



**ÇOK KATLI YAPILARIN FARKLI PAKET
PROGRAMLAR İLE DEPREM PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ**

Mehmet Nuri KOLAK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yusuf CALAYIR**

HAZİRAN-2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI YAPILARIN FARKLI PAKET PROGRAMLAR İLE DEPREM
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Nuri KOLAK

(101115113)

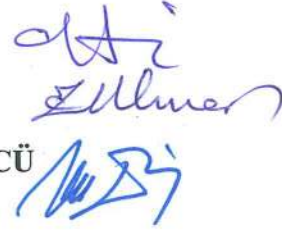
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.06.2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 22.06.2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ



HAZİRAN-2018

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam boyunca, engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf CALAYIR'a Dr. Öğr. Üyesi Mehrzad MOHABBİ YADOLLAHİ'ye ve Arş. Gör. Sadık VAROLGÜNEŞ'e teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatımda ve bugüne gelmemde maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan ve beni akademik çalışmalara yönlendiren babam Abdullah KOLAK'a, anneme ve beni sabır ile destekleyen kıymetli eşime teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Nuri KOLAK
ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET..	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	2
2. TDY 2007'YE GÖRE PERFORMANS KAVRAMI.....	3
2.1. Performans Kavramı	3
2.2. Binalardan Bilgi Toplanması	3
2.2.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı.....	3
2.2.2. Bilgi Düzeyleri	4
2.2.3. Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	4
2.3. Yapı Elemanlarındaki Hasar Sınırları.....	5
2.3.1. Kesit Hasar Sınırları	5
2.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri	5
2.3.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması	5
2.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	6
2.5. Bina Performansının Belirlenmesi için kullanılan Hesap Yöntemleri.....	6
2.5.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri	6
2.5.1.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	6
2.5.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi	6
2.5.2. Yapı Elemanlarındaki Hasar Seviyelerinin Tespiti	7
2.5.3. Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü	8
2.6. Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri	8
2.6.1. Statik İtme Yöntemi Analizlerinde Yapılan Kabuller	9

2.6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi	9
2.6.3. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Kullanılarak İtme Analizi Yapılması	10
2.6.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi.....	11
2.6.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	12
2.6.6. Birim Şekil değıştirme İstemlerinin Belirlenmesi	12
2.6.7. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil değıştirme Kapasiteleri	12
2.6.8. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kesme Kuvveti Kapasiteleri	13
2.7. Deprem Performansının Belirlenmesi	14
2.7.1. Binaların Deprem Performansı.....	14
2.7.2. Hemen Kullanım Performans Düzeyi	14
2.7.3. Can Güvenliğı Performans Düzeyi.....	14
2.7.4. Göçme Öncesi Performans Düzeyi	15
2.7.5. Göçme Durumu	15
2.8. Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	15
3. BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ARTIMSAL EŞDEĞER	
DEPREM YÜĞÜ YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ	
BELİRLENMESİ.....	17
3.1. Hesaplama da Kullanılacak Paket Programlar.....	17
3.1.1. ProtaStructure Genel Tanıtımı.....	17
3.1.2. SAP2000 Programının Genel Tanıtımı	17
3.2. Yapı Genel Bilgileri.....	18
3.3. Model Tasarımı ve Deprem Hesapları Yapılırken Kullanılan Yönetmelikler	19
3.4. Bina Taşıyıcı Sisteminin ProtaStructure ile Modellemesinin Yapılması.....	20
3.4.1. Taşıyıcı Sistem Eleman Boyutları ve Donatı Miktarları Kolonlar	21
3.4.2. Modal Analiz Sonuçları.....	25
3.5. Artımsal İtme Analizi	26
3.5.1. Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin kullanılabilirliğı.....	27
3.6. ProtaStructure’da Performans Değerlendirme Opsiyonlarının Tanımlanması	29
3.7. ProtaStructure ile Performans Değerlendirmesi	30
3.7.1. Taban Kesme Kuvveti - Tepe Noktası Yerdeğıştirmesinin Belirlenmesi	31
3.7.2. Performans Noktasının Belirlenmesi.....	32
3.8. Bina Taşıyıcı Sisteminin SAP2000 ile Modellemesinin Yapılması	34
3.8.1. SAP2000’de Tepki Spectrumu Fonksiyonunun Tanımlanması	35
3.8.2. SAP2000’de Statik İtme Yüklemesinin Yapılması	35
3.8.2.1. Düşey doğrultuda doğrusal olmayan Yükleme	36

3.8.2.2. Yatay doğrultuda doğrusal olmayan Yükleme.....	36
3.8.2.2.1. X Yönü Doğrusal olmayan yükleme	37
3.8.2.2.2. Y Yönü Doğrusal olmayan yükleme	39
3.8.3. Plastik Mafsalların Tanımlanması.....	39
3.8.3.1. Kirişlerde Plastik Mafsal Atanması.....	40
3.8.3.2. Kolonda Plastik Mafsal Atanması.....	40
3.8.3.3. Perdelerde Plastik Mafsal Atanması	41
3.8.4. Performans Noktasının Belirlenmesi.....	41
3.8.4.1. Taban Kesme Kuvveti – Tepe Noktası Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi	41
3.8.4.2. Modal Kapasite Diyagramlarının Belirlenmesi.....	42
3.9. Eleman Kesitlerinde Oluşan Hasarların Belirlenmesi	46
3.9.1. Kiriş Birim şekil Değiştirme İştemleri.....	46
3.10. ProtaStructure ve SAP2000 sonuçlarının değerlendirilmesi.....	50
4. BETONARME BİR YAPININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL	
OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ	
BELİRLENMESİ.....	52
4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal olmayan Analiz Yöntemi	52
4.2. Analizlerde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.....	52
4.3. İvme Kayıtlarının Ölçeklenmesi.....	55
4.4. SAP2000 de Zaman Tanım Alanı Fonksiyonun Tanımlanması	57
4.5. Zaman Tanım Alanı Yüklemesinin yapılması	57
4.6. Performans Seviyesinin Belirlenmesi.....	59
4.7. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	
Sonuçlarının Karşılaştırılması	68
5. SONUÇLAR	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİş.....	74

ÖZET

Mevcut veya yeni tasarlanacak yapıların depreme dayanıklı olması, can ve mal kaybı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu da ancak güncel deprem yönetmelikleri konusunda birikimli mühendislerin yapacağı tasarım ve değerlendirmelerle mümkündür. TDY 2007’de mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemler doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak tanımlanmaktadır. Doğrusal olmayan yöntemler; artımsal itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak ifade edilmiştir. İtme analiz yöntemleri, Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (tek modlu) ve artımsal mod birleştirme yöntemi (çok modlu) olarak tanımlanmıştır. Bu tezde, doğrusal olmayan analiz yöntemleri olan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak, betonarme 8 katlı tasarlanan bir yapının tek modlu artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesi SAP2000 ve ProtaStructure programları kullanılarak yapılmıştır. Her iki programdan elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı yapının, SAP2000 programı ile doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemiyle analizi yapılmıştır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar, artımlı itme analizi yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmış ve iki yöntemin sonuçları arasındaki tutarlılık değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemiyle yapılan analizde, tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen gerçek depremlere ait üç adet kayıt kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Yapılar, Plastik Mafsal, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Yöntemi, Performans Analizi

SUMMARY

Investigation Of Earthquake Performances Of Multi-Storey Buildings By Using Different Package Programs

The earthquake resistance of existing or newly designed constructions is of great importance in terms of loss of life and property. This is only possible with designs and evaluations to be carried out by expert engineers on current earthquake regulations. The methods to be used in evaluating the existing structures in Turkish seismic code 2007 are defined as linear and nonlinear methods. The nonlinear methods are expressed as incremental pushover analysis and nonlinear time history analysis methods in that code. Pushover analysis methods are also defined as incremental equivalent seismic load method (single mode) and incremental mode combining method (multi mode). In this thesis, incremental equivalent seismic load method and nonlinear time history analysis, which are nonlinear analysis methods, were used.

In this study, firstly, a single-mode pushover analysis of reinforced concrete 8-story structure was performed using SAP2000 and ProtaStructure programs. The results obtained from both programs are compared with each other. Then, the same structure was analyzed with the SAP2000 program using nonlinear time history analysis. The results obtained by this method were compared with the results of the incremental pushover analysis method, and the consistency between the results of two methods was evaluated. In the analysis carried out using nonlinear time history analysis; three records belonging to real earthquakes scaled to be compatible with the design acceleration spectrum were used.

Key Words: Reinforced Concrete Structures, Plastic Hinge, Incremental Equivalent Seismic Load Method, Nonlinear Time History, Performance Analysis

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kesit hasar bölgeleri	5
Şekil 2.2. Plastik kesitlerin moment-şekil değiştirme bağıntıları	10
Şekil 3.1. Normal kat kalıp planı	20
Şekil 3.2. Yapının üç boyutlu perspektif görünümü	21
Şekil 3.3. Yapının x yönü için doğrusal olmayan performans analiz yönteminin seçilmesi	29
Şekil 3.4. Yapının y yönü için doğrusal olmayan performans analiz yönteminin seçilmesi	30
Şekil 3.5. PUSHX yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi	31
Şekil 3.6. PUSHY yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi	32
Şekil 3.7. ProtaStructure İle PUSHX yüklemesi altında performans noktası	33
Şekil 3.8. ProtaStructure İle PUSHY yüklemesi altında performans noktası	33
Şekil 3.9. SAP2000’de yapının 3 boyutlu modeli.....	34
Şekil 3.10. Tepki spectrumu fonksiyonu	35
Şekil 3.11. Statik itme yüklemesinin tanımlanması	35
Şekil 3.12. PUSHG yüklemesinin tanımlanması	36
Şekil 3.13. PUSHX yatay statik itme yüklemesinin tanımlanması	37
Şekil 3.14. PUSHX yatay statik itme yüklemesinin nonlinear parametreleri	38
Şekil 3.15. PUSHY yatay statik itme yüklemesinin tanımlanması	39
Şekil 3.16. Kirişlerde “end length offsets” atamasının yapılması	40
Şekil 3.17. Kirişlerde plastik mafsalları atamasının yapılması	40
Şekil 3.18. PUSHX yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi	41
Şekil 3.19. PUSHY yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi	42
Şekil 3.20. PUSHX yüklemesi altında performans noktası	44
Şekil 3.21. PUSHY yüklemesi altında performans noktası	44
Şekil 3.22. PUSHX yüklemesi altında oluşan plastik mafsallar	45
Şekil 3.23. PUSHY yüklemesi altında oluşan plastik mafsallar	45
Şekil 3.24. K102 kiriş moment - eğrilik diyagramı	47
Şekil 4.1. Spektral ivme değeri lerinin ortalaması kontrolü.....	54
Şekil 4.2. Elastik spektrum eğrisi	55
Şekil 4.3. İmperial Valley ölçeklenmiş ivme kaydı	56
Şekil 4.4. Supersition Hills ölçeklenmiş ivme kaydı	56

Şekil 4.5. Northridge ölçeklenmiş ivme kaydı.....	56
Şekil 4.6. Ham ve ölçeklenmiş ivme- zaman grafikleri.....	57
Şekil 4.7. Doğrusal olmayan analiz için yükleme durumları.....	58
Şekil 4.9. Imperial Valley X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	59
Şekil 4.10. Supersition Hill X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	60
Şekil 4.11. Northridge X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafığı	60
Şekil 4.12. Imperial Valley X yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği	61
Şekil 4.13. Supersition Hills X yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği	62
Şekil 4.14. Northridge X yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği.....	62
Şekil 4.15. X yönü maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin itme eğrisi üzerinde gösterilmesi.....	64
Şekil 4.16. Y yönü maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin itme eğrisi üzerinde gösterilmesi.....	64
Şekil 4.17. Supersition Hills Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği	65
Şekil 4.18. Supersition Hills Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	65
Şekil 4.19. Northridge Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği.....	66
Şekil 4.20. Northridge Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafığı	66
Şekil 4.21. Imperial Valley Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği	67
Şekil 4.22. Imperial Valley Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	67

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Bilgi düzeyi katsayıları	4
Çizelge 2.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	7
Çizelge 2.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	7
Çizelge 2.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları.....	8
Çizelge 2.5. Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ve görelî kat ötelemesi oranları	8
Çizelge 2.6. Görelî kat ötelemesi sınırları	8
Çizelge 2.7. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	16
Çizelge 3.1. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları.....	21
Çizelge 3.2. Kiriş boyutları ve kullanılan donatı miktarları	22
Çizelge 3.3. Perde boyutları ve kullanılan donatı miktarları	25
Çizelge 3.4. Modal kütle oranları	26
Çizelge 3.5. Yapının periyot ve kütle katılım oranları.....	28
Çizelge 3.6. X doğrultusu burulma düzensizliği kontrolü	28
Çizelge 3.7. Y doğrultusu burulma düzensizliği kontrolü	28
Çizelge 3.8. X yönü modal kapasite hesapları	42
Çizelge 3.9. Y yönü modal kapasite hesapları	43
Çizelge 3.10. Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri	46
Çizelge 3.11. K102 kirişi beton ve donatı birim şekil değiştirme değerleri	48
Çizelge 3.12. X doğrultusu tasarım depremi hasar durumları	49
Çizelge 3.13. Y doğrultusu tasarım depremi hasar durumları	50
Çizelge 3.14. Taban kesme kuvveti- tepe noktası yerdeğiştirmesinin karşılaştırılması.....	51
Çizelge 3.15. Performans noktasının karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.1. Seçilen ivme kayıtları	53
Çizelge 4.2. Seçilen deprem kayıtlarının ortalama ivme kontrolü.....	53
Çizelge 4.3. İvme yüklemelerinin maksimum değerlerinin belirlenmesi (x yönü).....	61
Çizelge 4.4. İvme yüklemelerinin maksimum değerlerinin belirlenmesi (y yönü).....	63
Çizelge 4.5. X yönü performans değerlerinin karşılaştırılması	68
Çizelge 4.6. Y yönü performans değerlerinin karşılaştırılması	68

SEMBOLLER LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
E	: Elastisite modülü,
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Çeliğin elastisite modülü
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
I	: Yapı önem katsayısı
K	: Eleman rijitlik matrisi
$k(x)$	: Kesit rijitlik matrisi
l_p	: Plastik mafsallık boyu
M	: Eğilme momenti
M_x, M_y	: x ve y eksenleri etrafındaki eğilme momenti
M_i, M_j	: Eleman noktasal eğilme momentleri
N	: Normal kuvvet
P	: Eleman noktasal kuvvet vektörü
S_a	: Spektral ivme
T_0	: Zemin hâkim periyodu
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyot
Δ	: Yer değiştirme
ε	: Birim boy değişmesi, kesit eksenel deformasyon
ε_{max}	: En büyük eksenel deformasyon değeri
ε_c	: Beton birim şekil değiştirmesi
ε_{cg}	:Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ε_e	: Akma şekil değiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik talebi
ϕ_t	: Toplam eğrilik talebi
ϕ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
θ_p	: Plastik dönme talebi
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
σ_k	: Kopma gerilmesi
Γ_{x1}	: Katkı çarpanı
Φ_{xN1}	: Bina tepesinde X deprem doğrultusunda birinci moda ait mod genliği
ΣM	: Bina Kütlesi

γ_{x1}	: Etkin kütle oranı
M_{x1}	: Etkin kütle
$a_1^{(i)}$	: i. itme adımında elde edilen birinci moda ait modal ivme
$V_{x1}^{(i)}$	: X deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti
$d_1^{(i)}$	: i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde i. itme adımı sonunda elde edilen yer değiştirme



KISALTMALAR

CG	: Can Güvenliği
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım Hasar Sınırı
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TDY 2007	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research
AEDYY	: Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi
ZTAHY	: Zaman tanım alanında hesap yöntemi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
GB	: Göçme Bölgesi
SeismoMatch	: İvme Kayıtlarının Ölçeklenmesinde Kullanılan Yazılım
SeismoSignal	: İvme Kayıtlarının Filtrelenmesi ve Eksen Düzeltme İşleminde Kullanılan Yazılım
ProtaStructure	: Betonarme Yapıların Tasarımı Ve Performans Hesabı İçin Kullanılan Yazılım

1. GİRİŞ

Deprem kuşağında bulunan ülkemizde yaşanan depremlerde can ve mal kayıpları yaşanması gibi elim olaylar neticesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı daha fazla bir önem kazanmıştır. Bu doğrultuda yapılmış olan yönetmelikler ihtiyaca binaen değiştirilerek güncellenmektedir. Depremlerin yıkıcı etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi için ilk olarak yönetmelik kurallarına göre tasarım yapılmalı ve bu kurallara göre yapılar inşa edilmelidir. Güvenli yapılar için tasarımın deneyimli ellerden çıkması ne kadar önemli ise bu tasarımın uygulamada da deneyimli ekipler tarafından uygulanması ve nitelikli kontrol elemanları tarafından denetlenmesi o kadar elzemdir.

TDY 2007’de performans kavramı doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde ikiye ayrılmıştır. Bu çalışma kapsamında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanı yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan performans değerlendirmesi yapılacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında tasarlanan 8 katlı betonarme konut türü bir yapının doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak deprem performansının belirlenmesi planlanmıştır.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan betonarme binaların tasarım ve hesaplama paket programlarından olan ProtaStructure ve CSI firması tarafından geliştirilen uluslararası kabul görmüş olan SAP2000 programı kullanılarak tasarımı yapılan yapının deprem performansı statik itme analizi ile belirlenerek sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca aynı yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılarak Performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Tasarımı yapılan modelin değerlendirilmesi yapılırken 50 yıllık süreçte aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan tasarım deprem etki seviyesi seçilmiştir.

Çalışmada izlenen yol;

- a) Doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalar sunulmuştur.
- b) 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Performans kavramı tanımlanmıştır.

- c) ProtaStructure ve SAP2000’de Sayısal analizi yapılacak olan taşıyıcı sistem modeli tasarlanmıştır.
- d) Tasarımı yapılan modelin ProtaStructure ve SAP2000 analizlerinden elde edilen sonuçlara göre deprem davranışları ve hasarları tespit edilmiştir.
- e) Aynı modelin zaman tanım alanı yöntemiyle doğrusal olmayan analizi yapılmıştır.
- f) Çalışmada varılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümünde Doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile yapılmış çalışmalar sunulmuştur.

1998’de yapılan çalışmada, düzgün yayılı yük etkisindeki betonarme döşemelerin sonlu elemanlar yöntemiyle doğrusal olmayan hesabı incelenmiştir [1].

2013 yılında yapılan araştırmada, gerçek sismik ivme kayıtları altındaki betonarme yapı sistemleri incelenmiştir. Binaların doğrusal olmayan dinamik yükler altındaki davranışları araştırılmıştır [2].

2010 yılında yapılan bir çalışmada, perde duvarlı betonarme binaların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Çalışmada perde duvarı katmanlı, toplanmış plastik mafsallı ve fiber elemanlı olarak modellenmiştir [3].

2008 yılında yapılan çalışmada, Türkiye’de yapı stokunda yaygın olarak bulunan betonarme binaların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir [4].

2006 yılında yapılan çalışmada, 4 ve 7 katlı betonarme binalar tasarlanarak bu yapıların itme analizleri hesaplanmıştır. Analizlerde SAP2000 programını kullanılmıştır [5].

2006 yılında yapılan çalışmada, itme analizlerinde kullanılan yük dağılımları incelenmiştir. Bina performansını belirlemek için kullanılan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden artımsal itme analizlerinin, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [6].

2006 yılında yapılan bir başka çalışmada, TDY 2007 performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır [7].

2007 yılında betonarme yapıların performanslarını statik itme analizini kullanarak inceleyen bir tez çalışmasında, toplanmış plastik mafsallı model kullanılmıştır [8].

2. TDY 2007'YE GÖRE PERFORMANS KAVRAMI

Büyük depremlerden sonra meydana gelen yıkımlardan dolayı dünyada depreme dayanıklı yapıların yapılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu alanda ilk çalışmalar ABD’de yapılmıştır. Ülkemizde ise yıkıcı depremler sonrasında 2007 yılında yapılan çalışmalar neticesinde Türk Deprem Yönetmeliği, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)” adıyla yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

TDY 2007 Bölüm 7’de mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi incelenmiştir. Aşağıda ilgili bölümdeki temel kavramlar ve hesap esasları incelenecektir.

2.1. Performans Kavramı

Yapıların deprem performansının belirlenebilmesi için performans kavramının iyi anlaşılması gerekmektedir. Ülkemizin deprem kuşağında olması dikkate alınırsa mevcut yapıların büyük bir kısmı depremde yıkılma riski taşımaktadır. Bina türü mevcut yapıların deprem kuvvetleri altındaki performanslarının belirlenmesi TDY 2007 Bölüm 7’ye göre yapılmaktadır.

2.2. Binalardan Bilgi Toplanması

Performans belirlenmesi işleminin önemli adımlarından birisi mevcut yapıların projesinin olup olmamasıdır. Projesinden yapının taşıyıcı sistemi ve eleman detayları hakkında bilgi sahibi olabiliyorsak yapının performans değerlendirmesini daha sağlıklı bir şekilde yürütebiliriz.

2.2.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı

Performans değerlendirmesi yapılacak yapıdan bilgi toplaması kapsamında yapılacak işlemler, binanın rölevesi çıkarılarak binanın geometrisi, temel sistemi ve temelin oturduğu zemin özelliklerinin belirlenmesi. Daha önceden yapılmış olan onarım ve değişikliklerin saptanması ile depremde oluşan hasarların tespit edilerek taşıyıcı sistem elemanlarının

boyut ve malzeme özellikleri belirlenerek mevcut yapının varsa projesiyle uygunluğu kontrol edilmesidir.

2.2.2. Bilgi Düzeyleri

Yapı taşıyıcı eleman detaylarının boyutları ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi, yapıda oluşan hasar durumlarının tespit edilebilirliği gibi etkenler e bağlı olarak bina bilgi düzeyleri belirlenmektedir.

Yapıların mevcut durum tespitine göre bilgi düzeyleri belirlenmektedir. TDY 2007’de Bilgi düzeyleri üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan birincisi sınırlı, ikincisi orta, üçüncüsü ise kapsamlı bilgi düzeyidir. Bu bilgi düzeyleri eleman kapasitesi ile taşıyıcı sistem performans hesabında kullanılmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi: Bu bilgi düzeyinde yapının taşıyıcı sistem projeleri bulunmamaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi röleve projesi hazırlanırken yapılan ölçümlerle tespit edilmektedir. Sınırlı bilgi düzeyi Çizelge 2.7’de belirtilen durumlarda uygulanamaz.

Orta bilgi düzeyi: Bu bilgi düzeyinde yapı taşıyıcı sistem elemanlarının gösterildiği statik projeleri bulunmadığı durumlarda, daha detaylı ölçümler yapılır. Projelerin bulunduğu durumlarda ise, taşıyıcı sistem röleve projesindeki elemanlar yeniden ölçü alınarak kontrol edilir.

Kapsamlı bilgi düzeyi: Yapının statik projesi bulunmaktadır. Gerekli ölçümler sonunda proje verilerinin doğruluğu tespit edilir [9].

2.2.3. Bilgi Düzeyi Katsayıları

Performans araştırmasında kullanılacak olan bilgi düzeyi katsayıları yapılardan toplanan bilgi düzeyleri dikkate alınarak Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyleri	Bilgi Düzeyi Katsayıları
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1,00

2.3. Yapı Elemanlarındaki Hasar Sınırları

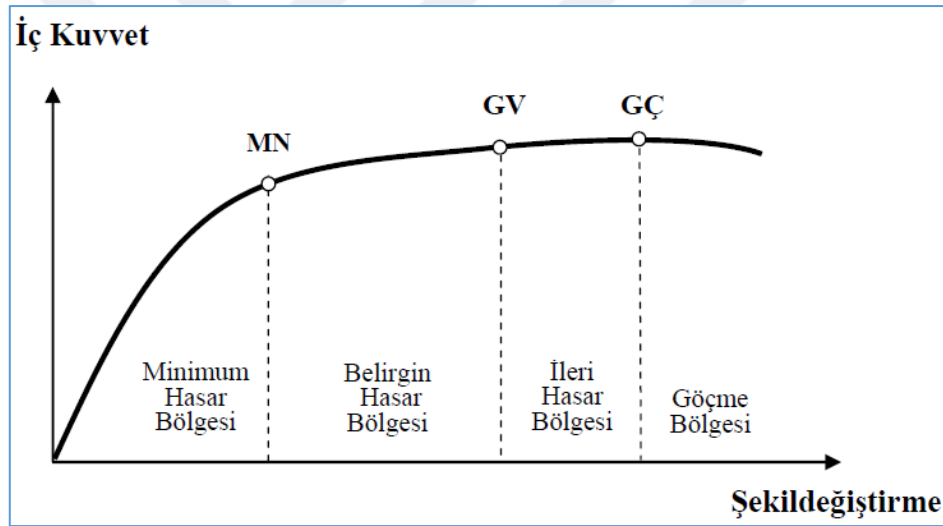
2.3.1. Kesit Hasar Sınırları

TDY 2007’de sünek elemanların kesit hasar sınırları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- *Minimum Hasar Sınırı*
- *Güvenlik Sınırı*
- *Göçme Sınırı*

2.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kesit *Hasar Bölgeleri* aşağıdaki şekil 2.1’deki iç kuvvet- şekil değiştirme grafiğinde ayrıntılı olarak verilmiştir.



şekil 2.1. Kesit hasar bölgeleri

2.3.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

Doğrusal olmayan analizler neticesinde elde edilen şekilde ğiştirmeler kesit hasar sınırları ile karşılaştırma yapılarak eleman hasar bölgesi belirlenmiş olacaktır. En büyük hasar alan kesit dikkate alınarak eleman hasarının belirlenmesi gerekir.

2.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Yeni yapılacak veya güçlendirilecek binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla deprem hesabı yapılır. Deprem performansı belirlenirken doğrusal elastik, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılır. Bu hesap yöntemleri ile yapılan performans değerlendirme sonuçları birbiriyle uyumlu olmayabilir.

Yapıların deprem performansı, binaya etki eden düşey yükler ile deprem etkisi birlikte kullanılarak belirlenecektir. Hareketli yükler, deprem hesabındaki kütleler gözüne alınarak tanımlanmalıdır.

Binaya etki ettirilecek Deprem kuvvetleri iki yönde ve iki doğrultuda ayrı ayrı değerlendirilecektir. Yapının zemin parametreleri TDY 2007'deki ilgili verilerin değerlendirilmesiyle oluşturulacaktır. İç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirmelerin gerçeğe yakın belirlenebilmesi için yapının taşıyıcı sistemi, düşey yükler ve deprem etkilerinin birebir modellenmesi yapılacaktır.

2.5. Bina Performansının Belirlenmesi için kullanılan Hesap Yöntemleri

2.5.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Doğrusal hesap yöntemleri, binaların performans değerlendirilmesinde kullanılan bir değerlendirme türüdür. Bu yöntem Mod Birleştirme ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi olarak ikiye ayrılır.

2.5.1.1. Eşdeğer deprem yüğü yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabilmesi için burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$, toplam kat adedi 8'den az, bodrum üstündeki toplam yapı yüksekliği 25 m'den az olmalıdır. Bu yöntemde birinci mod etkili olduğu için az katlı binalarda tercih edilmelidir.

2.5.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yönteminde azaltılmış ivme spektrumu ordinatı hesabında $R_a=1$ alınacaktır. Bu yöntemde birden çok mod katkısı dikkate alındığı için tüm binalarda kullanılabilir.

2.5.2. Yapı Elemanlarındaki Hasar Seviyelerinin Tespiti

Hasar düzeyleri belirlenirken betonarme sünek elemanların etki/kapasite oranlarından faydalanılır. Betonarme elemanları sınıflandırılırken kırılma türü dikkate alınır. Kırılma türü eğilme iken “sünek”, kesme iken “gevrek” olarak ifade edilir [9].

(1) Kolon, kiriş ve perde elemanların sünek olarak değerlendirilebilmeleri için kesme kuvvetinin (V_e), kesme kapasitesinden (V_r) küçük olması gerekir

(2) Perde elemanların sünek olarak değerlendirilebilmesi için $H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu da sağlaması gerekmektedir.

(3) Üstte verilen (1) ve (2)’deki koşulları sağlayamayan betonarme elemanlar, gevrek eleman olarak tanımlanacaktır.

Çizelge 2.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

(1) V_e kesme kuvveti depremin yönü ile uyumlu olarak TDY Bölüm 7.5.2.2 (a)’ya göre hesaplanacaktır.

Çizelge 2.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}} (1)$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} (2)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

(1) N_K eksenel kuvveti TDY 2007 Bilgilendirme Eki 7A’ya göre hesaplanabilir.

(2) V_e kesme kuvveti depremin yönü ile uyumlu olarak TDY 2007 Bölüm 7.5.2.2 (a)’ya göre hesaplanacaktır.

Çizelge 2.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Perde Uç Bölgesinde Sargılama			
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Çizelge 2.5. Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) ve görel kat ötelemesi oranları

l_{duvar} / h_{duvar} oranı aralığı 0.5-2.0	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki/Kapasite Oranları (r_s)	1	2	-
Görel Kat Ötelemesi Oranı	0.0015	0.0035	-

2.5.3. Görel Kat Ötelemesi Kontrolü

Tüm deprem doğrultularında yapılan doğrusal deprem hesaplarında yapının herhangi bir katındaki perde ve kolon elemanlarının görel kat ötelemesi Çizelge 2.6'daki verilerden küçük olacaktır. Eğer bu verilerden büyük olursa Bölüm 2.5.2 deki hasar değerlendirmeleri dikkate alınmayacaktır.

Çizelge 2.6. Görel kat ötelemesi sınırları

Görel Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

2.6. Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri, incelenen deprem durumu için gevrek eleman davranışına dair iç kuvvet istemleri ile sünek eleman davranışına dair plastik şekil değiştirme istemlerinin hesaplanmasını amaçlamaktadır.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri aşağıdaki gibi üç şekilde sınıflandırılır.

1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
2. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.

Üstte verilen 1. ve 2. yöntemler artımsal itme analizi olarak ifade edilmektedir.

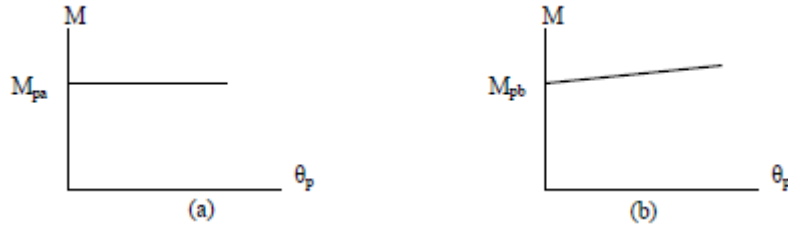
2.6.1. Statik İtme Yöntemi Analizlerinde Yapılan Kabuller

- a) Plastik şekil değiştirmelerin belli kesitlerde toplandığı kabul edilerek, plastik mafsallık kabulü kullanılır.
- b) Kesit yüksekliğinin yarısı alınarak plastik mafsallık boyu hesaplanır.
- c) Plastik mafsalların, kolon alt ve üst ucunda, kiriş sol ve sağ uçlarında oluşurken, perde elemanların alt ucunda oluştuğu kabul edilir.
- d) Eğilme momenti yanında normal kuvvet de bulunan kolon kesitlerinde plastik mafsallık kesitlerinin karşılıklı etki diyagramı mevcut malzeme dayanımları kullanılarak belirlenir. Bunların eğrisel değişiminin yeterli yaklaşıklıkla doğrularla ifade edilebileceği kabul edilir.
- e) Tablalı kiriş kesitlerinde, kesit kapasitesine tabladaki beton ve donatının etkisi vardır.
- f) Betonarme elemanlarda daha gerçekçi olması sebebiyle çatlamış kesit eğilme rijitlikleri kabul edilir [10].

2.6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Malzeme açısından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi için, geçerliliğini kanıtlamış model kullanılması gerekir. Fakat mühendislik uygulamalarında yaygın şekilde kullanılması ve pratik olması nedeniyle doğrusal olmayan analizlerde yığılı plastik davranış modeli dikkate alınması gerekir. Basit eğilme durumunda *plastik mafsallık hipotezi*'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır (Şekil 2.2). Plastik mafsallık boyu diye isimlendirdiğimiz plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışılan yöndeki kesit boyutunun (h) yarısı alınacaktır ($L_p = 0.5 h$).

Yalnızca aksenal kuvvet etkisinde plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgesi uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır [9].



Şekil 2.2. Plastik kesitlerin moment-şekil değiştirme bağıntıları

2.6.3. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Kullanılarak İtme Analizi Yapılması

Bu yöntemle birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında artımsal itme analizi yapılması amaçlanmaktadır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait kümülatif değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

İtme analizi sabit yük dağılımını dikkate almaktadır. Bu yöntemde eksenleri taban kesme kuvveti - deplasman olarak ifade edilen itme eğrisi oluşturulur. İtme eğrisi koordinatları dönüştürülerek modal ivme - modal yer değiştirme eksenlerinden oluşan modal kapasite diyagramı belirlenir. Modal kapasite diyagramı belirlenirken aşağıdaki itme adımları takip edilir [9].

(a) (i)'inci itme adımı sonunda hakim deprem yönündeki birinci moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki bağıntı kullanılarak belirlenir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.1)$$

(b) (i)'inci itme adımı sonunda hakim deprem yönündeki birinci moda ait modal deplasmanı ($d_1^{(i)}$) aşağıdaki bağıntı kullanılarak belirlenir.

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.2)$$

Hakim deprem yönündeki birinci moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x yönü depremi için taşıyıcı sistem analizinin ilk adımlarındaki doğrusal davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 'den faydalanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenir.

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.3)$$

İtme analizi neticesinde modal yer değiştirme hesaplanacaktır. Modal deplasman istemi, $d_1^{(p)}$, spektral deplasman S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (2.4)$$

Doğrusal olmayan spektral deplasman S_{di1} 'in belirlenmesi için TDY 2007 Bilgilendirme Eki 7C'de verilen işlemler kullanılmaktadır.

Son itme adımı $i = p$ için belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilecektir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (2.5)$$

2.6.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi

Bu yöntem ile yüksek binalar ve taşıyıcı sisteminde düzensizlik bulunan binalarda birinci modal kütlenin davranışa yeterli katkıda bulunamadığı durumlarda yeterli kütle katılımının sağlanması için diğer mod katkılarının dikkate alınması amaçlanmaktadır. Yapı taşıyıcı sistemi mod şekliyle orantılı olarak monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri dikkate alınarak mod birleştirme yönteminin artımsal olarak uygulanması olarak ifade edilmektedir. TDY 2007 Bilgilendirme Eki 7D'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.6.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yapı taşıyıcı sistemindeki doğrusal elastik olmayan davranış dikkate alınarak hareket denkleminin adım adım entegre edilmesi amaçlanmaktadır. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır [9].

Analizlerde kullanılacak deprem ivme kayıtları TDY 2007 Bölüm 2.9.1 ve Bölüm 2.9.2'ye göre belirlenecektir.

2.6.6. Birim Şekil değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Analizler neticesinde herhangi bir kesitte oluşan θ_p plastik dönme istemi kullanılarak *plastik eğrilik*, aşağıdaki formül yardımı ile belirlenir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.6)$$

Uygun beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak, kesitte oluşan eksenel kuvvet altında gerçekleştirilen kesit analizi sonucu moment-eğrilik ilişkisiyle tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, plastik eğrilik istemi ϕ_p 'ye eklenerek, kesitte oluşan toplam eğrilik ϕ_t istemi belirlenir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.7)$$

Beton ve çelik birim şekildeğiştirme istemleri, toplam eğrilik istemi dikkate alınarak moment - eğrilik analiziyle hesaplanacaktır. Sargılı yada sargısız malzeme modeli için TDY 2007 Bilgilendirme Eki 3B'den faydalanılabilir.

2.6.7. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil değiştirme Kapasiteleri

Malzeme birim şekildeğiştirme istemleri, birim şekildeğiştirme kapasite değerleriyle kıyaslama yapılarak kesit performansı tespit edilecektir.

Hasar sınırları dikkate alınarak sünek elemanlarda izin verilen kesit şekil değiştirme kapasiteleri aşağıda açıklanmıştır.

1.) Minimum Hasar Sınırı (MN): beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (2.8)$$

2.) Güvenlik Sınırı (GV): beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2.9)$$

3.) Göçme Sınırı (GÇ): beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.06 \quad (2.10)$$

2.6.8. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kesme Kuvveti Kapasiteleri

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, bilgi düzeylerine göre tanımlanan *mevcut dayanım* değerleri kullanılacaktır. Kesme kuvveti dayanımının kesme kuvveti isteminden daha küçük olduğu elemanlar, *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak tanımlanacaktır.

Betonarme kolon-kiriş birleşimleri için TDY 2007 Denk.(3.11)'den hesaplanacak kesme kuvveti isteminin TDY 2007 Bölüm 3.5.2.2'de verilen kesme dayanımını aşmaması gerekir. Kesme kuvveti isteminin kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi *gevrek olarak hasar gören eleman* olarak tanımlanacaktır.

2.7. Deprem Performansının Belirlenmesi

2.7.1. Binaların Deprem Performansı

Yapının deprem performansı, yapıya etki ettirilen deprem altında oluşması beklenen hasar durumuyla bağlantılıdır. Yapıların deprem performans düzeylerinin tespit edilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

2.7.2. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

2.7.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

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

(b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir [9].

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden TDY 2007 Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

2.7.4. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların *Göçme Bölgesi*'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.7.5. Göçme Durumu

Yapı göçme öncesi performans düzeyini sağlayamıyorsa göçme durumunda kabul edilir. Bu göçme durumunda olan binaların kullanımı can güvenliği açısından uygun değildir.

2.8. Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yeni yapılacak binalar için TDY 2007 Bölüm 2.4'de tanımlanan ivme spektrumu, TDY 2007 Bölüm 1.2.2'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:

(a) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, TDY 2007 Bölüm 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.

(b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise TDY 2007 Bölüm 2.4’de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

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

3. BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

3.1. Hesaplama Kullanılacak Paket Programlar

Ülkemizde kullanımı oldukça yaygın olan *Prota Structure* ve uluslararası kabul görmüş ayrıca akademik çalışmalarda sıkça tercih edilen CSI firmasının geliştirmiş olduğu *SAP2000* programları kullanılacaktır.

3.1.1. ProtaStructure Genel Tanıtımı

ProtaStructure yazılımı uluslararası tasarım ve deprem yönetmeliklerini kullanarak bina türü yapıların modellenmesi, deprem hesapları, performans değerlendirilmesinin ve detay çizimlerinin kapsamlı bir şekilde yapılabilirdiği bir yazılımdır.

Uluslararası yaygın bir kullanım ağına sahip olan ProtaStructure, Prota Yazılım A.Ş. tarafından Türk mühendislerince geliştirilmektedir. Ülkemizde geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmakla birlikte İngiltere, Malezya, Singapur ve Hongkong'ta da mühendislik firmalarının bu alandaki ihtiyaçlarına çözüm üretmektedir [18].

Her ne kadar ülkemizde yaygın olarak Probina Orion olarak tanınmış olsa da son yıllardaki ar-ge çalışmaları sonucunda yeni özellikler kazandırılarak daha kapsamlı çözümler üreten ProtaStructure yazılımı geliştirilmiştir. Öncelikli olarak mühendislik bürolarının ihtiyacını karşılayan ProtaStructure uluslararası Eurocode 2, Eurocode 8 yönetmeliklerini de dikkate alarak tasarım ve analiz yapabilme özelliği ile de lisans, lisansüstü öğrencilerinin akademik çalışmalarında kullanabildiği bir yazılımdır [18].

3.1.2. SAP2000 Programının Genel Tanıtımı

Computers and Structures, Inc. Firması tarafından geliştirilmiş olan SAP2000 birçok mühendislik yapılarının doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinin yapılabilirdiği bir mühendislik yazılımıdır.

Birçok yerli ve yabancı yazılımcının ilham kaynağı olarak kullandığı SAP2000 yazılımı günümüzde akademik çalışmalarda akademisyenlerin sıkça kullandıkları bir yapı analiz yazılımıdır.

3.2. Yapı Genel Bilgileri

Bu çalışma kapsamında incelenecek yapı; zemin ve 7 normal kattan oluşan 8 katlı betonarme bir yapıdır. Çalışmada tasarımı yapılan modelin deprem, zemin ve genel parametreleri aşağıda verilmiştir.

Zemin Parametreleri:

Zemin Sınıfı: Z2

Spektrum Karakteristik Periyotları: $T_a=0.15$ sn, $T_b=0.40$ sn

Zemin Emniyet Gerilmesi: 200 kN/m^2

Zemin Yatak Katsayısı: 30000 kN/m^3

Deprem Parametreleri:

Deprem Bölgesi: 1. Bölge

Etkin yer ivmesi katsayısı: $A_0=0.40$

Yapısal Parametreler:

Süneklik düzeyi: Yüksek

Davranış katsayısı (R): 7

Bina önem katsayısı (I): 1

Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n): 0.30

Yükleme ve Analiz Parametreleri:

Hesaba Katılacak Mod adedi: 24

Sönüm oranı: 0.05

Yapı kullanım amacı veya tipi: Konut

Yapı Genel Bilgileri:

Kat Yüksekliği: tüm katlarda 3 m olarak alınmıştır.

Rijit Bodrum kat adedi: 0

Kullanılan Malzeme Özellikleri:

Beton: C30, $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, $E=31800 \text{ N/mm}^2$, Malzeme Katsayısı: 1.5

Çelik: S420, $f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$, $E= 200000 \text{ N/mm}^2$, Malzeme Katsayısı: 1.15

Boyutlandırmada Dikkate Alınan Yükler:

Kiriş duvar yükleri:

İç duvarlar (9 cm tuğla duvar): 4.67 kN/m

İç duvarlar (19 cm tuğla duvar): 7.28 kN/m

Dış duvarlar (19 cm yalıtımlı tuğla duvar): 8.48 kN/m

Döşeme Ölü ve Hareketli Yükleri:

Sıva + Kaplama Yükleri:

Balkonlar için: 3.175 kN/m^2

Odalar için: 1.625 kN/m^2

Mutfak, Banyo, Koridor ve Merdivenler için: 2.375 kN/m^2

Hareketli Yükler:

Balkonlar için: 5.00 kN/m^2

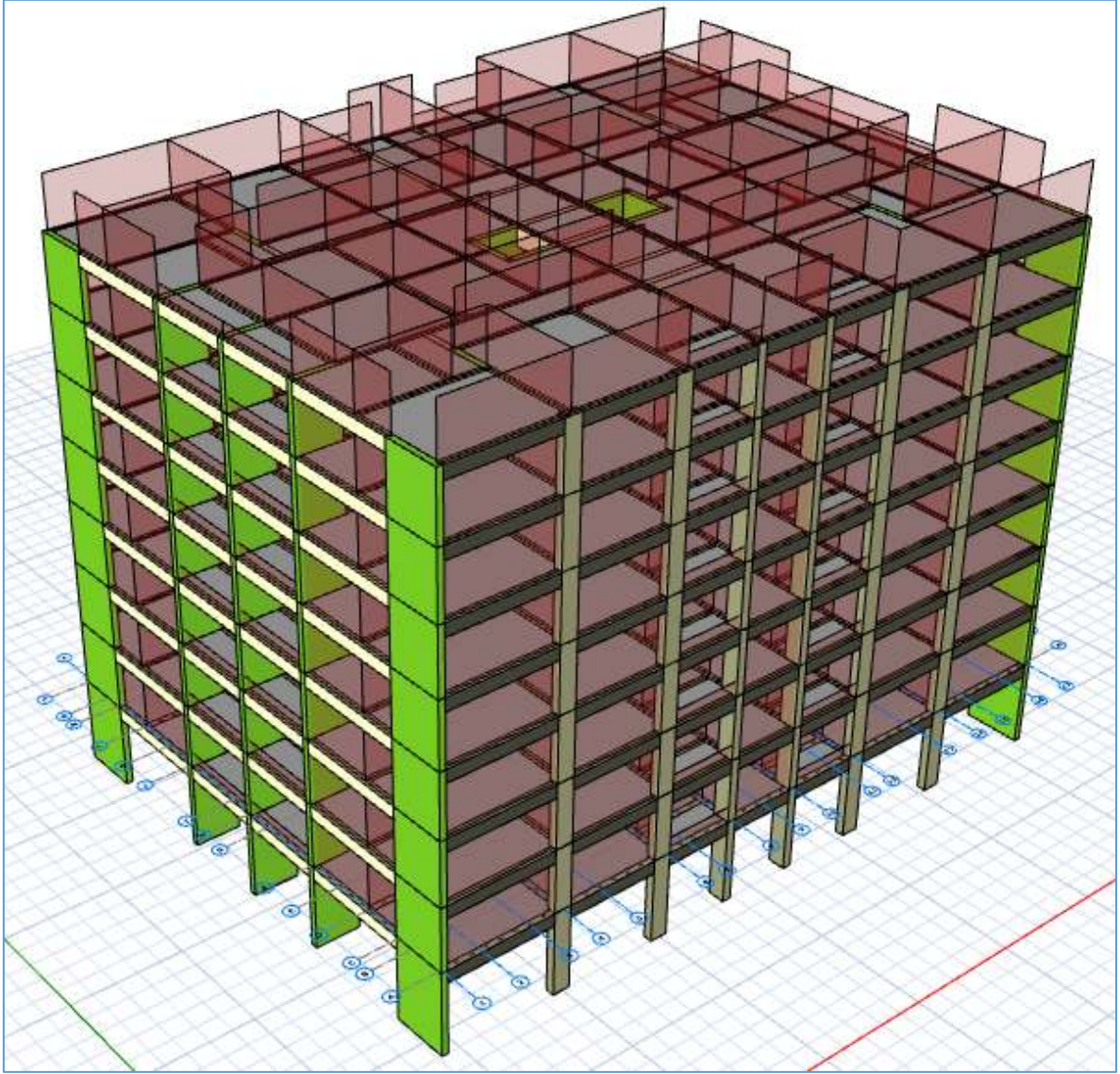
Oda, Mutfak ve Koridorlar için: 2.00 kN/m^2

Banyo, ve Merdivenler için: 3.50 kN/m^2

3.3. Model Tasarımı ve Deprem Hesapları Yapılırken Kullanılan Yönetmelikler

Performans Belirlenmesi hesapları için modellenen yapıda kullanılan yönetmelikler;

- *Tasarım Yönetmeliği*: TS500-2000 Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları (2000).
- *Yük Yönetmeliği*: TS498 Yapılara uygulanacak yükler.
- *Deprem yönetmeliği*: TDY 2007 Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik.



Şekil 3.2. Yapının üç boyutlu perspektif görünümü

3.4.1. Taşıyıcı Sistem Eleman Boyutları ve Donatı Miktarları Kolonlar

Yapı modelinde 2 tip kolon kullanılmıştır. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları

Kolon Tipi	b	h	Boyuna Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı Porsantajı
Tip 1	80	40	12Φ20	Φ8/20/9	0.01178
Tip 2	40	80	12Φ20	Φ8/20/9	0.01178

Kirişler

Modelde kullanılan kiriş boyutları ve kullanılan donatı miktarları Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kiriş boyutları ve kullanılan donatı miktarları

Kiris	Kat	Kesit	Montaj	Ust/ Sol İlave	Ust/Sag İlave	Pilye	Alt Duz	Alt/Sol İlave	Alt/Sag İlave	Gövde	Etriye
K101	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K102	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K103	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/135
K104	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K105	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/13
K106	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K107	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K108	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K109	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K110	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K111	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K112	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K113	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K114	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K115	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K116	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K117	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K118	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20		1ø20	1ø20	1ø10/20/15
K119	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20	1ø20	1ø20	1ø20	1ø10/20/11
K120	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20	1ø20		1ø20	1ø10/20/15
K121	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K122	1	30/80	2ø20	4ø20	4ø20		3ø20	2ø22	2ø22	3ø16	1ø10/6/5
K123	1	30/60	2ø20	1ø20		1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K124	1	30/60	2ø20		1ø20	1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/15/10
K125	1	30/60	2ø20	1ø20		1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/15/10
K126	1	30/60	2ø20		1ø20	1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K127	1	30/80	2ø20	4ø20	4ø20		3ø20	2ø22	2ø22	3ø16	1ø10/6/5
K128	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K129	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20		1ø20	1ø20	1ø10/20/15
K130	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20	1ø20	1ø20	1ø20	1ø10/20/11
K131	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20	1ø20		1ø20	1ø10/20/15
K132	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K133	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K134	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K135	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/14

Kiris	Kat	Kesit	Montaj	Ust/ Sol Ilave	Ust/Sag Ilave	Pilye	Alt Duz	Alt/Sol Ilave	Alt/Sag Ilave	Govde	Etriye
K136	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/12
K137	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K138	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K139	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K140	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K141	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K142	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K143	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K144	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/13
K145	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/13
K146	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/13
K147	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K148	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K149	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K150	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K151	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K152	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K153	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K154	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K155	1	30/50	2ø20				2ø20				1ø10/12/12
K156	1	30/50	2ø20				2ø20				1ø10/12/12
K157	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K158	1	30/60	2ø20	2ø20			2ø20			1ø20	1ø10/15/15
K159	1	30/60	2ø20		2ø20		2ø20			1ø20	1ø10/15/15
K160	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/14
K161	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K162	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K163	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K164	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K165	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K166	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K167	1	30/80	2ø20	1ø20		1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/14
K168	1	30/80	2ø20				3ø20			2ø16	1ø10/7/5
K169	1	30/80	2ø20		1ø20		3ø20			1ø16	1ø10/20/12
K170	1	30/80	2ø20	1ø20	1ø20		3ø20			1ø16	1ø10/20/13
K171	1	30/80	2ø20	1ø20			3ø20			1ø16	1ø10/20/12
K172	1	30/80	2ø20				3ø20			2ø16	1ø10/7/5
K173	1	30/80	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K174	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K175	1	30/80	2ø20	1ø20		1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/14
K176	1	30/80	2ø20				3ø20			2ø16	1ø10/7/5

Kiris	Kat	Kesit	Montaj	Ust/ Sol Ilave	Ust/Sag Ilave	Pilye	Alt Duz	Alt/Sol Ilave	Alt/Sag Ilave	Gövde	Etriye
K177	1	30/80	2ø20		1ø20		3ø20			1ø16	1ø10/20/12
K178	1	30/80	2ø20	1ø20	1ø20		3ø20			1ø16	1ø10/20/13
K179	1	30/80	2ø20	1ø20			3ø20			1ø16	1ø10/20/12
K180	1	30/80	2ø20				3ø20			2ø16	1ø10/7/5
K181	1	30/80	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K182	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K183	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K184	1	30/50	2ø20			1ø20	2ø20				1ø10/20/12
K185	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K186	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K187	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K188	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K189	1	30/60	2ø20	2ø20			2ø20			1ø20	1ø10/15/15
K190	1	30/60	2ø20		2ø20		2ø20			1ø20	1ø10/15/15
K191	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/14
K192	1	30/50	2ø20				2ø20				1ø10/12/12
K193	1	30/50	2ø20				2ø20				1ø10/12/12
K194	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K195	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K196	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K197	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K198	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15
K199	1	30/60	2ø20			1ø20	2ø20			1ø20	1ø10/20/15

Perdeler

Yapı modelinde bodrum kat perdeleri haricinde 6 adet asansör perdesi ve 14 adet normal kat perdeleri kullanılmıştır. Kullanılan perde boyutları ve kullanılan donatı miktarları Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Perde boyutları ve kullanılan donatı miktarları

Perde Tipi	Kat No	Eleman adı	Perde Boyutu	Boyuna Donatı	Enine Donatı
Tip1	1	P1,P2,P5,P6,P9,P10	30/210	2*11 ϕ 20	Φ 10/13
	2-8	P1,P2,P5,P6,P9,P10	30/210	2*11 ϕ 20	Φ 10/20
Tip2	1	P13,P14,P17,P18	30/210	2*11 ϕ 20	Φ 10/11
	2	P13,P14,P17,P18	30/210	2*11 ϕ 20	Φ 10/19
	3-8	P13,P14,P17,P18	30/210	2*11 ϕ 20	Φ 10/20
Tip3	1	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 22	Φ 10/20
	2	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 22	Φ 14/11
	3	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 22	Φ 14/12
	4	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 12/10
	5	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 12/12
	6	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 10/12
	7-8	P3,P4,P7,P8	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 10/20
Tip4	1	P11,P12,P19,P20	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 12/13
	2	P11,P12,P19,P20	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 10/20
Tip5	1	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 24	Φ 10/20
	2	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 16/10
	3	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 16/12
	4	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 14/11
	5	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 12/11
	6	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 10/13
	7-8	P15,P16	30/270	2*13 ϕ 20	Φ 10/20

3.4.2. Modal Analiz Sonuçları

Modal analiz için her katta x ve y doğrultularında ötelenme ve düşey eksen etrafında dönme serbestlikleri dikkate alınarak toplamda 24 adet mod kullanılmıştır. Çizelge 3.4’te modal kütle oranları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Modal kütle oranları

MOD	PERİYOD	MODAL KÜTLE ORANLARI					
		UX	UY	KÜM. UX	KÜM. UY	RZ	KÜM. RZ
1	0.9206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0880	0.0880
2	0.7644	0.0000	0.7532	0.0000	0.7532	0.3872	0.4752
3	0.7600	0.7610	0.0000	0.7610	0.7532	0.2810	0.7561
4	0.2643	0.0000	0.0000	0.7610	0.7532	0.0148	0.7709
5	0.2208	0.1276	0.0000	0.8885	0.7532	0.0471	0.8180
6	0.2201	0.0000	0.1384	0.8885	0.8916	0.0711	0.8891
7	0.1262	0.0000	0.0000	0.8885	0.8916	0.0064	0.8956
8	0.1089	0.0000	0.0517	0.8885	0.9432	0.0266	0.9221
9	0.1087	0.0536	0.0000	0.9421	0.9432	0.0198	0.9419
10	0.0738	0.0000	0.0000	0.9421	0.9432	0.0035	0.9454
11	0.0676	0.0000	0.0268	0.9421	0.9700	0.0138	0.9592
12	0.0663	0.0282	0.0000	0.9703	0.9700	0.0104	0.9696
13	0.0493	0.0000	0.0000	0.9703	0.9700	0.0021	0.9717
14	0.0472	0.0000	0.0155	0.9703	0.9855	0.0080	0.9796
15	0.0460	0.0157	0.0000	0.9860	0.9855	0.0058	0.9854
16	0.0364	0.0000	0.0000	0.9860	0.9855	0.0012	0.9867
17	0.0360	0.0000	0.0089	0.9860	0.9945	0.0046	0.9912
18	0.0351	0.0087	0.0000	0.9947	0.9945	0.0032	0.9944
19	0.0296	0.0000	0.0044	0.9947	0.9988	0.0022	0.9967
20	0.0295	0.0000	0.0000	0.9947	0.9988	0.0006	0.9973
21	0.0290	0.0042	0.0000	0.9989	0.9988	0.0015	0.9988
22	0.0263	0.0000	0.0012	0.9989	1.0000	0.0006	0.9994
23	0.0259	0.0000	0.0000	0.9989	1.0000	0.0002	0.9996
24	0.0257	0.0011	0.0000	1.0000	1.0000	0.0004	1.0000

3.5. Artımsal İtme Analizi

Artımsal itme analizinde yapı taşıyıcı sistem geometrisi, kullanılan malzeme özellikleri ile taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı dikkate alınarak adım adım yükleme yapılır. Her yükleme adımı neticesinde taban kesme kuvveti ve buna bağlı olarak oluşan tepe noktası yerdeğiştirmesi elde edilir.

Statik itme analizinde aşağıdaki kabuller yapılır;

1. Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı kabul edilerek, plastik mafsalları kabulü kullanılır,

2. Plastik mafsallı boyu ilgili doğrultudaki kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilir ($L_p = 0,5 h$)
3. Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarında, perdelerde ise her katta kat seviyesinde oluşabileceği kabul edilir.
4. Betonarme elemanlarda daha gerçekçi olması sebebiyle çatlamış kesit eğilme rijitlikleri kabul edilir [9].

Statik itme analizi için başlangıçta düşey yükler altında yükleme yapılır. Daha sonra bu yükleme başlangıç durumu kabul edilerek yatay yükleme yapılır. Yapılan yatay analiz neticesinde taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirme istemi tespit edilerek grafiği çizilir.

3.5.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilirliği

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için;

1. Bodrum hariç kat sayısı 8'i geçmemesi gerekir.
2. Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan *burulma düzensizliği katsayısının* $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir.
3. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan *birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine* (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) *oranının en az 0.70 olması* zorunludur [9].

Tez çalışmasında kullanılan bina modeli 8 katlı olduğu için birinci madde sağlanmaktadır. Binanın birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.70 den fazladır (Çizelge 3.5). Bina planda simetrik olduğu için burulma düzensizliği yoktur ($\eta_{bi} < 1.4$).

Çizelge 3.5. Yapının periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (s)	UX	UY
1	0.9206	0.0625	-0.0048
2	0.7644	-0.0001	-77.8117
3	0.7600	-78.2105	0.0001
4	0.2643	0.0267	-0.0021
5	0.2208	-32.0243	-0.0001
6	0.2201	0.0001	-33.3492

Kullanılan bina modeli artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanması için gerekli şartları sağlamaktadır. Yatay yüklemeler kullanılarak yapılan analiz neticesinde her iki doğrultuda katlardaki burulma düzensizliği kontrol edilmiştir. X ve Y yönü için bulunan burulma düzensizliği sonuçları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. X doğrultusu burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$\delta_{i,min}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\Delta_{i,min}$ (m)	$\Delta_{i,max}$ (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta_{bi} < 1.4$
1	0.010166	0.010167	0.010166	0.010167	0.010167	1.00005 <1.4
2	0.030006	0.030008	0.01984	0.019841	0.019841	1.00003 <1.4
3	0.053709	0.053713	0.023703	0.023705	0.023704	1.00004 <1.4
4	0.078115	0.07812	0.024406	0.024407	0.024407	1.00002 <1.4
5	0.10121	0.101218	0.023095	0.023098	0.023097	1.00006 <1.4
6	0.121733	0.121742	0.020523	0.020524	0.020524	1.00002 <1.4
7	0.139061	0.139072	0.017328	0.01733	0.017329	1.00006 <1.4
8	0.153166	0.153178	0.014105	0.014106	0.014106	1.00004 <1.4

Çizelge 3.7. Y doğrultusu burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$\delta_{i,min}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\Delta_{i,min}$ (m)	$\Delta_{i,max}$ (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta_{bi} < 1.4$
1	0.01005	0.01005	0.01005	0.01005	0.01005	1 <1.4
2	0.029539	0.029539	0.019489	0.019489	0.019489	1 <1.4
3	0.052774	0.052774	0.023235	0.023235	0.023235	1 <1.4
4	0.076988	0.076988	0.024214	0.024214	0.024214	1 <1.4
5	0.100443	0.100444	0.023455	0.023456	0.023456	1.00002 <1.4
6	0.121958	0.121959	0.021515	0.021515	0.021515	1 <1.4
7	0.140856	0.140857	0.018898	0.018898	0.018898	1 <1.4
8	0.157038	0.157039	0.016182	0.016182	0.016182	1 <1.4

x ve y doğrultuları için yapının tüm katlarında burulma $\eta_{bi} < 1.4$ koşulu sağlanmaktadır.

3.6. ProtaStructure’da Performans Değerlendirme Opsiyonlarının Tanımlanması

Modal analiz sonucu bulunan donatı miktarları kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. TDY 2007 de doğrusal olmayan statik itme analizi; artımsal statik eşdeğer (tek modlu) ve artımsal mod birleştirme (çok modlu) yöntemi olmak üzere tanımlanmıştır. Yapı modeli 8 katlı olduğu için TDY 2007 gereği artımsal statik eşdeğer itme analizi yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan doğrusal olmayan analiz işleminde kullanılan yükleme seçenekleri ve diğer opsiyonlar

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmektedir.

Şekil 3.3. Yapının x yönü için doğrusal olmayan performans analiz yönteminin seçilmesi

Mevcut Bina Değerlendirme Yöntemleri

Yöntem

☐ Doğrusal Elastik Performans Değerlendirmesi

☒ Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesi

☐ Riskli Bina Değerlendirme (Kentsel Dönüşüm)

Kritik Kat: 2

Analiz Yöntemi

☒ Statik Artımsal İtme (Tek Mod)

☐ Çok Modlu Artımsal İtme (IRSA)

Genel | Parametreler/Raporlar | Artımsal İtme

Yükleme Yönü

☐ 1 (0d) ☒ 2 (90d)

☐ -1 (180d) ☐ -2 (270d)

☐ Tüm Yönler

Bina Bilgi Düzeyi

☐ Sınırlı ☐ Orta ☒ Kapsamlı

☐ Diğer Katsayı: 1

Performans Durumu

☐ HK - Hemen Kullanım Durumu (IO)

☒ CG - Can Güvenliği Durumu (LS)

☐ GÖ - Göğme Öncesi Durumu (CP)

İvme Spektrumu: Depremin Aşılma Olasılığı

50 YILDA %10 (F=1.00)

Sargılama Durumu

☐ Mevcut Kolonlarda Sargılama Var

☐ Mevcut Kirişlerde Sargılama Var

☐ Mevcut Perdelerde Sargılama Var

Donatılar

☐ Kolonlar (Tahmini Donatı Kullan)

Boyuna Donatı Oranı: 0.008

Etriye: $\phi 10$ / 20

☐ Perdeler (Tahmini Donatı Kullan)

Boyuna Donatı Oranı: 0.002

Yatay Donatı: $\phi 10$ / 20

☐ Kirişler (Tahmini Donatı Kullan)

Boyuna Donatı (Mesnet): 0.004

Etriye: $\phi 10$ / 20

Korozyon ve Donatı Gerçekleşme

Kolon/Perde Donatı Gerçekleşme ve Korozyon Raporu

Kiriş Donatı Gerçekleşme ve Korozyon Raporu

Donatı Gerçekleşme ve Korozyon bilgileri eleman bazında tanımlanmıştır.

UYARI: Bina Performansı Değerlendirmesi Yöntemlerini uyguladığınız zaman bina analizi R=1 için yeniden

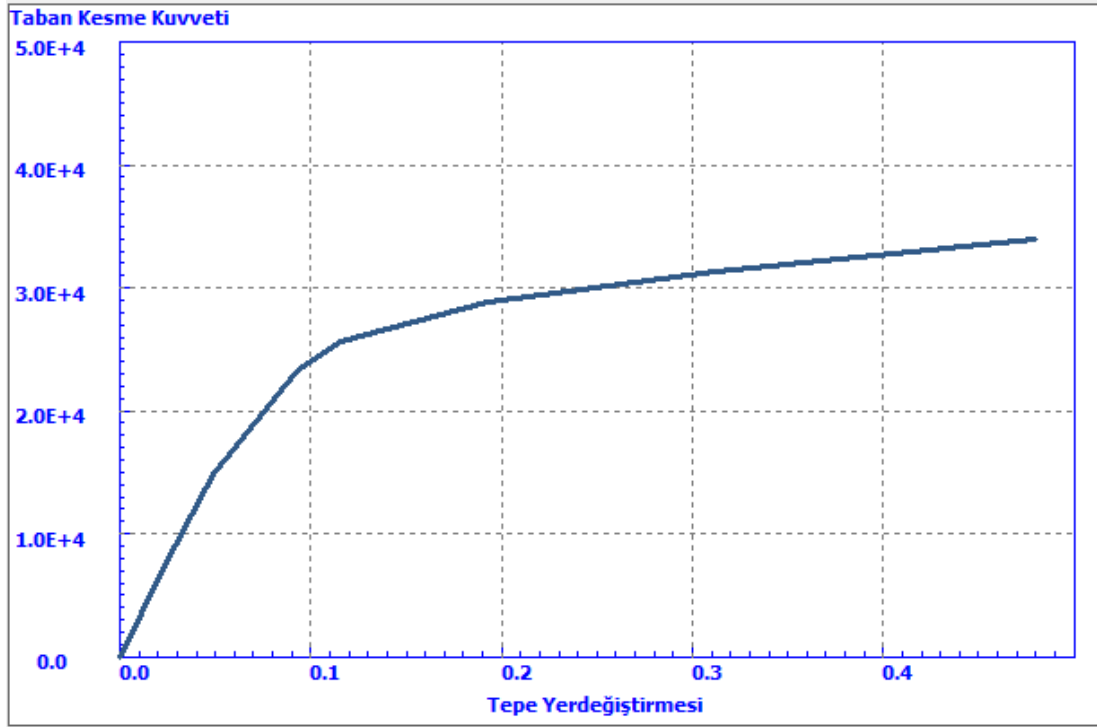
Şekil 3.4. Yapının y yönü için doğrusal olmayan performans analiz yönteminin seçilmesi

3.7. ProtaStructure ile Performans Değerlendirmesi

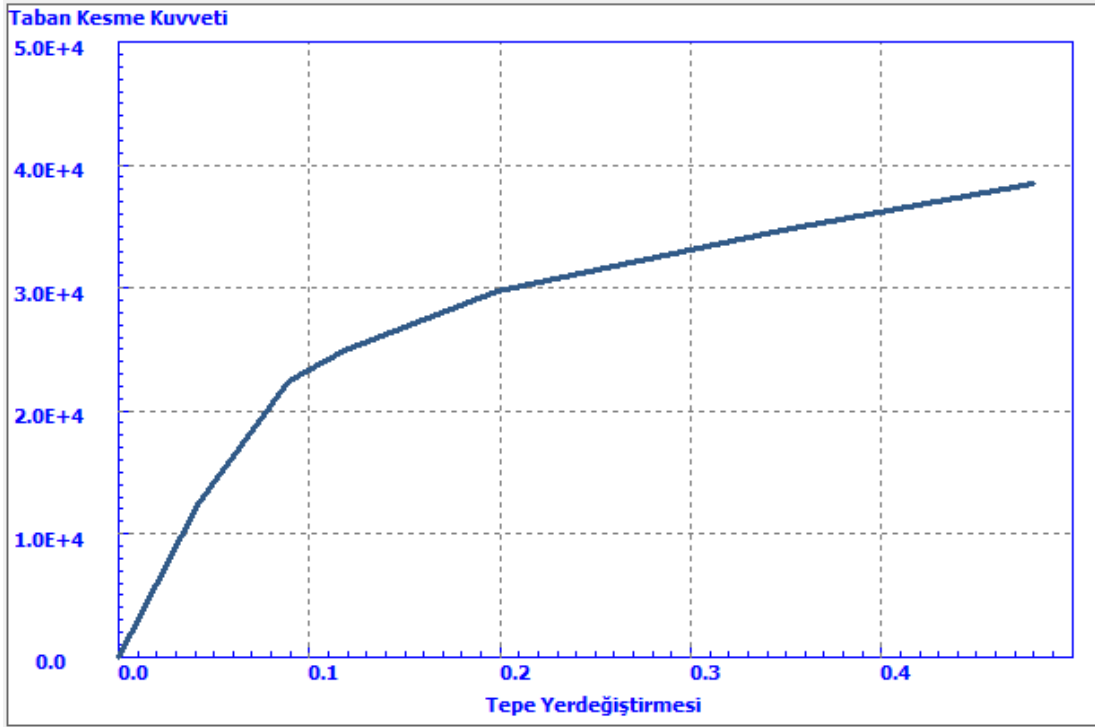
ProtaStructure ile performans hesaplaması X ve Y eksenlerine göre tek modlu artımsal itme analizi kullanılarak yapılmıştır. Yapı yüksekliği olan 24 m'nin %2 si oranında 0.48 m hedef deplasman tanımlanarak X ve Y eksenini doğrultusunda yapılan doğrusal olmayan analizler neticesinde PUSHX ve PUSHY artımsal itme yük halleri altında her iki yön için taban kesme kuvveti-tepe noktası yerdeğiştirmesi eğrisi ile modal ivme-modal yerdeğiştirme eğrileri elde edilerek performans noktası belirlenmiştir.

3.7.1. Taban Kesme Kuvveti - Tepe Noktası Yerdeğıştirmesinin Belirlenmesi

X eksenini doğrultusunda yapılan doğrusal olmayan analiz neticesinde PUSHX yüklemesi altında 0.48 m olan hedef deplasmana 34002.3 kN taban kesme kuvveti ile ulaşılmıştır. PUSHY yüklemesi altında ise 0.48 m olan hedef deplasmana 38534.2 kN taban kesme kuvveti ile ulaşılmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).



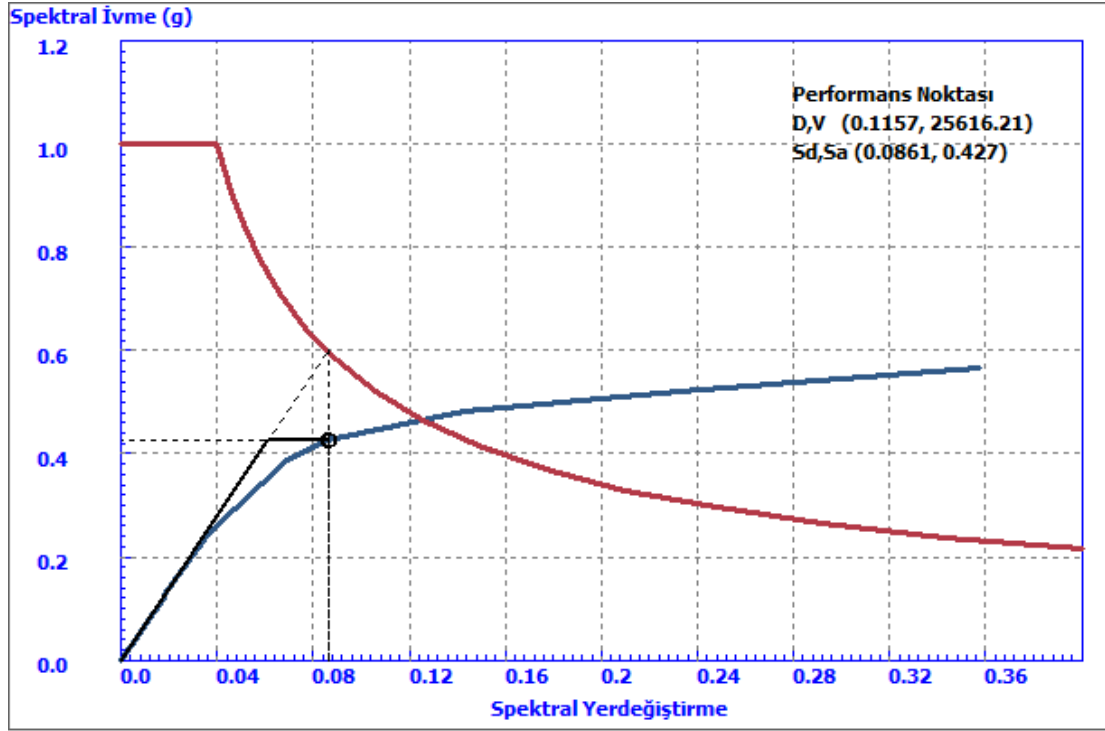
Şekil 3.5. PUSHX yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğıştirmesi



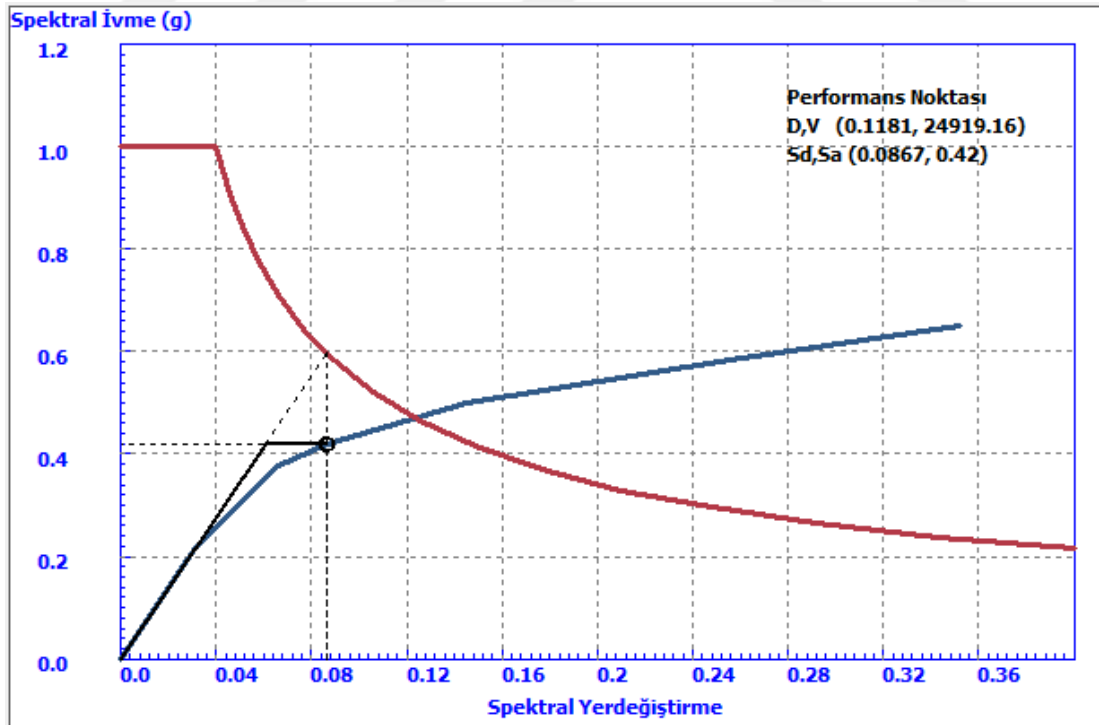
Şekil 3.6. PUSHY yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi

3.7.2. Performans Noktasının Belirlenmesi

PUSHX yüklemesi altında yapılan doğrusal olmayan performans analizi neticesinde modal ivme- modal yerdeğiştirme eğrisi elde edilerek tasarım spektrum eğrisi ile karşılaştırılarak performans noktası belirlenir. Tepe noktası yerdeğiştirmesi 0.1157 m, taban kesme kuvveti ise 25616.21 kN olarak bulunmuştur. PUSHY yüklemesi için de işlemler tekrarlandığında tepe noktası yerdeğiştirmesi 0.1181 m, taban kesme kuvveti ise 24919.16 kN olarak bulunmuştur (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



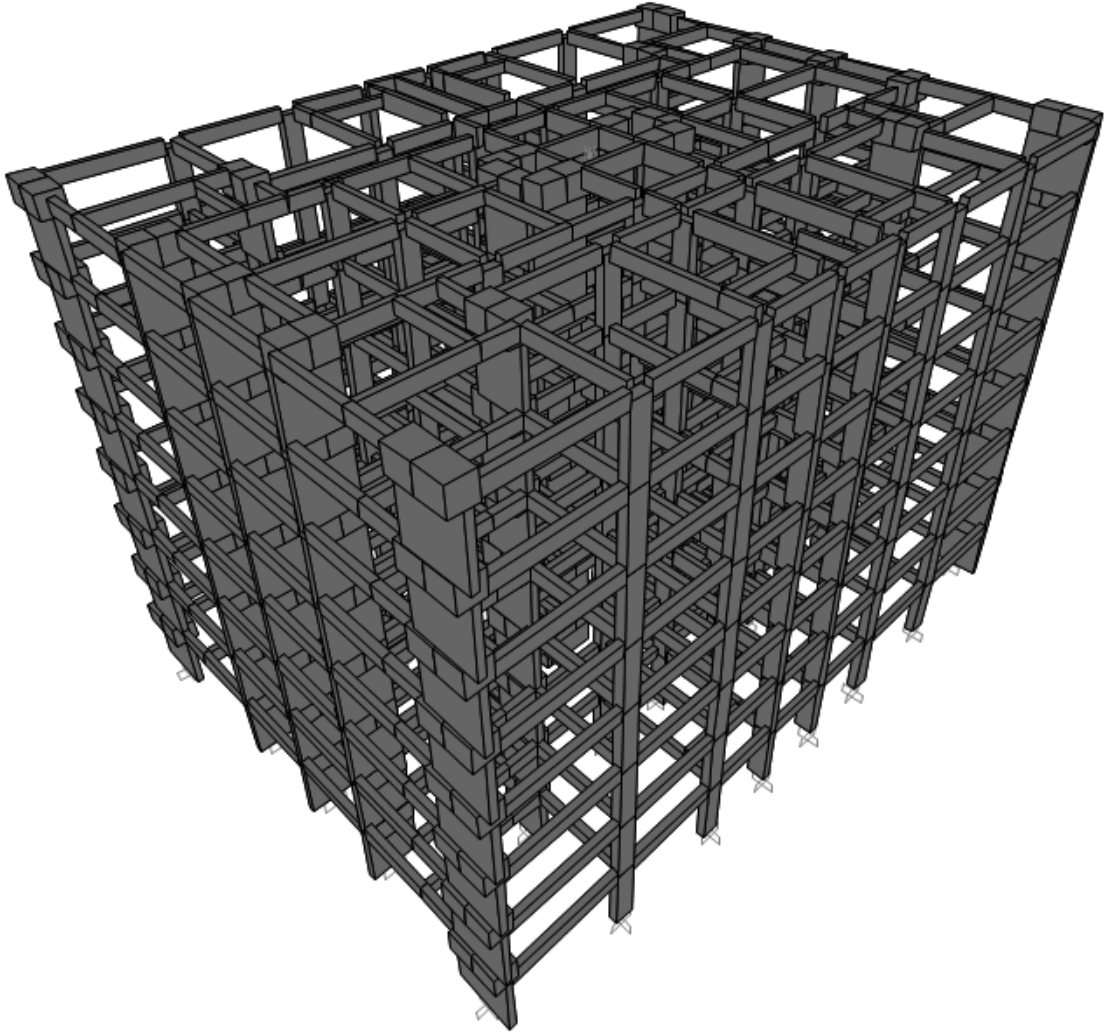
Şekil 3.7. ProtaStructure İle PUSHX yüklemesi altında performans noktası



Şekil 3.8. ProtaStructure İle PUSHY yüklemesi altında performans noktası

3.8. Bina Taşıyıcı Sisteminin SAP2000 ile Modellemesinin Yapılması

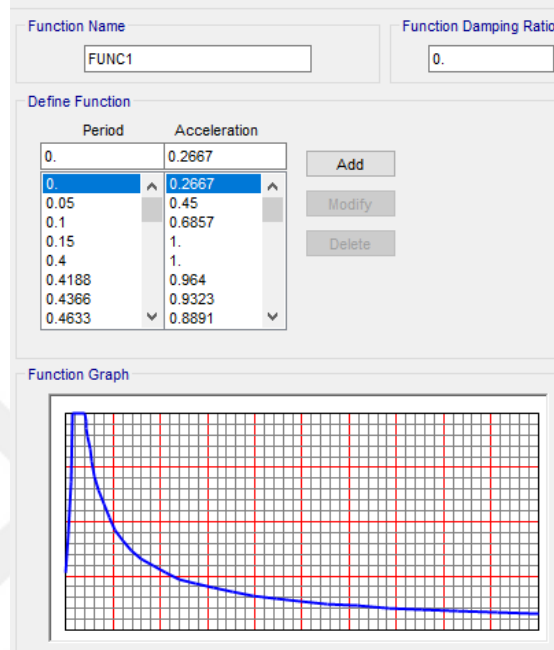
Çalışma kapsamında ProtaStructure ile taşıyıcı sistemi modellenen yapının, SAP2000 yazılımında taşıyıcı sistem elemanları, yükleri, zemin ve deprem parametreleri kullanılarak veri girişleri yapılmıştır. Taşıyıcı sistemin doğrusal elastik olmayan analiz yüklemeleri yapılarak plastik mafsalları ataması gerçekleştirilmiştir. Yapının doğrusal elastik olmayan analizi yapılarak taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi ve performans noktası belirlenerek ProtaStructure ile belirlenen verilerle kıyaslaması yapılmıştır. Yapının SAP2000 üç boyutlu modeli Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. SAP2000’de yapının 3 boyutlu modeli

3.8.1. SAP2000’de Tepki Spectrumu Fonksiyonunun Tanımlanması

Tepki spectrumu deprem bölgesi 1, Z2 zemin sınıfı ve R=1 için FUNC1 olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.10).

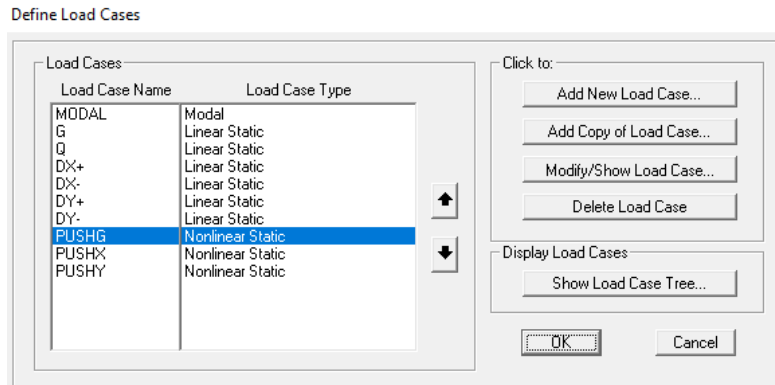


Şekil 3.10. Tepki spectrumu fonksiyonu

3.8.2. SAP2000’de Statik İtme Yüklemesinin Yapılması

Statik itme yüklemesi dikey ve yatay yönde doğrusal olmayan yüklemeler olarak yapılır. Dikey yüklemeye yatay yüklemelerin başlangıç koşullarını ifade etmektedir. Statik itme yüklemeleri

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Statik itme yüklemesinin tanımlanması

3.8.2.1. Düşey doğrultuda doğrusal olmayan Yükleme

Ölü ve hareketli yüklerden oluşan düşey doğrultudaki doğrusal olmayan yükleme PUSHG olarak dikkate alınmıştır.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.
Load Pattern	Q	0.3

Şekil 3.12. PUSHG yüklemesinin tanımlanması

PUSHG yüklemesinde “load application” kısmında 767 nolu düğün noktası U_3 yönünde “full load” olarak seçilmiştir.

3.8.2.2. Yatay doğrultuda doğrusal olmayan Yükleme

Yatay doğrultuda x ve y yönü olmak üzere iki adet doğrusal olmayan yükleme yapılmıştır.

3.8.2.2.1. X Yönü Doğrusal olmayan yükleme

X yönü doğrusal olmayan yükleme PUSHX ile ifade edilmiştir. Bu yükleme durumunda x yönündeki etkin mod olan 3 nolu mod seçilmiştir. Geometrik “*nonlinearity parameters*” olarak analiz süresini kısa tutmak için none seçilmiştir. Doğrusal olmayan yüklemenin başlangıç koşulları için PUSHG seçilmiştir. Analiz tipi “nonlinear” olarak seçilmiştir (Şekil 3.13).

Load Case Data - Nonlinear Static

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

Load Case Type: Static [Design...]

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

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

Loads Applied

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

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

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

Mass Source: Previous

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

[OK] [Cancel]

Şekil 3.13. PUSHX yatay statik itme yüklemesinin tanımlanması

PUSHX yüklemesi için “load application” menüsünden deplasman kontrolü seçeneği seçilmiştir. Hedef deplasman olarak 24 m yapı yüksekliğinin 2% si olarak 48 cm girilmiştir. Hedef deplasman için U1 yönü son kat D8-1 düğüm noktası seçilmiştir. Nonlinear parametreleri Şekil 3.14’de verilmiştir.

Nonlinear Parameters

Material Nonlinearity Parameters ☒ Frame Element Tension/Compression Only ☒ Frame Element Hinge ☒ Cable Element Tension Only ☒ Link Gap/Hook/Spring Nonlinear Properties ☒ Link Other Nonlinear Properties ☐ Time Dependent Material Properties		Solution Control Maximum Total Steps per Stage: 6000 Maximum Null (Zero) Steps per Stage: 1000 Maximum Constant-Stiff Iterations per Step: 10 Maximum Newton-Raphson Iter. per Step: 40 Iteration Convergence Tolerance (Relative): 1.000E-04 Use Event-to-event Stepping: Yes Event Lumping Tolerance (Relative): 0.01 Max Line Searches per Iteration: 20 Line-search Acceptance Tol. (Relative): 0.1 Line-search Step Factor: 1.618	
Hinge Unloading Method ☐ Unload Entire Structure ☐ Apply Local Redistribution ☒ Restart Using Secant Stiffness		Target Force Iteration Maximum Iterations per Stage: 10 Convergence Tolerance (Relative): 0.01 Acceleration Factor: 1. Continue Analysis If No Convergence: No	
Reset To Defaults			
OK		Cancel	

Şekil 3.14. PUSHX yatay statik itme yüklemesinin nonlinear parametreleri

3.8.2.2. Y Yönü Doğrusal olmayan yükleme

Y yönündeki yüklemeler PUSHY olarak yapılmıştır. Y yönündeki etkin mod olan 2.mod ile yükleme yapılmıştır (Şekil 3.15).

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1.0
Mode	2	1.0

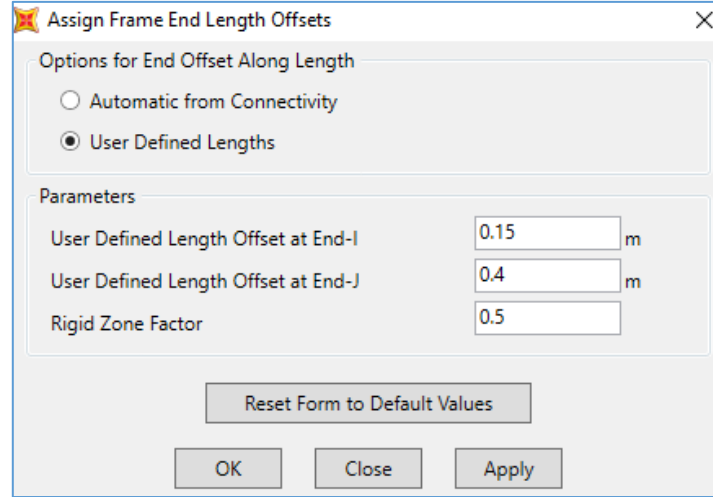
Şekil 3.15. PUSHY yatay statik itme yüklemesinin tanımlanması

PUSHY yüklemesi için “load application” menüsünden deplasman kontrolü seçeneği seçilmiştir. Hedef deplasman olarak 24 m yapı yüksekliğinin 2% si olarak 0.48 m girilmiştir. Hedef deplasman için U2 yönü son kat D8-1 düğüm noktası seçilmiştir.

3.8.3. Plastik Mafsalların Tanımlanması

Sap2000’ de plastik mafsalları ataması işlemi manuel olarak yapılmaktadır. Plastik mafsalları tanımlaması kolon, kiriş ve perdelerine ayrı ayrı olarak yapılmıştır.

Plastik mafsalların kolon yüzüne denk gelecek şekilde atanması gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için her bir kirişte “End Length Offsets” atamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 3.16).



Assign Frame End Length Offsets

Options for End Offset Along Length

☐ Automatic from Connectivity

☒ User Defined Lengths

Parameters

User Defined Length Offset at End-I: 0.15 m

User Defined Length Offset at End-J: 0.4 m

Rigid Zone Factor: 0.5

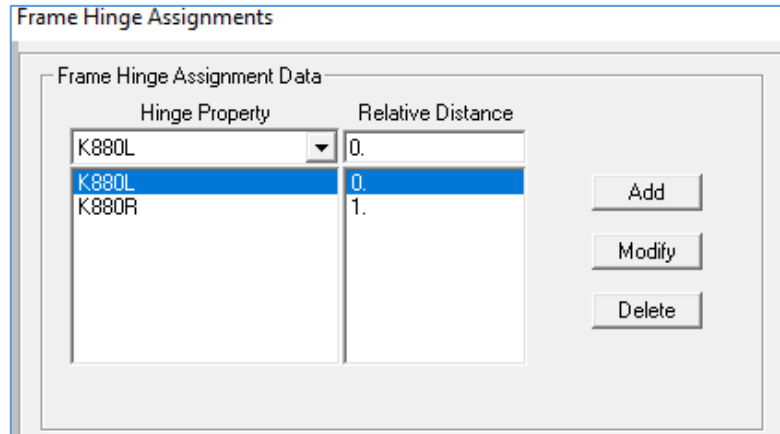
Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.16. Kirişlerde “end length offsets” atamasının yapılması

3.8.3.1. Kirişlerde Plastik Mafsal Atanması

Kirişlerde plastik mafsal atanırken M_3 moment etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Her kirişte, kiriş başlangıç ve bitişini ifade etmek üzere iki adet plastik mafsal tanımlaması yapılmıştır. Kirişlerde serbestlik derecesi olarak M_3 seçilmiştir (Şekil 3.17).



Frame Hinge Assignments

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
K.880L	0.
K.880L	0.
K.880R	1.

Add Modify Delete

Şekil 3.17. Kirişlerde plastik mafsal atamasının yapılması

3.8.3.2. Kolonda Plastik Mafsal Atanması

Kolonlarda plastik mafsal atamasından önce kolon üst ucundaki kiriş yüksekliği kadar bir mesafeyi *End Length Offsets* komutuyla belirlememiz gerekmektedir. Kolonlarda

plastik mafsal ataması yapılırken kolon alt ucu ve kiriş yüksekliği hariç olacak şekilde kolonun üst ucuna atama yapılmasına dikkat edilmelidir. Kolonlarda P-M₂-M₃ serbestlik derecesi seçilmiştir.

3.8.3.3. Perdelerde Plastik Mafsal Atanması

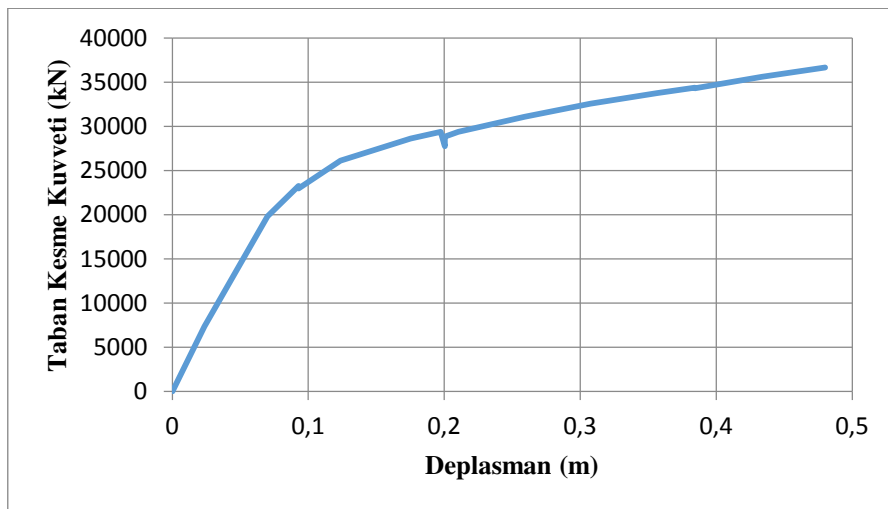
Perdelerde çubuk model kullanılması durumunda kolonlarda olduğu gibi plastik mafsal ataması yapılacaktır. Ancak perdelerde sadece kat hizasında perde alt ucuna plastik mafsal tanımlaması yapılmalıdır. Perdelerde de kolonlarda olduğu gibi P-M₂-M₃ serbestlik derecesi seçilmiştir.

3.8.4. Performans Noktasının Belirlenmesi

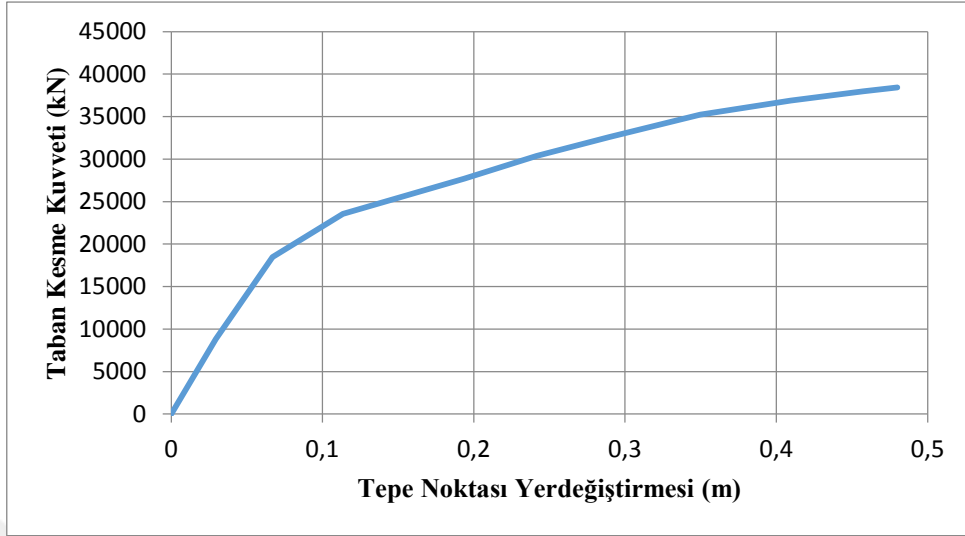
Yapılan doğrusal olmayan yüklemeler altında ayrı ayrı olarak x ve y yönü yüklemeleri altında analizler yapılarak PUSHX ve PUSHY sonuçları alınmıştır

3.8.4.1. Taban Kesme Kuvveti – Tepe Noktası Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi

Seçilen hedef deplasmana ulaşınca kadar yapılan yüklemeler neticesinde taban kesme kuvveti bulunmuştur. Bu taban kesme kuvvetine karşılık yer değıştirme değerleri tespit edilmiştir. Her iki yöndeki itme eğrileri Şekil 3.18, Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.18. PUSHX yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğıştirmesi



Şekil 3.19. PUSHY yüklemesi altında taban kesme kuvveti - tepe noktası yerdeğiştirmesi

3.8.4.2. Modal Kapasite Diyagramlarının Belirlenmesi

Analiz neticesinde oluşturulan itme eğrisi kullanılarak TDY 2007 Bölüm 7.6.5.4’te belirtildiği şekilde koordinat dönüşümü yapılarak modal kapasite eğrisi elde edilmiştir. İtme eğrisi kullanılarak koordinat dönüşümü yapılan X ve Y doğrultuları modal kapasite eğrilerinin dönüşümü Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. X yönü modal kapasite hesapları

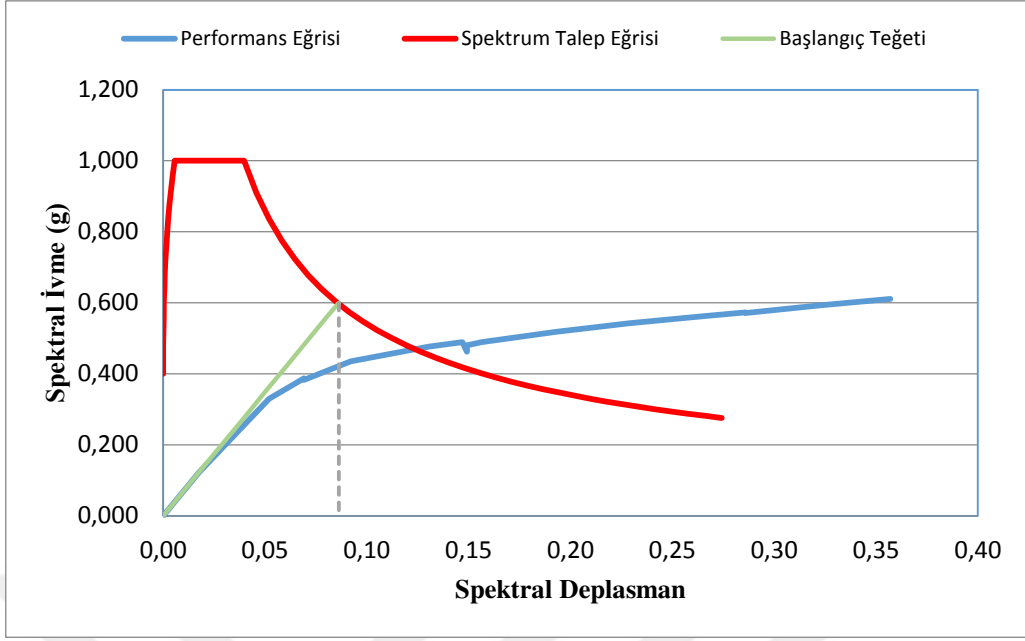
İtme Adımı	$u_{xN1}^{(i)}$	$V_{x1}^{(i)}$	M_{x1}	Φ_{xN1}	Γ_{x1}	d_{x1}	a_{x1}
0	0.00	0.000	60006.79	0.017	78.21	0.00	0.000
1	0.02	7341.347	60006.79	0.017	78.21	0.02	0.122
2	0.07	19795.165	60006.79	0.017	78.21	0.05	0.330
3	0.09	23260.827	60006.79	0.017	78.21	0.07	0.388
4	0.09	22975.977	60006.79	0.017	78.21	0.07	0.383
5	0.12	26129.988	60006.79	0.017	78.21	0.09	0.435
6	0.18	28614.747	60006.79	0.017	78.21	0.13	0.477
7	0.20	29386.082	60006.79	0.017	78.21	0.15	0.490
8	0.20	27755.495	60006.79	0.017	78.21	0.15	0.463
9	0.20	28815.796	60006.79	0.017	78.21	0.15	0.480
10	0.21	29369.422	60006.79	0.017	78.21	0.16	0.489
11	0.26	31087.030	60006.79	0.017	78.21	0.19	0.518
13	0.36	33764.659	60006.79	0.017	78.21	0.27	0.563
14	0.38	34372.320	60006.79	0.017	78.21	0.29	0.573

İtme Adımı	$u_{xN1}^{(i)}$	$V_{x1}^{(i)}$	M_{x1}	Φ_{xN1}	Γ_{x1}	d_{x1}	a_{x1}
15	0.38	34305.333	60006.79	0.017	78.21	0.29	0.572
16	0.43	35597.424	60006.79	0.017	78.21	0.32	0.593
17	0.48	36668.570	60006.79	0.017	78.21	0.36	0.611

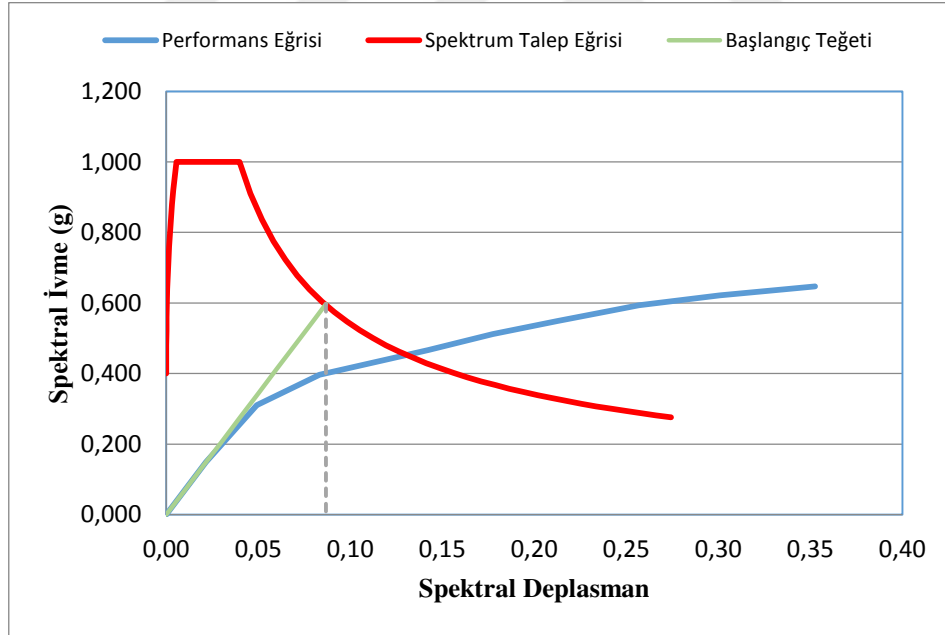
Çizelge 3.9. Y yönü modal kapasite hesapları

İtme Adımı	$U_{yN1}^{(i)}$	$V_{y1}^{(i)}$	M_{y1}	Φ_{yN1}	Γ_{y1}	d_{y1}	a_{y1}
0	0.00	0.000	59396.44	0.018	77.81	0.00	0.000
1	0.03	8841.108	59396.44	0.018	77.81	0.02	0.149
2	0.07	18454.159	59396.44	0.018	77.81	0.05	0.311
3	0.11	23561.754	59396.44	0.018	77.81	0.08	0.397
4	0.19	27706.732	59396.44	0.018	77.81	0.14	0.466
5	0.24	30386.318	59396.44	0.018	77.81	0.18	0.512
6	0.29	32596.987	59396.44	0.018	77.81	0.21	0.549
7	0.34	34693.605	59396.44	0.018	77.81	0.25	0.584
8	0.35	35226.733	59396.44	0.018	77.81	0.26	0.593
9	0.41	36901.629	59396.44	0.018	77.81	0.30	0.621
10	0.46	37959.516	59396.44	0.018	77.81	0.34	0.639
11	0.48	38424.349	59396.44	0.018	77.81	0.35	0.647

Analiz neticesinde performans noktasını belirlemek için taban kesme kuvveti-tepe noktası yerdeğiştirmesi verileri kullanılarak spektral ivme ve buna karşılık gelen spektral deplasman bulunmuştur. Bulunan bu veriler kullanılarak Performans eğrisi ile spektrum talep eğrileri çizilmiştir. Daha sonra performans eğrisinin başlangıç teğeti oluşturularak spektrum talep eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Tespit edilen bu yeni noktadan dik inilerek performans eğrisi ile karşılaştırılarak performans noktasının spektral ivme ve spektral deplasmanları bulunmuştur. Her iki yönde bulunan performans seviyeleri Şekil 3.20, Şekil 3.21’de verilmiştir.

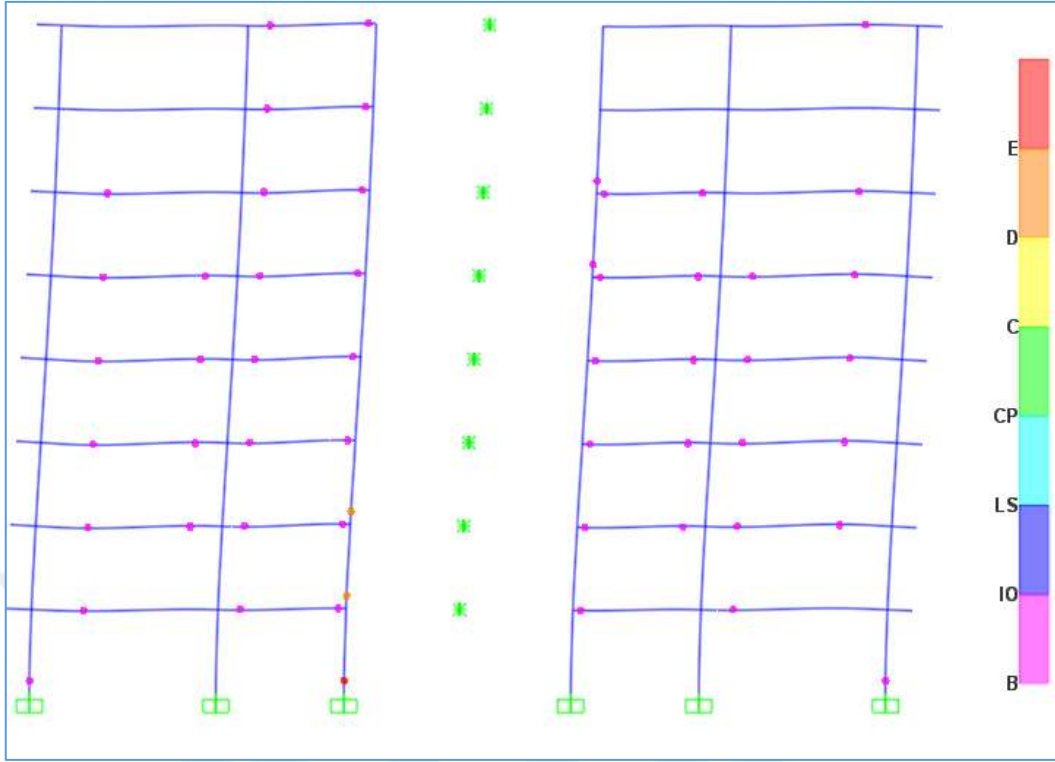


Şekil 3.20. PUSHX yüklemesi altında performans noktası

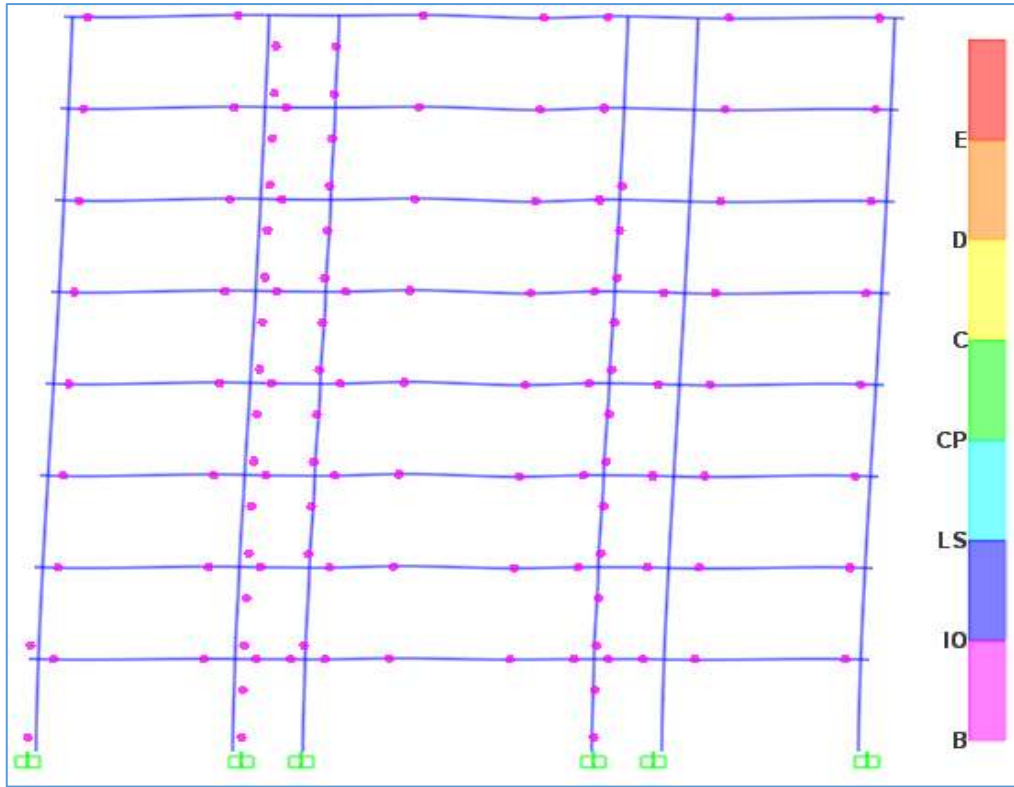


Şekil 3.21. PUSHY yüklemesi altında performans noktası

Plastik mafsallar Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.22. PUSHX yüklemesi altında oluşan plastik mafsallar



Şekil 3.23. PUSHY yüklemesi altında oluşan plastik mafsallar

3.9. Eleman Kesitlerinde Oluşan Hasarların Belirlenmesi

Kolon ve kiriş kesitlerinde oluşan hasar durumuna karşılık gelen plastik dönme istemi ve eğrilik değerleri TDY 2007’de verilen kesit hasar sınırları dikkate alınarak tespit edilmiştir. Ptostructure programında bu sonuçlar tablo olarak hazırlanarak sonuçlar alınmaktadır. Ancak SAP2000’ de ise Plastik dönme değerlerinin hasar sınırlarının belirlenmesi için “Section Designer” bölümünde kolon ve kiriş kesitleri tanımlanarak moment eğrilik eğrisi yardımıyla eğrilikler ve buna bağlı olarak plastik dönme hasar sınır değerleri tespit edilmiştir. Eleman hasar seviyeleri Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13’te verilmiştir [14].

3.9.1. Kiriş Birim Şekil Değiştirme İstemleri

TDY 2007 de tanımlanan malzeme birim şekil değiştirme sınır değerleri dikkate alınarak kirişlerin birim şekil değiştirme istemleri, eğrilikler ve buna bağlı olarak plastik dönme sınır değerleri belirlenmiştir. Plastik dönme hasar sınır değerleri kullanılarak kirişlerin hasar seviyelerine karar verilmiştir [15].

Çizelge 3.10. Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri

Şekil Değiştirme Sınırı	Hasar Sınırı	
	Betonda Birim Kısılma ϵ_{cu}	Donatıda Birim Kısılma ve Uzama ϵ_{su}
Minimum Hasar Sınırı	$\epsilon_{cu}=0.0035$	0.010
Güvenlik Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135$	0.040
Göçme Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GC}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0180$	0.060

Analiz sonucu belirlenen plastik dönme değerinin plastik mafsal boyuna bölünmesiyle plastik eğrilik değeri belirlenir. Plastik mafsal boyu kirişler için kiriş yüksekliğinin yarısı, kolon ve perdeler için ilgili yönde eleman boyunun yarısı olarak alınır.

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad (3.1)$$

Kiriş kesiti için section designer'dan elde edilen akma eğriliği, plastik eğrilik değeri ile toplanarak toplam eğrilik değeri hesaplanmıştır.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y \quad (3.2)$$

K102 kirişi için örnek hesap;

Section designer'da 30x60 kesitindeki K102 kirişinin moment eğrilik diyagramından toplam eğrilik değerine karşılık beton ve donatı birim şekil değiştirme değerleri okunmuştur (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. K102 kirişi moment - eğrilik diyagramı

K102 kirişinin beton ve donatı birim şekil değiştirme değerlerinin hesaplanması Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. K102 kirişi beton ve donatı birim şekil değiştirme değerleri

Kesit Adı	θ_p	h	$L_p = 0.5 \cdot h$	ϕ_p	ϕ_v	ϕ_t	ϵ_c	ϵ_s	Beton Hasar	Çelik Hasar
K102R	0	0.6	0.3	0	0.00665	0.00665	0.00048	0.00314	MH	MH
K102L	0.00083	0.6	0.3	0.00277	0.00665	0.00942	0.00055	0.00458	MH	MH

Artımsal itme analizi sonucu bulunan plastik dönme değeri kullanılarak section designer yardımıyla beton ve donatı birim şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Artımsal itme analizi sonucu K102 kirişi plastik dönme istemlerine karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri, yönetmelikte belirlenen birim şekil değiştirme sınır değerleriyle karşılaştırılarak hasar seviyesi tespit edilmiştir [14-15].

Sol uç için K102 kirişi minimum birim şekil değiştirme değeri, Çizelge 3.10’ da verilen birim şekil değiştirme sınır değerlerinin altında kaldığı için minimum hasar bölgesindedir.

$$\epsilon_{c \text{ sol uç}} = 0.00055 < \epsilon_{c \text{ MN}} = 0.0035$$

$$\epsilon_{s \text{ sol uç}} = 0.00458 < \epsilon_{s \text{ MN}} = 0.01$$

Sağ uç için K102 kirişinde dönme oluşmadığı için minimum hasar bölgesinde kabul edilmiştir.

$$\theta_{p \text{ sağ uç}} = 0$$

Benzer şekilde kolon ve perdeler için de hesaplamalar yapılarak x ve y yönü hasar durumları belirlenmiştir (Çizelge 3.12, Çizelge 3.13).

Çizelge 3.12. X doğrultusu tasarım depremi hasar durumları

Kat	Yapı Elemanı	PotaStructure				SAP2000			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
1.Kat	Kolonlar /Perdeler	96%			4%	96%			4%
2.Kat		100%				100%			
3.Kat		100%				100%			
4.Kat		100%				100%			
5.Kat		100%				100%			
6.Kat		100%				100%			
7.Kat		100%				100%			
8.Kat		100%				100%			
1.Kat	Kirişler	98%	2%			100%			
2.Kat		82%	16%		2%	96%	2%		2%
3.Kat		79%	19%		2%	95%	3%		2%
4.Kat		79%	19%		2%	91%	7%		2%
5.Kat		82%	16%		2%	94%	4%		2%
6.Kat		87%	13%			98%	2%		
7.Kat		95%	5%			100%			
8.Kat		98%	2%			100%			

PUSHX yüklemesi altında kolon ve perde hasar durumları bakımından incelendiğinde ProtaStructure ve SAP2000’de 1. katta elemanların 4%’ü göçme bölgesindedir. Kirişler için incelendiğinde; ProtaStructure ve SAP2000’de 4 kat için (2., 3., 4. ve 5. Katlar) elemanların 2%’si göçme bölgesindedir. ProtaStrure’da belirgin hasar bölgesine geçen elemanların oranı daha fazladır.

Çizelge 3.13. Y doğrultusu tasarım depremi hasar durumları

Kat	Yapı Elemanı	PotaStructure				SAP2000			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
1.Kat	Kolonlar /Perdeler	96%			4%	96%			4%
2.Kat		92%		4%	4%	96%			4%
3.Kat		92%		4%	4%	96%			4%
4.Kat		100%				100%			
5.Kat		96%			4%	96%			4%
6.Kat		100%				100%			
7.Kat		100%				100%			
8.Kat		100%				100%			
1.Kat	Kirişler	98%	2%			100%			
2.Kat		94%	6%		2%	98%			2%
3.Kat		92%	18%		4%	96%			4%
4.Kat		88%	22%			88%	12%		
5.Kat		92%	22%			94%	6%		
6.Kat		95%	20%			96%	4%		
7.Kat		95%	14%			96%	4%		
8.Kat		98%	4%			98%	2%		

PUSHY yüklemesi altında kolon ve perde hasar durumları bakımından incelendiğinde ProtaStructure ve SAP2000’de 4 katta (1., 2., 3. ve 5. Katlar) elemanların 4%’ü göçme bölgesine ulaşmıştır. ProtaStructure’ da 2. ve 3. katta elemanların 4%’ü ileri hasar bölgesine ulaşmıştır. Buna karşın SAP2000’de kolon ve perdelerde ileri hasar bölgesine ulaşan elaman bulunmamaktadır. Kirişler için incelendiğinde her iki programda da 2. katta elemanların 2%’si, 3. katta elamanların 4%’ü göçme bölgesindedir. ProtaStrure’da belirgin hasar bölgesine geçen elemanların oranı daha fazladır.

3.10. ProtaStructure ve SAP2000 sonuçlarının değerlendirilmesi

Her iki programın doğrusal olmayan analiz sonuçları Çizelge 3.14ve Çizelge 3.15’te detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Taban kesme kuvveti- tepe noktası yerdeğiştirmesinin karşılaştırılması

	SAP2000		ProtaStructure		Fark	
	PUSHX	PUSHY	PUSHX	PUSHY	PUSHX	PUSHY
Taban Kesme Kuvveti	25262.86 kN	23996.16 kN	25616.21 kN	24919.16 kN	1.40%	3.85%
Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi	0.1160 m	0.1180 m	0.1157 m	0.1181 m	-0.26%	0.08%

Çizelge 3.15. Performans noktasının karşılaştırılması

	SAP2000		ProtaStructure	
	PUSHX	PUSHY	PUSHX	PUSHY
Spektral İvme (g)	0.4210	0.4040	0.4269	0.4196
Spektral Yerdeğiştirme (m)	0.0862	0.0868	0.0861	0.0867

Yapılan her iki analiz neticesinde itme eğrisi verileri değerlendirildiğinde; ProtaStructure programından bulunan x yönü taban kesme kuvvetinin SAP2000 programı sonucuna göre farkı oransal olarak 1.40% olurken, y yönü için bu değer 3.85% olmaktadır. Tepe noktası yerdeğiştirmesi farkları ise x ve y yönleri için sırasıyla -0.26% ve 0.08% oranlarında olmaktadır. Tepe noktası yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvvetine göre daha yakın çıkmıştır.

4. BETONARME BİR YAPININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemi ile performans incelenmesi yapılmıştır. Zaman Tanım Alanı için 3 adet Deprem ivme kaydı kullanılarak benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları elde edilmiştir. TDY 2007’de belirtildiği gibi 3 adet deprem kaydı kullanılması durumunda sonuçların büyük olanının dikkate alınması gerekir.

4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal olmayan Analiz Yöntemi

Bu yöntemde öncelikli olarak doğru ivme kayıtlarının kullanılması gerekmektedir. Bunun için seismomatch yardımıyla zemin ve deprem durumları dikkate alınarak belirlenen tepki spektrum eğrisi kullanılarak seçilen ivme kayıtlarının benzeştirilmiş ivme kayıtları alınarak SAP2000’de zaman tanım alanı ivme fonksiyonları oluşturulmuştur. Her ivme kaydı için x ve y olmak üzere iki adet yükleme yapılarak toplamda 6 adet yükleme yapılmıştır.

4.2. Analizlerde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Zaman tanım alanında üç adet deprem ivme kaydının taşınması gereken koşullar TDY 2007 Bölüm 2.9.1’de tanımlandığı gibi;

- Kuvvetli yer hareketinin anlamlı süresi, 15 saniyeden küçük olmayacaktır. Ayrıca yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından küçük olmayacaktır.
- Yer hareketinin ilk periyoduna denk gelen spektral ivmelerin ortalaması A_0g ’den büyük olmalıdır.
- Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 ’e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, TDY 2007 Bölüm 2.4’te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90’ından daha az olmayacaktır [9].

Seçilen ivme kayıtlarının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi Çizelge 4.1’de anlamlı süre olarak adlandırılan bu süre binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katı olan $5 \cdot T_1 = 4.62$ sn ve 15 sn’den büyüktür.

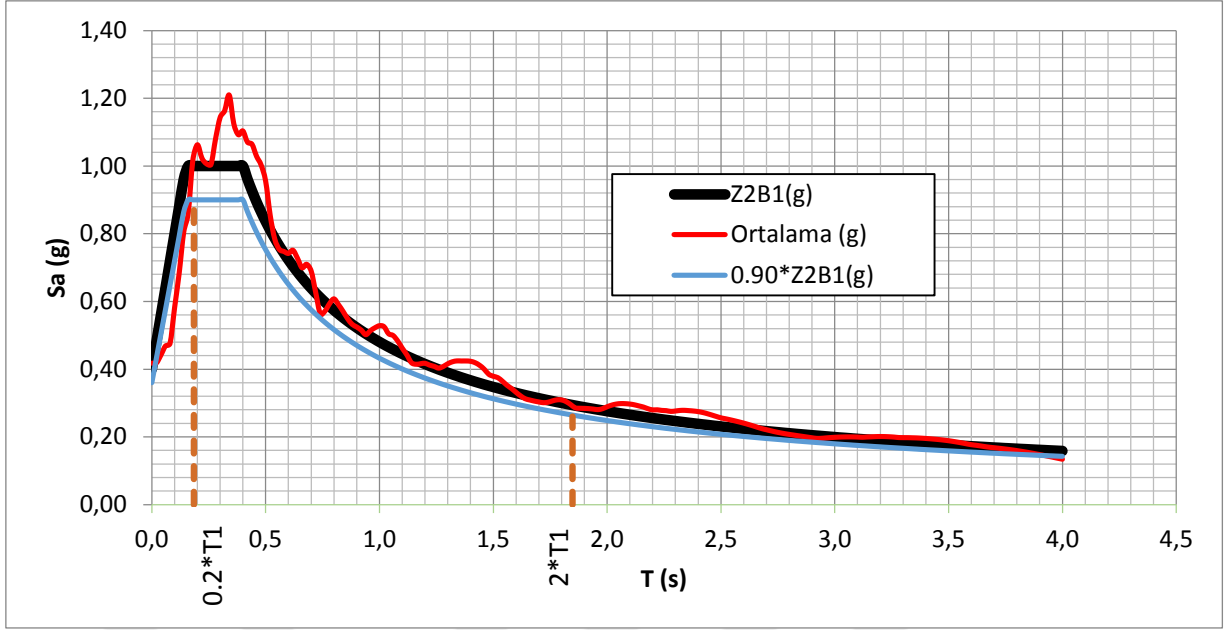
Çizelge 4.1. Seçilen ivme kayıtları [11]

Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Kayıt Adı	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre
İmperial Valley	15.10.1979	Calipatria Fire Station	H-CAL315	39.5	20.57
Supersition Hills	24.11.1987	Westmorland Fire Station	B-WSM090	40	17.39
Northridge	17.01.1994	El Monte - Fairview Av	FAI095	35	20.48

Yer hareketinin ilk periyoduna denk gelen spektral ivmelerin ortalaması A_0g ’den büyüktür
(Çizelge 4.2).

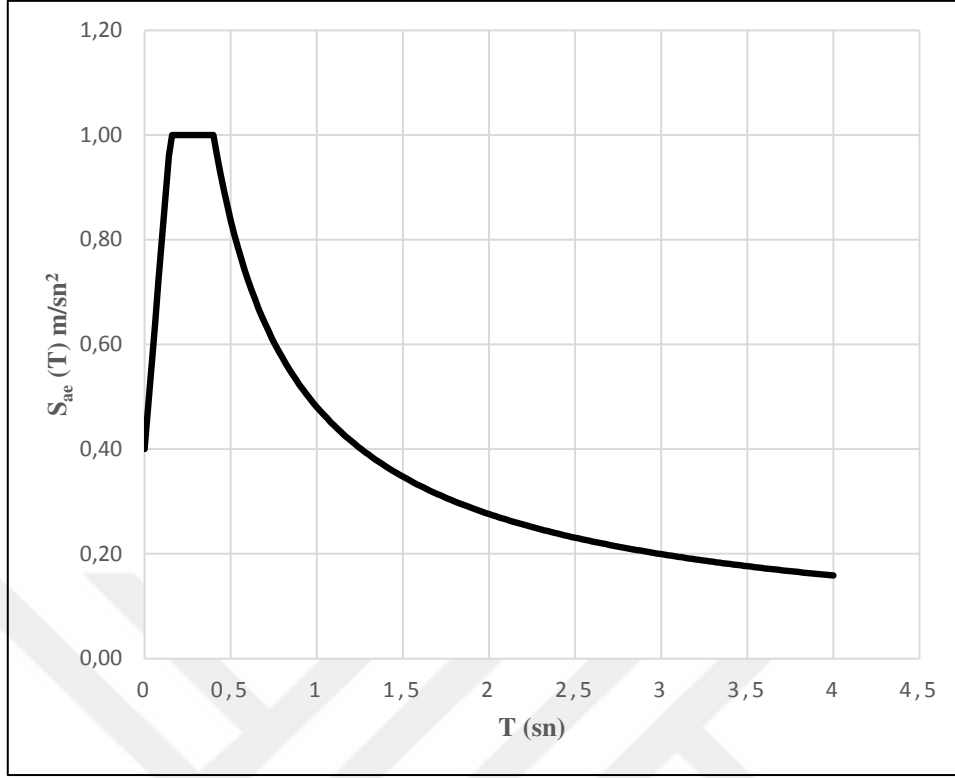
Çizelge 4.2. Seçilen deprem kayıtlarının ortalama ivme kontrolü

Kayıt No	Kayıt Adı	Spektal İvme (g) (T=0)	Ortalama İvme (g)
1	İmperial Valley	0.39444	0.41391g > 0.4g
2	Supersition Hills	0.38227	
3	Northridge	0.46502	



Şekil 4.1. Spektral ivme değerlerinin ortalaması kontrolü ($0.2 \cdot T_1 - 2 \cdot T_1$)

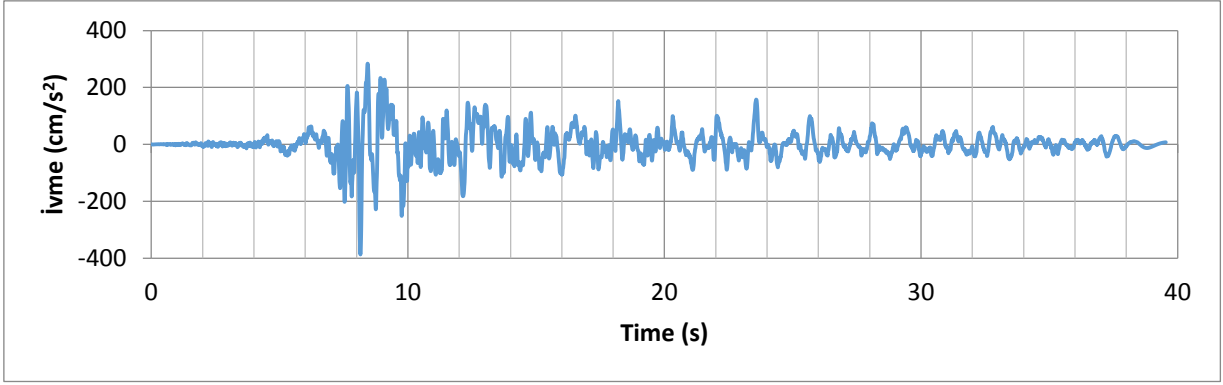
Zaman tanım alanı analizinde kullanılacak olan gerçek depremlere ait ivme kayıtları; 1979 yılında gerçekleşen Imperial Valley depremi, 1987 yılında gerçekleşen Superstition Hills-02 ve 1994 yılında gerçekleşen Northridge depremleridir. Bu ivme kayıtları ölçeklendirilirken Seismomatch programı kullanılmıştır. 1.derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı tasarım ivme spektrumu dikkate alınarak ölçeklendirme işlemi yapılmıştır (Şekil 4.1). Z2 zemin sınıfı ve 1. Derece deprem bölgesine ait ivme Spektrumu Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



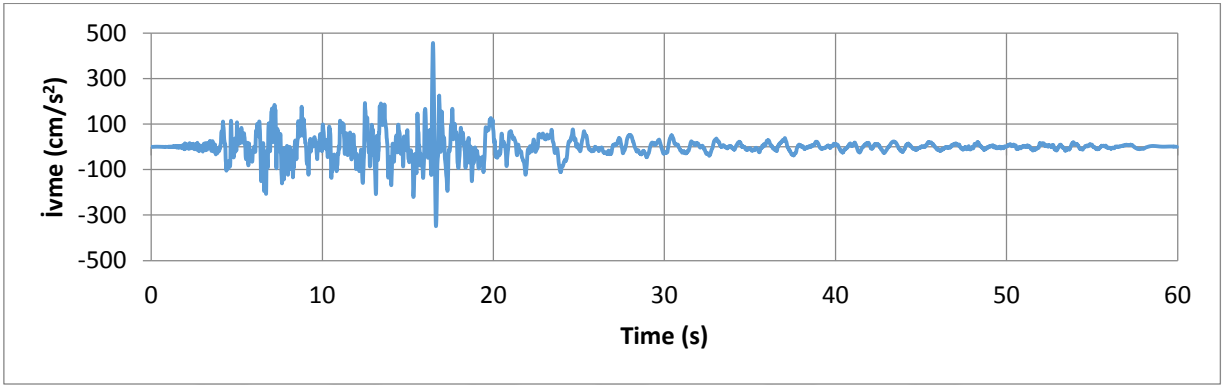
Şekil 4.2. Elastik spektrum eğrisi $S_{ae}(T)$

4.3. İvme Kayıtlarının Ölçeklenmesi

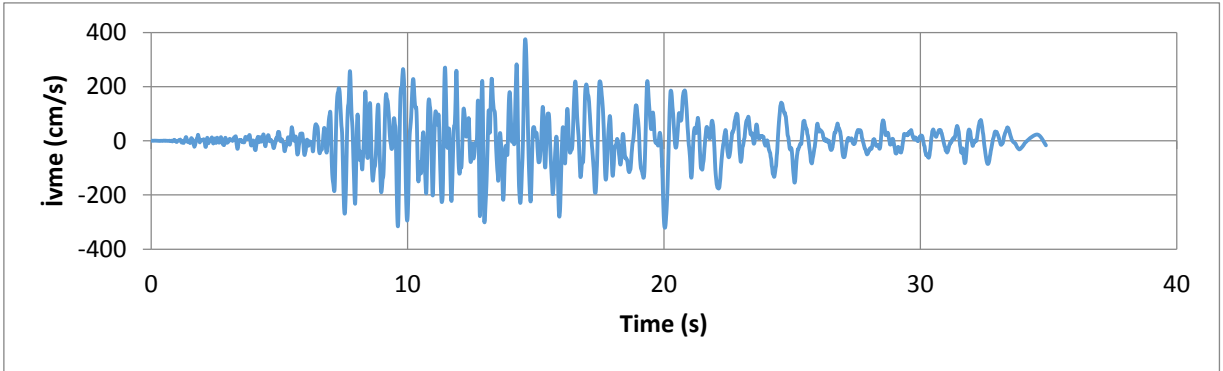
İvme kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinin (PEER), <https://ngawest2.berkeley.edu> adlı internet sitesi veri tabanındaki deprem ivme kayıtlarından alınmıştır. Seçilen ivme kayıtları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Seismosoft firmasının geliştirmiş olduğu seismosignal programı kullanılarak filtreleme ve eksen düzleştirme işlemleri yapıldıktan sonra seismomatch programı kullanılarak ölçekleme işlemi yapılmıştır [21]. Ölçeklenmiş ivme kayıtları Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. İmperial Valley ölçeklenmiş ivme kaydı

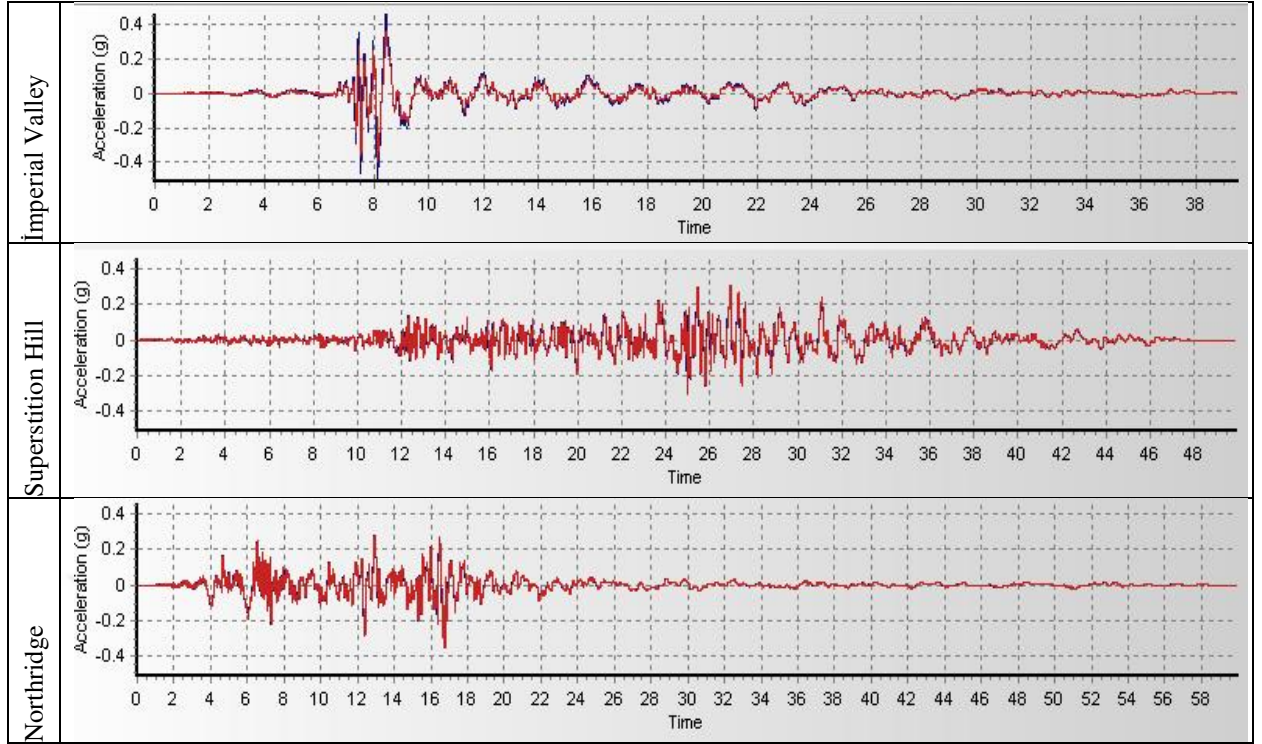


Şekil 4.4. Supersition Hills ölçeklenmiş ivme kaydı



Şekil 4.5. Northridge ölçeklenmiş ivme kaydı

Ham ve ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Ham ve ölçeklenmiş ivme- zaman grafikleri

4.4. SAP2000 de Zaman Tanım Alanı Fonksiyonun Tanımlanması

Seismomatch ile ölçeklenen ivme kayıtları SAP2000’de “Define > Function > Time History” menüsünde ivme fonksiyonu olarak tanımlanır. Çalışmada kullanılan İmperial Valley, Supersition Hills ve Northridge ivme kayıtlarının ölçeklenmiş hali tanımlanmıştır.

4.5. Zaman Tanım Alanı Yüklemesinin yapılması

Tanımlanan ivme fonksiyonları kullanılarak her ivme kaydı için X ve Y olmak üzere toplamda 6 adet yükleme tanımlanmıştır. Yükleme durumları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Define Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
MODAL	Modal
G	Linear Static
Q	Linear Static
DX+	Linear Static
DX-	Linear Static
DY+	Linear Static
DY-	Linear Static
NL_G	Nonlinear Static
Imperial Valley X	Nonlinear Direct Integration History
Northridge X	Nonlinear Direct Integration History
Superstition Hills X	Nonlinear Direct Integration History
Imperial Valley Y	Nonlinear Direct Integration History
Northridge Y	Nonlinear Direct Integration History
Superstition Hills Y	Nonlinear Direct Integration History

Click to:

Add New Load Case...

Add Copy of Load Case...

Modify/Show Load Case...

Delete Load Case

Display Load Cases

Show Load Case Tree...

OK Cancel

Şekil 4.7. Doğrusal olmayan analiz için yükleme durumları

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: Imperial valley X Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case NL_G

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

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	imperial valle	9.81
Accel	U1	imperial valley	9.81

Add

Modify

Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 2500

Output Time Step Size: 0.01

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

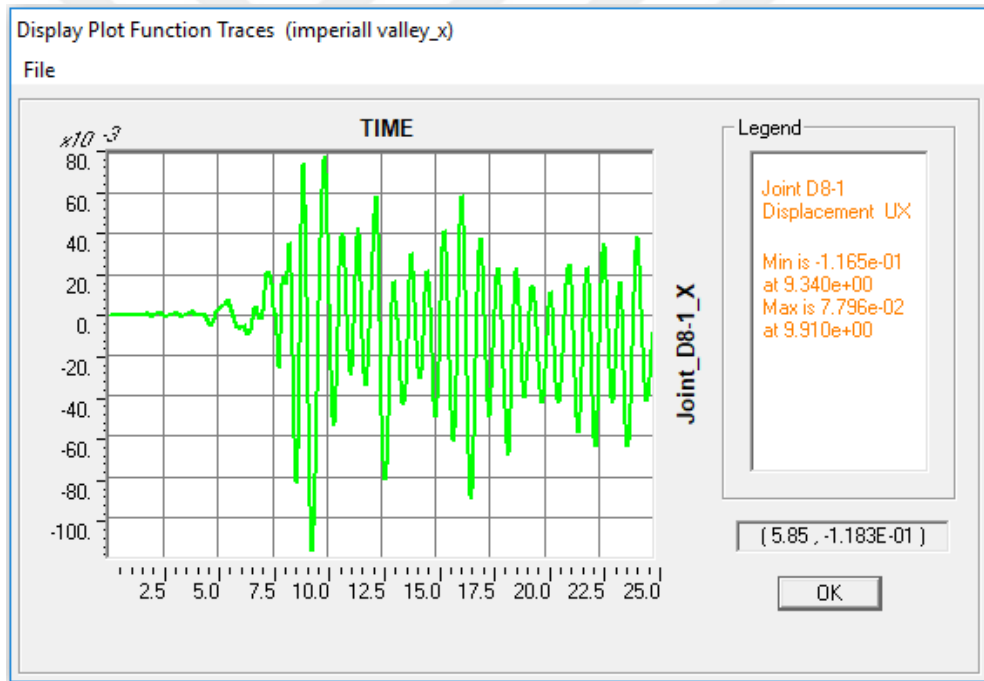
Şekil 4.8. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için veri girişi

Başlangıç koşulları NL_G olacak şekilde İmperial Valley yüklemesi yapılmıştır. Bu yüklemde yük tipi olarak “Acceleration”, yük adı olarak X eksenini ifade etmesi için U1 seçilmiştir. İvme fonksiyonu olarak da İmperial Valley fonksiyonu seçilmiştir. Yükleme

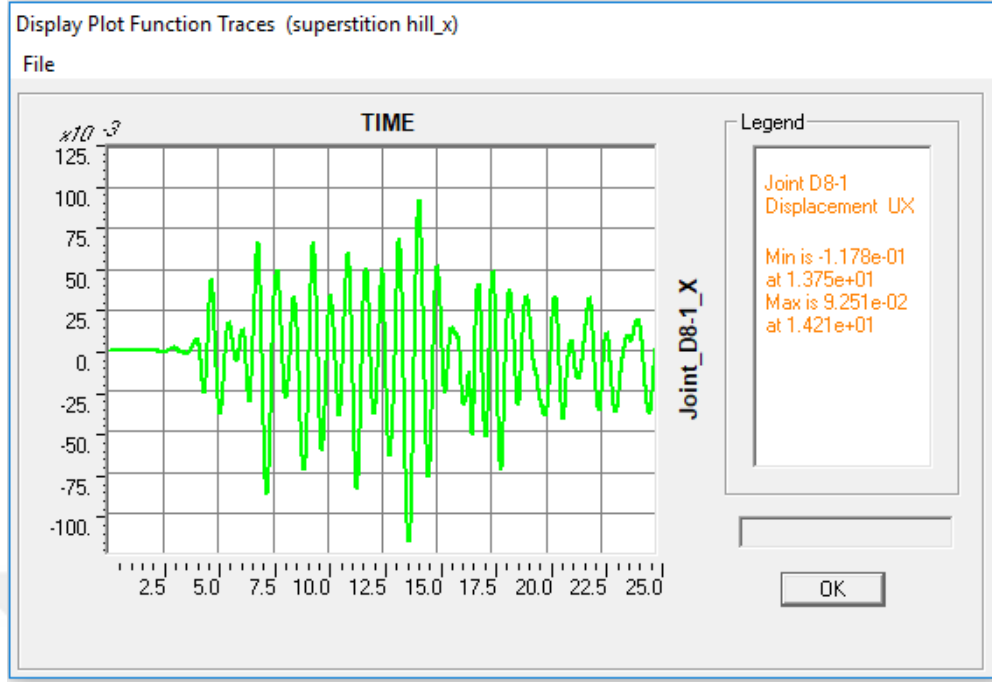
adımları toplamda 25 sn olacak şekilde 0.01 sn zaman aralığı kullanılmıştır. Diğer parametreler kısmında sönüm oranı bölümünde “specify damping by period” seçilerek x yönü 1. ve 2. periyotlar girilerek sönüm oranı tanımlanmıştır. Diğer yüklemeler de benzer şekilde yapılarak zaman tanım alanı yüklemeleri oluşturulmuştur.

4.6. Performans Seviyesinin Belirlenmesi

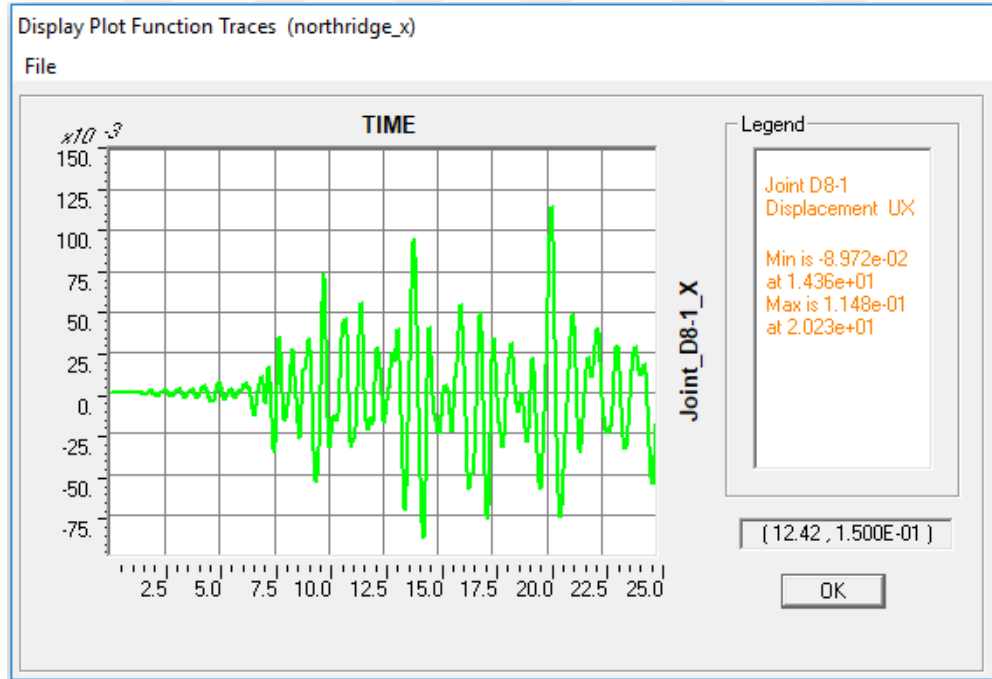
Doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemi ile analiz işlem süresinin uzunluğu ve oluşan dosya büyüklüğü dikkate alınarak x ve y yönü ayrı ayrı olarak kaydedilmiştir. Performans değerlendirmesi yaparken üç adet ivme kaydı kullanıldığı için sonuçların maksimumu dikkate alınmıştır (Şekil 4.9 - Şekil 4.14)



Şekil 4.9. İmperial Valley X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği



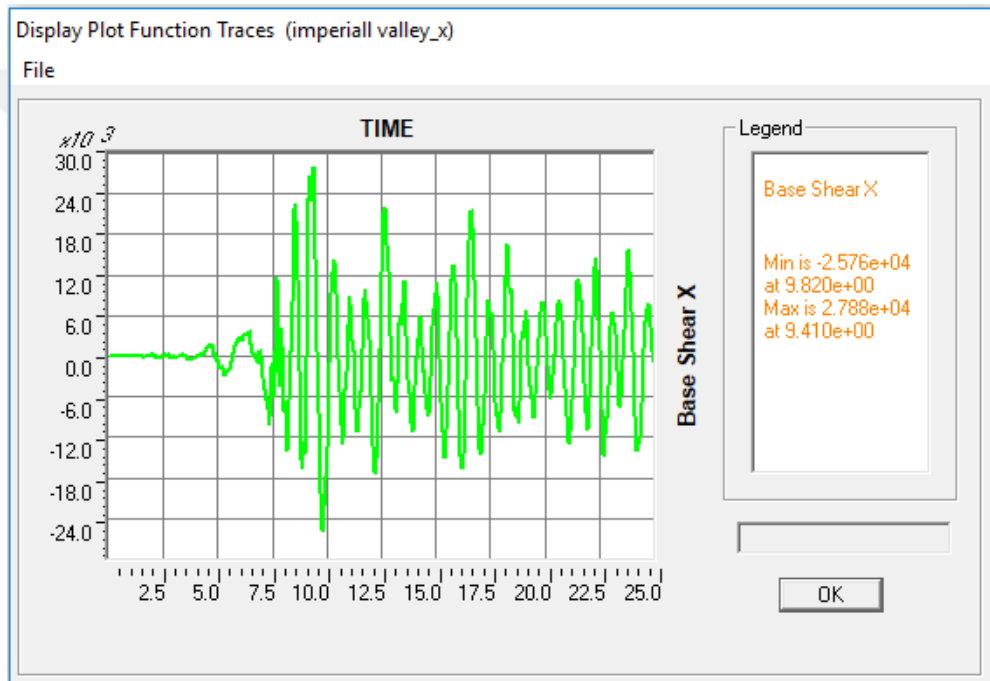
Şekil 4.10. Supersititon Hill X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği



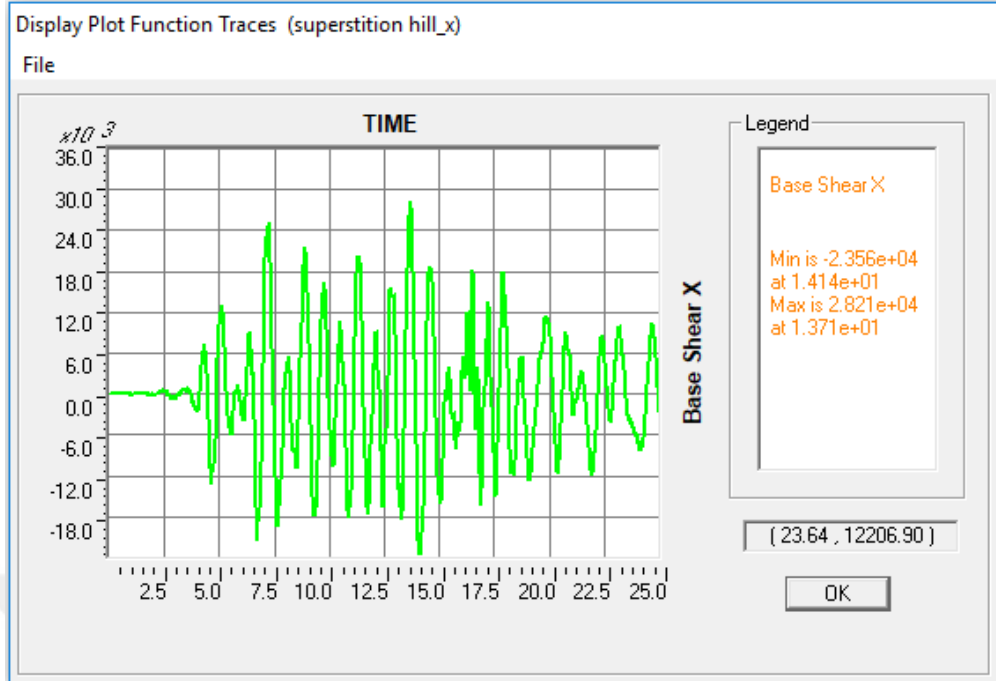
Şekil 4.11. Northridge X yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği

Çizelge 4.3. İvme yüklemelerinin maksimum değerlerinin belirlenmesi (x yönü)

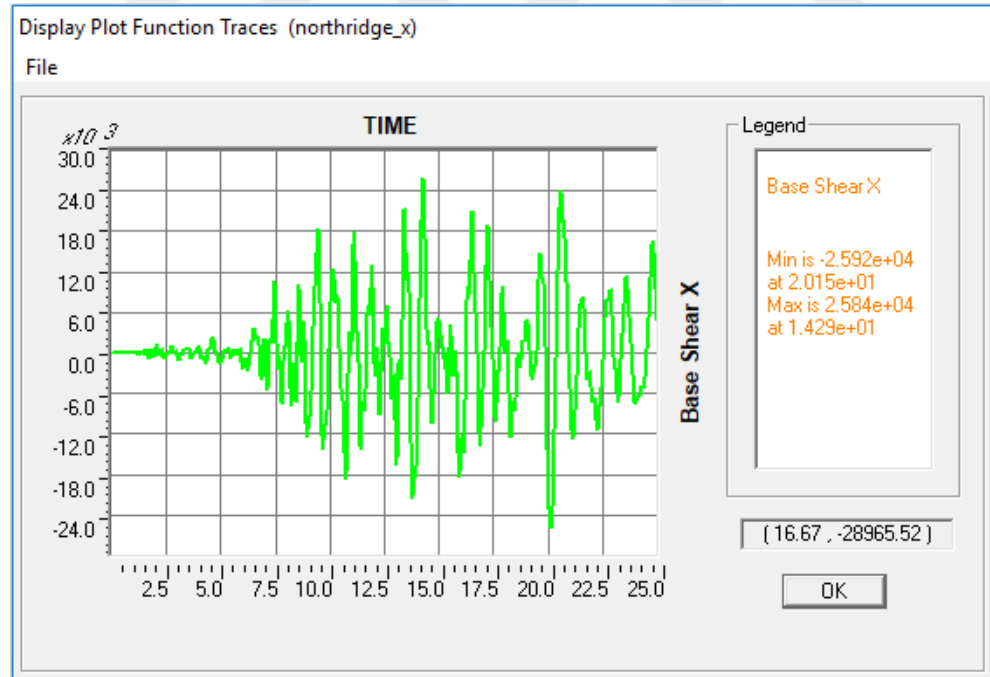
	Max. Taban Kesme Kuvvetine Göre			Max. Tepe Noktası Yerdeğiştirmesine Göre		
Yükleme Adı	Zaman (Sn)	Kesme Kuvveti (kN)	Deplasman (m)	Zaman (Sn)	Kesme Kuvveti (kN)	Deplasman (m)
İmperial Valley X	9.41	27880	0.1048	9.34	25471.37	0.1165
Supersition Hills X	13.71	28210	0.1155	13.75	26853.60	0.1178
Northridge X	20.15	25920	0.0972	20.23	22680.42	0.1148



Şekil 4.12. İmperial Valley X yüklemesi altında taban kesme kuvveti - zaman grafiği



Şekil 4.13. Supersition Hills X yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği



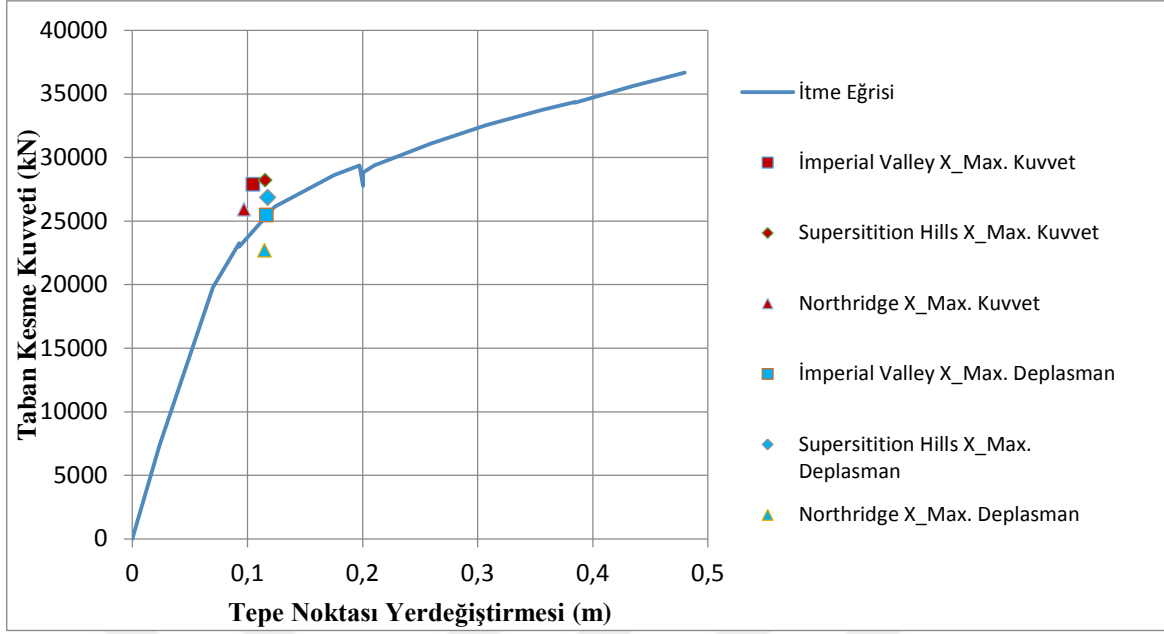
Şekil 4.14. Northridge X yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği

X yönü ivme yüklemeleri sonucunda D8-1 nolu düğüm noktasının maksimum yerdeğiştirme ve Taban kesme kuvveti değerlerine Supersition Hills X yüklemesiyle ulaşılmıştır. Maksimum yerdeğiştirme değeri 11.8 cm'dir. Bu yerdeğiştirme değerine 13.75 sn anında ulaşılmıştır. Maksimum taban kesme kuvveti değeri 28210 kN'dur. Bu değere 13.71 sn anında ulaşılmaktadır. (Çizelge 4.3).

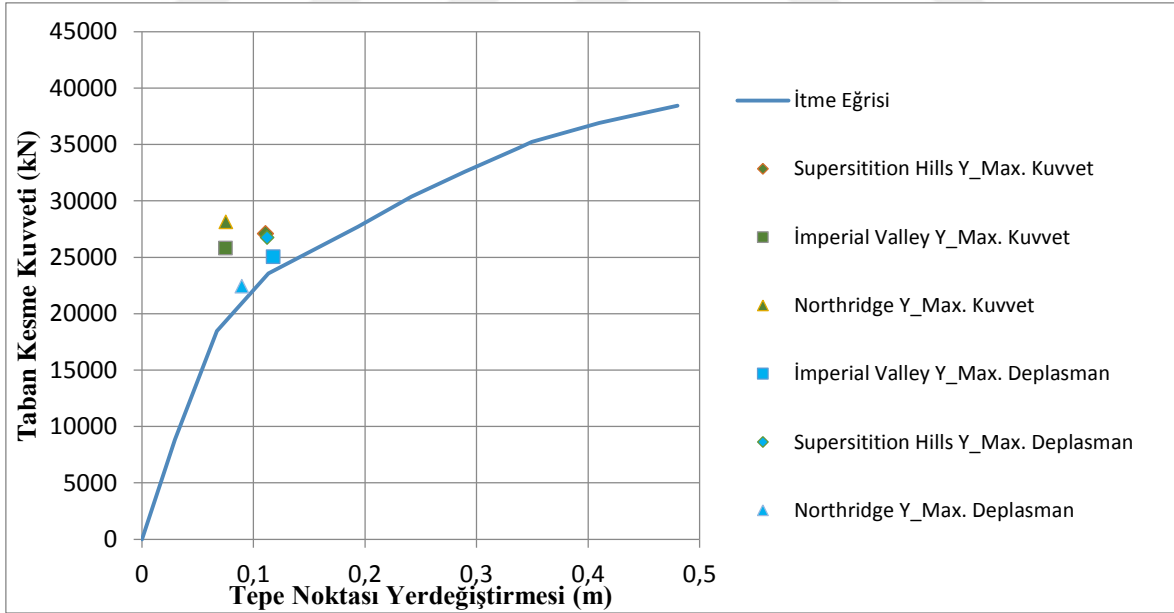
Çizelge 4.4. İvme yüklemelerinin maksimum değerlerinin belirlenmesi (y yönü)

Yükleme Adı	Max. Taban Kesme Kuvvetine Göre			Max. Tepe Noktası Yerdeğiştirmesine Göre		
	Zaman (Sn)	Kesme Kuvveti (kN)	Deplasman (m)	Zaman (Sn)	Kesme Kuvveti (kN)	Deplasman (m)
İmperial Valley Y	9.21	25810	0.0749	9.34	25029.57	0.1177
Supersition Hills Y	13.68	27080	0.1110	13.65	26724.80	0.1124
Northridge Y	14.29	28130	0.0752	20.21	22413.77	0.0897

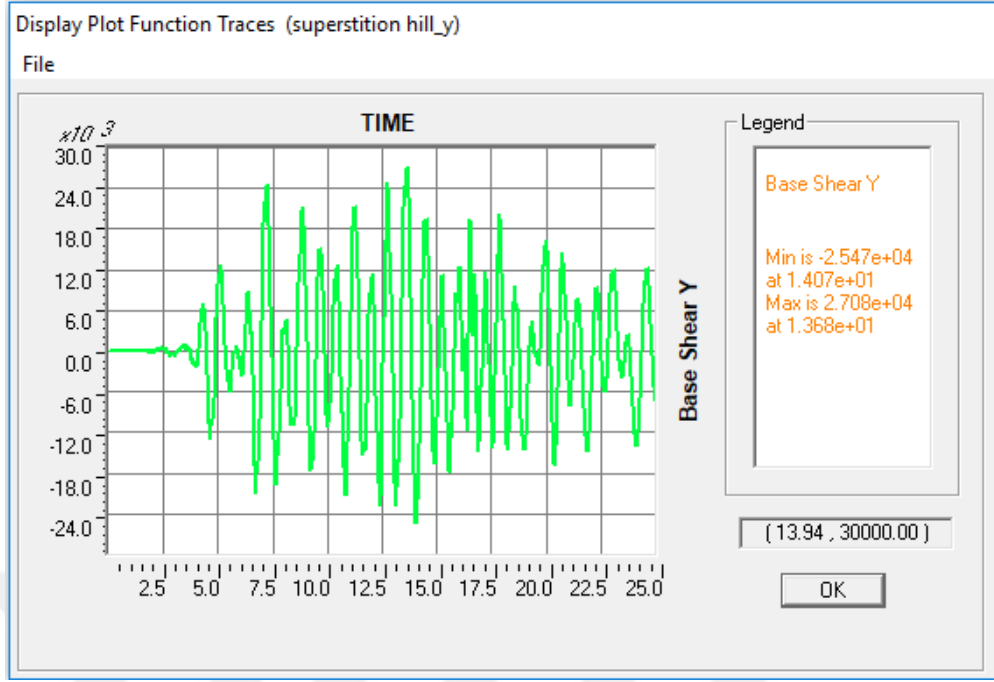
Y yönü ivme yüklemeleri sonucunda D8-1 nolu düğüm noktasının maksimum yerdeğiştirme değerine İmperial Valley Y yüklemesi ile ulaşılmıştır. Bu yüklemeye altındaki maksimum yerdeğiştirme değeri 11.77 cm'dir. Bu yerdeğiştirme değerine 9.34 sn anında ulaşılmıştır (Çizelge 4.4). Maksimum taban kesme kuvveti değerine ise Northridge Y yüklemesi ile ulaşılmıştır. Bu yüklemeye durumundaki maksimum taban kesme kuvveti değeri 28130 kN'dur. Bu taban kesme kuvveti değerine 14.29 sn anında ulaşılmıştır. Her iki yön için maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum yerdeğiştirme durumları Şekil 4.15, Şekil 4.16'da itme eğrisinin üzerine çizilmiştir. Maksimum yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri Şekil 4.17- Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



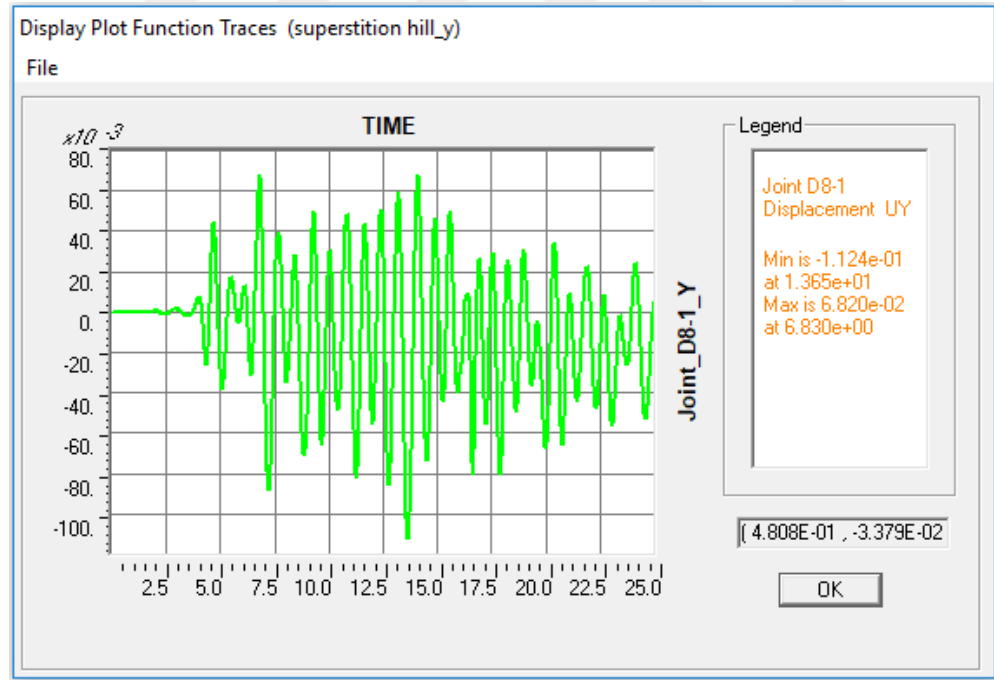
Şekil 4.15. X yönü maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin itme eğrisi üzerinde gösterilmesi



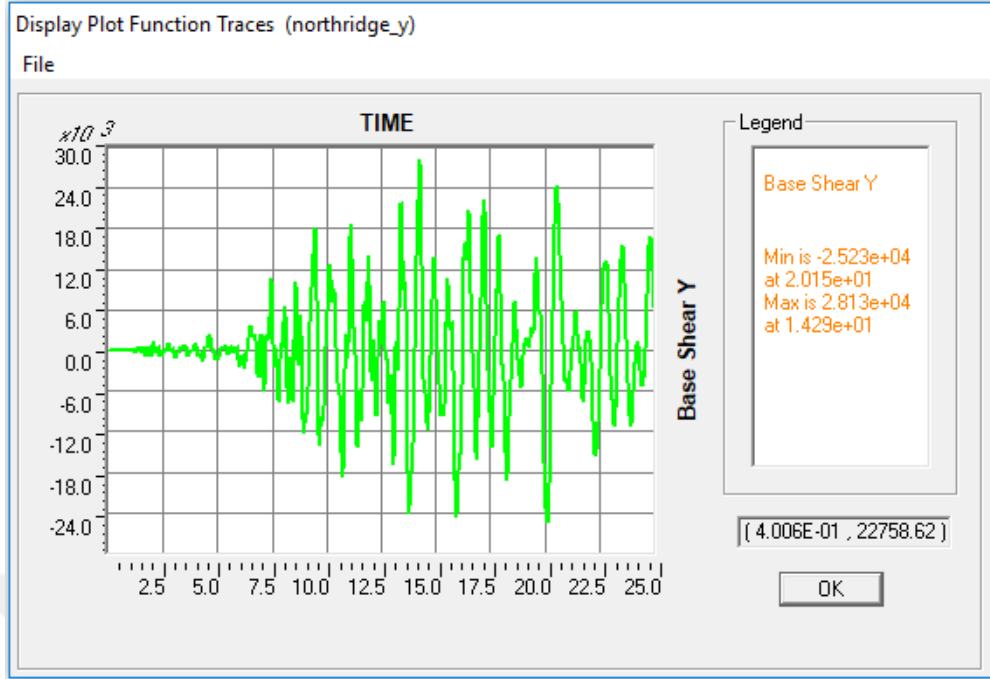
Şekil 4.16. Y yönü maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin itme eğrisi üzerinde gösterilmesi



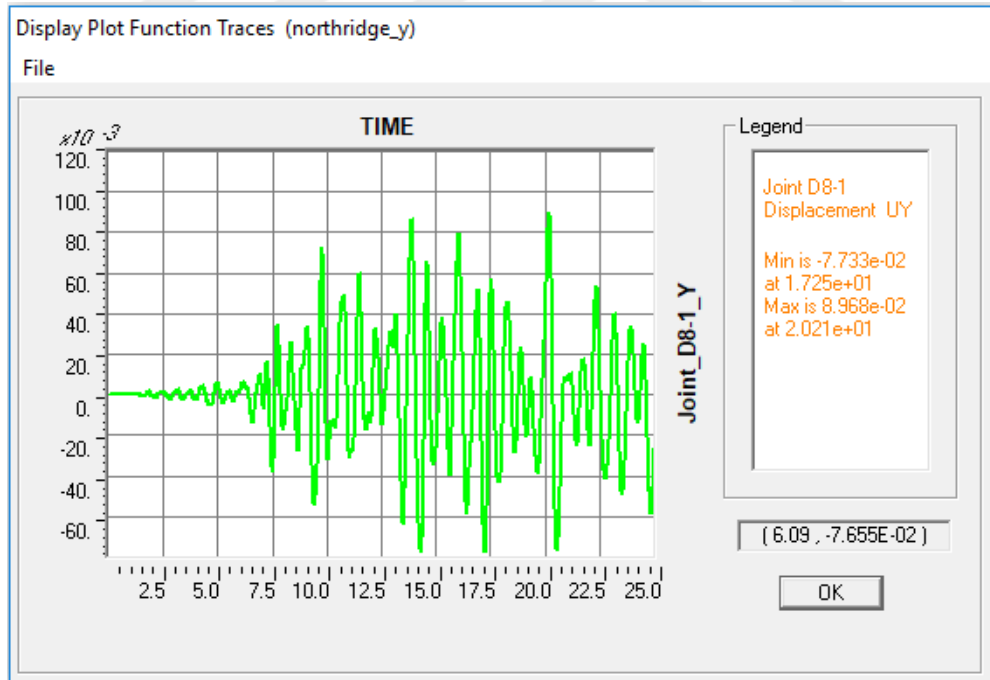
Şekil 4.17. Supersition Hills Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği



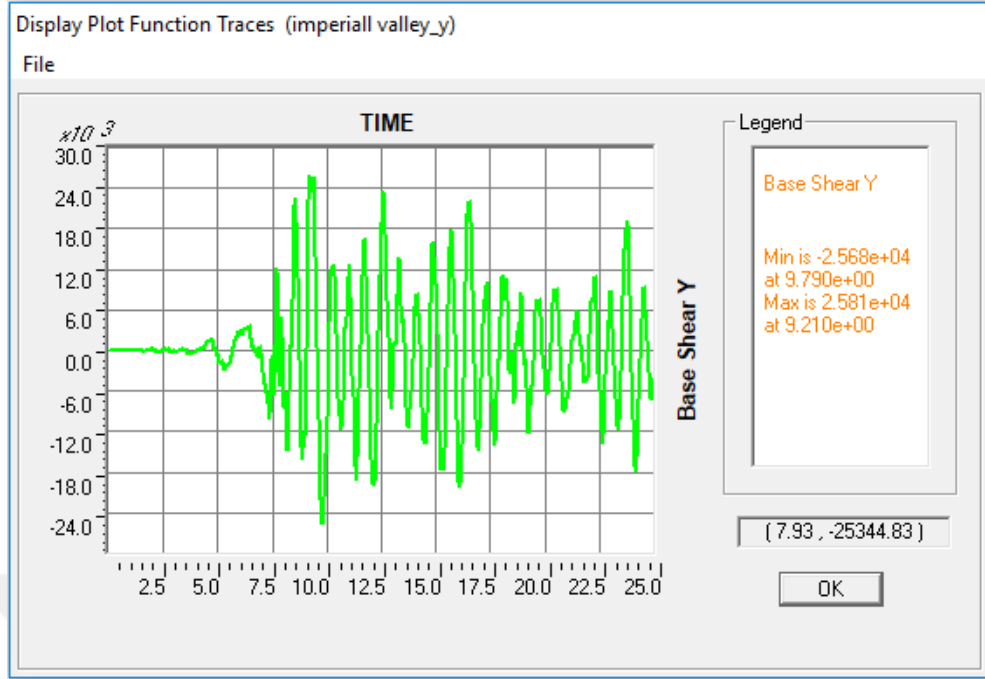
Şekil 4.18. Supersition Hills Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği



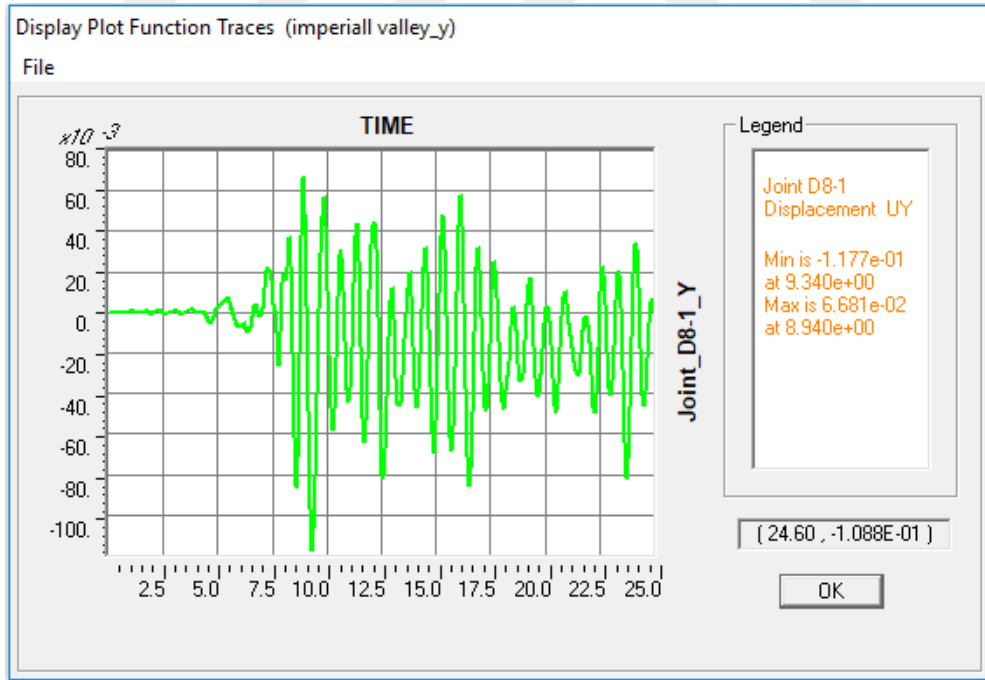
Şekil 4.19. Northridge Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği



Şekil 4.20. Northridge Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği



Şekil 4.21. İmperial Valley Y yüklemesi altında taban kesme kevveti - zaman grafiği



Şekil 4.22. İmperial Valley Y yüklemesi altında d8-1 nolu düğüm noktasının yerdeğiştirme - zaman grafiği

4.7. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Her iki yöntemle yapılan analizler neticesinde bulunan taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirme istemleri karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında hesap yönteminde üç adet ivme kaydı kullanıldığı için bulunan sonuçların maksimumu dikkate alınmıştır.

Zaman tanım alanı hesap yönteminde (ZTAHY); X yönü yüklemesi için maksimum değere Supersition Hills ölçeklenmiş ivme kaydı ile ulaşılmıştır. Y yönü için ise İmperial Valley ölçeklenmiş ivme kaydı ile ulaşılmıştır. X yönü Maksimum taban kesme kuvveti 26853.60 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 11.78 cm'dir (Çizelge 4.5). Y yönü Maksimum taban kesme kuvveti 25029.57 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 11.77 cm'dir (Çizelge 4.).

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde (AEDYY); X yönü Maksimum taban kesme kuvveti 25262.86 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 11.6 cm'dir. Y yönü için Maksimum taban kesme kuvveti 23996.16 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 11.8 cm'dir (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. X yönü performans değerlerinin karşılaştırılması

	Taban Kesme Kuvveti	Tepe Noktası Yerdeğiştirme
AEDYY	25262.86 kN	0.1160 m
ZTAHY	26853.60 kN	0.1178 m
AEDYY / ZTAHY	0.941	0.985

Çizelge 4.6. Y yönü performans değerlerinin karşılaştırılması

	Taban Kesme Kuvveti	Tepe Noktası Yerdeğiştirme
AEDYY	23996.16 kN	0.1180 m
ZTAHY	25029.57 kN	0.1177 m
AEDYY / ZTAHY	0.959	1.003

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemiyle bulunan sonuçlarla artımsal itme analizi yöntemi sonuçları ZTAHY esas alınarak oransal değer olarak karşılaştırıldığında; AEDYY ile hesaplanan x ve y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri sırasıyla -5.9% ve -4.1% daha düşük çıkmıştır. x ve y yönlerindeki tepe noktası yerdeğiştirme istemleri arasındaki farklar ise sırasıyla -1.5% ve +0.3% oranında bulunmuştur. Dolayısıyla her iki yön için AEDYY ile hesaplanan tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre daha düşük çıkmıştır. AEDYY ile hesaplanan x yönü tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre daha düşük olurken, AEDYY ile hesaplanan y yönü tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre fazla bulunmuştur.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında; doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak betonarme bir yapının deprem performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sayısal uygulama için 8 katlı, perdeli-çerçeve bir sistem seçilmiştir.

Üç boyutlu modellenen bu yapının üçüncü bölümde ProtaStructure ve SAP2000 paket programlarıyla statik itme analizleri yapılmış ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise, aynı yapının SAP2000 programı ile zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar artımsal itme analizi çözümleri ile karşılaştırılmıştır.

Artımsal itme analizi sonuçları her iki program için değerlendirildiğinde; ProtaStructure programından bulunan x yönü taban kesme kuvveti SAP2000 programı sonucuna göre farkı oransal olarak 1.40% olurken, y yönü için bu değer 3.85% olmaktadır. Tepe noktası yerdeğiştirmesi farkları ise x ve y yönleri için sırasıyla -0.26% ve 0.08% oranlarında olmaktadır. Tepe noktası yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvvetine göre daha yakın çıkmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemiyle bulunan sonuçlarla artımsal itme analizi yöntemi sonuçları ZTAHY esas alınarak oransal değer olarak karşılaştırıldığında; AEDYY ile hesaplanan x ve y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri sırasıyla -5.9% ve -4.1% daha düşük çıkmıştır. x ve y yönlerindeki tepe noktası yerdeğiştirme istemleri arasındaki farklar ise sırasıyla -1.5% ve +0.3% oranında bulunmuştur. Dolayısıyla her iki yön için AEDYY ile hesaplanan tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre daha düşük çıkmıştır. AEDYY ile hesaplanan x yönü tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre daha düşük olurken, AEDYY ile hesaplanan y yönü tepe noktası yerdeğiştirmesi ZTAHY'ne göre fazla bulunmuştur.

ProtaStructure paket programında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olmadığı için bu alanda kıyaslama yapılamamıştır.

Bu değerlendirmeler ışığında ProtaStructure programı ile modellenen yapının artımsal itme analizi sonuçları, SAP2000 programı ile hesaplanan çözümlerle karşılaştırıldığında kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır. Ancak bu çalışma kapsamında betonarme konut türü bir tek yapı incelenmiştir. Daha tatminkâr bir sonuca varabilmek için farklı kat

adetlerine, farklı geometrilere ve farklı düzensizliklere sahip birçok yapının dikkate alınması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Darilmaz, K., ve Kumbasar, N.,** (1998). Düzgün Yayılı Yük Etkisindeki Betonarme Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrusal Olmayan Hesabı, TMMOB Teknik Dergi, Temmuz
- [2] **Merter, O., Uçar, T., Bozdağ, Ö., Düzgün, M., ve Korkmaz, A.,** (2013). Betonarme çerçeve yapıların gerçek depremlere ait ivme Kayıtları ile doğrusal olmayan dinamik analizi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eylül
- [3] **Fahjan, Y.M., Kubin, J., ve Tan, M.T.** 2010. Nonlinear analysis methods for reinforced concrete buildings with shear walls. *14th ECEE 2010*, Ohrid, 30 August-3 September.
- [4] **İnel, M., Özmen H.B., ve Bilgin, H.,** (2008). Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey, *Engineering Structures*, 30, 412–427.
- [5] **İnel, M., ve Özmen H. B.,** (2006). Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings, *Engineering Structures*, 28, 1494–1502.
- [6] **Korkmaz, K.A., ve Düzgün M.** (2006). Statik artımsal itme analizinde kullanılan yük dağılımlarının değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 3873 -3878, Yazı 255.
- [7] **Sucuoğlu, H.,** (2006). 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı: 444-445 - 2006/4-5
- [8] **Yön, B.,** (2014). Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Etkisindeki Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü
- [9] **TDY,** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara
- [10] **Celep, Z.,** (2017). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [11] **Özdemir, Z., Fahjan Y.,** (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman Ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Ekim16-20
- [12] **TS500,** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

- [13] **Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) Açıklamalar Ve Örnekler El Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- [14] **MORAL, A.** (2014). Kat Adetleri Farklı Binaların Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [15] **PİR, M. C.** (2014). Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Performansının Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] **SAP2000 v.15.1.0**, Computers and Structures Inc., Berkeley, USA
- [17] **SEISMOMATCH v. 2016**, Seismo Soft, Pavia, Italy.
- [18] **ProtaStructure 2016 v.02.0-sp11** Prota A.Ş., İstanbul, Türkiye.
- [19] **SEISMOSIGNAL v. 2016**, Seismo Soft, Pavia, Italy.
- [20] <https://ngawest2.berkeley.edu>
- [21] **KARACA, A.** (2014). 33 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Nuri KOLAK, 1980 yılında Bingöl ili Genç ilçesinde doğmuştur. İlkokul ve ortaokulu Bingöl'de tamamlamıştır. Lise öğrenimini ise Erzincan Nevzat Ayaz Fen Lisesinde tamamlamıştır. 2000 yılında, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmış ve 2005 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. 2010 yılına kadar özel sektörde proje ve taahhüt işlerinde çalışmıştır. 2010 yılında Bingöl Üniversitesi Bingöl Yüksekokulu'na öğretim görevlisi olarak atanmıştır. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.