
Total	10,744

Şekil 4.24: Referans kat kütleleri.

4.3.3. Etkin Kesit Rijitliklerinin Atanması

Etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesinde zati ağırlık (G) ve hareketli yük (Q) yüklemelerinin kombinasyonlarından oluşan $G+0.25Q$ kombinasyonu etkisinde, kolon elemanlar için eksenel kuvvet değerlerine göre ve ASCE/SEI uyarınca belirlenmiş olup rijitlik değeri atanmıştır. Ara değerler için doğrusal interpolasyon uygulanmıştır.



Şekil 4.25: Tipik etkin eğilme rijitliklerinin tanımlanması.

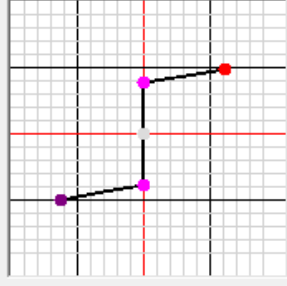
4.3.4. Eleman Elastik Ötesi Davranışlarının Belirlenmesi

Kiriş elemanların elastik ötesi davranışlarının belirlenmesinde moment-eğrilik kesit analizi kullanılmıştır. Analiz sonucundan elde edilen eğrilik sonuçları dönme değerine dönüştürülerek programda davranış özellikleri tanımlanmıştır. Programda mafsal özelliği M3 olarak seçilmiştir.

E Hinge Property Data for 2FSB1 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-1,3	-0,072
D-	-1,3	-0,072
C-	-1,3	-0,072
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1,27	0,071
D	1,27	0,071
E	1,27	0,071



☐ Symmetric

Additional Backbone Curve Points

☐ BC - Between Points B and C

☐ CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Rotation

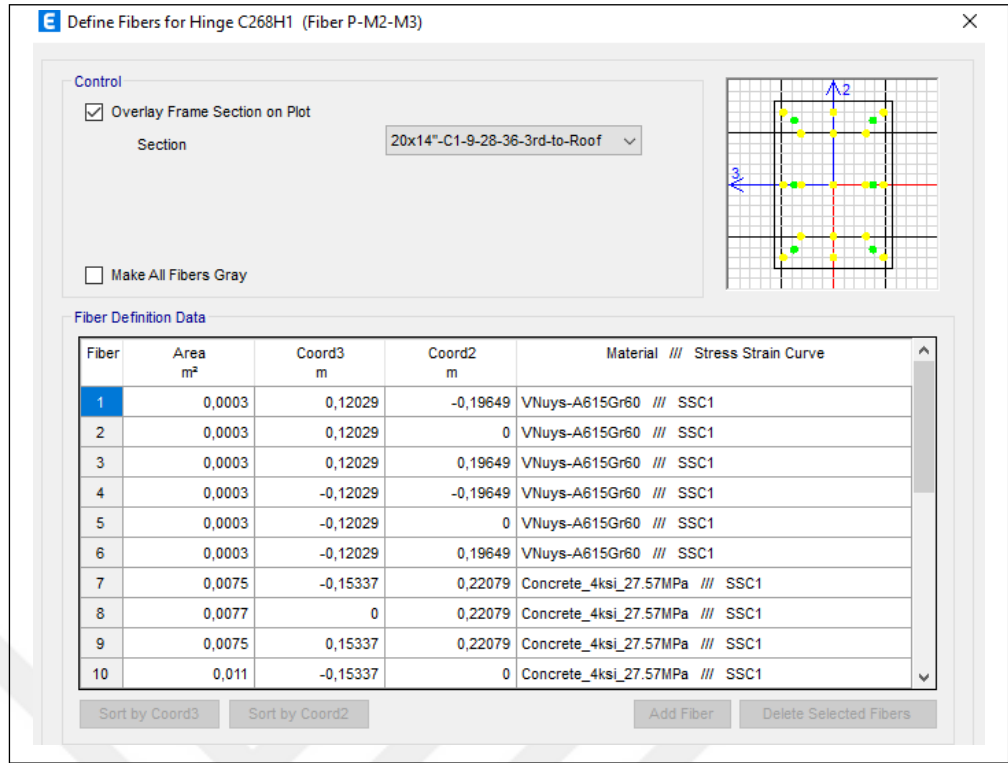
☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

	Positive	Negative	
Moment SF	210,1	261,5	kN-m
Rotation SF	1	1	

Şekil 4.26: Tipik kiriş elastik ötesi davranışının tanımlanması.

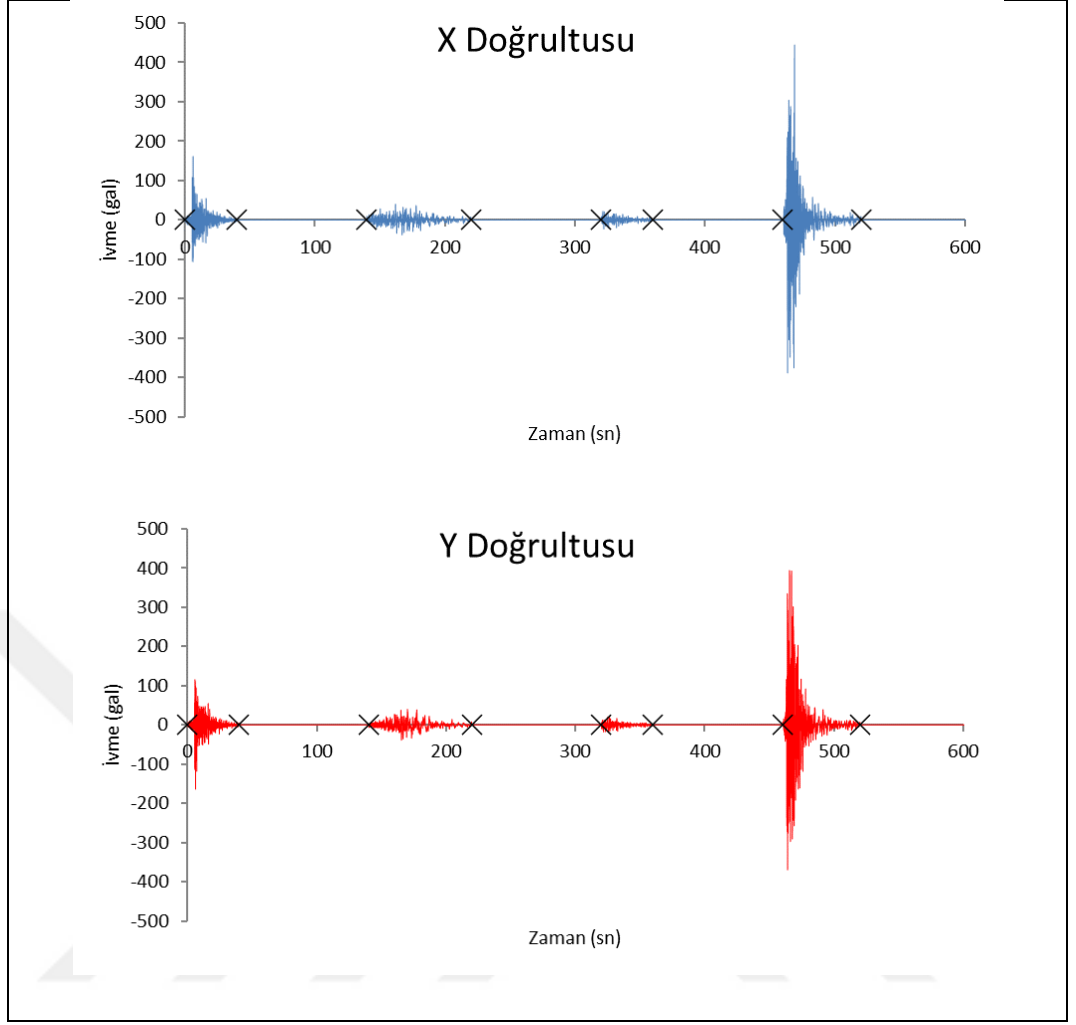
Kolon elemanlar için, statik ve dinamik yüklemeler altında eksenel kuvvet ve iki eksenli eğilme etkisine maruz kalan bu elemanların elastik ötesi davranışları yayılı plastik davranış (fiber) modeli kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27: Tipik kolon elastik ötesi davranışının tanımlanması.

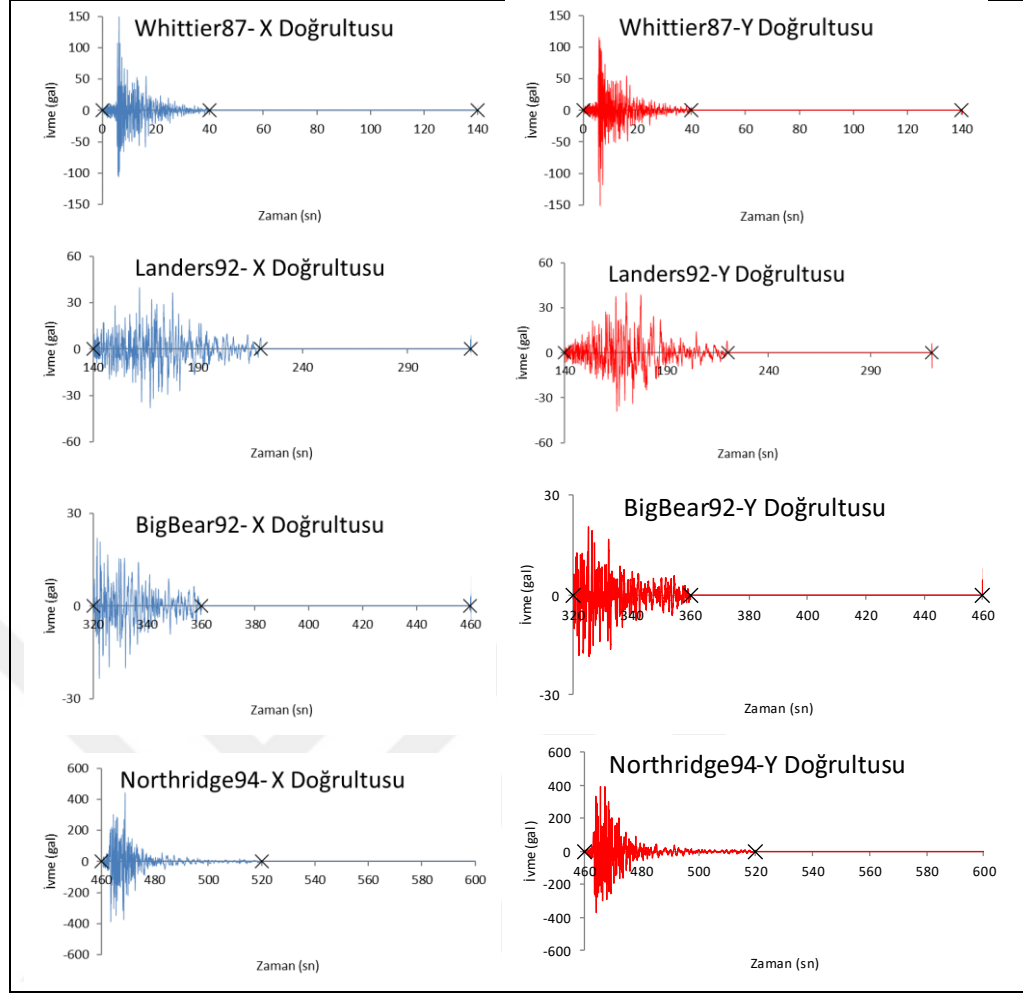
4.4. Ardışık Depremler

Van Nuys binası, tamamlandığı andan itibaren izleme sistemleriyle takip edilmiştir. Bu çalışmada kurulan matematik model üzerinde yapının tecrübe ettiği depremlerden kayıtlarına ulaşılabilen dört adedi kullanılarak bir çözümleme yapılmıştır. 1987'den 1994'e kadar uzanan süre içindeki Whittier (1987), Landers (1992), Big Bear (1992) ve Northridge (1994) olması üzere dört farklı depremin yapıda temel seviyesinde kaydedilen ivme değerleri yapıya etkiyen yer hareketi olarak düşünülmüştür.



Şekil 4.28: Zemin kattaki ivme ölçerden alınan gerçek titreşim ivmelerinin birleştirilmiş hali.

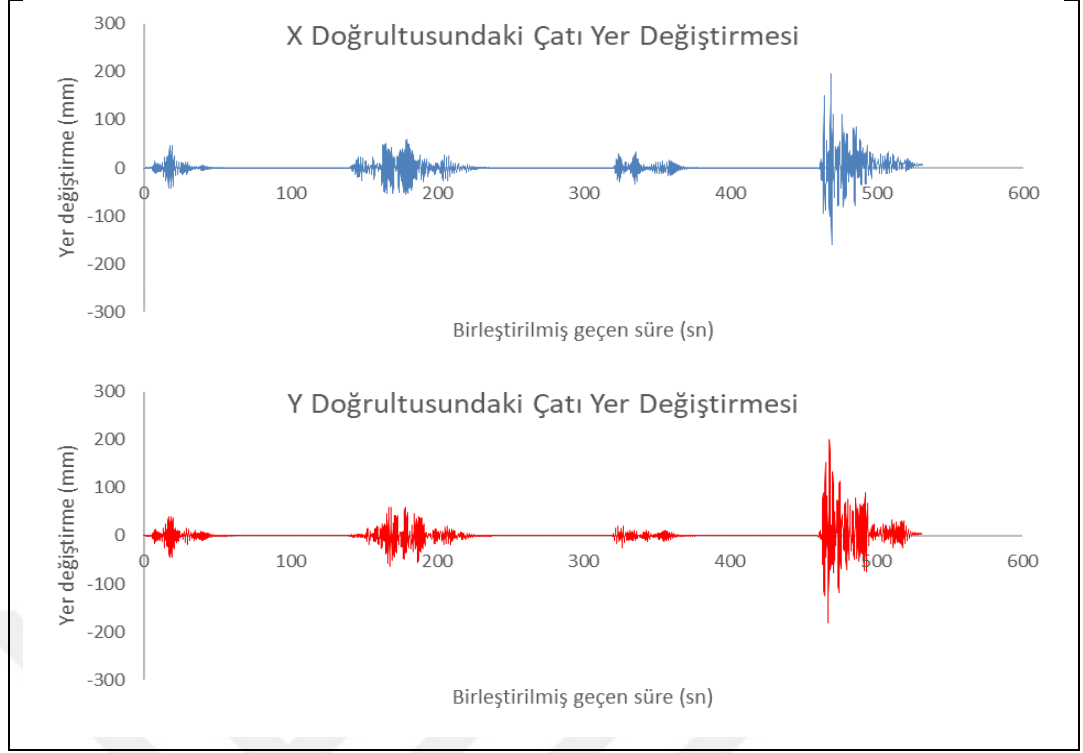
Depremlerin arasındaki süre içinde başka bir yer hareketi belirtilmediği için sessiz dönemi temsil eden sanal 100sn uzunluğunda sıfır genlik ivme değerleri tanımlanmıştır.



Şekil 4.29: Deprem kayıtları arasındaki boşluk süresi 100sn olarak belirlenmiştir.

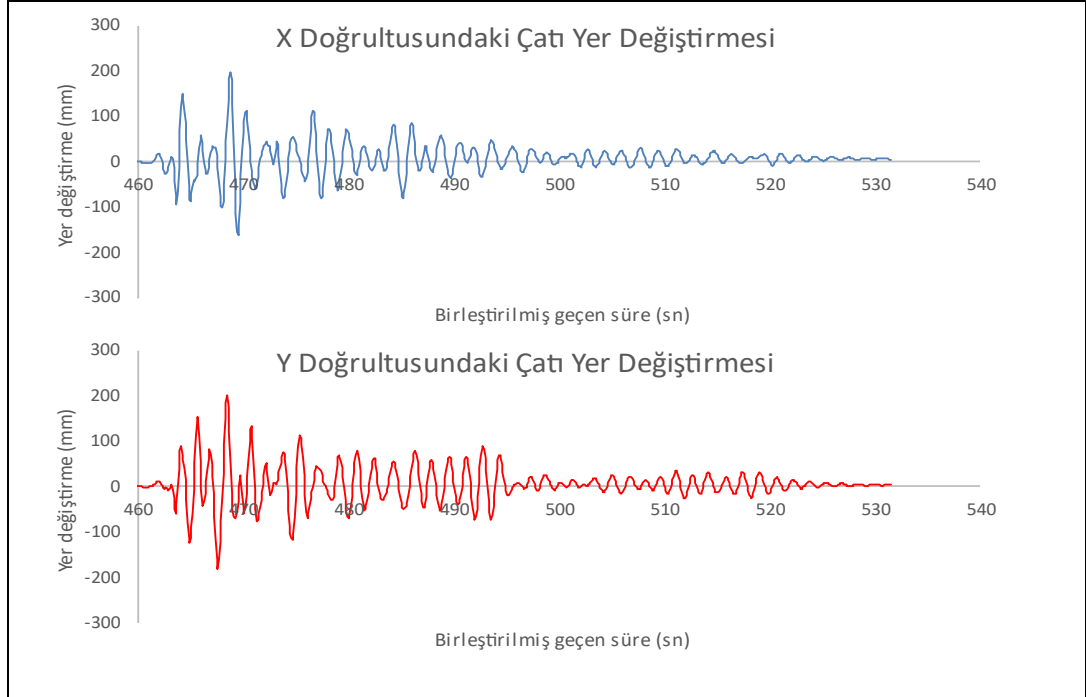
4.4.1. Analiz Sonuçlarının Yer Değiştirme Üzerinden İrdelenmesi

Sayısal model üzerinde dört deprem kaydı tek bir zaman serisi olarak işleme alınmış ve böylece yapının zaman içindeki değişimi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu gözlemin en net izleneceği düşünülen nokta yapının en üst kotunda yer alan bir düğüm noktasının yatay yer değiştirmeleri olduğu düşünülmüştür.



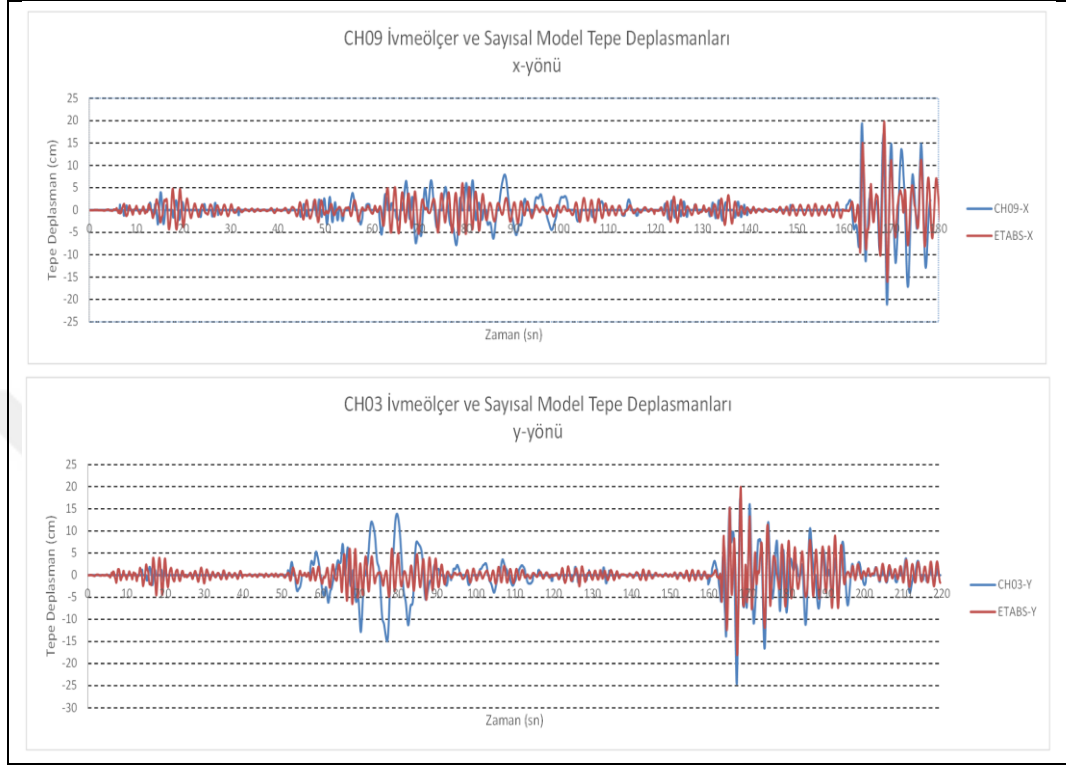
Şekil 4.30: Yapının zaman içindeki tepe noktasının yer değiştirmesi.

Tepe deplasman serisinden görüleceği üzere yapı, Northridge 1994 depremi sırasında X doğrultusunda kalıcı olarak ötelenmiştir.

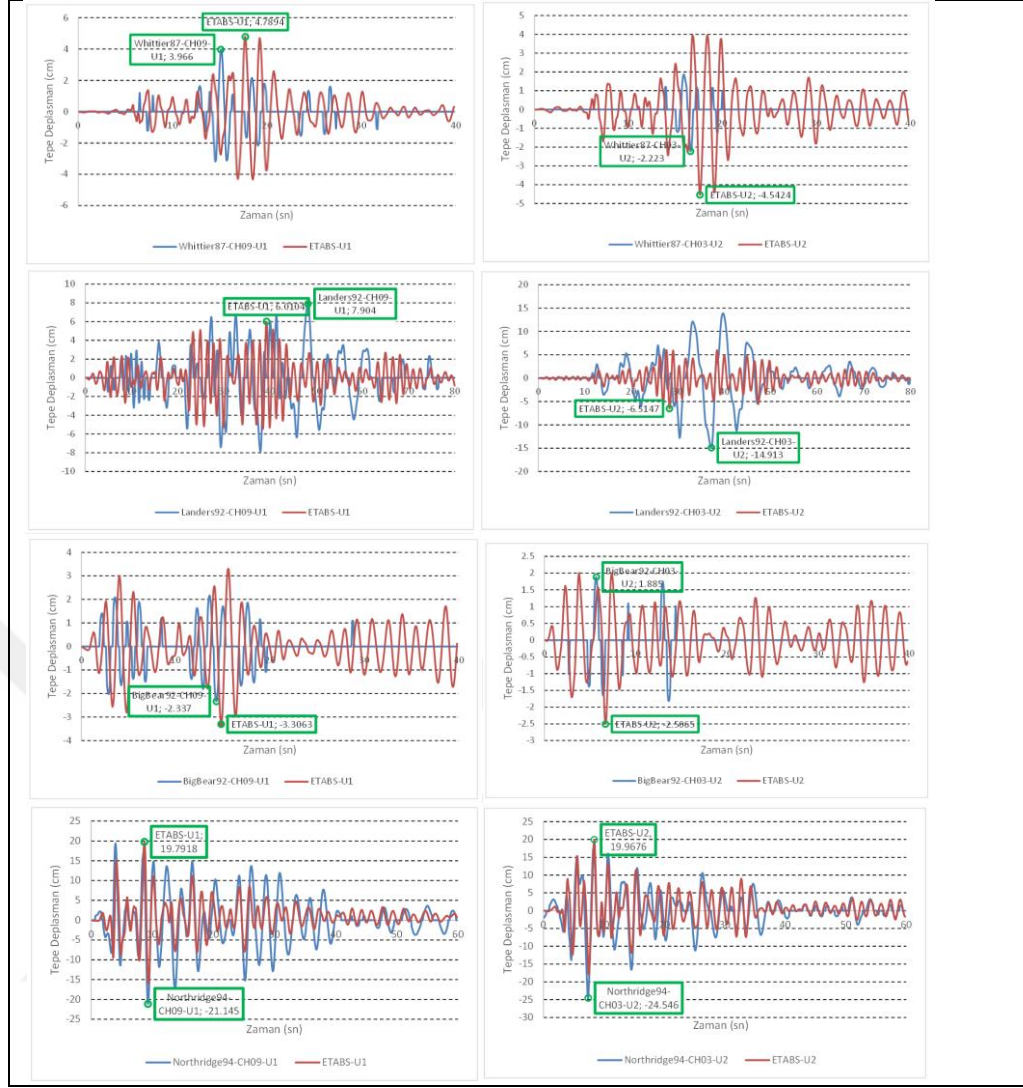


Şekil 4.31: Northridge 1994 depremi tepe deplasman değişimi.

Sayısal modelden elde edilen tepe deplasmanları ile binanın çatı katında konumlandırılan 9 (x-yönlü) ve 3 (y-yönlü) ivmeölçerlerden elde edilen tepe deplasmanları Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te ilgili yönler için karşılaştırılmıştır.



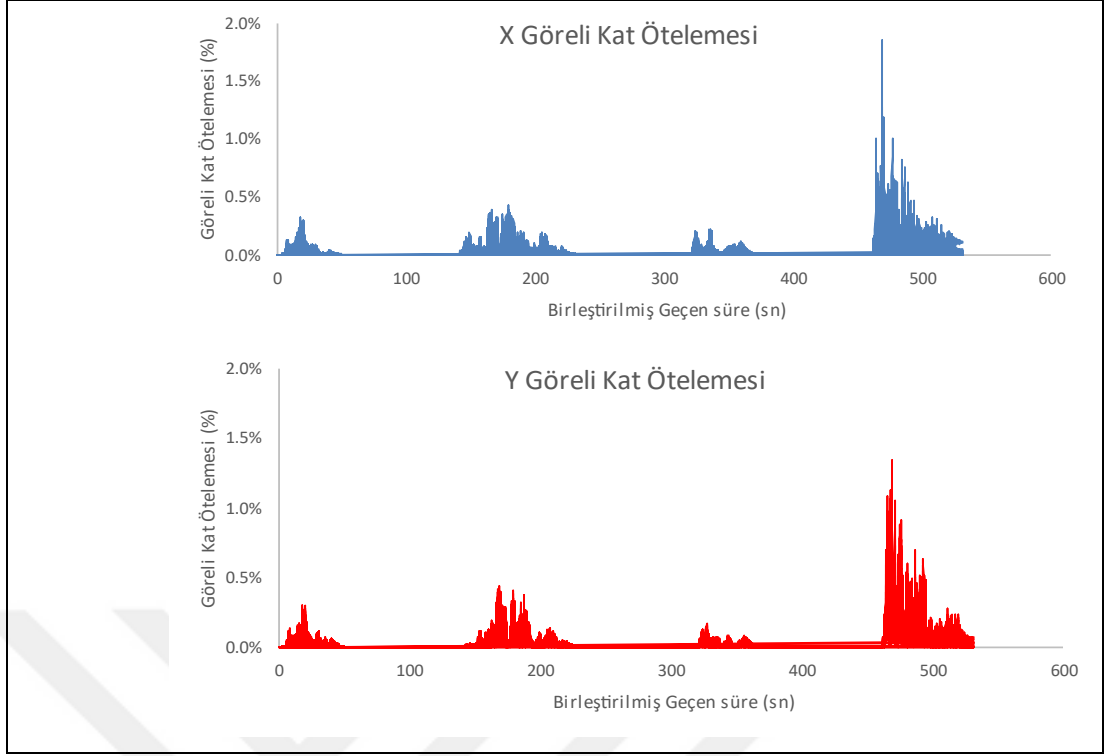
Şekil 4.32: İvmeölçer ve sayısal model tepe deplasman tüm zaman serileri genel karşılaştırması.



Şekil 4.33: İvmeölçer ve sayısal model tepe deplasman ayrı ayrı karşılaştırması.

Grafikler incelendiğinde 160. Saniyeden sonra sayısal model ile ivmeölçer setinden elde edilen periyotların tutarlı olup genliklerin birbirine yakın olduğunu söylemek mümkündür. Öte yandan 60 ve 90 saniyeler arası yapı uzun periyotta çalışmış ve genlikler sayısal modele göre çok daha büyük çıkmıştır.

X doğrultusundaki kalıcı yer değiştirme tepe deplasmanı haricinde göreceli kat ötelenmesi grafiklerinde %2 oranında yer alan değerlerle de izlenebilmektedir.



Şekil 4.34: Northridge 1994 depremi görelî kat ötelenmesi değerleri.

Northridge 1994 depremi sonrasında yapıda yapılan gözlemler, hasarın uzun doğrultuda yer alan kolonlarda olduğu gözlenmiştir. Bu gözlem ile yapısal analiz sonuçları arasında tutarlılık sergilenmektedir.

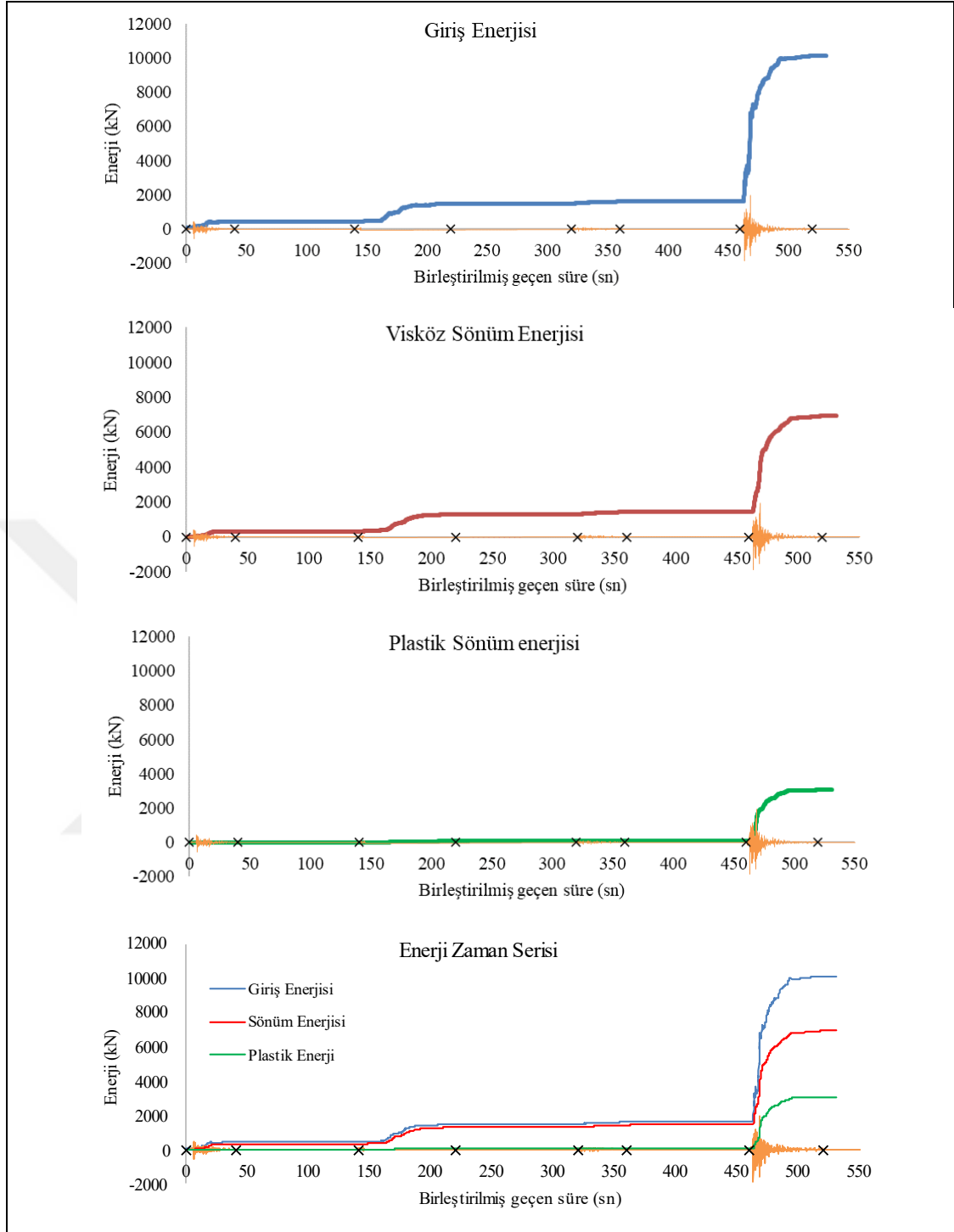
Öte yandan etkittirilen her bir deprem yüklemesi ardından gerçekleştirilen serbest titreşim analizleri sonucunda yapının X ve Y yönlerindeki modal titreşim periyotlarının ilk 3 depremde değişmediği ancak son deprem ardından farklılığın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7: Titreşim periyotları.

Depremler	Mode	Period	UX	UY	RZ
1-Whitter 1987	1	1.517	1.00	0.00	0.00
2-Landers 1992	1	1.517	1.00	0.00	0.00
3-BigBear 1992	1	1.517	1.00	0.00	0.00
4-Northridge 1994	1	1.545	0.94	0.06	0.00
Depremler	Mode	Period	UX	UY	RZ
1-Whitter 1987	2	1.491	0.00	1.00	0.00
2-Landers 1992	2	1.493	0.00	1.00	0.00
3-BigBear 1992	2	1.492	0.00	1.00	0.00
4-Northridge 1994	2	1.505	0.06	0.94	0.00

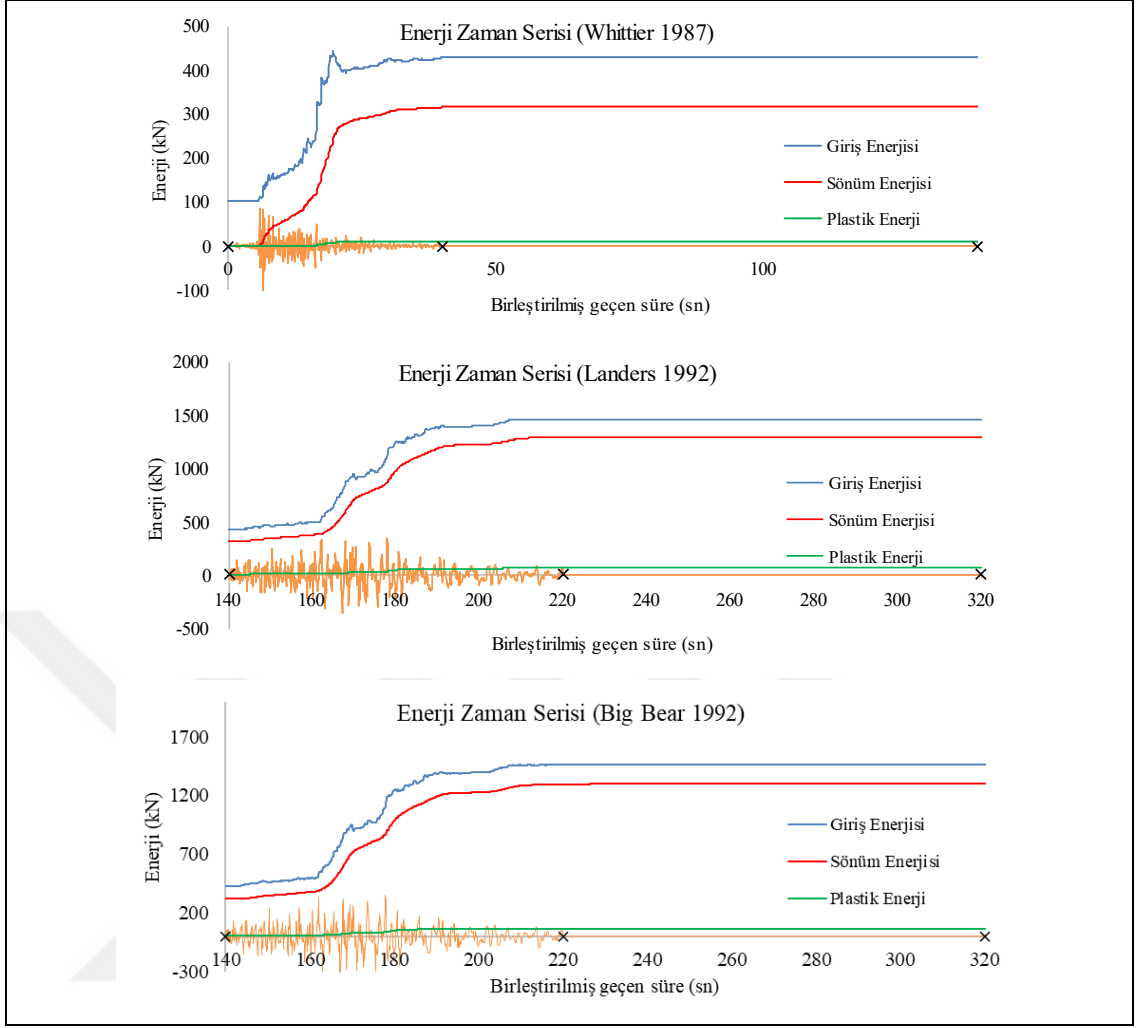
4.4.2. Analiz Sonuçlarının Enerji Büyüklüğü Üzerinden İrdelenmesi

Yapıya etkiyen yer hareketinin sisteme bir enerji aktardığı mühendislerce bilinen bir olgudur. Tasarım ve analiz aşamalarında, güncel yaklaşımlar dayanım ve deformasyon büyüklükleri üzerinden sonuçlara ulaşıyor olsa da enerji büyüklüğü üzerinden irdelenmenin daha etkin olacağı düşünülmektedir. Zira enerji birikimli bir sonuç elde edildiği için deprem süresince gelişen tüm değişimleri açıkça göstermektedir. Bu çalışmada incelenen yapı gibi Van Nuys yapısı, ilk 3 deprem sırasında hemen hemen elastik bölgede kalarak malzeme açısından doğrusal olmayan hareketleri hemen hemen hiç yapmamış olup, Northridge 1994 depremi sırasında yapısal hasarlara sahip olmuştur. Yapıda sönüm harici tüketilen plastik enerji hasarla direkt ilişkilendirildiği için, yapı sisteminde tanımlanmış eğilme mafsallarındaki moment-dönme histeresis eğrilerinin altında kalan alanlar hesaplanmış, plastik tüketme enerjisini temsil etmek üzere toplanmıştır.



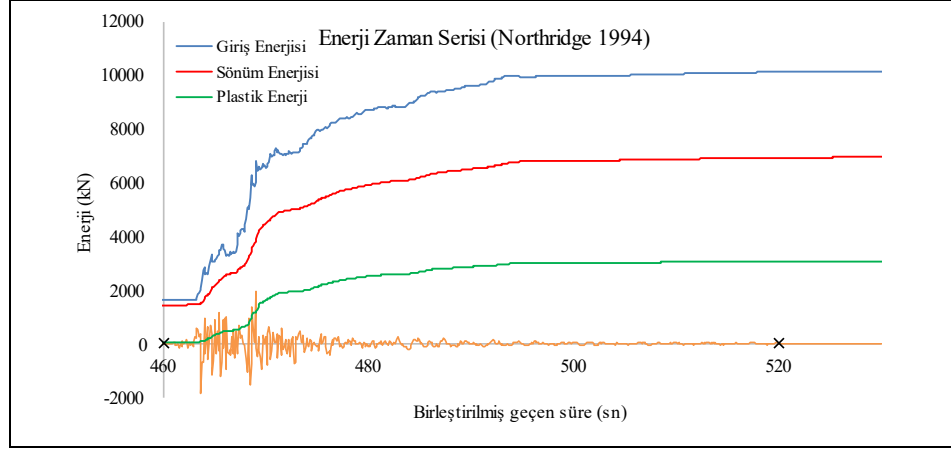
Şekil 4.35: Birleştirilmiş süredeki enerji zaman serileri.

Enerji zaman serileri şeklinden de anlaşılacağı üzere yapı sistemi üzerinde, dört farklı depremin enerji girişleri olmuştur. Ancak, dört depremden ilk üç tanesi (Whittier 1987, Landers 1992 ve Big Bear 1992) yapıda hiç enerji plastik enerji tüketimi yani hasar oluşumuna sebep olmamıştır. Giren enerji, yapının viskoz sönümlemesi ile tüketilmiştir.



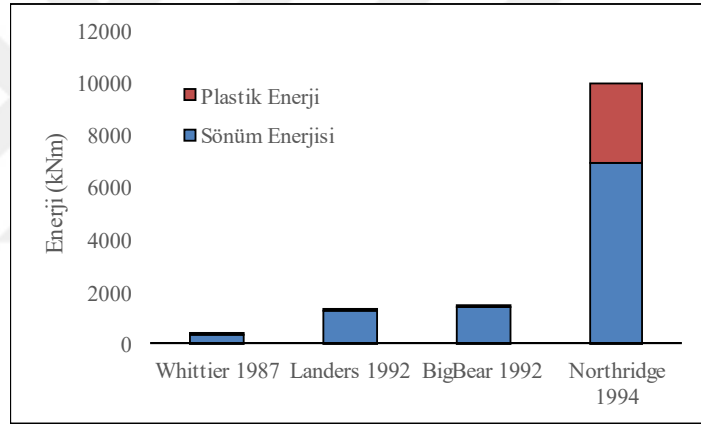
Şekil 4.36: İlk 3 deprem için enerji zaman serileri.

Ancak, Northridge 1994 depremi, yapıda hasarlara yol açmış ve yapı elemanlarınca tüketilen enerjinin açığa çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.37: Northridge 1994 depremi için enerji zaman serisi.

Görüldüğü üzere, Northridge 1994 depremindeki enerji tüketimi mertebe olarak önceki depremlere göre çok büyük hesaplanmaktadır.



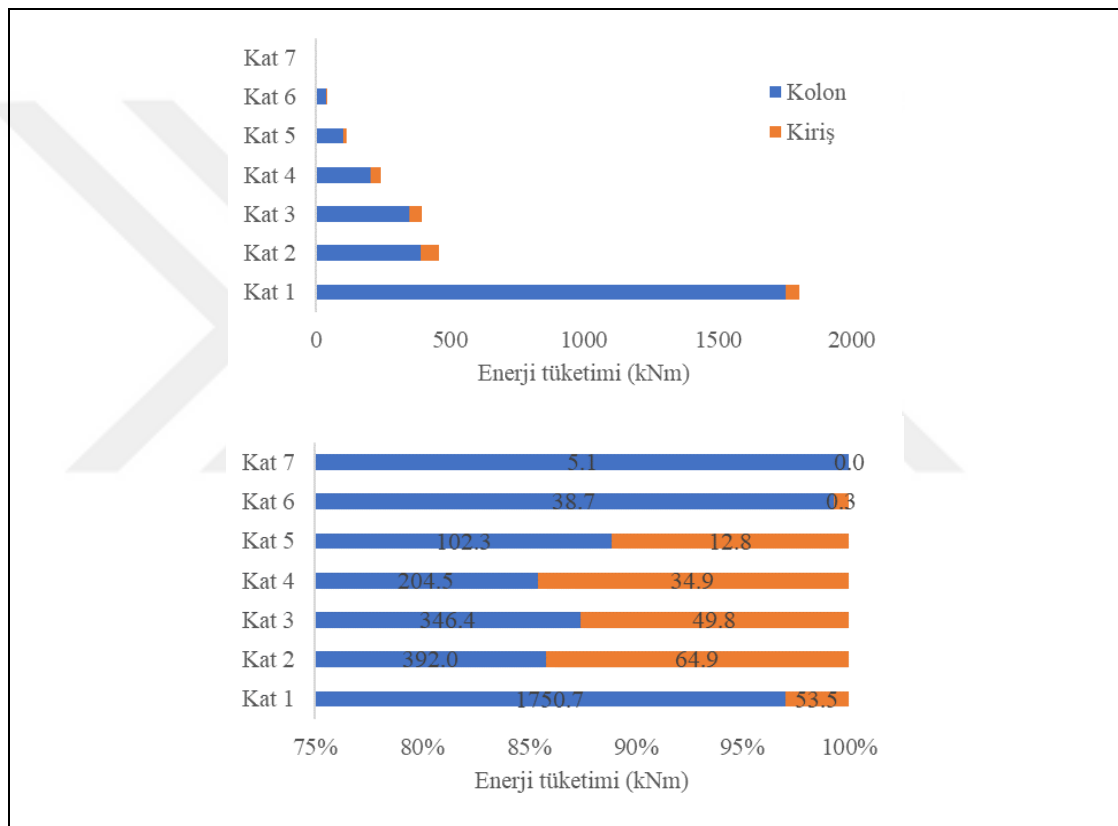
Şekil 4.38: Northridge 1994 depremi için enerji zaman serisi.

4.4.3. Yapı Sisteminde Enerjinin Tüketim Karakteristikleri

Yapı sistemini bir araya getiren elemanlar mantar döşemeler, kenar kirişleri ve kolonlardır. Sistemde, düşey taşıyıcı olarak pede eleman bulunmamaktadır. Bundan dolayı enerji tüketimi, kenar kiriş ve kolon uçlarında meydana gelmektedir. Buna göre katlarda oluşan enerji tüketimi ve elemanlara dağılımı Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Kat bazında enerji tüketimi ve elemanlara dağılımı.

	Kolon	Kiriş	Toplam
Kat 7	5	0	5
Kat 6	39	0	39
Kat 5	102	13	115
Kat 4	204	35	239
Kat 3	346	50	396
Kat 2	392	65	457
Kat 1	1751	54	1804
Toplam	2840	216	3056



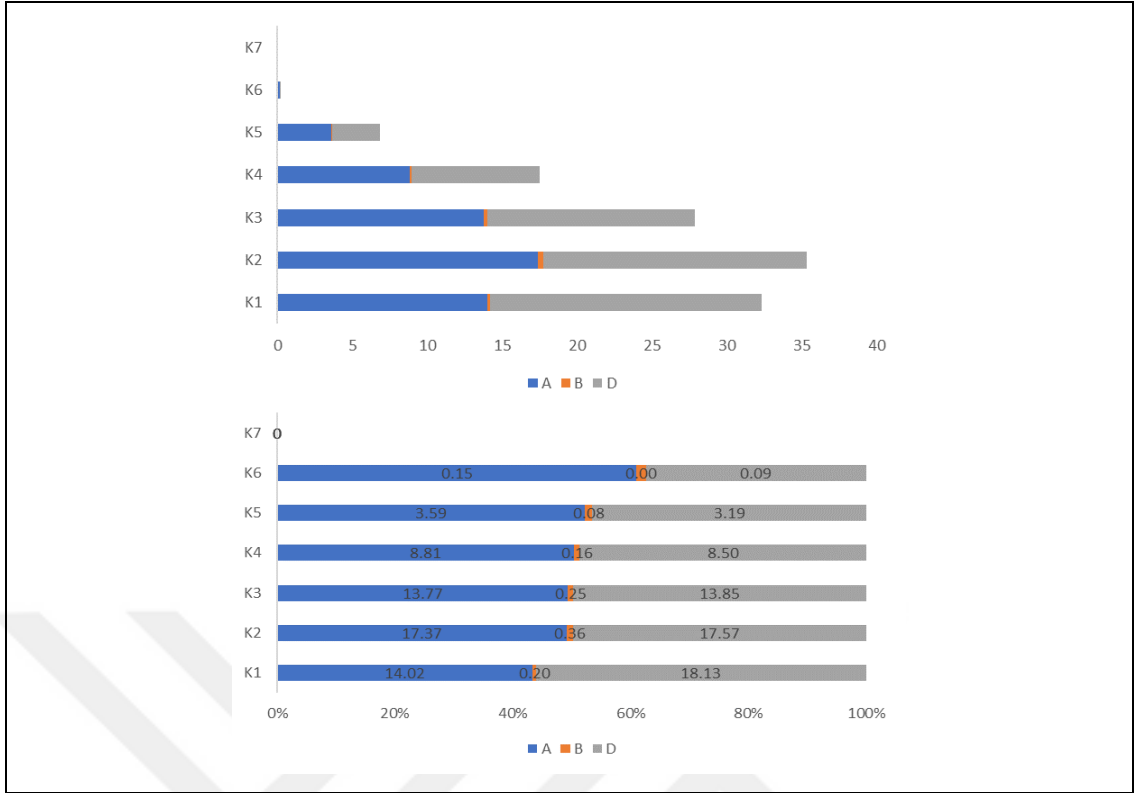
Şekil 4.39: Tüm depremler sırasında yapıda tüketilen enerjinin katlarda ve elemanlarda dağılımı ve yüzdeleri.

Zemin kat elemanlarında kolonların enerji tüketme oranının fazla olduğu dikkat çekici olmakla beraber, üst katlardaki enerji tüketme miktarlarının hızlıca düşmesi belirgin bir durumdur.

Kat düzlemlerindeki enerji tüketme oranlarına bakıldığında, kolonlar için A-B-C-D akslarındaki dağılımlara bakıldığında enerji dağılımının oldukça uniform olduğu görülmektedir.



Şekil 4.40: Kat düzleminde A-B-C-D akslarındaki kolonların enerji tüketme dağılımı.



Şekil 4.41: Kat düzleminde A-B-D akslarındaki kenar kirişlerin enerji tüketme dağılımı.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Amerika'nın California eyaletine bağlı Los Angeles şehrinde bulunan 7 katlı Van Nuys otel binası, güçlendirme imalatları öncesinde Whittier (1987) ve Landers (1992), BigBear (1992) ve Northridge (1994) deprem hareketlerinin, yapıda aletsel ölçülebildiği Yapısal Sağlık İzleme enstrümanları kullanılarak, doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapısal takip cihazları metotlarıyla elde edilen kayıtların dinamik karakteristiklere göre doğrusal olmayan malzeme özellikleri ile modellenen sayısal modeli, zaman tanım alanında tepe yer değiştirme değerleri, aletsel ölçümlerden elde edilen yapıda bulunan ivme sensörlerinden yer değiştirmeler ile uyumlulukları irdelenmiştir. Doğrusal olmayan malzeme özellikleri ile modellenen sonlu elemanlar modelleri, deprem kayıtlarının kullanıldığı zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşan tesirlere göre elemanlarda ve sistemde elastik ötesi davranışların hangi kayıtlar sonucu oluştuğu, önceki çalışmalarla uyumluluğu elde edilip değerlendirilmiştir.

Sayısal modelde gerçek zamanlı birbirini takip eden ardışık zaman serileri olarak tanımlanan deprem kayıtları, sonuçları bakımından yer değiştirme, periyot değişimi, enerji büyüklüğü ve tüketim karakteristikleri bakımından incelenmiştir.

Yer değişime üzerinden karşılaştırmaları yapıldığında, BigBear92 ve Northridge94 depremleri, genlikleri ve korelasyon uyumları göz önünde bulundurulduğunda, aletsel sonuçlarla yakın mertebede sonuçlar vermiştir. Whittier87 ve Landers92 deprem kaydı sonuçlarında ise bu tutarlılık gözlemlenmemiştir.

Periyot değişimleri incelendiğinde, Whittier87, Landers92, BigBear92 deprem kayıtları zaman serisi analizi sonuçları yapının periyodunu değiştirmemiş olup, Northridge94 kaydının bina periyodunu değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu da binada görülen rijitlik değişimine bağlı yapısal hasarları açıklar niteliktedir.

Enerji büyüklüğü üzerinden incelemeler yapıldığında, ilk 3 deprem kaydının yapıda plastik enerji tüketimi yani hasar oluşumuna sebep olmamıştır. Giren enerji, yapının viskoz sönümlemesi ile tüketilmiştir.

Enerji tüketim karakteristiklerine bakıldığında, zemin katta bulunan kolon elemanların enerji tüketme oranlarının en fazla olduğu ve katlar arasında dağılımın uniform olduğu gözlemlenmiştir.

5.2. Öneri

Sayısal modelde, binanın kazık temel sistemi ve ilgili parametreleri dahil edilmemiş olup, ankastre mesnet çeşidi kabul edilerek sonuçlar sunulmuştur. Aletsel ölçüm sonuçları ve sayısal model sonuçlarının özellikle tepe deplasmanları bakımından karşılaştırılmalarındaki farklılıkların, kazık temel sistemi ve parametrelerinin de dahil edildiği bir sayısal modelde aynı sonuçları verip vermeyeceği değerlendirilebilir.

Doğrusal olmayan malzeme özellikleri ile hazırlanan matematiksel modellemeler, bu çalışmanın devamı niteliğinde yine doğrusal olmayan malzeme özellikleri ile modellenerek benzer çalışmalar ile güçlendirme sonrası etkinliği değerlendirilebilir.

Deneyisel modal analiz sonuçlarına göre güncellenen yapı modellerinin performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığı değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra yapıda hasarların büyük ölçüde kolonlarda kesme hasarları şeklinde görüldüğünden, tespit edilmesinde bir çevrimsel kesme mafsallı davranış modeli kullanılabilir.

Aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde ve muadili dünyada deprem etkilerinin yüksek olduğu riskli bölgelerde önceki şartnamelere göre hazırlanmış mevcut binalar yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yapıların güvenlik durumlarının gösterilmesinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi, diğer doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri arasında en gerçekçi sonuçları veren yöntemdir.

KAYNAKLAR

- [1] Bozer A., (2020), “Betonarme perdelerin plandaki yerleşimlerinin kirişsiz döşemeli yapılara etkisinin incelenmesi”, Teknik Dergi, 31 (1), 9733-9753.
- [2] Doğangün A., (2008), “Betonarme yapıların hesap ve tasarımı: DBYBHY-2007 TS500-2000 ve Deprem yönetmeliği-2007’ye uygun”, 4. Baskı, Birsen Yayınevi.
- [3] Darılmaz K., (2019), Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş”, 1. Baskı, Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- [4] CSI, (2020), “ETABS Integrated Building Design Software”, Computers and Structures Inc.
- [5] Krawinkler H. (Ed.), (2005), “Van Nuys Hotel Building Testbed Report: Exercising Seismic Performance Assessment”, PEER Report 2005/11, Chapter 2 The Van Nuys Hotel Building, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, USA.
- [6] Sattar S., (2022), “Benchmarking Evaluation Methodologies for Existing Reinforced Concrete Buildings”, Task Order 16-476 and 1333ND19PNB730832, Chapter 7 Seven-story Frame Building in California, Applied Technology Council, USA.
- [7] Roohi M., Hernandez E. M., Rosowsky D., (2021), “Reconstructing element-by-element dissipated hysteretic energy in instrumented buildings: Application to the Van Nuys Hotel testbed”, Journal of Engineering Mechanics, 147 (1), 04020141.
- [8] Todorovska M. I., Trifunac M. D., (2006), “Impulse response analysis of the Van Nuys 7-story hotel during 11 earthquakes (1971-1994): One-dimensional wave propagation and inferences on global and local reduction of stiffness due to earthquake damage”, Report CE 06-01, Chapter 4 Results and Analysis, UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA Department of Civil Engineering, USA.
- [9] Gičev V., Trifunac M. D., (2012), “A note on predetermined earthquake damage scenarios for structural health monitoring”, Structural Control and Health Monitoring, 19 (8), 746-757.
- [10] Pakyürek E. K., (2006), “1994 Northridge Depreminde Hasar Görmüş Van Nuys Binasının Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [11] Li Y. R., Jirsa J. O., (1998), “Nonlinear analyses of an instrumented structure damaged in the 1994 Northridge earthquake”, *Earthquake Spectra*, 14 (2), 265-283.
- [12] Jamal R., Yüksel B., (2021), “TBDY 2018 ve ASCE 41-17’e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Yapı Sistemlerinin Performans Analizinin Elde Edilmesi ve Karşılaştırması”, *El-Cezeri*, 8 (1), 432-444.
- [13] Foroughi S., Yüksel B., (2022), “TBDY 2018’e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile betonarme yapı sistemlerinin performans analizi”, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 33-55.
- [14] Bayülke N., (2006), “Betonarme yapılarda güçlendirme sorunları”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (444-445), 4-5.
- [15] Yüzbaşı J., Yerli H. R., (2018), “Betonarme yapıların deprem etkisi altında performans analizlerinin yapılması ve güçlendirilmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (2), 273-286.
- [16] Soyoz S., Taciroglu E., Orakcal K., Nigbor R., Skolnik D., Lus H., Safak E., (2013), “Ambient and forced vibration testing of a reinforced concrete building before and after its seismic retrofitting”, *Journal of Structural Engineering*, 139 (10), 1741-1752.
- [17] Sert A., Beyen K., (2019), “Sistem tanılama algoritmaları kullanılarak yapı dinamik karakteristiğinin tahmini”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 55-63.
- [18] Meral E., (2021), “Betonarme Binaların Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizlerinden Elde Edilen Sismik Taleplerin Karşılaştırılması”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (RDCONF), 183-190.
- [19] Sert A., Beyen K., (2018), “Yapı sınır şartlarının deprem davranışına etkisi”, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, 1543-1547, Kocaeli/Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [20] Korkmaz K. A., Demir F., (2012), “Yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkileri”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 12-17.
- [21] Işık E., Öztürk G., (2017), “Betonarme Binalarda Kat Yüksekliğinin Yapı Performansına Etkisi”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1), 299- 305.
- [22] Freeman S. A., Honda K. K., Chaw W. H., (1971), “Progress report: Response of a seven-story structure to the San Fernando earthquake of February 9, 1971”, JAB-99-90, John A. Blume and Associates Research Division, San Francisco, California, USA.

- [23] Naeim F., Hagie S., Alimoradi A., Miranda E., (2006), “Automated Post-earthquake Damage Assessment of Instrumented Buildings”, In advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, 117-134, Springer Netherlands.
- [24] Somerville P., Collins N., (2002), “Ground motion time histories for the Van Nuys building”, PEER Report 2002/11, Representation of Near Fault Rupture Directivity Effects in the Ground Motion Recordings, PEER Methodology Testbeds Project, USA.
- [25] Dinçer S., Aydın E., Gencer H., (2015), “Binalarda yapısal sağlıktakibi için cihazlandırma yöntemleri”, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1-5, İzmir/Türkiye, 14-16 Ekim 2015.
- [26] Beyen K., Ö. F. S., (2015), “Bir betonarme binanın sanal davranış verileriyle hasar tespiti için analitik ve deneysel çalışma”, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 1-9, İstanbul/Türkiye, 11-14 Mayıs 2015.
- [27] Türker T., (2011), “Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [28] Zhang L., Brincker R., Andersen P., (2002), “An Overview of Operational Modal Analysis: Major Development and Issues”, In Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference, 179-190, Copenhagen/Denmark, April 26-27, 2005.
- [29] Brincker R., Ventura C.E., Andersen P., (2003), “Why output-only modal testing is a desirable tool for a wide range of practical applications”, Proceeding of the 21st International Modal Analysis Conference (IMAC XXI), 265-272, Kissimmee/Florida/USA, February 3-6, 2003.
- [30] İçişleri Bakanlığı, (2020), Yapı Sağlığı İzleme Sistemi Uygulama Yönergesi.
- [31] ResGaz 1, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 18 Mart 2018 tarih ve 30364, sayılı Resmi Gazete.
- [32] T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- [33] Celep Z., (2007), “Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme”, 4. Baskı, Beta Dağıtım.
- [34] Özer E., (2009), “Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları”, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [35] ASCE 41-13, (2013), “Publication Anticipated Seismic Evaluation and Upgrade of Existing Buildings”, American Society of Civil Engineers, Reston.

- [36] Web 1, (2022), <https://fawadnajam.com/pbd-nust-2022-lectures/>, (Erişim Tarihi: 18/12/2022).
- [37] TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, (2018), “Bina Tasarım Mühendisleri İçin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY- 2018)”, Eğitim Elkitabı.
- [38] Jamal R., Yüksel B, (2021), "TBDY 2018 ve ASCE 41-17'e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapı sistemlerinin performans analizinin elde edilmesi ve karşılaştırması", El-Cezeri, 8 (1), 432-444.
- [39] Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., (1988), “Theoretical stress-strain model for confined concrete”, Journal of Structural Engineering, 114 (8), 1804-1826.
- [40] Tüzün C., (2020), DYB612 Performance Based Design Ders Notları, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [41] Trifunac M. D., Ivanovic S. S., Todorovska M. I., (1999), “Instrumented 7-storey reinforced concrete building in Van Nuys, California: Description of the damage from the 1994 Northridge Earthquake and strong motion data”, Report CE, 99 (2), Chapter 4 Description of Damage, University of Southern California Department of Civil Engineering, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Samet AYSİN, 2013 yılında Melikgazi Mustafa Eminoğlu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2019 yılında Kayseri Nuh Naci Yazgan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Gebze Teknik Üniversitesi Deprem ve Yapı Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2021-2022 yılları arasında profesyonel meslek hayatına proje ofisinde başladı. 2021 yılından bu yana bir statik proje ofisinde, betonarme ve çelik yapılar alanında çalışmaktadır.

