

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KAT ADETLERİ FARKLI İKİ ADET BETONARME YAPININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE TASARIM
SONUÇLARININ TBDY 2019 KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Çağatay TURNA

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı**

Haziran, 2021

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KAT ADETLERİ FARKLI İKİ ADET BETONARME YAPININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE TASARIM
SONUÇLARININ TBDY 2019 KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Çağatay TURNA
(Y1913.090006)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN

Haziran, 2021

ONAY FORMU

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Kat Adetleri Farklı İki Adet Betonarme Yapının Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizine Göre Tasarım Sonuçlarının TBDY 2019 Kapsamında Değerlendirilmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve etik geleneklere aykırı düşecek bir davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yaparak yararlanmış olduğumu belirtir ve onurumla beyan ederim. 07/07/2021

İsmail Çağatay TURNA

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü konuda desteğini esirgemeyen, çalışmalarımı ilgili konularda gerekli yönlendirmeyi sağlayan; kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü durumda yanımda olan, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili ailem; bu tezin ortaya çıkmasındaki en büyük emek sizindir. Emeginiz ve varlığınız için çok teşekkürler.

Haziran,2021

İsmail Çağatay TURNA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Amaç ve Kapsam	3
2. ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM	5
2.1 Tasarım/Değerlendirme Aşamaları	5
2.2 Performans Hedefleri	5
2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Kavramı	7
2.4 Beton ve Çeliğin Davranış Modelleri.....	8
2.4.1 Betonun davranış modeli	8
2.4.2 Donatı çeliğinin davranış modeli	11
2.5 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri	12
2.5.1 Yığılı plastik davranış modeli	12
2.6 Süneklik.....	13
2.7 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	14
2.7.1 Sabit modlu itme analizi	15
3. DÖRT VE SEKİZ KATLI BETONARME YAPININ TASARIMI.....	17
3.1 Giriş.....	17
3.2 Yapıların Genel Bilgileri	17
3.3 Deprem Parametreleri	20
3.3.1 Bina önem katsayısı ve bina kullanım sınıfı	22
3.3.2 Bina yükseklik sınıfı	24
3.4 Taşıyıcı Sistem Bilgileri.....	24
3.4.1 Kirişler:	25
3.4.2 Kolonlar:	25
3.5 Yüklerin Belirlenmesi	26
3.6 Xtract Programına Giriş ve Elastik/Plastik Sınırların Belirlenmesi.....	26
3.6.1 Kolon kesitlerine ait akma yüzeylerinin (PMM) belirlenmesi, normal kuvvet- eğrilik ilişkisi ve idealize edilmesi.....	28
3.6.2 Kiriş kesitine ait normal kuvvet-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi.....	36
3.6.3 Bilinerizasyon ve moment-eğrilik bağıntısının oluşturulması.....	37
3.6.4 Taşıyıcı sisteme ait etkin kesit rijiliklerinin belirlenmesi	38
3.7 Yapıların SAP2000 Programına Tanıtılması.....	40
3.7.1 Kiriş ve kolonların modellenmesi	40

3.7.2 Döşemelerin modellenmesi.....	41
3.7.3 Kütlelerin modellenmesi	42
3.7.4 Plastik davranış modelinin tanıtılması	43
3.7.5 Plastik mafsallık kabulü ve mafsallık boyu seçiminin yapılması.....	51
3.7.6 Düşey yüklerin tanıtılması	51
3.7.7 Pushover (X Yönü) yüklerin tanıtılması	52
3.7.8 Pushover (Y Yönü) yüklemesi tanıtılması	53
3.8 Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Seçilmesi ve Deprem Hesabı	53
3.8.1 İdeal sabit tek modlu itme yöntemi sonucu	53
3.8.1.1 DD-1 4 katlı yapıya ait sonuçlar	53
3.8.1.2 DD-3 4 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar.....	54
3.8.1.3 DD-1 8 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar.....	55
3.8.1.4 DD-3 8 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar.....	56
3.8.2 Maksimum statik itme analizi sonucu.....	56
3.8.2.1 4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y Yönü	56
3.8.2.2 4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y Yönü	57
3.8.2.3 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y Yönü	58
3.8.2.4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y Yönü	58
3.8.3 Eşit Yerdeğiştirme Kuralı Ve Elasto-Plastik Yerdeğiştirmenin Bulunması	59
4. ŞEKİL DEĞERLENDİRMELERİN VE İÇ KUVVETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
4.1 Betonarme Binalar için İzin Verilen Sınırların Belirlenmesi.....	62
4.1.1 DD-1 etkisi altında 4 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri.....	63
4.1.2 DD-3 etkisi altında 4 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri.....	65
4.1.3 DD-1 etkisi altında 8 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri.....	65
4.1.4 DD-3 etkisi altında 8 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri.....	67
5. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	71

KISALTMALAR

TS-500	: Türk Standard 500
TS-498	: Türk Standard 498
TBDY 2019	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
SAP2000 V22	: Static and Dynamic Finite Element of Structures Analysis
A_s	: Boyuna donatı alanı [mm ²]
a_i	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık [m]
b₀	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu [m]
E_c	: Betonun elastisite modülü [MPa]
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
F_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi [MPa]
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı [MPa]
f_e	: Etkili sargılama basıncı [MPa]
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı [MPa]
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı [MPa]
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı [MPa]
h₀	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu [m]
k_e	: Sargılama Etkinlik Katsayısı
s	: Enine donatı aralığı [m]
ρ_s	: Toplam enine donatının hacimsel oranı
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
ε_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirme
ε_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirme
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirme
ε_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirme
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirme
(EI)_e	: Etkin eğilme rijitliği [Nmm ²]
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
T_A	: Yatay elastik ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_B	: Yatay elastik ivme spektrumu köşe periyodu [s]
θ_p	: Plastik mafsal dönme kapasitesi [rad]

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Marmara Bölgesinde 1860'den 2000 kadar meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 6.0$ olan depremler [4]	3
Çizelge 2.1: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (TBDY 2019)	6
Çizelge 3.1: 4 Katlı yapıya ait bilgiler	18
Çizelge 3.2: 8 Katlı yapıya ait bilgiler	18
Çizelge 3.3: Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayıları	23
Çizelge 3.4: Deprem tasarım sınıfları (DTS)	23
Çizelge 3.5: Bina yükseklik sınıfı ve bina yükseklik aralıkları	24
Çizelge 3.6: 1.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri	39
Çizelge 3.7: 2.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri	39
Çizelge 3.8: 3.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri	39
Çizelge 3.9: 4.Kat Kolonlarının etkin rijitlik değerleri	40
Çizelge 3.10: Dört katlı Yapıya ait Modal Spektral Deplasman	59
Çizelge 3.11: Sekiz katlı Yapıya ait Modal Spektral Deplasman	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sargılı/sargısız betonda basınç gerilmesi,	7
Şekil 2.2: Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği (TBDY 2019).....	11
Şekil 2.3: Taban kesme kuvveti- tepe yer değiştirme eğrisi.....	16
Şekil 2.4: Modal sözde ivme- modal yer değiştirme eğrisi	16
Şekil 3.1: Dört ve sekiz katlı yapılara ait tip kat planı (Tüm katlar).....	19
Şekil 3.2: DD-1 için deprem tasarım parametreleri.....	21
Şekil 3.3: DD-3 için deprem tasarım parametreleri.....	21
Şekil 3.4: Sargısız beton modeli (C30 Beton Sınıfı)	27
Şekil 3.5: Sargılı beton modeli (C30 Beton Sınıfı).....	27
Şekil 3.6: Donatı çelik modeli (S420)	28
Şekil 3.7: S40*40 Kolonuna ait pmm analiz grafiği.....	29
Şekil 3.8: S40*40 Kolonuna ait n-curvature grafiği.....	29
Şekil 3.9: S40*40 Kolonunun 0^0 VE 90^0 için moment eğrilik grafiği.....	30
Şekil 3.10: S40*40 Kolonun 45^0 için moment eğrilik grafiği	31
Şekil 3.11: S50*50 Kolonuna ait PMM analiz grafiği	31
Şekil 3.12: S50*50 Kolonuna ait n-curvature grafiği.....	32
Şekil 3.13: S50*50 Kolonunun 0^0 VE 90^0 için moment eğrilik grafiği	33
Şekil 3.14: S50*50 Kolonun 45^0 için moment eğrilik grafiği	33
Şekil 3.15: S60*60 Kolonuna ait PMM analiz grafiği	34
Şekil 3.16: S60*60 Kolonuna ait n-curvature grafiği.....	34
Şekil 3.17: S60*60 Kolonunun 0^0 VE 90^0 için moment eğrilik grafiği	35
Şekil 3.18: S60*60 Kolonun 45^0 için moment eğrilik grafiği	35
Şekil 3.19: Pozitif yükleme durumuna göre moment-eğrilik grafiği.....	36
Şekil 3.20: Negatif yükleme durumuna göre moment-eğrilik grafiği	36
Şekil 3.21: Moment- eğrilik ilişkisi	37
Şekil 3.22: 4 Katlı yapı modellemesi.....	40
Şekil 3.23: 8 Katlı yapı modellemesi.....	40
Şekil 3.24: K40×60 kirişinin tanımlanması.....	41
Şekil 3.25: S60×60 kolonunun tanımlanması.....	41
Şekil 3.26: D15 döşemesinin tanımlanması.....	42
Şekil 3.27: Çatı katı döşemesinin tanımlanması.....	42
Şekil 3.28: Kütlelerin modellenmesi	43
Şekil 3.29: K40×60 kirişler için M3 mafsalının tanımlanması	43
Şekil 3.30: S60×60 kolonuna ait mafsalın PM2M3 bilgisi	44
Şekil 3.31: S60×60 kolonuna ait mafsalın PM2M3 etkileşim açıları.....	45
Şekil 3.32: S60×60 kolonu için PMM ait normal kuvvetler.....	45
Şekil 3.33: 8000 kN ait M curve (0-90 derece)	46
Şekil 3.34: 8000 kN ait M curve (45derece).....	46
Şekil 3.35: 4000 kN ait M curve (0-90 derece)	46
Şekil 3.36: 4000 kN ait M curve (45 derece).....	47

Şekil 3.37: 2000 kN ait M curve (0-90 derece)	47
Şekil 3.38: 2000 kN ait M curve (45 derece).....	48
Şekil 3.39: 0 kN ait M curve (0-90 derece)	48
Şekil 3.40: 0 kN ait M curve (45 derece).....	49
Şekil 3.41: 800 kN ait M curve (0-90 derece)	49
Şekil 3.42: 800 kN ait M curve (45 derece)	50
Şekil 3.43: 1600 kN ait M curve (0-90 derece)	50
Şekil 3.44: 1600 kN ait M curve (45 derece).....	51
Şekil 3.45: Düşey yüklerin tanımlanması.....	52
Şekil 3.46: Pushover (X yönü) yüklerin tanıtılması	52
Şekil 3.47: Pushover (Y yönü) yüklemesi tanıtılması	53
Şekil 3.48: 4 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu	54
Şekil 3.49: 4 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu	55
Şekil 3.50: 8 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu	55
Şekil 3.51: 8 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu	56
Şekil 3.52: 4 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu.....	57
Şekil 3.53: 4 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu.....	58
Şekil 3.54: 8 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu.....	58
Şekil 3.55: 8 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu.....	59
Şekil 3.56: 8 katlı DD3 ait eşit yerdeğiştirme grafiği	60
Şekil 3.57: 8 katlı DD1 ait eşit yerdeğiştirme grafiği	60
Şekil 3.58: 4 katlı DD3 ait eşit yerdeğiştirme grafiği	61
Şekil 3.59: 4 katlı DD1 ait eşit yerdeğiştirme grafiği	61
Şekil 4.1: 4 katlı yapının DD-1 için kesitlerde oluşan mafsallık durumları	62
Şekil 4.2: 4 katlı yapının DD-3 için kesitlerde oluşan mafsallık durumları	62
Şekil 4.3: 8 katlı yapının DD-1 için kesitlerde oluşan mafsallık durumları	63
Şekil 4.4: 8 katlı yapının DD-3 için kesitlerde oluşan mafsallık durumları	63
Şekil 4.5: 4 Katlı Yapıya Ait 5. Kat Kiriş Hasarı	63
Şekil 4.6: 4 Katlı Yapıya Ait 5. Kat Kiriş Hasarı.....	64
Şekil 4.7: 4 Katlı Yapıya Ait 5. Kat Kiriş Hasarı	64
Şekil 4.8: 4 Katlı Yapıya Ait 5. Kat Kiriş Hasarı	64
Şekil 4.9: 8 Katlı yapıya ait 5. kat giriş hasarı.....	65
Şekil 4.10: 8 Katlı yapıya ait 5. kat giriş hasarı.....	66
Şekil 4.11: 8 Katlı yapıya ait 5. kat giriş hasarı.....	66
Şekil 4.12: 8 Katlı yapıya ait 5. kat giriş hasarı.....	66
Şekil 4.13: 8 Katlı yapıya ait 5. kat giriş hasarı.....	67
Şekil 4.14: 8 Katlı yapıya ait 6., 7. ve 8. kat giriş hasarı.....	67
Şekil 4.15: DD1 Pushover sonrası yerdeğiştirme	68
Şekil 4.16: DD3 Pushover sonrası yerdeğiştirme	68

**KAT ADETLERİ FARKLI İKİ ADET BETONARME YAPININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE TASARIM
SONUÇLARININ TBDY 2019 KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZET

Son yıllarda yapıların performansa dayalı tasarımı yaygın olarak kullanılmaya başlayan bir yöntem/zorunluluk haline gelmektedir. 01.01.2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde, deprem etkisi altında iki farklı tasarım yaklaşımı (Dayanıma Göre Tasarım, Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım) ve hesap esasları tanımlanmıştır. Nitekim, Yönetmeliğin 5. Bölümünde Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım için gereken kurallar detaylarıyla anlatılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, doğrusal ve doğrusal olmayan iki farklı hesap esaslarından, yakın gelecekte yaygın kullanımı olacağı düşünülen doğrusal olmayan hesaba göre dört ve sekiz katlı yurt olarak kullanılması planlanan iki adet betonarme çerçeve sistemli binalara statik itme analizi yapılarak, sonuçları hakkında detaylı incelemelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Doğrusal Olmayan Analiz, Performansa Dayalı Tasarım, Plastik Mafsal, Modal Kapasite, İtme Analizi*

**EVALUATION OF THE DESIGN RESULTS ACCORDING TO
NONLINEAR STATIC PUSH-UP ANALYSIS OF TWO REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES WITH DIFFERENT FLOOR QUANTITIES
WITHIN THE SCOPE OF TBDY 2019**

ABSTRACT

In recent years, the performance-based design of buildings has become a method/must be widely used. In the Turkish Building Earthquake Code, which entered into force as of 01.01.2019, two different design approaches (Design by Strength, Design by Deformation) and calculation principles are defined under the influence of earthquakes. As a matter of fact, the rules required for Evaluation and Design According to Deformation are explained in detail in Chapter 5 of the Regulation. Within the scope of this study, based on the linear and non-linear calculation principles, the non-linear calculation, which is thought to be widely used in the near future, two reinforced concrete frame system buildings, which are planned to be used as four and eight storey dormitories, are analyzed in detail and the results are examined in detail.

Keywords: *Nonlinear Analysis, Performance Based Design, Plastic Hinge, Modal Capacity, Pushover Analysis*

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

TBDY 2019' da tasarım depreminde, taşıyıcı sistemde bulunan yapısal elemanların hasarları kabul edilebilir düzeyde, sınırlı ve onarılabılır kalmasını öngörmektedir. Yani bu kabul, sınırlı hasarın kabul edilmesi, taşıyıcı sistemin de elastik ötesi davranışın kullanılmasına karşı gelmektedir. Ancak, yatay ve düşey yükler taşıyıcı sisteme etki edilirken elasto-plastik kabullerle çözümün yapılması, uygulanmasının zor olmasından ötürü plastik mafsal kabulü en basit çözümdür. Plastik mafsal kabulü yapılırken, kesitin geometrisi ve donatısı önceden bilinmelidir. Kesitte kesme kuvvetinin ve burulma momentinin etkisi göz ardı edilir. Çünkü burulma düzensizliği olan yapılarda plastik mafsal kabulünün yapılan tanımlamalar tartışmaya açık bir hale gelir [1].

Statik itme analizinde amaç, yapının tasarım deprem kuvvetleri altında, taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım ve deformasyon taleplerini tahmin ederek, yapıdan beklenen performansı değerlendirmek ve bu taleplere uygun performans seviyelerindeki kapasitelerin karşılaştırılmasıdır. Aslında, statik itme yönteminin kuvvetli bir temeli yoktur. Yapıya etki ettirilen yatay yük neticesinde elde ettiğimiz tepkinin, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin tepkisiyle ilişkili olabileceği varsayımına dayanır. Bu da, tepkinin tek bir mod ile kontrol edildiğini ve bu mod şeklinin, zaman tanımlı tepki boyunca sabit kaldığını ifade etmektedir [2].

Doğrusal olmayan statik itme analizi, yeni yapıların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesinde performansa dayalı hesap yöntemlerinden bir tanesidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi aşamasında statik itme analizinde amaç, yapıya etki ettirilen yanal yük neticesinde hedef deplasman ve dönme değerlerinin ilgili yönetmelikler çerçevesinde istenilen düzeyde kalıp kalmadığının tayin edilmesidir. Doğrusal olmayan statik itme analizi, birçok hesap yönteminden

pratik olmakla birlikte zaman tanım alanına göre daha fazla yaklaşım imkanı sunmaktadır. 4 ve 8 katlı, 5 açıklıklı, kat yükseklikleri 300^{cm}, kolon ebatları 40^{cm} x 40^{cm} 50^{cm} x 50^{cm} 60^{cm} x 60^{cm} ve kiriş ebatları 40^{cm} x 60^{cm} olan yurt olarak tasarlanmış betonarme çerçeve sistemli binalara, statik itme analizi uygulanarak, analiz sonuçlarına göre taban kesme kuvveti, tepe nokta yer değiştirmesi, iç kuvvet ve şekil değiştirmeleri, meydana gelen plastik mafsall oluşum mekanizmaları ile birlikte talep edilen performans hedefleri incelenmiştir.

Ülkemizin deprem kuşağında olması ve son yıllarda yaşanan depremlerin sıklığının da artması göz önüne alındığında, yeni yapının tasarlama aşamasında, sonuçların daha gerçekçi ve doğruya yakınsamada bizlere katkı sağlaması, ayrıca zaman konusunda sonuçların daha hızlı elde edilmesi açısından yeni yapı tasarımı ve mevcut binanın değerlendirilmesinde Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım metodlarından olan doğrusal olmayan statik itme analizinin uygulanmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Depremlerin kaynaklandığı yeryüzü yırtıkları (faylar) doğru atımlı veya eğim atımlı olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, doğrultu atımlı faylar da sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrultulu atımlı faylar dike yakın bir düzlem boyunca yanal hareketlerin oluşturduğu fay hatlarıdır. Türkiye ve çevresinde tektonik plakalar ve önemli aktif fayların olması, ayrıca Kuzey Anadolu Fayının doğrultu atımlı bir fay olması sebebiyle, 1939 Erzincan ve 1999 İzmit depremlerini oluşturan fay sistemini bu zon oluşturmaktadır [3].

Ülkemizden geçen Kuzey Anadolu Fay Hattı Marmara Bölgesinden üç fay koluna ayrılmakta olup, Çizelge 1.1' de görüldüğü üzere yüksek bir deprem etkinliğine (Magnitude), ve tehlikelere sebebiyet vermektedir [4].

Çizelge 1.1: Marmara Bölgesinde 1860'den 2000 kadar meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 6.0$ olan depremler [4]

No	Tarih	Enlem	Boylam	M_S	Yer
38	21.08.1859	40.3	26.1	6.8	Saros
39	22.08.1860	40.5	26.0	6.1	Saros
40	19.04.1878	40.7	30.2	6.0	Sapanca
41	09.02.1893	40.5	26.2	6.9	Saros
42	10.07.1894	40.7	29.6	7.3	İzmit
43	09.08.1912	40.7	27.2	7.4	Ganos
44	18.03.1953	40.1	27.4	7.1	Gönen
45	26.05.1957	40.7	31.0	7.1	Abant
46	06.10.1964	40.1	28.2	6.8	Manyas
47	22.07.1967	40.7	30.7	7.2	Mudurnu
48	17.08.1999	40.7	29.9	7.4	İzmit

1.2 Amaç ve Kapsam

Yapılan bu çalışmanın amacı, TBDY 2019 yönetmeliğine uygunluğu esas alınarak boyutlandırılan iki adet betonarme yapının aşamaları belirtilerek doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçlarının değerlendirilmesidir. Tipik bir yurt olarak kullanılması planlanan yapıda, ülkemizdeki yönetmelik ve standartlara göre boyutlandırılarak şuan yürürlükte olan TBDY 2019' a göre analizi gerçekleştirilmiştir.

Tüm dünya ülkelerinin deprem yönetmelikleri hazırlamalarındaki amaç; olası yer hareketlerinde meydana gelen deprem etkisinin, yapının taşıyıcı sistemine ait yatay ve düşey yüklerinin aktarımını yönetmeliklerce belirlenen hasar sınırları kapsamında en üst kat seviyesinden temele kadar istenilen düzeyde aktarılmasıdır. Bu doğrultuda, deprem yönetmeliğinde yapının yeteri derecede rijitliği, mukavemeti, kararlılığı ve dayanımını konstrüktif kural ve hesaplar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Dünya genelinde, deprem yönetmeliklerinin evrimleşmesi, meydana gelen deprem etkileri sonrasında zaman içerisinde yapılan teorik araştırmalar, deprem sonrasında uygulamadaki mevcut binaların gösterdikleri performanslar ve hasar durumları incelenerek veriye dayalı olarak hazırlanmaktadır.

Bir çok deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi TBDY 2019 Yönetmeliğindeki genel amaç, yapıların tasarım aşamasında sünek taşıyıcı sistemler üzerine yönlendirilmesi hedeflenmektedir. Nitekim betonarme yapıların kullanım amacına ve süresine uygun nitelikte yapı güvenliğine göre tasarlanması, boyutlandırılması ve yapımı ile ilgili kural ve koşullar TS500’ de [5]; konutlar, resim daireler, yurtlar, spor tesisleri, vb. Yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılacak yüklerin hesap değerleri TS498’ de [6]; yeni yapılacak yerinde dökme ve önüretimli betonarme, çelik, hafif çelik, yığma ve ahşap malzemedan üretilecek binalar ile mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı ise TBDY 2019’ da [7] detaylarıyla birlikte belirlenmiştir.

Betonarmenin tarihsel gelişiminin incelenmesinde, elastik malzeme kabullerinin kullanıldığı görülmektedir. Tek farklılık ise, betonarme kesit hesaplarında çekme dayanımının göz önüne alınmamasıdır. Beton ve donatıda gerilme-birim kısalma (uzama) bağıntısının doğrusal olmaması ve betonda birim kısaltmaların ve taşıyıcı sistemde yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimleri dikkate alınarak kesit hesaplarında Emniyet Gerilmeleri Yönteminden vazgeçilmiştir. Bu yöntemin yerine taşıyıcı sistemin elemanlarında arttırılmış yükler altında güç tükenmesi yükleme durumları da göz önüne alınarak, kesitte meydana gelen etkilere göre Taşıma Gücü Yöntemine geçilmiştir. Ancak, Taşıma Gücü Yöntemi’ nin kullandığı durumda da kesit etkilerinin elde edilmesi doğrusal elastik malzeme kabulü ile yapılmaktadır. Buna karşılık, yönetmeliklerde taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı “momentin yeniden dağılımı” gibi ek kabullerle göz önüne alınır. Günümüz bilgisayar teknolojisindeki ilerleme ve betonarme elemanların davranışlarının daha iyi tanınması, özellikle taşıyıcı sistemin doğrusal ötesi davranışının daha kolay ve daha gerçekçi biçimde incelenmesini mümkün kılarken, bu suretle oluşan kapasite artışının göz önüne alınmasını da sağlamaktadır. Ulusal ve uluslararası deprem yönetmeliklerinin yakın bir gelecekte doğrusal elastik olmayan davranışı esas alan kuralların yeni tasarımı yapılacak yapıları da içerecek biçimde değiştirileceği kolayca tahmin edilebilmektedir [1].

2. ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM

2.1 Tasarım/Değerlendirme Aşamaları

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) yaklaşımında sırasıyla aşağıda belirtilen işlem adımları izlenmektedir.

- Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan modelleme yaklaşımlarına uyumlu olacak şekilde iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntılarının belirlenmesi,
- Öngörülen performans hedef(ler)ine göre taşıyıcı sistemin statik veya dinamik yöntemlerle hesabının yapılması ve şekildeğiştirme talepleri ile dayanım taleplerinin elde edilmesi,
- Şekil değiştirme ve iç kuvvet taleplerinin yönetmelikçe istenen performans hedef(ler)ine uyumlu olarak belirlenen dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin kıyaslanması,
- Mevcut binalarda, elde edilen dayanım ve şekil değiştirme taleplerinin, yönetmelikçe istenen dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerini aştığı veya altında kaldığının belirlenmesi; yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için ise dayanım ve şekil değiştirme taleplerinin istenilen kapasitenin altında kalması halinde tasarımın tamamlanması, aksi halde kesitlerin değiştirilerek tasarımın tamamlanması aşamalarını kapsamaktadır.

2.2 Performans Hedefleri

Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımının kapsamında; Yüksek binaların tasarımı, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi, depreme yalıtımlı binalar ile birlikte “Deprem Tasarım Sınıfı” DTS = 1a, DTS = 2a ve “Bina Yükseklik Sınıfı” BYS = 2, BYS = 3 olan binaların ön tasarımı yer almaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği' ne göre istenilen performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları tablosu aşağıda yer almaktadır.

Yönetmelik kapsamında yeni yapılacak/güçlendirilecek deprem yalıtımlı binalar, deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar ile yeni yapılacak deprem yalıtımlı binaların farklı deprem yer hareket düzeylerine göre Deprem Tasarım Sınıfları için yapılması gereken tasarım yaklaşımı ve performans hedefleri Çizelge 2.1' de yer almaktadır.

Çizelge 2.1: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (TBDY 2019)

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – BYS=2)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS =1,1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a			DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾)	
	Normal Hedefi	Performans	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	—	DGT(5)	KH	DGT(3,4)
DD-1	—	—	—	KH	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS =1)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS =1,1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a			DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Hedefi	Performans	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	—	DGT	—	—
DD-3	—	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	—	DGT(3)	KH	DGT(3,4)
DD-1	GÖ	—	ŞGDT	KH	ŞGDT

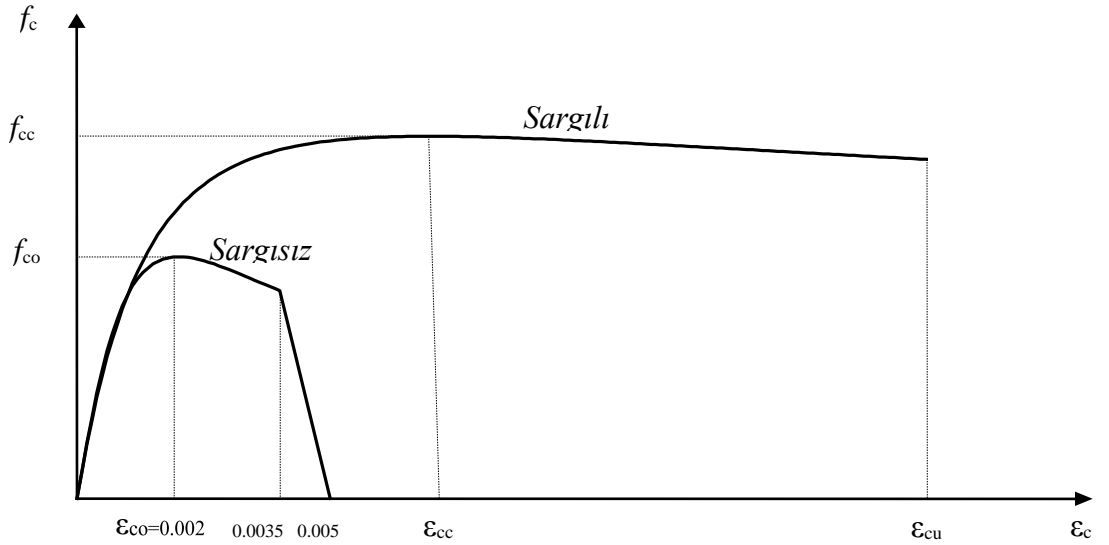
(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar dışında – BYS=2)

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

2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Kavramı

Hem pozitif hem de negatif yükleme altında tek bir rijitlik ile doğru orantılı şekil değiştiren malzemelere elastik/lineer, bunun dışında kalanlara ise inelastic/nonlinear malzemeler denilmektedir. Elastik malzemelerde akma, kopma gibi gerilme sınırları bulunmadığından dolayısıyla malzeme rijitliğine oranla sonsuza kadar yüklenebilmektedir. Yük boşaltıldığında, yüklendiği hattı aynen takip ederek başladığı yere geri döndüğü kabul edilmektedir. Pozitif ve negatif yüklemelerde, tek hatla temsil edilmesine rağmen iki farklı rijitlik ile orantılı tepki veren malzemelerin de inelastik davranış gösterdiği kabul edilmektedir.

Doğada nerdeyse tüm malzemeler kısmen ya da bütünü ile inelastik hareket etmekte olup, hesap kolaylığı amacıyla malzemelerin başlangıçtan belirli bir uzama değerine kadar olan davranışı elastik kabul edilmektedir. Örneğin, sargısız betonda birim şekil değiştirme değeri olan 0.002 akma sınırı, dolayısıyla bu değerden önceki kısım elastik olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.1: Sargılı/sargısız betonda basınç gerilmesi,
birim şekil değiştirme grafiği (TBDY 2019)

Betonarme kesitlerin inelastik davranış modelleri ile tanımlanmış malzemeler vasıtasıyla analiz edilmesine nonlinear (doğrusal olmayan) kesit analizi denir. Nonlinear kesit analizinde; ana faktör kuvvet tepkilerinden ziyade, bu kuvvetleri

oluşturan gerilme ve gerilmeleri temsil eden birim şekil değiştirme (ϵ) limitlerinin tayin edebilmesidir.

Kesit analizlerinde yapılan kabuller aşağıda belirtilmektedir:

- Birim Şekil Değiştirme (strain) değerleri tüm kesit boyunca doğrusal olarak dağılır.
- Betonda en uçtaki lif, çelikte ise en dıştaki donatının merkezi baz alınır.
- Etriye içinde kalan bölgeye “sargılı” (confined), bu alanın dışına bölüme ise “sargısız/kabuk” (unconfined) denir.
- Etriye içi bölüme ait beton modeli her kesit tipi için özel olarak hesaplanırken, kabuk bölümüne ait model standarttır.
- Betonun çekmeye çalışmayacağı kabul edilir.

TBDY 2019 gereğince, yapıların ve yapıyı oluşturan kesitlerin yapılan analizler doğrultusunda ortaya çıkan performans sonuçları; içerdiği her bir malzemede oluşan birim şekil değiştirme değerlerinin, Yönetmelikçe belirlenen her bir performans limitine ait izin verilen sınırlarla mukayese edilmesi sonucunda tespit edilmektedir.

2.4 Beton ve Çeliğin Davranış Modelleri

Gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri ile deformasyon cinsinden ifade edilen uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, ancak kullanılan malzemenin gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) ilişkisinden yararlanılarak kurulur. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olduğundan, hata oranı büyük çapta varsayılan malzeme davranışının, yani σ - ϵ ilişkisinin doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü kolaylaştırmak amacı ile deneyden elden edilen σ - ϵ eğrileri idealize edilip, basitleştirilerek kullanılır [8]. Aşağıda beton ve çelik için yaygın olarak kullanılan model tanıtımı yapılacaktır.

2.4.1 Betonun davranış modeli

Malzeme davranışının anlaşılabilmesi için betonun σ - ϵ ilişkisini belirleyen modellere gereksinim vardır. Bu gereksinim nedeli ile günümüze kadar çeşitli araştırmacılarca birçok beton modeli önerilmiştir.

Literatürde, bir çok iki eksenli ve tek eksenli yükleme durumu için geliştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisi mevcut olup, geliştirilen bu modeller arasında Sheikh-üzümeri, Saatçioğlu-Ravzi, Hognestad, Kent-Park, Roy-Sozen, Soliman-Yu, Sargin, Vallenas-Bertero-Popov, Chan, Shah, Eurocode2, Desayi ve Krishman, Smith ve Young, Richard ve Abbott, Tomaszewicz, Saent, Wang vd., Ahmad ve Shah, CED-FIB, Collins vd., Hsu, Van Gysel ve Taerwe, Attard ve Setunge, Wee vd., Tulin ve Gerstle, Popovics modelleri yer almaktadır. Gerilme-şekil değiştirme davranışının çok değişkene bağlı oluşu nedeniyle kesin sonucu elde etmenin sayısal ve deneysel uygulamalar açısından neredeyse imkansız olduğu belirtilmektedir. Sadece karakteristik değerlere bağlı olmayan, aynı zamanda deneysel verilerle de örtüştüğünde iyi bir modelin davranışının ortaya çıkacağı unutulmamalıdır [9].

Mander, Priestley ve Park yapmış oldukları çalışmada; dikdörtgen ve dairesel kesitli sargılanmış beton kesitlerin aksenal basınç etkisi altında davranışını göstermek için bir beton modeli önermişlerdir [10]. Ayrıca yürürlükte olan TBDY 2019 Yönetmeliğinde bu modelin kullanılması önerilmektedir.

Mander modeline göre sargılı betonda basınç gerilmesi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$f_c = \frac{f_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x \cdot r} \quad (\text{Formül 1})$$

Sargılı betonun basınç dayanımını f_{cc} ' yi belirlemek için çok eksenli basınç gerilmeleri altında taşıma gücü yüzeyi bünye denklemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu denklemi tanımlamak için William ve Warnke tarafından tanımlanan kırılma yüzeyi adapte edilmiş olup üç eksenli basınç deneyi kullanılmıştır [11]. Çok eksenli kırılma kriterinin iki yatay sargı basıncına bağlı genel çözümünde; sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişkinin yanal sargı basıncının spiral veya dairesel fret gibi eşit olduğu durumlarda aşağıdaki bağıntı gibi olacağı gösterilebilir.

$$\lambda_c = \frac{f_{cc}}{f_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (\text{Formül 2})$$

Formül 2' de bulunan f_e etkili sargılama basıncı, Sheikh ve Uzumeri modelinden adapte edilmiş olup [12], dikdörtgen kesitlerde x ve y yönleri için aşağıdaki formülde yer aldığı şekliyle tanımlanmaktadır.

$$f_{ex}=k_e\rho_x f_{yw} \quad f_{ey}=k_e\rho_y f_{yw} \quad (\text{Formül 3})$$

TBDY 2019' da sargılı beton basınç dayanımı için basit bir şekilde denklem Formül 3' teki değerlerin ortalamasını alarak denklem Formül 2' de yerine yazılmasını önermektedir.

Dairesel kesitli kolonlarda sargılama basıncı f_e aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_e = \frac{1}{2} k_e f_{yw} \rho_s \quad (\text{Formül 4})$$

Hacimsel fret oranı $\rho_s = 4A_0/(D_s)$ olarak hesaplanmak olup, A_0 fret alanı, D fret çapını ifade etmekte olup, ölçüler merkezden merkeze alınmalıdır. Dairesel tekil etriyelerde sargılama etkinlik katsayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$k_e = \frac{(1-\frac{s^l}{2D})^2}{1-\rho_{cc}} \quad (\text{Formül 5})$$

Formül 5' te yer alan s^l etriye net aralığı, ρ_{cc} ise düşey donatı alanının sargılı beton göbek alanına oranını ifade etmektedir. Sürekli helezonik fretlerde sargılama etkinlik katsayısı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$k_e = \frac{1-\frac{s^l}{2D}}{1-\rho_{cc}} \quad (\text{Formül 6})$$

Dikdörtgen kesitli kolonlarda sargılama etkisi katsayısı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$k_e = \frac{(1-\frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0})(1-\frac{s^l}{2b_0})(1-\frac{s^l}{2h_0})}{1-\rho_{cc}} \quad (\text{Formül 7})$$

Formül 7' de a_i kesit çevresindeki komşu düşey donatılar arasındaki net açıklık, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boylarını ifade etmektedir. Dikdörtgen kesit için $\rho_{cc} = A_s/(b_0h_0)$ olarak hesaplanmaktadır. A_s toplam boyuna donatı alanını, normalize edilmiş birim şekil değiştirmeler x ve r değişkenleriyle ifade edilmektedir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right]; \quad \varepsilon_{co} = 0.002 \quad (\text{Formül 8})$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad E_c = 5000 \sqrt{f_{co}}; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (\text{Formül 9})$$

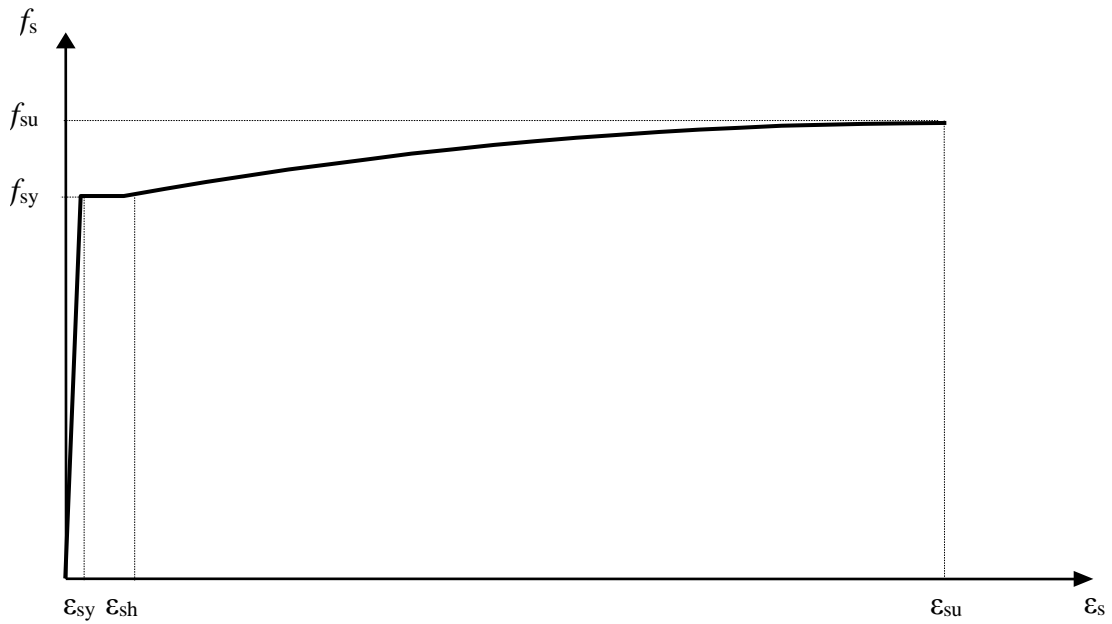
Sargılı betonun maksimum basınç birim şekil değıştirmesi “ ϵ_{cu} ” sınırı TBDY 2019’ da aşağıda formülle sınırlandırılmıştır.

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (\text{Formül 10})$$

Formül 10’ da yer alan “ ϵ_{su} ” enine donatı çeliğinin maksimum gerilme altındaki birim uzama değerini göstermektedir.

2.4.2 Donatı eliğinin davranış modeli

Donatı eliğinin basınç ve çekme etkisi altında gerilme-birim şekil değıştirme eğrileri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Aynı yönde sürekli uygulanan aksenal basınç ve çekme altında σ - ϵ ilişkisi, elasto-plastik bir eğri ile tanımlanabilir. Yükün boşaltılması ve yeniden yüklemede izlenen yol, eğimi $E_s=2 \times 10^5$ MPa olan doğrularla temsil edilmektedir.



şekil 2.2: Donatı eliği gerilme-şekil değıştirme grafiği (TBDY 2019)

TBDY 2019’ e göre pekleşmeli donatı elik modeli kullanılmakta olup, söz konusu modele ait hesap parametreleri Formül 10’ da belirtildiği şekliyle aşağıda yer almaktadır.

$$\begin{aligned} f_s &= E_s \epsilon_s & (\epsilon_s \leq \epsilon_{sy}) \\ f_s &= f_{sy} & (\epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}) \end{aligned} \quad (\text{Formül 11})$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})$$

2.5 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

2.5.1 Yığılı plastik davranış modeli

TBDY 2019' a göre doğrusal olmayan analiz için iki tür mafsal çeşidi yer almakta olup, yığılı mafsal yayılı mafsala oranla analizi daha hızlı, sonuç derlemesi daha kolay ve kesitin rijitliği değişkenlik göstermektedir.

Biskinis ve Fardis kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri $(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3}$ olarak hesaplamıştır [13]. W.G. Corley, konsol bir kiriş üzerinde yapmış olduğu çalışmalar neticesinde, kesitin elastik eğriliği terk edip, maksimum eğriliğe ulaştığı ana kadar aldığı yol bizlere plastik mafsal boyunu vermektedir [14].

Plastik mafsal boyu seçiminde literatürde bir çok çalışma yapılmış olup, özellikle eğilme etkisi altında olan elemanlarda incelemelerde bulunulmuştur. Baker 1956 yılında betonarme kolon ve kirişlerdeki plastik mafsal boyunun hesabında “ $L_p = k (z/d)^{1/4} d$ ” bağıntısını [15], Sawyer 1964 yılında plastik mafsal boyu hesabında “ $L_p = 0.25d + 0.075z$ ” bağıntısını [16], Corley 1966 yılında betonarme kirişler için “ $L_p = 0.5d + 0.2 \sqrt{d(z/d)}$ ” bağıntısını [14], Mattock 1967 yılında betonarme kirişler için “ $L_p = 0.5d + 0.05z$ ” bağıntısını [17], Priestley ve Park 1987 yılında betonarme kolonlar için “ $L_p = 0.08z + 6db$ ” bağıntısını [18], Paulay ve Priestley 1992 yılında betonarme kiriş ve kolonlar için “ $L_p = 0.08z + 0.022 db f_y$ ” bağıntısını [19], Sheikh ve Khoury 1993 yılında yüksek aksenal yük altındaki kolonlar için “ $L_p = 1.0 h$ ” bağıntısını [20], Coleman ve Spacone 2001 yılında “ $L_p = G_f^c / [0.6 f_c^c (\varepsilon_{20} - \varepsilon_c + 0.8 f_c^c / E_c)]$ ” bağıntısını [21], Panagiotakos ve Fardis 2001 yılında betonarme kiriş ve kolonlar için “ $L_p = 0.18z + 0.021 db f_y$ ” bağıntısını [22], Bae ve Bayrak 2008 yılında kolonlar için “ $l_p / h = [0.3(p / p_0) + 3(As / Ag) - 1](z / h) + 0.25 \geq 0.25$ ” bağıntısını [23] kullanmış ve bu hesap sonuçlarına göre farklı plastik mafsal boyları ve performans hedefleri hesaplamışlardır.

TBDY 2019' da ise plastik mafsal boyu $L_p = 0.5h$ seçilerek, ortalama bir sonucun hesaba katılması istenmektedir.

TBDY 2019' a göre iç kuvvetlerin plastik olarak kapasiteye ulaştığı sonlu uzunluktaki bölge boyunca, plastik olarak meydana gelen şekil değiştirmeler düzgün yayılı bir şekilde meydana geldiği varsayılmaktadır. Plastik şekil değiştirmelerinin bölge uzunluğu olan L_p yani plastik mafsal boyu, kesitin çalışan doğrultudaki boyu olan (h)' nin yarısı yani $L_p=0.5h$ olarak alınır.

Çubuk olarak modellenebilen perdeler, kiriş ve kolonların zorlanan elastik ötesi şekil değiştirmelerin olduğu kesitlerde plastik mafsal tanımlaması yapılır. Herhangi bir deprem etkisi esnasında çerçeve türü yapılarda en çok zorlanan kısımlar kolon ve kiriş kesitlerinin iki uç noktası olarak kabul görür. Çubuk olarak modellenen perdelerde ise, temele birleştiği kesit, bodrum çevre perdelerinde ise perdenin üst seviyede bulunan kesit ve perdede kesit veya donatı azalmasının ani olarak olduğu kesitlerde plastik mafsal tanımlanır. Çubuk elemanlarda plastikleşen kısmın boyu, kesitin parametrelerinin yanında eğilme momentinin değişimine de bağlıdır. Elemanlarda plastikleşme durumunun değişken olması sebebiyle, hesapları da basitleştirme amacıyla plastik mafsal boyu olarak $L_p= h/2$ olarak kabul edilmektedir [24]

Plastik mafsalın yerinin tayin edilmesinde, kolon alt bölgesinden kirişin üst bölgesine; bir kirişin orta noktasından diğer bir kirişin orta noktasına olacak şekilde ataması yapılabilmektedir. Bu tez kapsamında ele alınmış olan dört ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemli binalarda Sap2000 programında [25] plastik mafsal atamaları yapılmıştır. Kolona ait plastik mafsal atamaları kolon alt yüzeyinden kiriş üst yüzeyine; kirişe ait plastik mafsal atamaları ise kolon orta noktasından diğer kolonun orta noktası göre NIST' gösterildiği gibi belirlenmiştir [26].

2.6 Süneklik

Bir yapının, kesitin ya da malzemenin taşıma gücünde ciddi bir azalma olmaksızın deformasyon yapabilmesi, tekrar eden yükler altında büyük şekil değiştirmeler meydana getirerek enerji tüketebilme özelliğine sahip olması, kısaca; yapının, kesitin ya da malzemenin plastik şekil değiştirme yapabilmesine süneklik adı verilmektedir. Malzeme, kesit, eleman ve taşıyıcı sistem bazında yapı tasarımını gerçekleştirirken süneklik olarak göz önüne alınması gereken hususlara kısaca değinmek gerekirse [27]:

- İlk önce kapasite tasarım ilkelerine uyulması,
- Şekil değiştirme kapasitesi iyi olan beton seğimi,
- Dayanım ve şekil değiştirme kapasitesi yüksek olan donatı seğimi, çünkü donatının süneklik üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olması,
- Eksenel yüke maruz bir elemanda narin eleman tasarımından kaçınılması,
- Kolonlarda eksenel yük düzeyinin düşük tutulması,
- Plastik mafsallık bölgeleri olan kolon ve kiriş uç kısımlarında etriye sıklaştırmalarının yapılması,
- Dairesel kolon yapma imkanı olması halinde spiral donatı kolonun tercih edilmesi,
- Kolon-kiriş birleşimlerinde kesme kırılmasının önüne geçilmesi,
- Boyuna donatı oranlarında mutlaka minimum ve maksimum sınırlar arasında kalmak,
- Kirişlerde basınç donatısının kullanılması,
- Taşıyıcı sistem tasarımında çok bağlı taşıyıcı elemanlar oluşturulması,

Betonarmedeki uyum/adaptasyon olayına imkan tanımak vb. bir çok etken bizlere süneklik kavramının ne kadar da önemli olduğunu göstermektedir.

2.7 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı daha gerçekçi biçimde ele alınmaktadır. Doğrusal yöntemle göre çözüm, taşıyıcı sistemin düzensizliğinden daha çok etkilenmektedir. Tahmin edileceği gibi, elde edilecek sonuç ne kadar çabuk kabulde ortaya çıkmakta ise güvenilirliği de o oranda daha az olacaktır. Doğrusal olmayan hesap yönteminin esasını oluşturan statik itme analizi çözümünün, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile önemli derecede farklılık göstereceği değerlendirilmektedir. Şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirme ele alındığında, belirli bir yatak deprem yükü dağılımı için

binanın yer değiştirme talebine ulaştığı esnada, binanın beklenen performans hedefini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir. [1].

Bir yapının değerlendirilmesi ya da tasarımı aşamasında, yapıdan istenilen Őey performans hedefine ulaşıp ulaşmadığının tayini ve güvenli tarafta kalması beklenmektedir. Genel anlamda doğrusal olmayan analizin amacı, elastik tasarımdaki değişen yapı rijitliği ve plastik dönme tespiti ile birlikte olası bir deprem senaryosu sonrasında kesitlerde değişen kapasitelerin tespit edilmesidir [28].

TBDY 2019 5. bölümünde bahsedildiği üzere doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım kapsamında kullanılacak yöntemler İtme Analizi Yöntemleri ve Zaman Tanım Alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

2.7.1 Sabit modlu itme analizi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden birisi olan Sabit Modlu İtme Analizi Yöntemi, deprem taleplerinin belirlenmesinde, teorik olarak alt yapısı, bilimselliği kabul görmüş, kullanılabilir, pratik bir analiz yöntemidir [29].

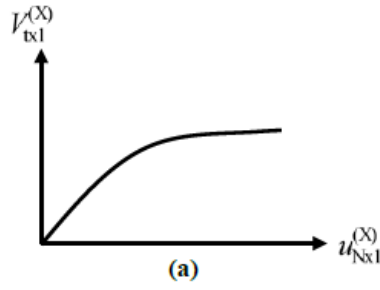
Bu yöntem sayesinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar ve sonrasında yapıdaki kuvvet dağılımları ve yapıdaki elemanların davranışları hakkında nasıl değiştiği konusunda bir çok veriye ulaşılabilmektedir [30].

TBDY 2019' a göre bu yöntemin uygulanabilmesi için, yapının herhangi bir katında doğrusal elastik davranış esas alınarak;

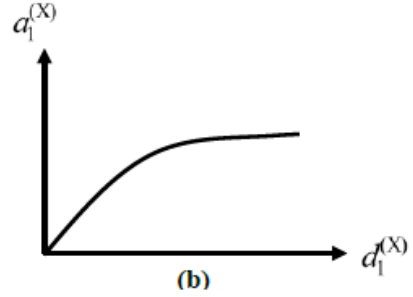
- Ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın burulma düzensizliği katsayısının 1.4' den küçük olması ($\eta_{bi} < 1.4$),
- Hesaplanan birinci (hakim) titeşim modunda hesaplanan taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine –rijit perdeler hariç- oranının en az 0.7 olması istenmektedir.

Ayrıca, Tek modlu itme analizi yönteminin uygulanabilmesi için TBDY 2019 Tablo 3.3'e (Çizelge 3.5) göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) ≥ 5 olma Őartı da aranmaktadır.

Sabit Modlu İtme Analizinin ilk adımında, deprem yükleri hariç düşey yükler altında sistemin doğrusal elastik olmayan çözümü yapılır. Yapılan bu yüklemeler sonrasında birinci adımda belirlenen sabit mod şekli ile uyumlu olacak şekilde deprem yükü katlara artımsal olarak etkittirilmektedir. Yapılan her bir işlem adımı kaydedilerek itme eğrisi (pushover curve) adı verilen tepe yer değiştirmesinin, taban kesme kuvvetine bağlı olarak bir grafiği elde edilir. Elde etmiş olduğumuz bu grafiğe koordinat dönüşümü yapılarak, sisteme ait modal yerdeğiştirme-modal sözde ivme grafiği yani modal kapasite elde edilir. Bu işlemler sonrasında bu diyagram, tasarım spektrumu ile üst üste çakıştırılarak hedef yerdeğiştirme talebi bulunur ve buna bağlı olarak performans tayini yapılmış olur.



Şekil 2.3: Taban kesme kuvveti- tepe yer değıştirme eğrisi



Şekil 2.4: Modal sözde ivme- modal yer değıştirme eğrisi

3. DÖRT VE SEKİZ KATLI BETONARME YAPININ TASARIMI

3.1 Giriş

Bu bölümde, teorisi ikinci kısımda anlatılan Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemlerinden birisi olan Sabit Tek Modlu İtme Analizi Yöntemi kullanılarak dört ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemli binaların analizleri/tasarımları/performans hedefleri konularında değerlendirmeler yapılacaktır. Dört katlı yapının yüksekliği 12.00 metre, sekiz katlı yapının yüksekliği ise 24.00 metre olup, TBDY 2019 Bölüm 5.5.2.1' de belirtilen $BYS \geq 5$ şartını sağladığından Sabit Modlu itme analizi uygulamasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Her iki yapının plandaki x ve y düzlemleri simetrik olmakla birlikte, burulma düzensizliği de bulunmamaktadır.

İstanbul İli sınırları içerisinde yapılması planlanan yapıların beton sınıfı C30, donatı çeliği sınıfı ise B420C olarak seçilmiştir.

Binaların şekil değiştirmeye göre tasarımı gerçekleştirilirken doğrusal olmayan analiz yapabilen SAP2000 v22.00 tercih edilmiştir. Yapılarda kullanacağımız kesitlerdeki malzemelerin modellerinin hazırlanmasında her bir yapısal elemana ait, P-M-M, N-Curvature ve Moment-Curvature ilişkilerinin çıkarılmasında, akma yüzeylerinin tanımlanmasında Xtract V.3.0.8 ve Microsoft Excel 2016 programlarından yararlanılmıştır.

3.2 Yapıların Genel Bilgileri

4 ve 8 katlı betonarme çerçeve sistemden oluşan her iki yapı da X ve Y eksenleri doğrultusunda simetrik olarak yerleştirilmiştir. Yapı hakkında diğer bilgiler ile birlikte deprem ve malzemelere ait parametreler ilerleyen bölümlerde aktarılacaktır.

4 ve 8 katlı yapılara ait bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.1-3.2' de belirtilmektedir.

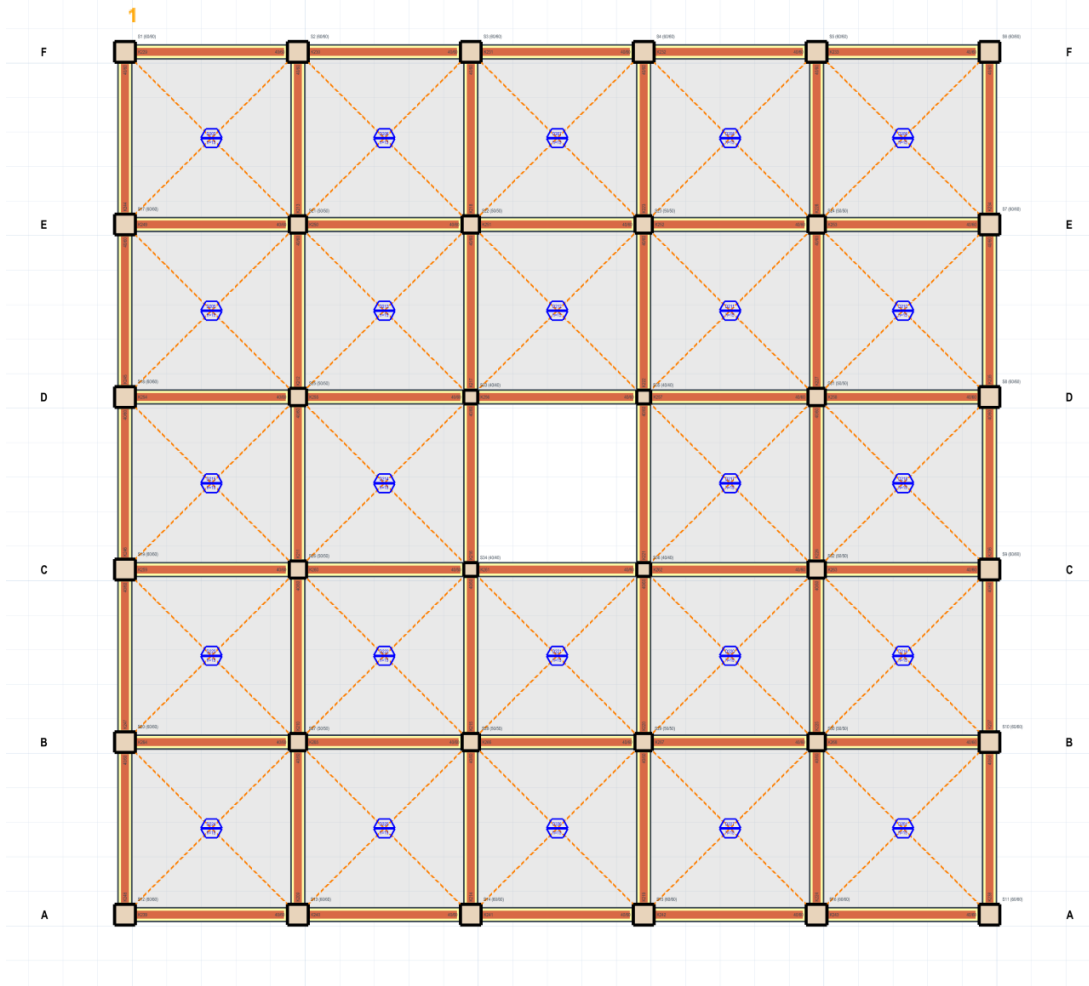
Çizelge 3.1: 4 Katlı yapıya ait bilgiler

Kat adedi	4
Kat yüksekliği	3 mt
Toplam yapı yüksekliği	12 mt
Yapının oturma alanı	625 m ²
Kullanım amacı	Yurt
Beton sınıfı	C30
Donatı çeliği	B420C
Beton elastisite modülü (Ec)	31225 MPa
$E_c=5000\sqrt{f_{c0}}$	
Donatı çeliği elastisite modülü (Es)	200000 MPa
Beton karakteristik basınç dayanımı (fck)	40 MPa
Donatı çeliği karakteristik akma gerilmesi (fyk)	420 MPa
TBDY 2019 Tablo 5.1' e göre	39 MPa
Betonun beklenen malzeme dayanımı (fce)	
$f_{ce}=1.3f_{ck}$	
TBDY 2019 Tablo 5.1' e göre	504 MPa
Donatı çeliğinin beklenen malzeme dayanımı (fye)	
$f_{ye}=1.2f_{yk}$	

Çizelge 3.2: 8 Katlı yapıya ait bilgiler

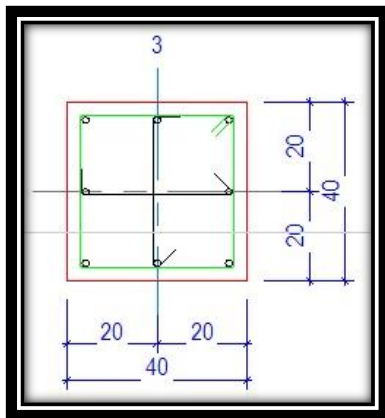
Kat adedi	8
Kat yüksekliği	3 mt
Toplam yapı yüksekliği	24 mt
Yapının oturma alanı	625 m ²
Kullanım amacı	Yurt
Beton sınıfı	C30
Donatı çeliği	B420C
Beton elastisite modülü (Ec)	31225 MPa
$E_c=5000\sqrt{f_{c0}}$	
Donatı çeliği elastisite modülü (Es)	200000 MPa
Beton karakteristik basınç dayanımı (fck)	40 MPa
Donatı çeliği karakteristik akma gerilmesi (fyk)	420 MPa
TBDY 2019 Tablo 5.1' e göre	39 MPa
Betonun beklenen malzeme dayanımı (fce)	
$f_{ce}=1.3f_{ck}$	
TBDY 2019 Tablo 5.1' e göre	504 MPa
Donatı çeliğinin beklenen malzeme dayanımı (fye)	
$f_{ye}=1.2f_{yk}$	

Zemin+3 Normal Kattan oluşan 4 katlı yapı ve Zemin+7 Normal kattan oluşan 8 katlı yapının kat planlarında bir farklılık bulunmamakta olup, sadece kat adetleri birbirinden ayrıdır. 4 ve 8 katlı yapılara ait tip kat planı Şekil 3.1' de gösterilmektedir.

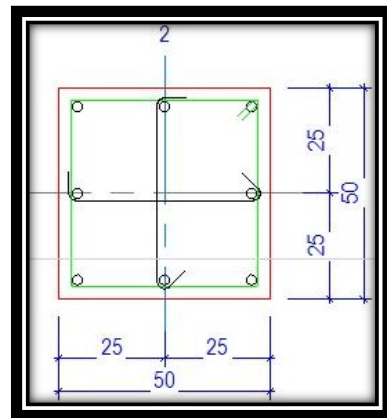


Şekil 3.1: Dört ve sekiz katlı yapılara ait tip kat planı (Tüm katlar)

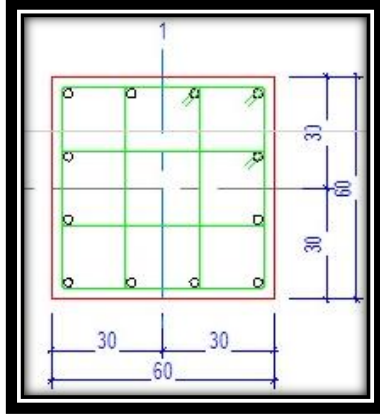
4 ve 8 katlı yapıda kullanılan Kolon kesitleri (40x40;50x50;60x60) ve Kiriş kesitine (40x60) ait görseller aşağıda yer almaktadır. Tüm kolon kesitlerinde boyuna donatılar $\Phi 24$, etriyeler $\Phi 10$; kiriş kesitinde ise çekme, montaj ile gövde donatıları $\Phi 18$, etriyeler $\Phi 10$ olarak tasarım planlanmıştır.



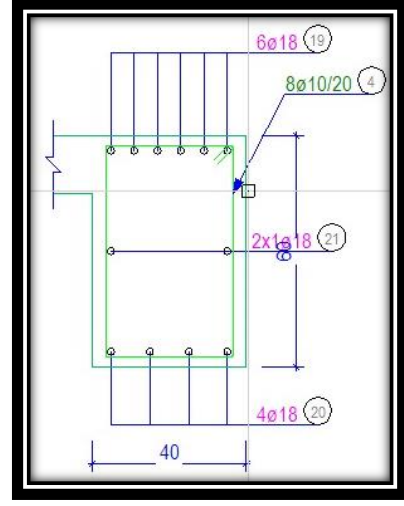
Şekil 3.1.a S40x40 Kolon



Şekil 3.1.b S50x50 Kolon



Şekil 3.1.c S60x60 Kolon



Şekil 3.1.d K40x60 Kiriş

3.3 Deprem Parametreleri

Şekil değiştirmeye göre tasarımı yapılacak olan her iki yapının da İstanbul İli Esenler ilçesinde kullanılacağı düşünülerek tasarımı planlanmıştır.

TBDY 2019 ‘ a göre şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımı’ nın uygulama kapsamını oluşturan Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları ile yapı sahibinin isteğine bağlı olarak seçilebilen İleri Performans hedefleri için Yönetmelikçe istenen performans hedefleri tablosunun hangi Deprem Yer Hareketi Düzeyinde gerçekleştirileceği Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi başkanlığınca hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasına <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> web sitesi üzerinden girilerek DD-1 ve DD-3 deprem düzeyi yer hareketi için yapının inşaatı düşünülen alanda enlem ve boylam koordinatları ile birlikte zemin sınıfında belirtilmesiyle birlikte veri girişi yapılmıştır. Her iki yapının da yapılacağı bölgedeki zemin şartlarının ZD olacağı varsayılarak aşağıda belirtilen Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’ deki parametreler elde edilmiştir.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	DD1	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	41.049088°	
Boylam:	28.877893°	

Çıktılar

$$S_S = 1.550 \quad S_1 = 0.434 \quad PGA = 0.620 \quad PGV = 39.242$$

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve $S_1 = 0.434$ için $F_1 = 1.866$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 1.550 \times 1.000 = 1.550$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.434 \times 1.866 = 0.810$$

Şekil 3.2: DD-1 için deprem tasarım parametreleri

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	DD3	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	41.049088°	
Boylam:	28.877893°	

Çıktılar

$$S_S = 0.347 \quad S_1 = 0.100 \quad S_{DS} = 0.528 \quad S_{D1} = 0.240$$
$$PGA = 0.150 \quad PGV = 9.416$$

Şekil 3.3: DD-3 için deprem tasarım parametreleri

3.3.1 Bina önem katsayısı ve bina kullanım sınıfı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 3.1.2' ye göre bir yapının kullanım fonksiyonuna göre deprem hesaplarında kullanılmak üzere belirli bir bina önem katsayısı ve bina kullanım sınıfı tayin edilmiştir. Yapının fonksiyonuna göre tayin edilen bina kullanım sınıfı bir sonraki aşama olan deprem tasarım sınıfının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çizelge 3.3 detaylı incelendiğinde depremden sonra kullanılması gerekli olan sağlık ocakları, hastaneler PTT tesisleri, okullar, müzeler vb. Yapılar için $I= 1.5$; insanların kısa süreli ve yoğun olarak kullandığı yapılar sınıfına giren spor tesisleri, alışveriş merkezleri, sinema vb. binalar için $I=1.2$; konut, işyeri, otel endüstri yapıları için $I=1.0$ değerlerini almaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, şekil değiştirmeye göre tasarımı yapılacak her iki yapısında kullanım amacı yurt olduğundan Çizelge 3.3 yardımıyla bina önem katsayısının $I=1.5$ ve bina kullanım sınıfının $BKS=1$ olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3: Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS =1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. Müzeler İnsanların	1.5
BKS =2	Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb. Diğer binalar	1.2
BKS =3	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri	1.0

2.1.1. Deprem Tasarım Sınıfı

TBDY 2019 madde 3.2' de yapıların deprem etkisi altında analizlerinde dikkat edilmesi gereken deprem tasarım sınıfları gösterilmekte olup, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak tanımlanmıştır. Deprem tasarım sınıflarına ait bilgiler Çizelge 3.4' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4: Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Sınıfı
$S_{DS} < 0.33$	BKS =1	BKS=2, 3
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS =4a	DTS =4
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS =3a	DTS =3
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS =2a	DTS =2
	DTS =1a	DTS =1

Bu tez çalışması kapsamında, şekil değiştirmeye göre tasarımı yapılacak her iki yapısında bina kullanım sınıfı BKS=1 olduğu ve yatay elastik tasarım

spektrumunun oluşturulmasında elde edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $SDS = 1.015 \geq 0.75$ olduğu için yapının deprem tasarım sınıfının DTS 1a olduğu Çizelge 3.4’de açıkça görülebilir.

3.3.2 Bina yükseklik sınıfı

TBDY 2019 3.3.2 maddesine göre yapıları yükseklik sınıfına göre belirlerken, deprem tasarım sınıf parametresinden yararlanılarak belirli aralıklara ayrılmıştır. Çizelge 3.5’ te bina yükseklik sınıfları verilmiştir.

Çizelge 3.5: Bina yükseklik sınıfı ve bina yükseklik aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS =1, 1a, 2, 2a	DTS =3, 3a	DTS =4, 4a
BYS =1	$H N >70$	$H N >91$	$H N >105$
BYS =2	$56 <H N \leq 70$	$70 <H N \leq 91$	$91 <H N \leq 105$
BYS =3	$42 <H N \leq 56$	$56 <H N \leq 70$	$56 <H N \leq 91$
BYS =4	$28 <H N \leq 42$	$42 <H N \leq 56$	
BYS =5	$17.5 <H N \leq 28$	$28 <H N \leq 42$	
BYS =6	$10.5 <H N \leq 17.5$	$17.5 <H N \leq 28$	
BYS =7	$7 <H N \leq 10.5$	$10.5 <H N \leq 17.5$	
BYS =8	$H N \leq 7$	$H N \leq 10.5$	

Tez çalışmasında tasarımı yapılacak olan her iki yapısında deprem tasarım sınıfının DTS 1a olduğu, 4 katlı yapının toplam bina yüksekliğinin 12 metre olduğu için yapının bina yükseklik sınıfının BYS=6 olduğu ve 8 katlı yapının toplam bina yüksekliğinin 24 metre olduğu için yapının bina yükseklik sınıfının BYS= 5 olduğu Çizelge 3.5’ te açıkça görülebilmektedir.

3.4 Taşıyıcı Sistem Bilgileri

Döşemeler:

Döşeme sistemleri dolu gövdeli (plak) döşemeler ve dişli döşemeler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Yapıdaki tüm döşemeler, iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme olarak tasarlanmıştır.

Döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı 2 ya da daha küçük olduğundan, döşeme çift doğrultuda çalışmaktadır. Narinlik koşulu gereği çift doğrultuda çalışan döşemenin kalınlığının belirlenebilmesi için Formül 12 kullanılacaktır.

$$h \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \quad h \geq 80 \text{ mm} \quad (\text{Formül 12})$$

Formül 12’de yer alan h döşeme kalınlığını, l_{sn} döşemenin kısa kenarının serbest açıklığını, m döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranını, α_s ise döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının, döşeme kenar uzunlukları toplamına oranını ifade etmektedir.

Gerekli kontrolleri yapılan yapılarda, döşeme kalınlığı 15 cm alınmıştır.

3.4.1 Kirişler:

TS500 7.4’te verilen şartlara göre eğilme momenti etkisi altında olan kirişlerin üzerindeki tasarım aksel basınç kuvveti $0.10 \times A_c \times f_{ck}$ sınır değerinden küçük veya eşit olmalıdır.

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin boyutlandırılmasında TBDY (2019) 7.4.1’de belirtilen koşullar dikkate alınmıştır. Bu koşullara göre; a bendinde kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacağı, b bendinde kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm’den daha az olmayacağı ayrıca, kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacağı belirtilmiştir.

Tüm koşullar dikkate alındığında yapılardaki tüm kirişler, tablalı kiriş olarak tasarlanmış ve ebatların $40^{cm} \times 60^{cm}$ olarak boyutlandırılması yapılmıştır.

3.4.2 Kolonlar:

Kolonlar aksel basınç ve eğilmeye maruz kalan düşey taşıyıcı elemanlardır. Süneklik düzeyi yüksek kolonların boyutlandırılmasında TBDY (2019) 7.3.1’de belirtilen koşullar dikkate alınmıştır. Bu koşullara göre; dikdörtgen kesitli kolonların en küçük enkesit boyutu 300 mm’den küçük olmayacak ve kolonun brüt enkesit alanı N_{dm} , $G + Q + E$ altında hesaplanan aksel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dm} / (0.40 f_{ck})$ koşulunu sağlaması istenmiştir.

Tüm koşullar dikkate alındığında yapıdaki tüm kolonlar, dikdörtgen kolon olarak tasarlanmış ve ebatları $40^{\text{cm}} \times 40^{\text{cm}}$, $50^{\text{cm}} \times 50^{\text{cm}}$, $60^{\text{cm}} \times 60^{\text{cm}}$ olarak boyutlandırılması yapılmıştır.

3.5 Yüklerin Belirlenmesi

Ölü yükler:

Betonarme döşeme ağırlığı: $25 \times 0.15 = 3.75 \text{ kN/m}^2$

Toplam kaplama ağırlığı: 1.5 kN/m^2

Kirişlere gelecek olan duvar ağırlıkları ise yapının dış çevre kirişlerinde ve iç kirişlerinde farklılık göstermektedir.

Dış çevre kirişlerde ağırlık: 7.5 kN/m

İç kirişlerde ağırlık: 3.75 kN/m

olarak alınmıştır.

Hareketli Yükler:

TS 498'e göre; kullanım amacı yurt olarak belirlenen yapıların tasarımında kullanılacak döşeme için düşey hareketli yük değeri 3.5 kN/m^2 'dir.

Kar Yüğü: 0.75 kN/m^2

olarak alınmıştır.

3.6 Xtract Programına Giriş ve Elastik/Plastik Sınırların Belirlenmesi

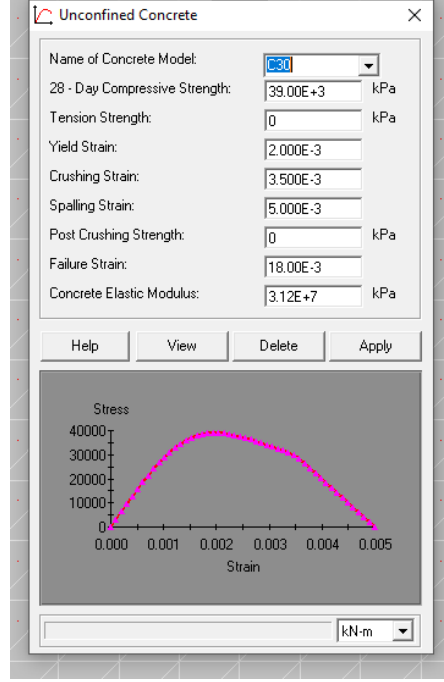
Plastik mafsallık özellikleri, XTRACT V.3.0.8 programı kullanılarak moment eğrilik ilişkileri ile açıklanmıştır. Bu çalışmada, doğru modellemeye ve uygun malzeme tayinine dikkat edilmiştir [31]

Malzeme modelleri, TBDY 2019 Ek 5A'da belirtilen beton ve donatı çeliği için şekildeğiştirme sınır kriterlerine uygun olarak kullanılmıştır.

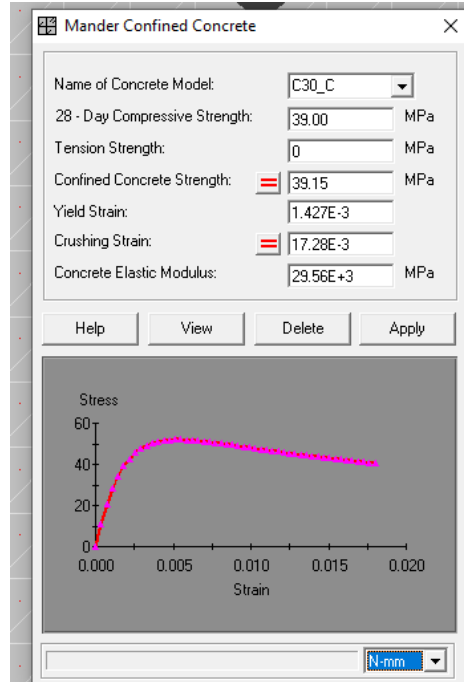
Betonun modellenmesinde, sargılı beton ve sargısız beton olmak üzere iki ayrı kesit kullanılmıştır. Sargısız beton kesitinde, TBDY 2019 Ek 5A'da belirtilen birim uzama sınır değerlerinden yararlanılırken, sargılı beton modelinde ise

TBDY 2019 Ek 5A'da belirtilen dayanım ve birim şekil değiştirmeden yararlanılmıştır.

Aşağıda, oluşturulan kesit modelleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' de beton kesitleri, Şekil 3.6' da ise çelik kesiti gösterilmiştir.

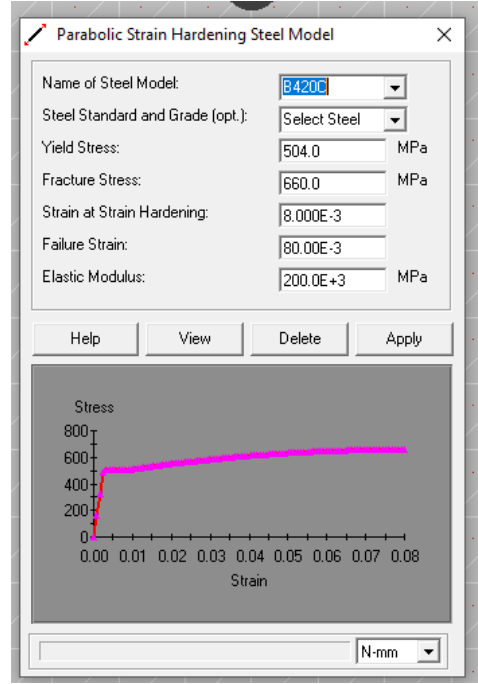


Şekil 3.4: Sargısız beton modeli (C30 Beton Sınıfı)



Şekil 3.5: Sargılı beton modeli (C30 Beton Sınıfı)

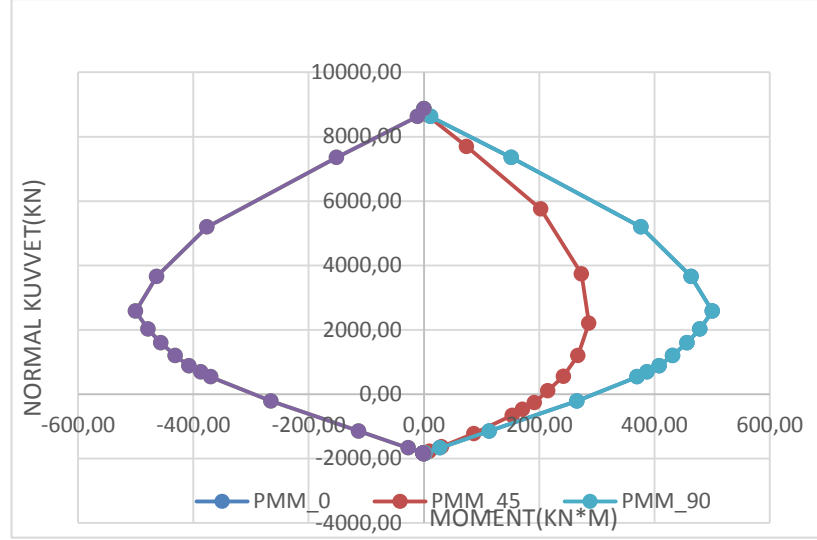
S420 donatı çeliğinin modellenmesinde, birim uzama ve kısalma sınır parametreleri TBDY Ek 5A'da belirtilen koşullara uygun olarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.6: Donatı çelik modeli (S420)

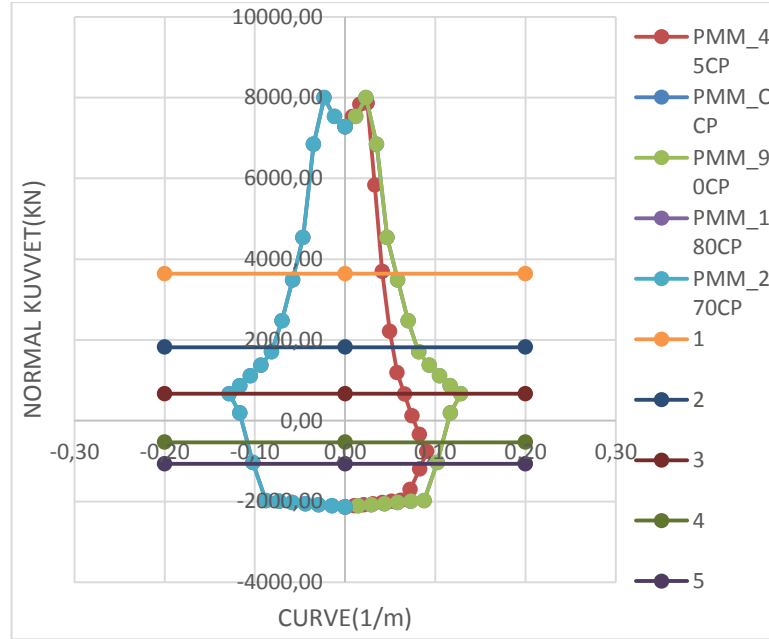
3.6.1 Kolon kesitlerine ait akma yüzeylerinin (PMM) belirlenmesi, normal kuvvet- eğrilik ilişkisi ve idealize edilmesi

TBDY 2019 [7] uyarınca; 0, 45 ve 90 derece olmak üzere eksenel yük altında PMM analizleri yapılarak kolon kesitlerine ait akma sınırları tespit edilmiştir. PMM analizlerine ulaşmak için XTRACT programı kullanılmıştır. S40×40 kolonundan elde edilen grafik aşağıda Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



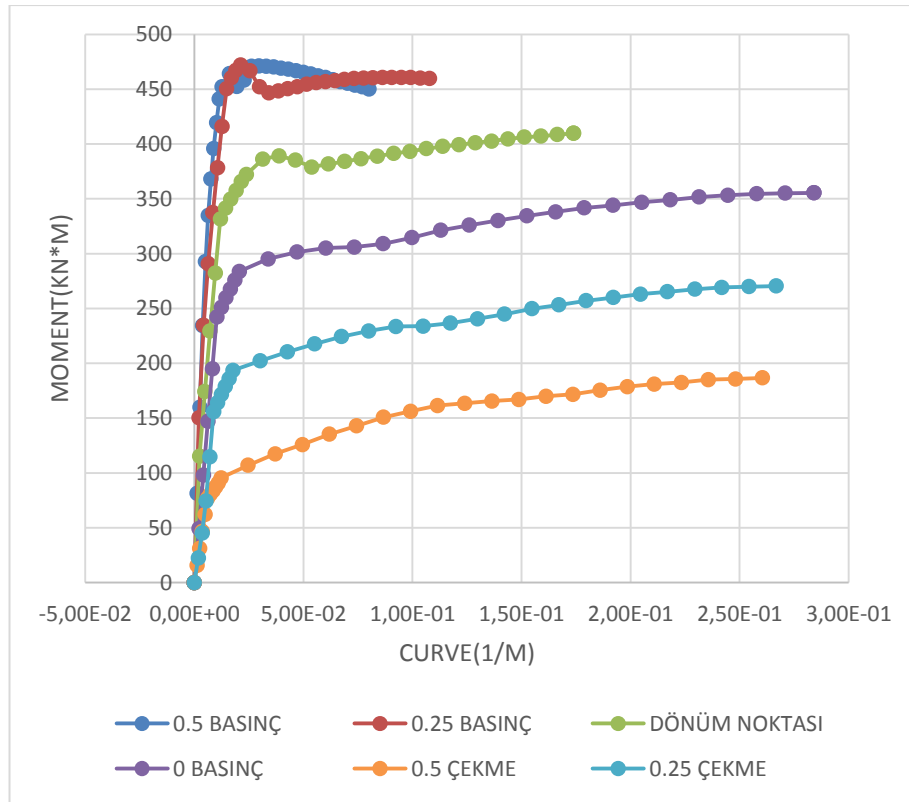
Şekil 3.7: S40*40 Kolonuna ait PMM analiz grafiği

Akma sınırlarının tespitinden sonra, Mander modeline göre TBDY 2019' da da bahsedildiği üzere N-Curvature (Eksenel kuvvet-Eğrilik) değerlerini elde etmek amacıyla betonun göçmenin önlenmesi birim uzama değeri $\epsilon_c(GÖ) = 0.0035 + 0.04 \omega 0.5 \leq 0.018$; çeliğin birim uzama değeri $\epsilon_s(GÖ) = 0.4\epsilon_{su}$ formülleri yardımı ile hesaplanır ve XTRACT' ten de eldilen verilerle birim uzama değerleri sırasıyla betonda $\epsilon = 0.01268$; B420C çelikte $\epsilon = 0,032$ olarak tespit edilir.

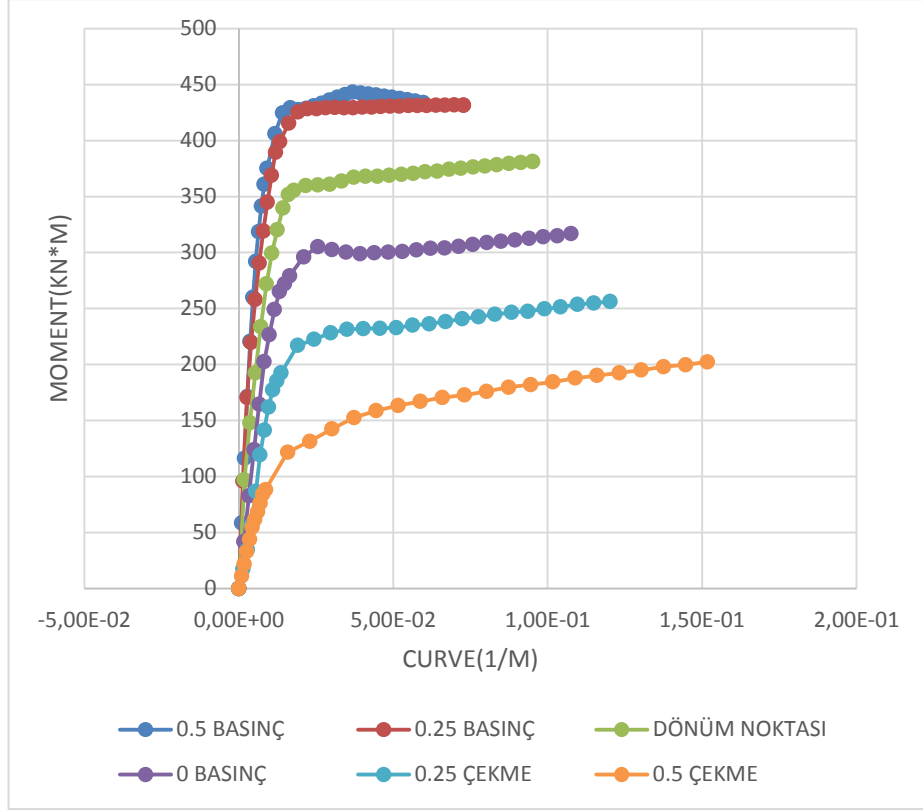


Şekil 3.8: S40*40 Kolonuna ait N-Curvature grafiği

TBDY 2019 Bölüm 17.7’ de belirtilen Basitleştirilmiş Kesit Taşıma Gücü Kurallarına göre kolon kesitlerinde düşey yükler altında (g+q) meydana gelen maksimum aksenal kuvvetin “ $N_{d,max} = 0.35 f_{ck}.b.h$ ” değerinden büyük olmayacağı belirtilmektedir [7] Şekil 3.7’ de belirtilen PMM oranları grafiğimizde görüldüğü üzere optimum hesap verilerine ulaşmak için meydana gelen maksimum basınç ve çekmede aksenal kuvvetin %50’ si, %25’ i ve aksenal kuvvetin dönüm yaptığı yer ile 0 (sıfır) olduğu noktalarda XTRACT programı aracılığı ile 0^0 , 45^0 ve 90^0 yükleme açılarında kesitte meydana gelen Moment- eğrilik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.9-3.10).



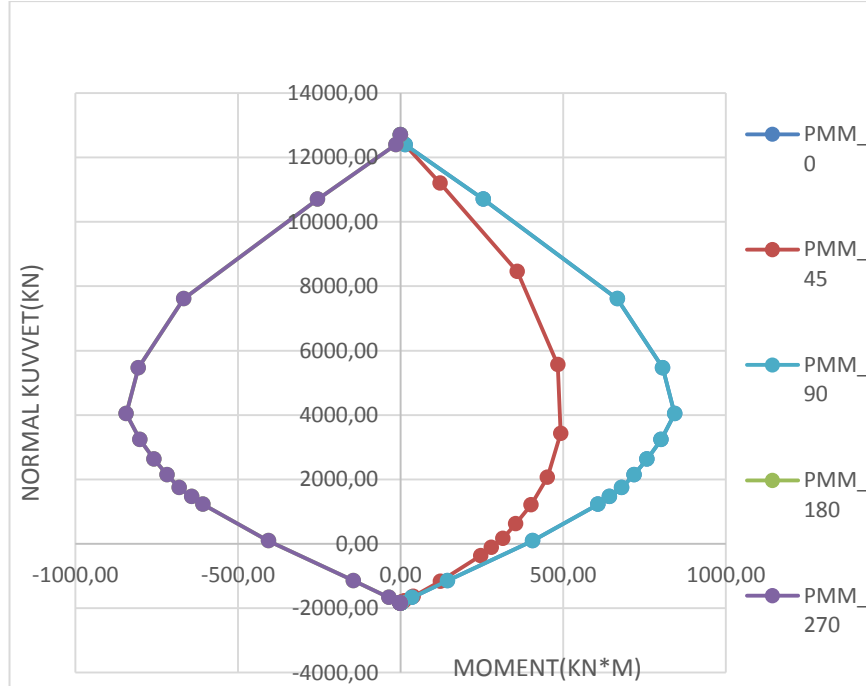
Şekil 3.9: S40*40 Kolonunun 0^0 VE 90^0 için moment eğrilik grafiği



Şekil 3.10: S40*40 Kolonun 45° için moment eğrilik grafiği

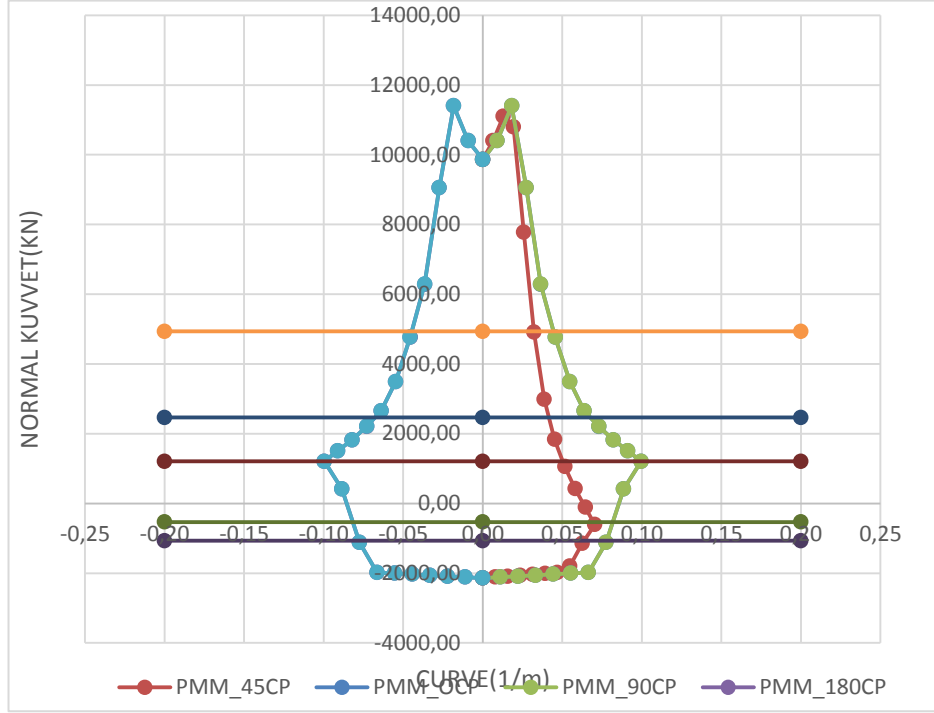
Diğer kolonlara ait grafikler aşağıda gösterilmektedir.

S50×50 kolonu için:



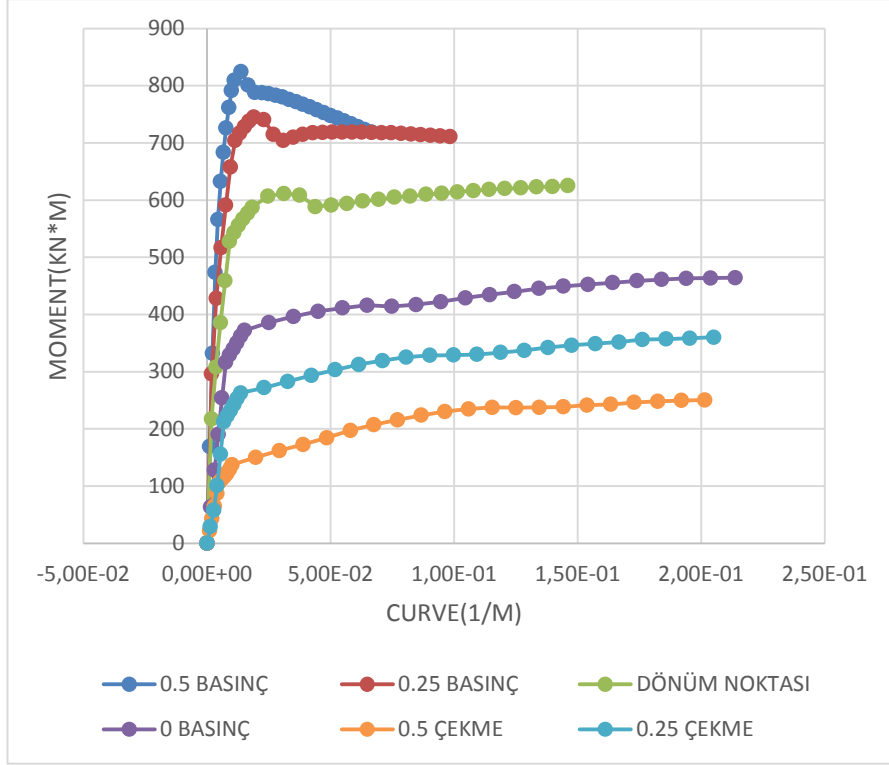
Şekil 3.11: S50*50 Kolonuna ait PMM analiz grafiği

XTRACT' ten elde edilen verilerle birim uzama değerleri sırasıyla betonda $\epsilon = 0.01182$; B420C çelikte $\epsilon = 0,032$ olarak tespit edilir.

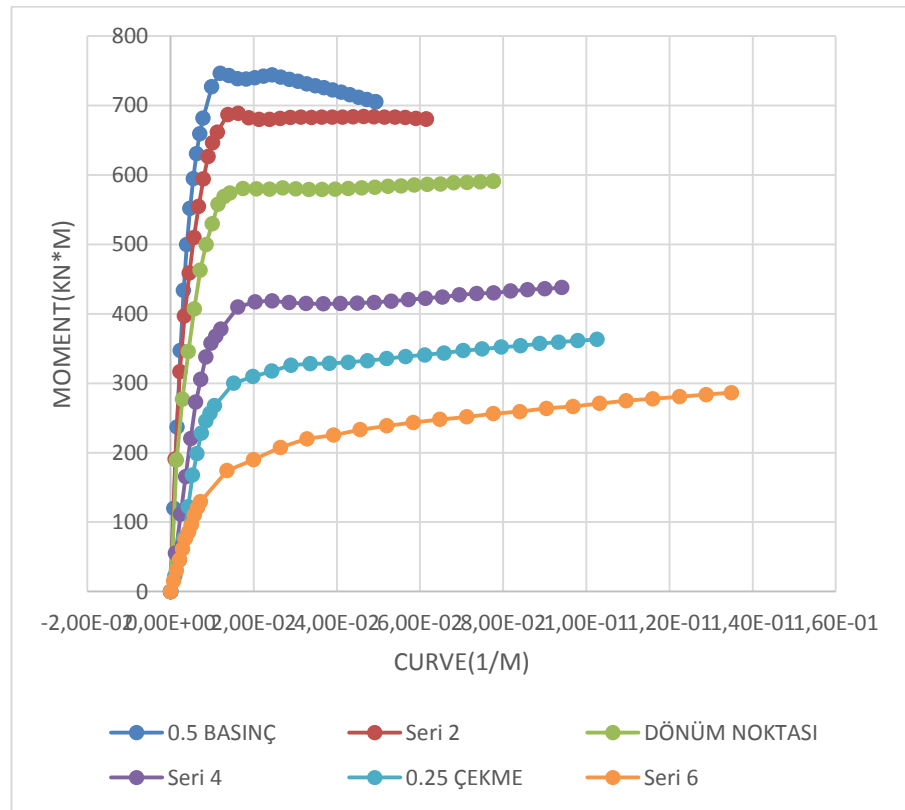


Şekil 3.12: S50*50 Kolonuna ait n-curvature grafiği

XTRACT programı aracılığı ile 0^0 , 45^0 ve 90^0 yüklenme açılarına göre kesitte meydana gelen Moment- eğrilik değerleri hesaplanmış olup, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' de grafikler sunulmuştur.

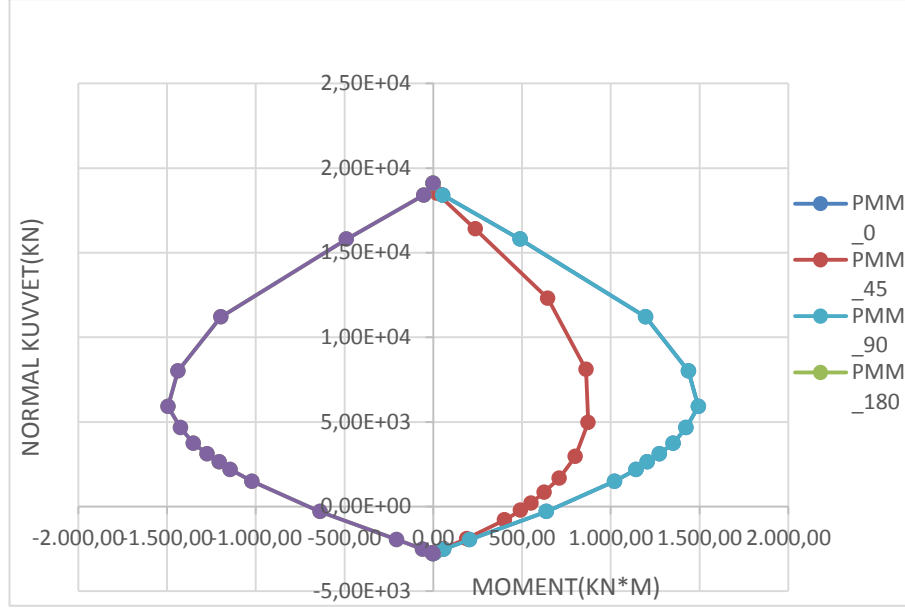


Şekil 3.13: S50*50 Kolonunun 0° ve 90° için moment eğrilik grafiği



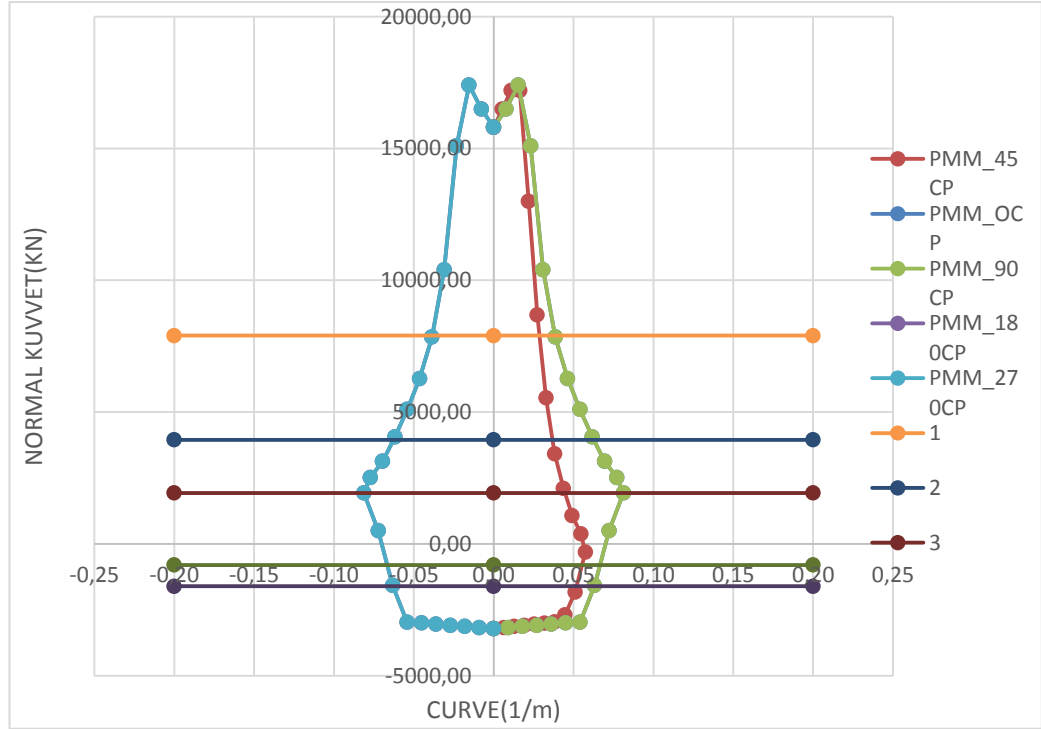
Şekil 3.14: S50*50 Kolonun 45° için moment eğrilik grafiği

S60×60 kolonu için:



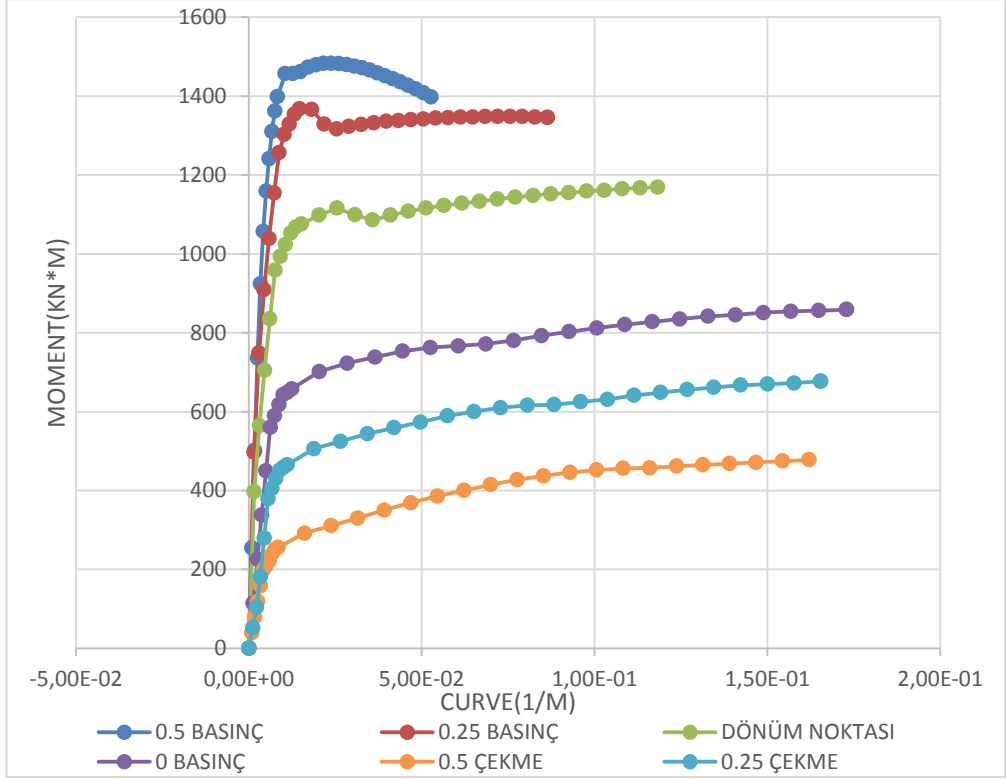
Şekil 3.15: S60*60 Kolonuna ait PMM analiz grafiği

XTRACT' ten elde edilen verilerle birim uzama değerleri sırasıyla betonda $\epsilon = 0.01279$; B420C çelikte $\epsilon = 0,032$ olarak tespit edilir.

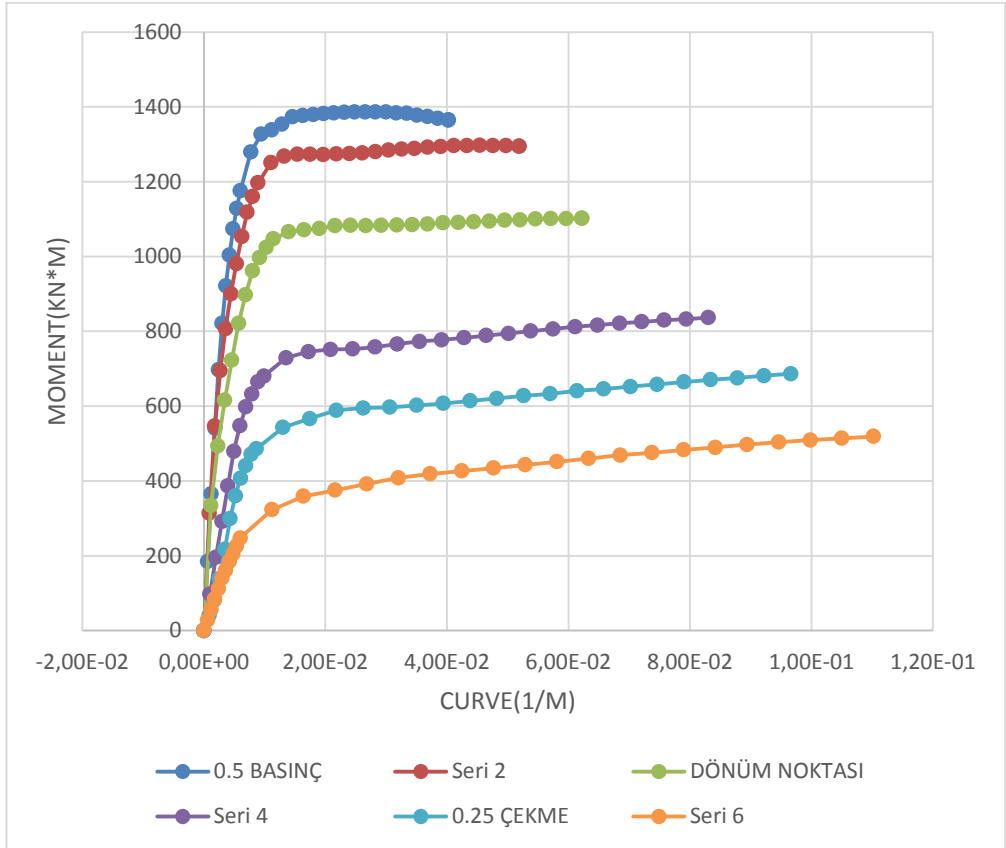


Şekil 3.16: S60*60 Kolonuna ait n-curvature grafiği

XTRACT programı aracılığı ile 0^0 , 45^0 ve 90^0 yüklenme açılarına göre kesitte meydana gelen Moment- eğrilik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.17- 3.18).



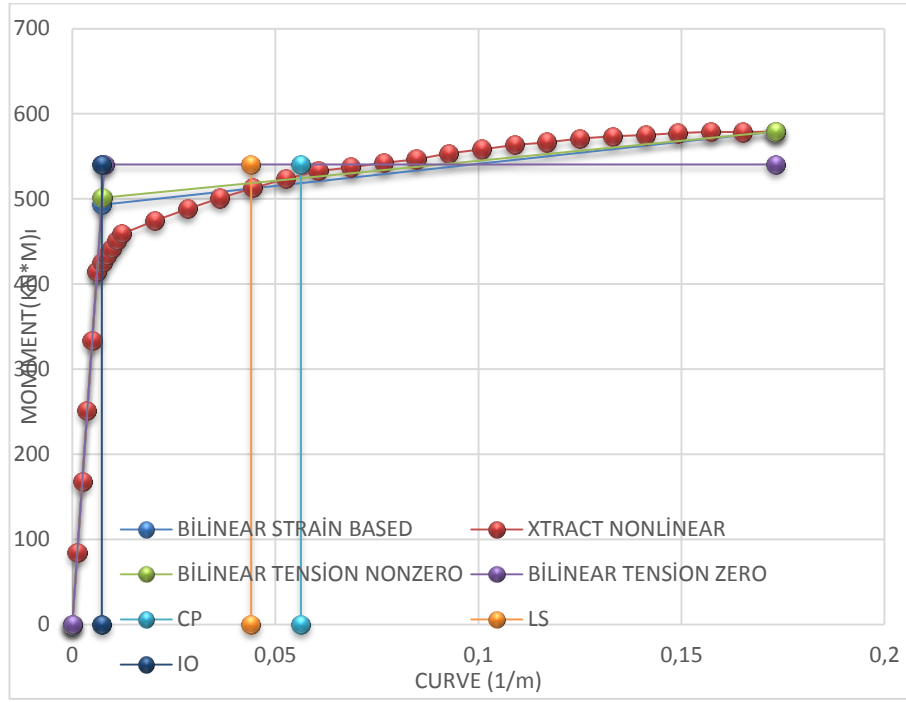
Şekil 3.17: S60*60 Kolonunun 0° ve 90° için moment eğrilik grafiği



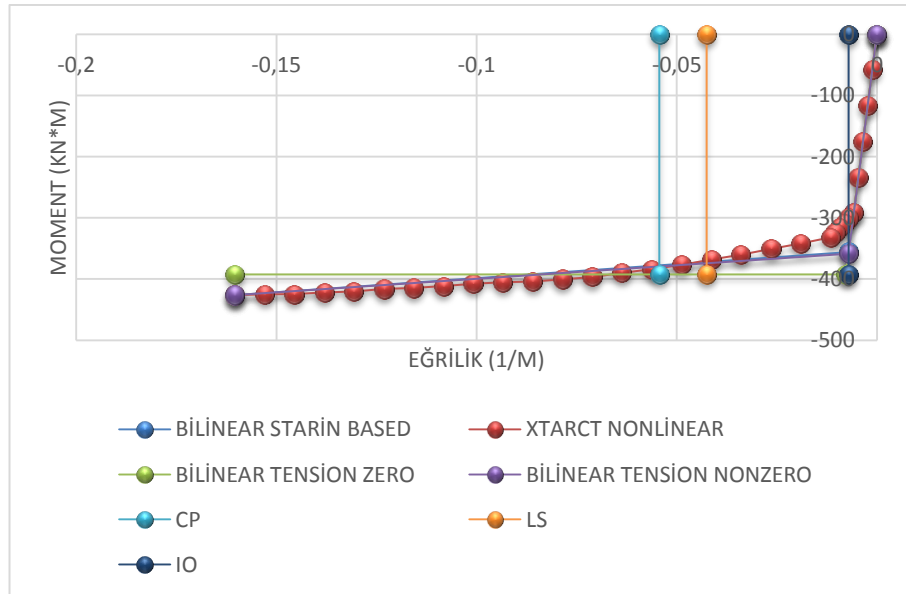
Şekil 3.18: S60*60 Kolonunun 45° için moment eğrilik grafiği

3.6.2 Kiriş kesatine ait normal kuvvet-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi

Eksenel basınç düzeyi düşük olan kirişlerin XTRACT programı ile analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda, her kirişe ait mesnet kesitlerinin negatif ve pozitif yükleme durumlarına göre moment-eğrilik grafiği elde edilmiştir. Moment-eğrilik grafiğinden elde edilen değerler ve plastik mafsalsal boyu kullanılarak, akma ve göçme durumlarına ait dönme değerleri bulunmuştur.



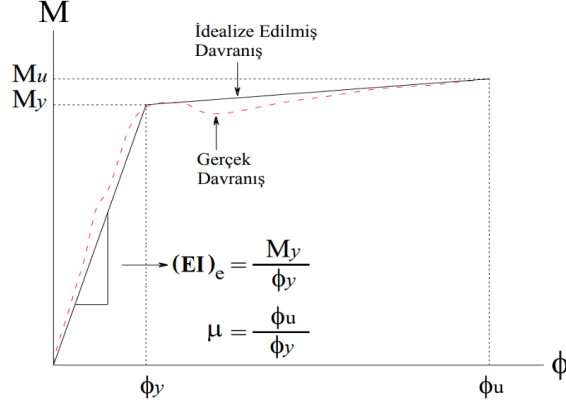
Şekil 3.19: Pozitif yükleme durumuna göre Moment-Eğrilik grafiği



Şekil 3.20: Negatif yükleme durumuna göre Moment-Eğrilik grafiği

3.6.3 Bilinearizasyon ve moment-eğrilik bağıntısının oluşturulması

Elde edilen Moment-Eğrilik verilerinden sonra işlem adımlarına devam edebilmek için bilinearizasyon işlemi yapılacaktır. Literatürde bu işlem adımı için 3 (üç) farklı yöntem bulunmakta olup, bu tez çalışmamızda $M_{0.004} - 0.015$ yöntemi ele alınacaktır.



Şekil 3.21: Moment- eğrilik ilişkisi

Şekil 3.21.' de belirtmekte olan M_y , kesitte meydana gelen ilk akma momenti, ilk akma eğrilik değerini ϕ_y göstermektedir. Bu akma değerlerinin tespitinde amaç; betonun birim şekil değiştirmesi 0.002, donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesinin ise akma birim şekil değiştirmesi değerine ilk önce erişenin bulunması olmaktadır. Etkin eğrilik ϕ_y 'ye karşı gelmekte olan etkin plastik moment yani M_N ' nin hesabında ise; betonun basınç birim şekil değiştirmesi 0.004 veya donatı birim şekil değiştirmesi 0.015 değerine ilk erişen moment değerinin tespit edilmesidir [32].

TBDY 2019' a göre “Yeni Betonarme Bina Elemanları İçin İzin Verilen Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları” nın tespitinde plastik dönmelerinin hesabı aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır [7]:

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için plastik dönme formülü:

$$\theta_p(GÖ) = 2/3[(\phi_U - \phi_y) L_p (1 - 0,5 L_p/L_s) + 4,5 \phi_U db]$$

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi için plastik dönme formülü:

$$\theta_p(KH) = 0,75 \theta_p(GÖ)$$

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi için plastik dönme formülü:

$$\theta_p(SH) = 0$$

XTRACT programından 6(altı) farklı basınç kuvveti için oluşan moment-eğriliğe bağlı olarak bilinearizasyon işlemi gerçekleştirilir. Şekil.3.21' de görüldüğü üzere M_u/M_y ' ye (kesitin ulaşabileceği son moment değeri/Akma momenti değeri) karşılık gelen kesitte oluşan θ_p (plastik dönme) hesaplanır ve SAP2000 programına aktarılır [25]

3.6.4 Taşıyıcı sisteme ait etkin kesit rijiliklerinin belirlenmesi

Etkin rijitlik, kesitin idealize edilmiş bilinear davranışının elastik kabul edilen bölüme ait rijitliktir.

$$EI_{(y)} = \frac{M_{(y)}}{k_{(y)}}$$

$EI_{(y)}$ etkin rijitlik değeri olup, belirtilen üç tip idealleştirme için aynı sonuçlar vermesi beklenir. TBDY 2019 uyarınca yığılı plastik mafsal olarak modellenecek kesitlerde $EI_{(y)}$ değeri yerine, yeniden hesaplanacak bir $EI_{(e)}$ değeri kullanılacaktır. Söz konusu rijitlik sadece çubuk olarak modellenecek elemanlarda elastik rijitliğe katkı sağlayacak şekilde hesaba dâhil edilecektir. Ayrıca yürütülecek M-Curv analizi için düşey yüklerden elde edilen aksenal kuvvet, analiz sabit değeri olarak kullanılacaktır.

$$EI_{(e)} = \frac{M_y L_s}{Q_y 3}$$

M_y , çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentlerinin ortalamasıdır. θ_y ise çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların akma dönmelerinin ortalamasıdır.

L_s , kesme açıklığını ifade etmektedir. Plastik mafsal akma dönmesi θ_y , aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

ϕ_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini ifade eder. Kiriş ve kolonlarda $\eta=1$ alınmıştır.

h kesit yüksekliğini, d_b mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ye} donatının ortalama akma dayanımını ve f_{ce} betonun ortalama basınç dayanımını temsil eder.

TBDY 2019 dikkate alınarak kolonların etkin rijitlik değerleri hesaplanmış, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6: 1.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri

KOLON NO	ETKİN RİJİTLİK
151	0,187607536
152	0,187607536
157	0,187607536
158	0,187607536
247	0,181145562
248	0,181145562
253	0,181145562

Çizelge 3.7: 2.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri

KOLON NO	ETKİN RİJİTLİK
254	0,181145562
343	0,172547442
344	0,172547442
349	0,172547442
350	0,172547442
439	0,163504716
440	0,163504716

Çizelge 3.8: 3.Kat kolonlarının etkin rijitlik değerleri

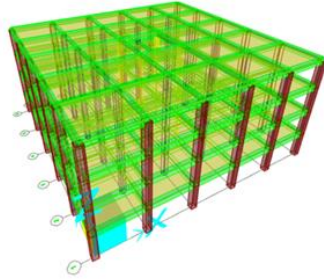
KOLON NO	ETKİN RİJİTLİK
445	0,163504716
446	0,163504716
535	0,154584209
536	0,154584209
541	0,154584209
542	0,154584209
631	0,145752773

Çizelge 3.9: 4.Kat Kolonlarının etkin rijitlik değerleri

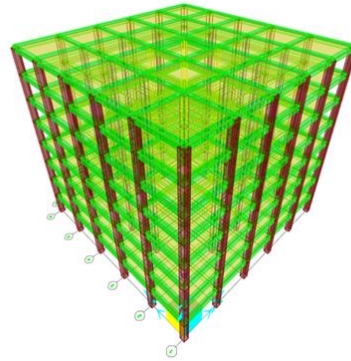
KOLON NO	ETKİN RİJİTLİK
632	0,145752773
637	0,145752773
638	0,145752773
727	0,137009373
728	0,137009373
733	0,137009373
734	0,137009373

3.7 Yapıların SAP2000 Programına Tanıtılması

TBDY 2019 5.4.1’de doğrusal olmayan analizler için yapının taşıyıcı sisteminin modellenmesi ile ilgili şartlar açıkça belirtilmiştir. Bu şartlara göre, doğrusal sönüm oranı birbirine dik iki yatay doğrultu için deprem etkileri dikkate alınarak %5 olmalı, ikinci mertebeye etkileri göz önüne alınmalı, mevcut dayanımlar esas alınmalı ve yapının taşıyıcı sistem modeli daima üç boyutlu olarak kurulmalıdır.



Şekil 3.22: 4 Katlı yapı modellemesi



Şekil 3.23: 8 Katlı yapı modellemesi

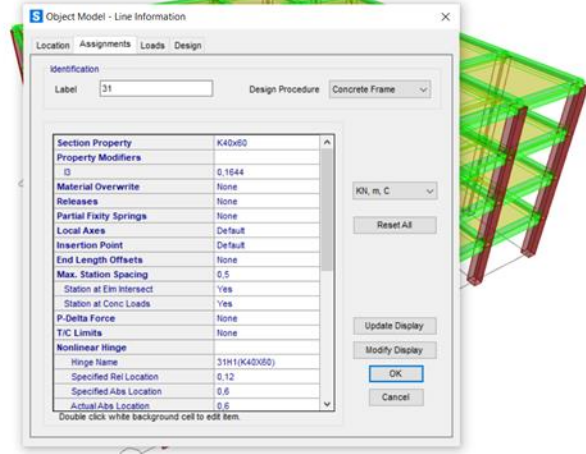
3.7.1 Kiriş ve kolonların modellenmesi

TBDY 2019 5.4.2.’de belirtilen kiriş ve kolonlar için modelleme kuralları içerisinde taşıyıcı sistemde kullanılan kiriş ve kolonlar çubuk sonlu elemanlar olarak modellenmiştir.

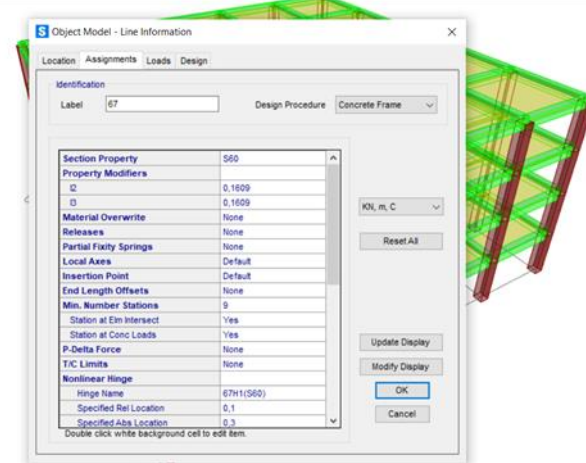
Doğrusal olmayan davranışa uygun olarak elemanların uçlarında tanımlanan sonlu plastik şekil değiştirme bölgeleri yığılı mafsallık olarak modellenmiştir.

Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında altı serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınmıştır.

Şekil 3.24' te örnek olarak K40×60 kirişinin ve Şekil 3.25' te örnek olarak S60×60 kolonunun SAP2000 programında tanımlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.24: K40×60 kirişinin tanımlanması

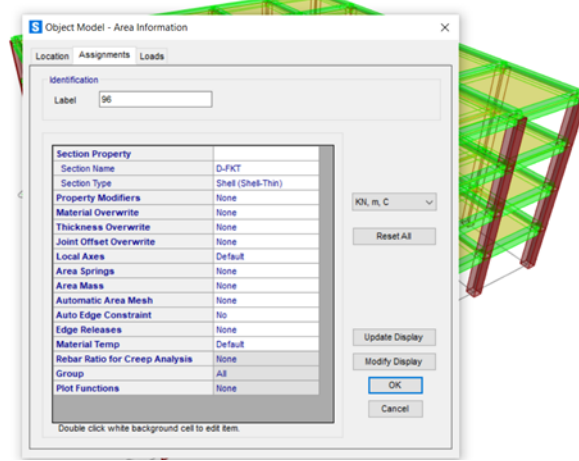


Şekil 3.25: S60×60 kolonunun tanımlanması

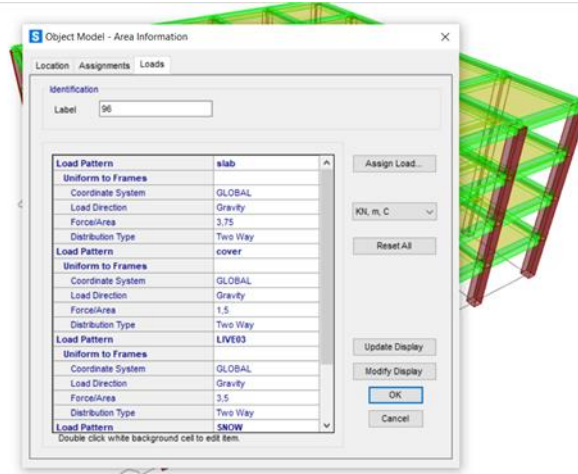
3.7.2 Döşemelerin modellenmesi

TBDY 2019 5.4.4.'de belirtilen döşemeler için modelleme kuralları içerisinde şekil değiştirmeye izin vermediğimiz düzenli yapıda kullanılan döşemeler elastik rijit diyafram olarak tasarlanmıştır ve tasarımda kullanılan döşemelerin kalınlığı 15 cm'dir.

Şekil 3.26' da örnek olarak D15 döşemesinin ve Şekil 3.27' de örnek olarak Çatı katı döşemesinin SAP2000 programında tanımlanması gösterilmiştir.



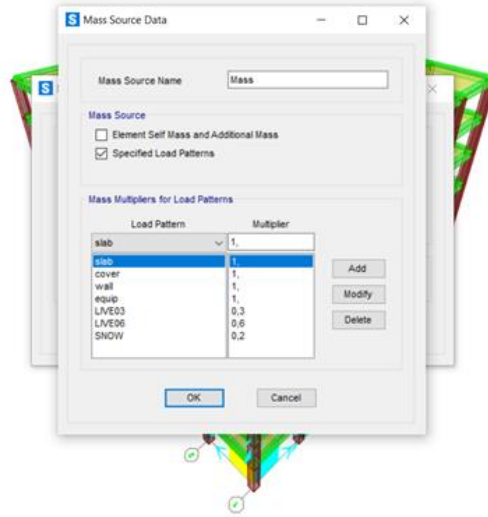
Şekil 3.26: D15 döşemesinin tanımlanması



Şekil 3.27: Çatı katı döşemesinin tanımlanması

3.7.3 Kütlelerin modellenmesi

TBDY 2019 5.4.6.'de belirtilen kütlelerin modellenmesi için belirtilen kurallarda TBDY 2019 4.5.9'a yönlendirilmiştir. TBDY 2019 4.5.9'a uygun olarak modelleme kuralları dikkate alınmıştır. Doğrusal tasarım dışında kar yükü azaltılmıştır. Şekil 3.28' de örnek olarak kütlelerin modellenmesi SAP2000 programındaki tanımlanması gösterilmiştir.

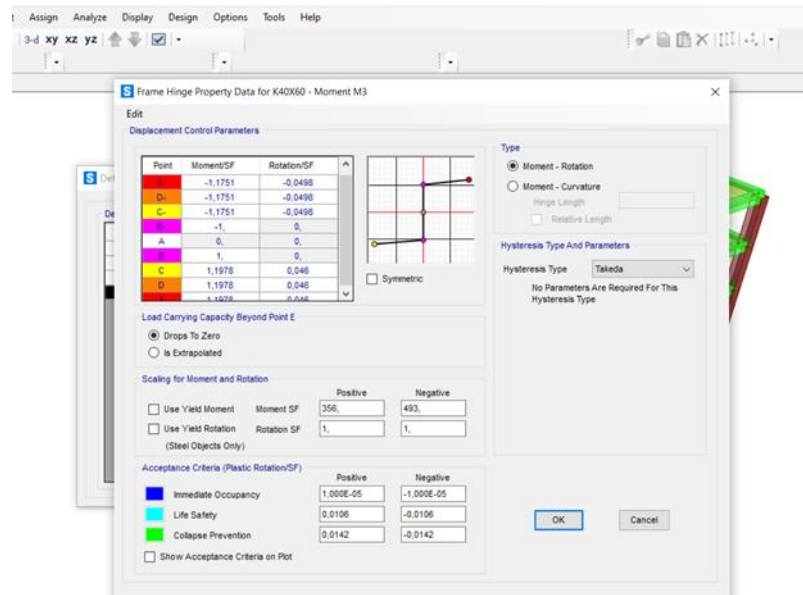


Şekil 3.28: Kütlelerin modellenmesi

3.7.4 Plastik davranış modelinin tanıtılması

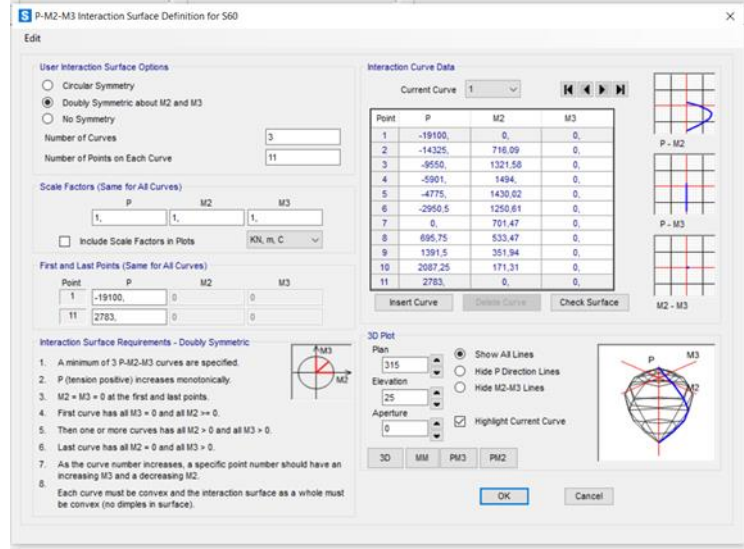
Tez çalışmamızda, TBDY 5.3.1’de belirtildiği gibi çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellediğimiz kolonlar ve kirişlerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli uygulanmıştır.

Kirişlerin üzerine gelen aksel yük düşük olduğundan SAP2000 programına sadece M3 moment mafsalı tanımlanmıştır.



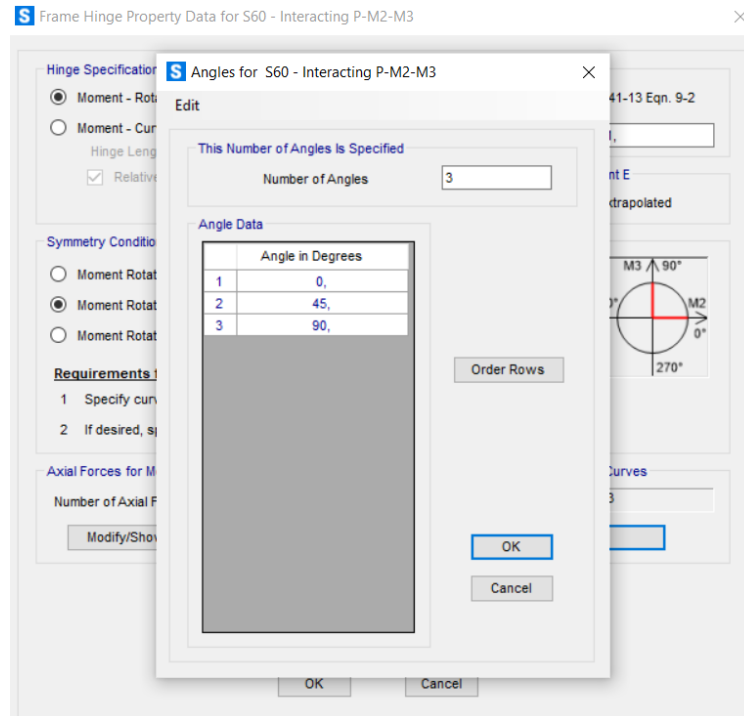
Şekil 3.29: K40×60 kirişler için M3 mafsalının tanımlanması

XTRACT programı kullanılarak PMM akma yüzeyi analizi yapılmış olup, elde edilen sonuçlar ile akma yüzeyleri oluşturulur. S60×60 kolonun akma yüzeyi için 11 nokta seçilmiştir. Şekil 3.30’ da örnek olarak SAP2000 programında tanımlanması gösterilmiştir.



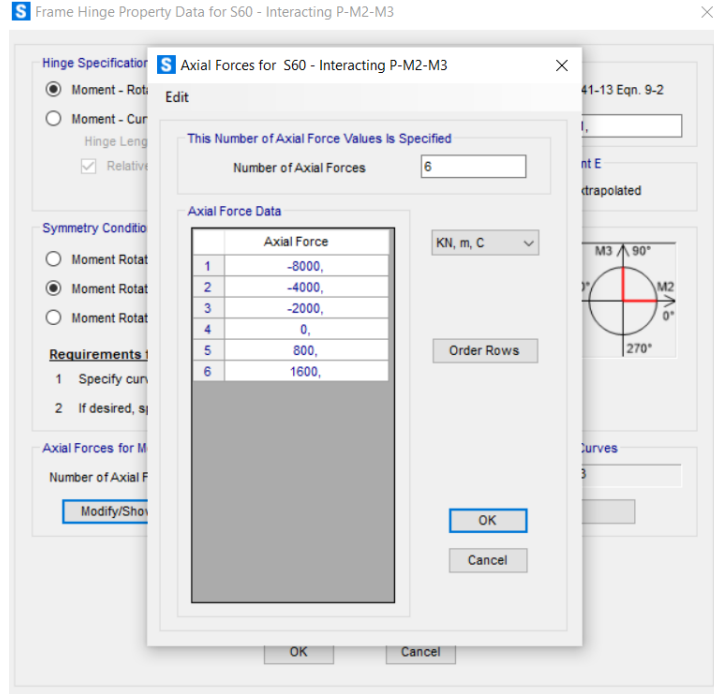
Şekil 3.30: S60×60 kolonuna ait mafsalsın PM2M3 bilgisi

Kolonlardaki aksenal yükler çoğunlukla basınç yükü altında ve minimum bir ara açı olmak kaydıyla en az 3 açıda seçilirler (0, 90 ve 45 derece). Şekil 3.31’ de örnek olarak S60 kolonuna ait etkileşim açıları SAP2000 programında tanımlanması gösterilmiştir.



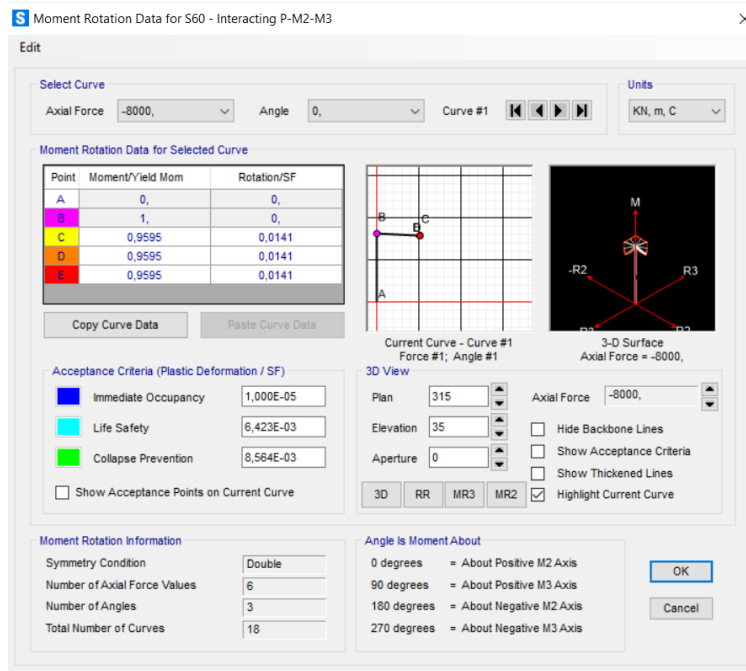
Şekil 3.31: S60×60 kolonuna ait mafsalsın PM2M3 etkileşim açıları

XTRACT programından elde edilen normal kuvvet değerleri düzenlenerek, SAP2000 programında tanımlanması Şekil 3.32’ de gösterilmiştir.

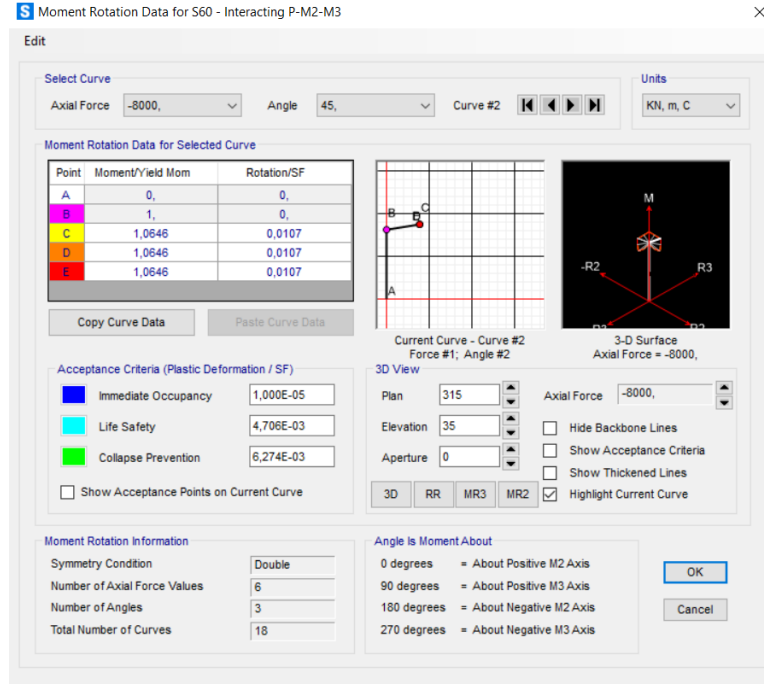


Şekil 3.32: S60×60 kolonu için PMM ait normal kuvvetler

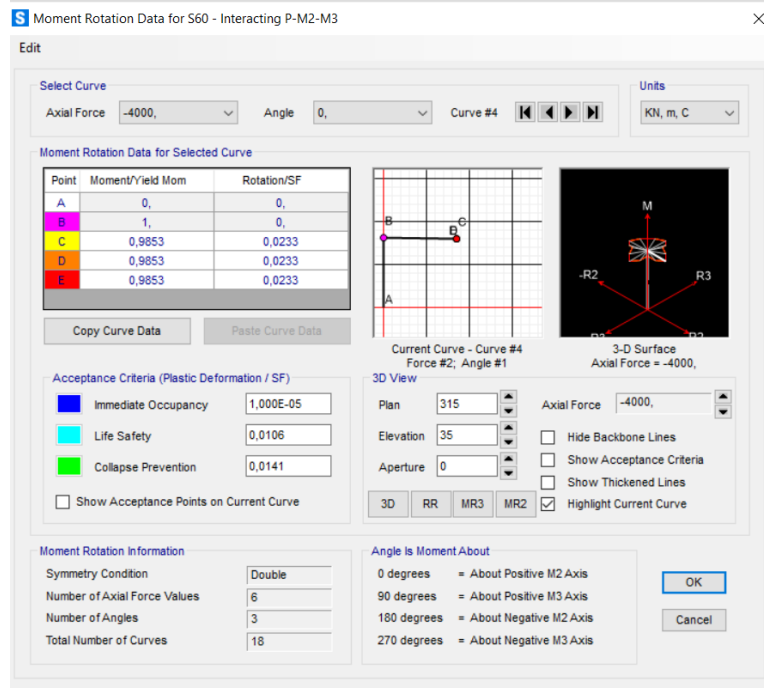
S60×60 kolonunun normal kuvvetler altındaki etkileşim açılarıyla birlikte moment-eğrilik/dönme davranış bilgisinin SAP2000 programında tanımlanması aşağıda gösterilmektedir.



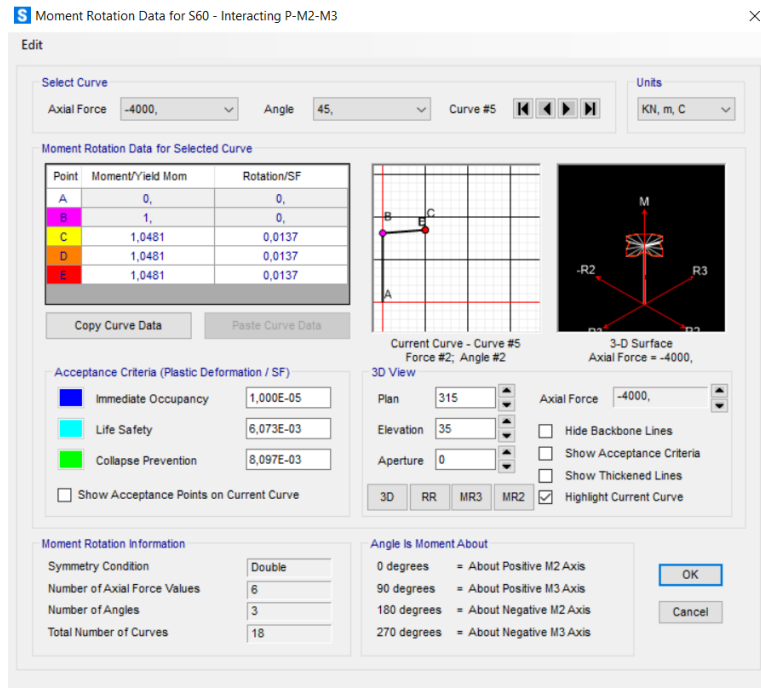
Şekil 3.33: 8000 kN ait M curve (0-90 derece)



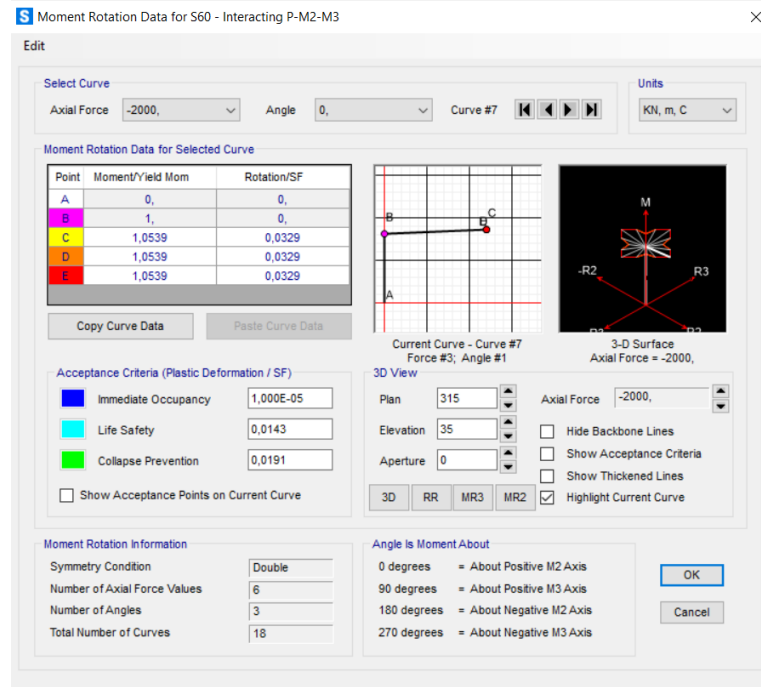
Şekil 3.34: 8000 kN ait M curve (45derece)



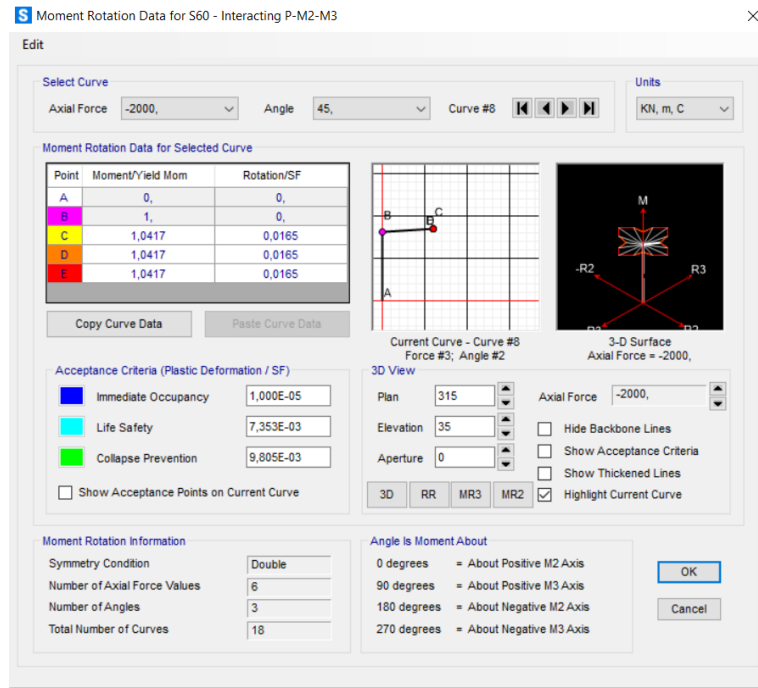
Şekil 3.35: 4000 kN ait M curve (0-90 derece)



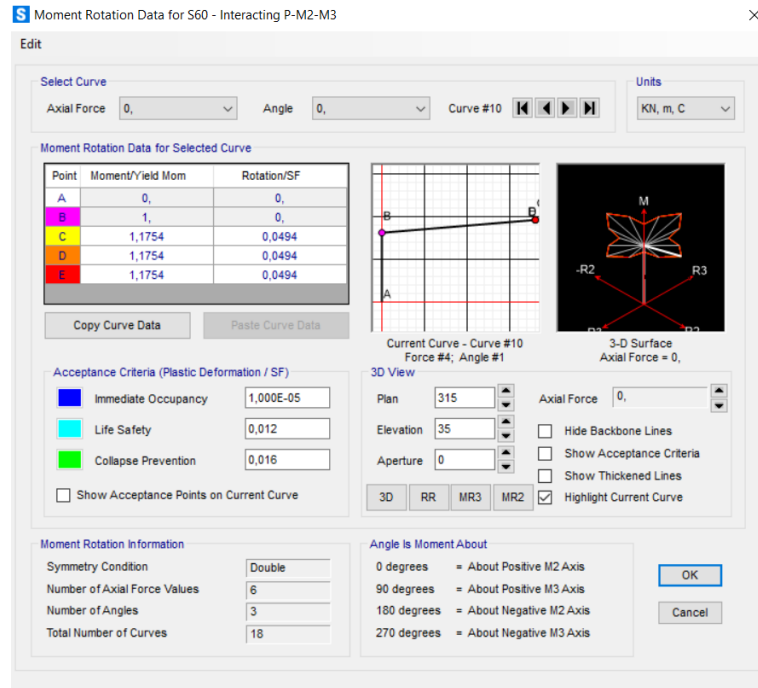
Şekil 3.36: 4000 kN ait M curve (45 derece)



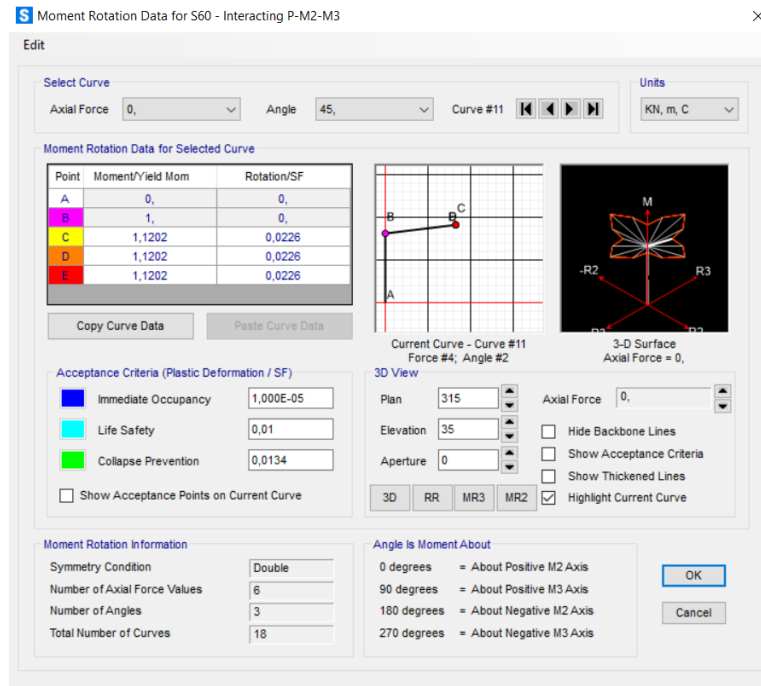
Şekil 3.37: 2000 kN ait M curve (0-90 derece)



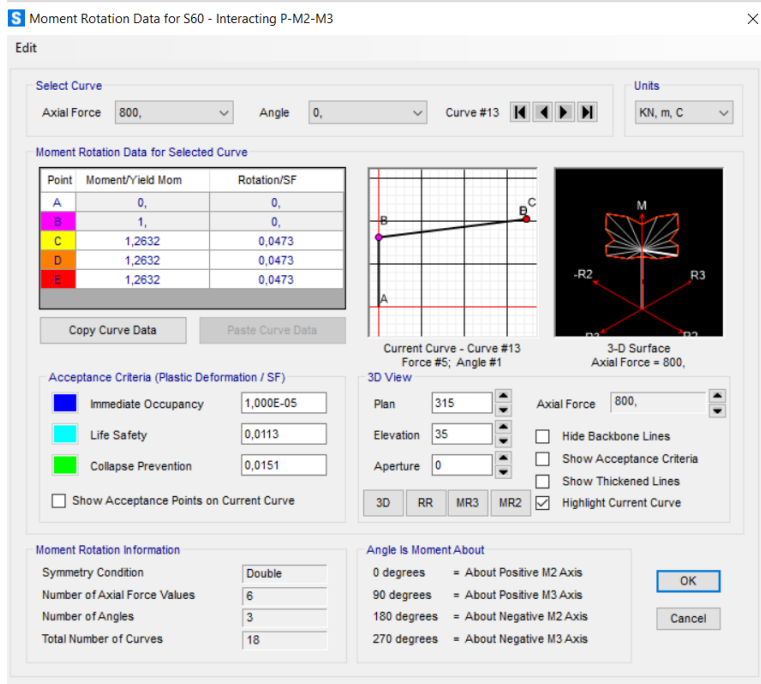
Şekil 3.38: 2000 kN ait M curve (45 derece)



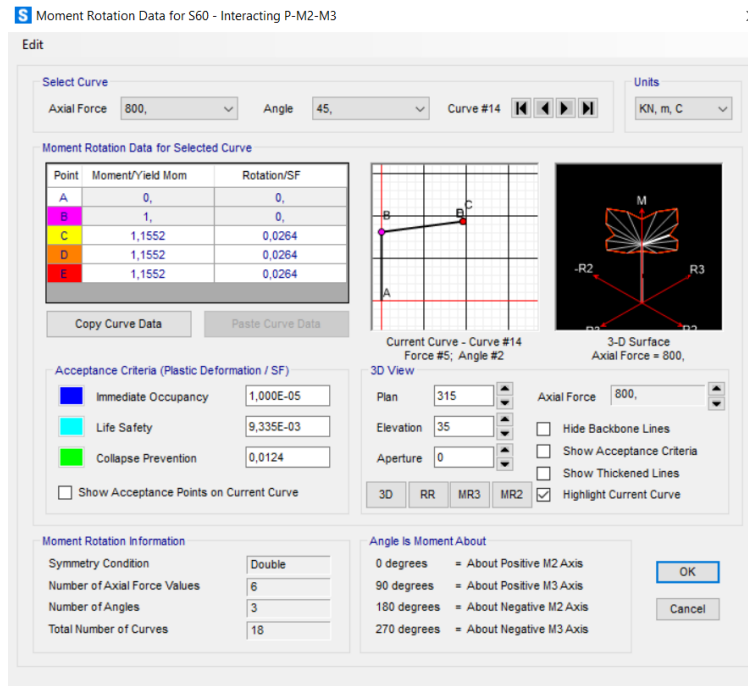
Şekil 3.39: 0 kN ait M curve (0-90 derece)



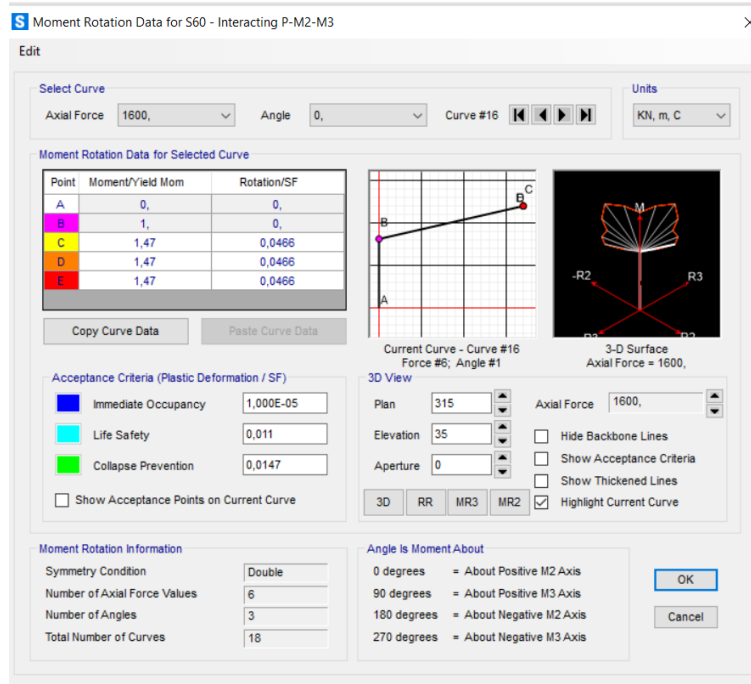
Şekil 3.40: 0 kN ait M curve (45 derece)



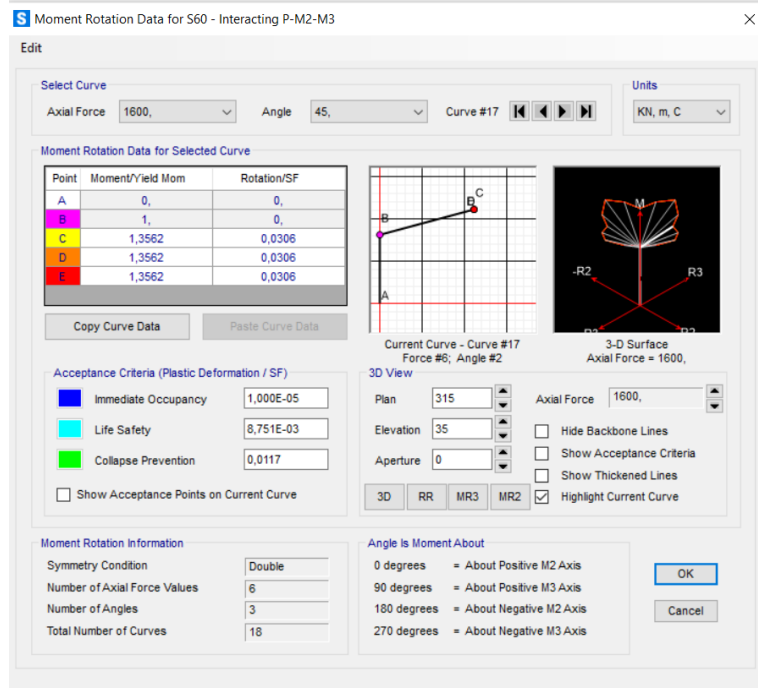
Şekil 3.41: 800 kN ait M curve (0-90 derece)



Şekil 3.42: 800 kN ait M curve (45 derece)



Şekil 3.43: 1600 kN ait M curve (0-90 derece)



Şekil 3.44: 1600 kN ait M curve (45 derece)

3.7.5 Plastik mafsak kabulü ve mafsak boyu seçiminin yapılması

Yığılı mafsakın seçilmesindeki temel nedenler:

Yığılı mafsakın analizi çoğunlukla lineer enterpolasyon ile yürütüldüğü için hata payı yayılı mafsala göre daha fazladır fakat yığılı mafsakın analizi, yayılı mafsala göre çok daha hızlıdır. Ortogonal yüklemeler kolay öngörülebilir olduğundan Pushover tipi analizlerde yığılı mafsak daha doğru sonuçlar vermektedir.

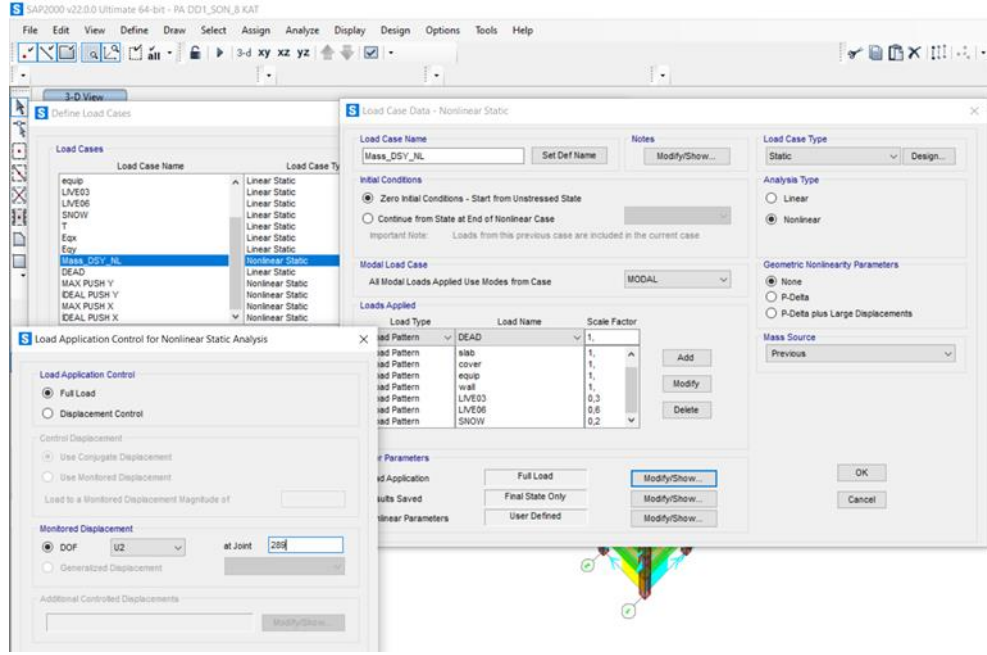
TBDY 2019' da belirtildiği üzere plastik mafsak boyu $L_p=0.5h$ seçilerek, ortalama bir sonuç hesaba katılmıştır.

XTRACT ile yapılan analizler sonucunda, her kirişe ait mesnet kesitlerinin negatif ve pozitif yükleme durumlarına göre moment-eğrilik ilişkileri çıkarılmıştır. Moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen değerler ve plastik mafsak boyu kullanılarak, akma ve göçme durumlarına ait dönme değerleri elde edilmiştir.

3.7.6 Düşey yüklerin tanıtılması

Statik itme analizi için yapılacak ilk yükleme düşey yükleri içeren yüklemedir. Statik itme analizinde tepe deplasmanıbinayıtemsil eden bir noktanın

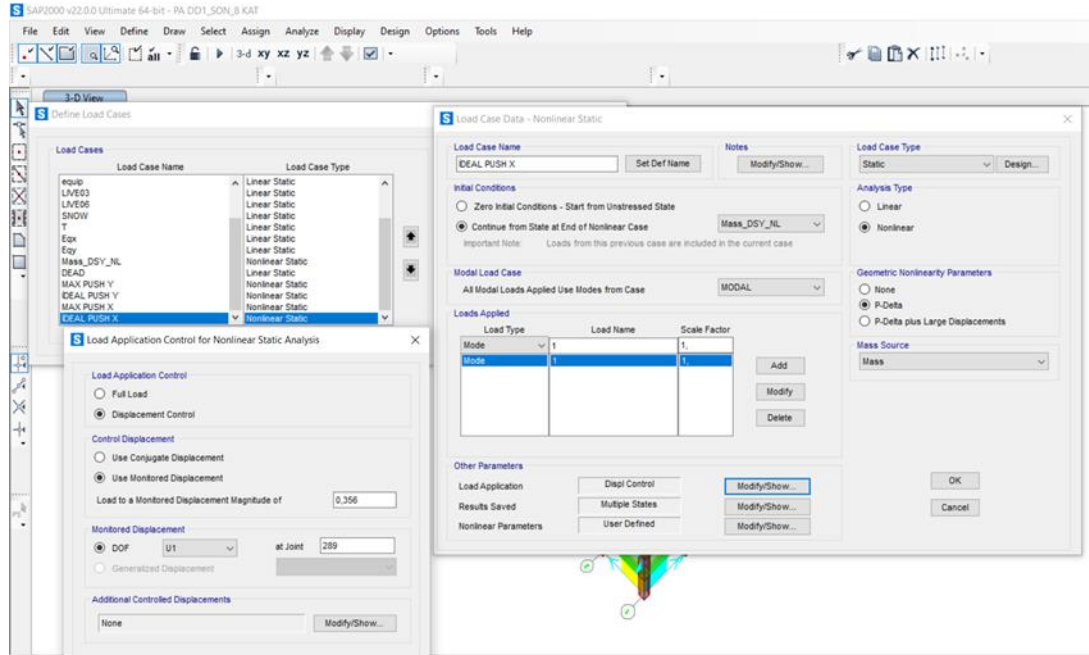
deplasmanı olarak izlenir. Buna en uygun nokta, binanın kütle merkezinin bulunduğu noktadır.



Şekil 3.45: Düşey yüklerin tanımlanması

3.7.7 Pushover (X Yönü) yüklerin tanıtılması

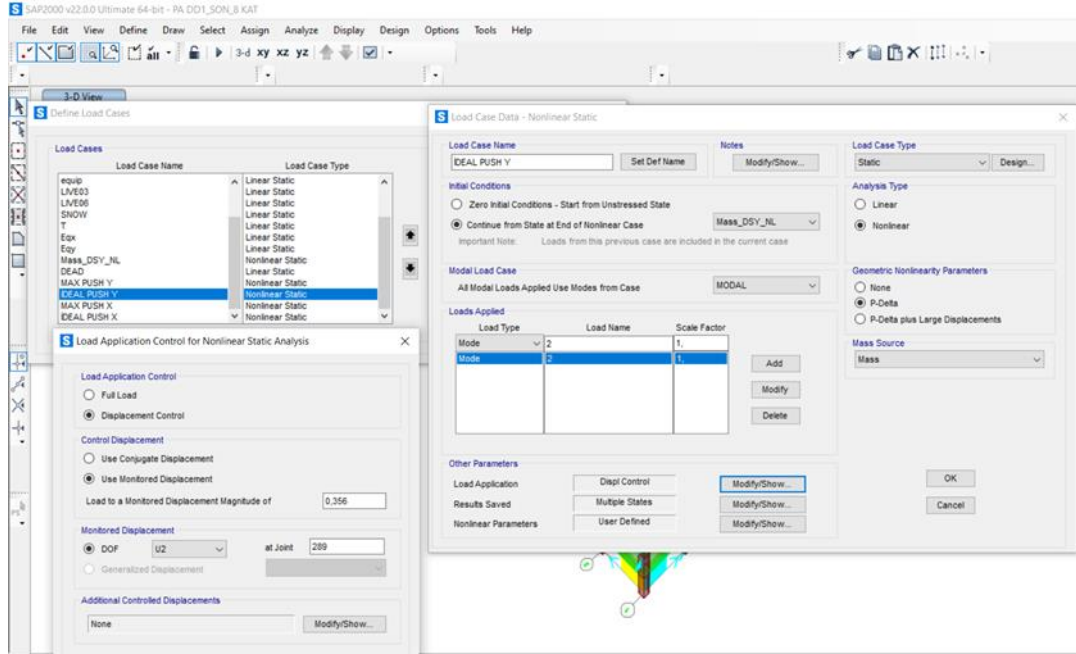
Statik itme analizi için yapılacak ikinci yükleme X yönünde yapılacak yatay yüklemedir. Bu yükleme düşey yüklemenin bittiği noktadan başlar. Yükleme işlemi hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar devam ettirilir.



Şekil 3.46: Pushover (X yönü) yüklerin tanıtılması

3.7.8 Pushover (Y Yönü) yüklemesi tanıtılması

Statik itme analizi için yapılacak üçüncü yükleme Y yönünde yapılacak yatay yüklemedir. Bu yükleme de düşey yüklemenin bittiği noktadan başlar. Yükleme işlemi hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar devam ettirilir.



Şekil 3.47: Pushover (Y yönü) yüklemesi tanıtılması

3.8 Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Seçilmesi ve Deprem Hesabı

Statik pushover analizi yaparken yapıya ait bilgiler yukarıda verilmiştir. Performans analizi yaparken birçok yönetmelikten ve TBDY 2019'un belirlemiş olduğu şartlar neticesinde binanın performansı hesaplanır. Yönetmeliğimiz kapasite tasarım ilkesini benimsemiş ve Kapasite spektrum yöntemiyle yapının yatay yük altında doğrusal olmayan bir şekil değiştirme yaptığı tespit edilmiştir. Bu yöntem 2005 yılında Yayınlanan FEMA 440'da açıklanmış ve Kapasite spektrum yöntemi üzerine araştırmalar yapılmıştır. [33] [34] [35] [36].

3.8.1 İdeal sabit tek modlu itme yöntemi sonucu

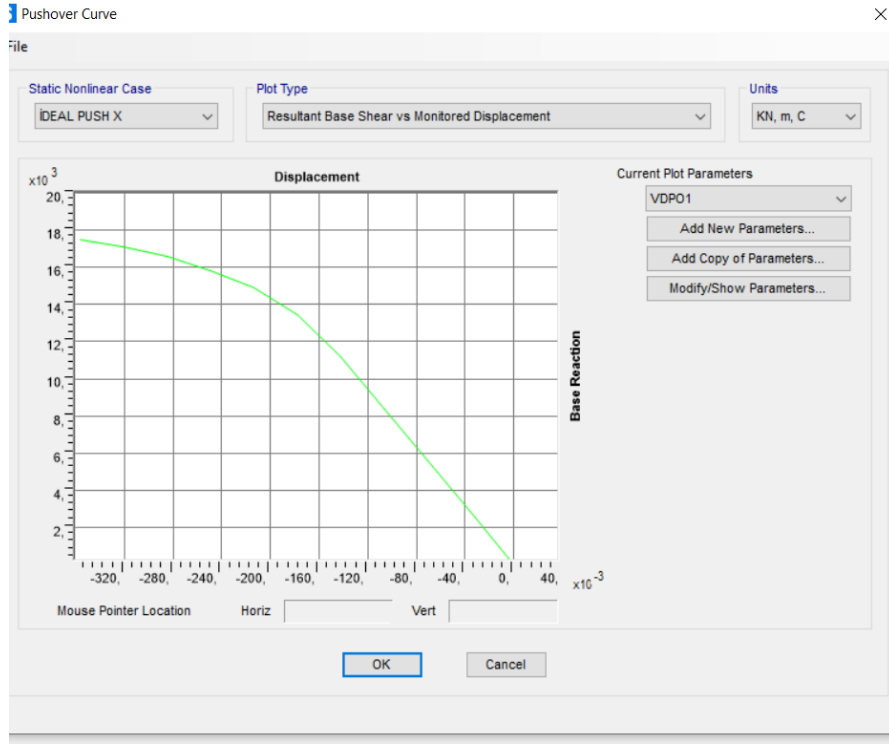
3.8.1.1 DD-1 4 katlı yapıya ait sonuçlar

4 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.48' de gösterilmiştir.

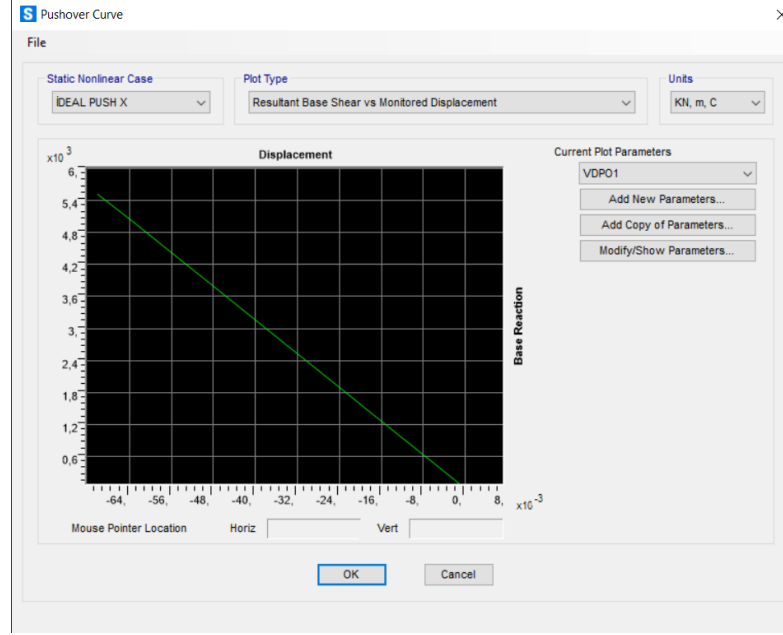
Yapının son yerdeğiştirmesi 0,238 m için yapının 15525 kN itilerek yapı KH sınırları içerisinde kalmıştır.

3.8.1.2 DD-3 4 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar

4 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.49’ de gösterilmiştir.



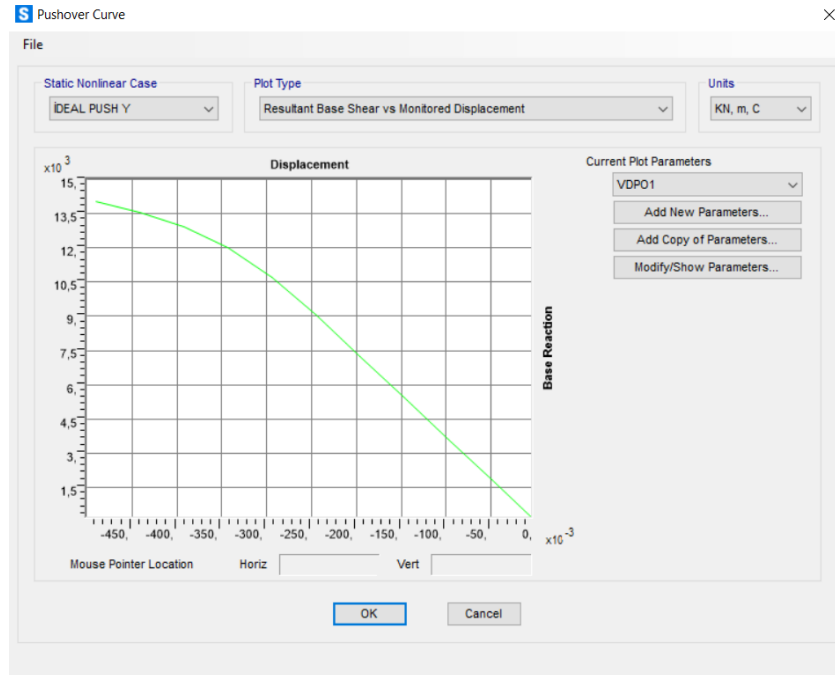
Şekil 3.48: 4 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu



Şekil 3.49: 4 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Yapının son yerdeğiştirmesi 0,07 m için yapının 5526 kN itilerek yapı SH sınırları içerisinde kalmıştır.

3.8.1.3 DD-1 8 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar

8 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.50' de gösterilmiştir.

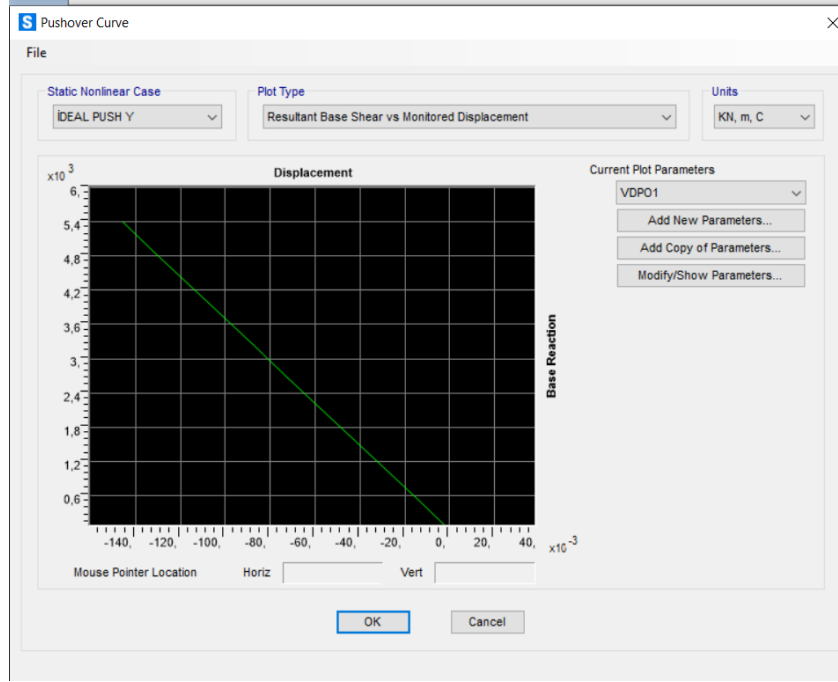


Şekil 3.50: 8 katlı yapıya ait DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,49 m için yapının 14032 kN itilerek yapı KH sınırları içerisinde kalmıştır.

3.8.1.4 DD-3 8 Katlı Yapıya Ait Sonuçlar

8 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.51’ de gösterilmiştir.



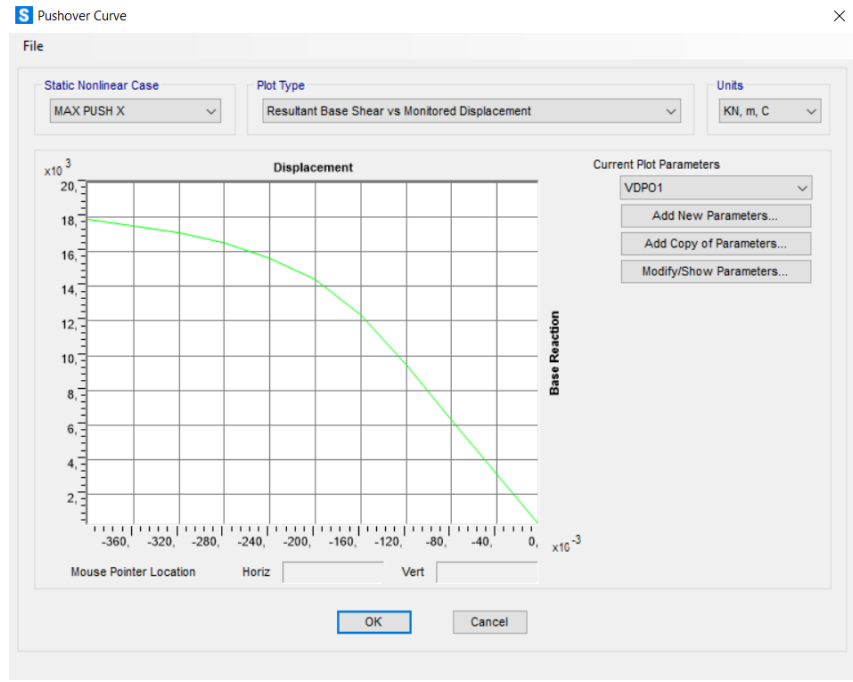
Şekil 3.51: 8 katlı yapıya ait DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,146 m için yapının 5402 kN itilerek yapı KH sınırları içerisinde kalmıştır.

3.8.2 Maksimum statik itme analizi sonucu

3.8.2.1 4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y Yönü

4 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.52’ de gösterilmiştir.

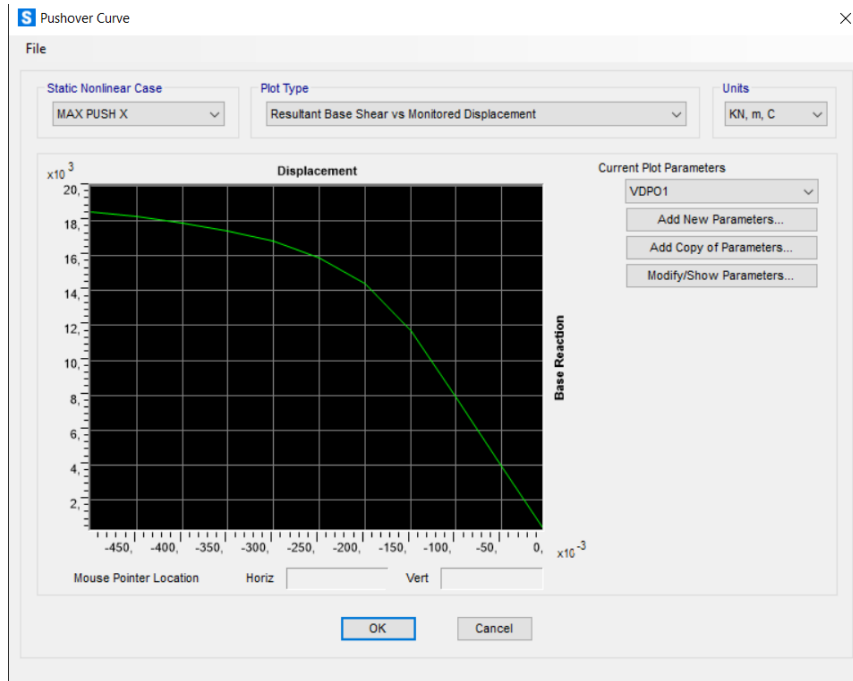


Şekil 3.52: 4 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,4 m için yapının 17886 kN itilerek yapı KH sınırını aşmaktadır.

3.8.2.2 4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y Yönü

4 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.53' de gösterilmiştir.

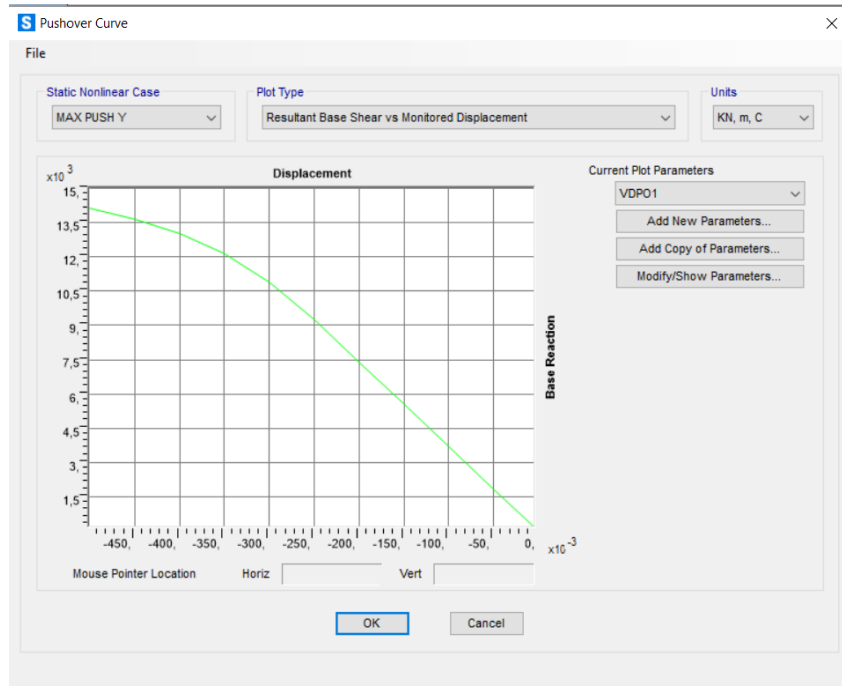


Şekil 3.53: 4 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,5 m için yapının 18535 kN itilerek yapı KH sınırını aşmaktadır.

3.8.2.3 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y Yönü

8 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.54’ de gösterilmiştir.

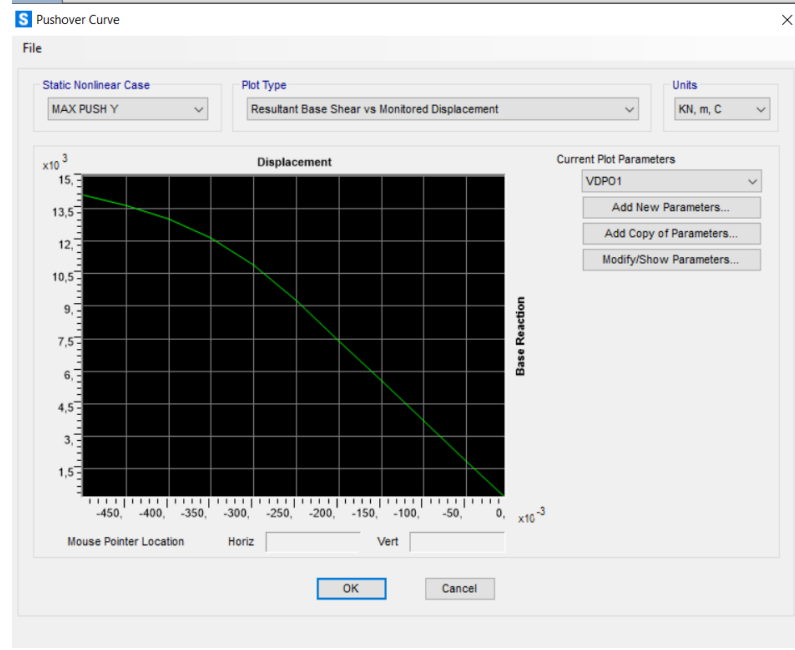


Şekil 3.54: 8 katlı yapıya ait Maksimum DD-1 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,5 m için yapının 14119 kN itilerek yapı KH sınırını aşmaktadır.

3.8.2.4 Katlı Yapıya Ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y Yönü

8 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu Şekil 3.55’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.55: 8 katlı yapıya ait Maksimum DD-3 Pushover X ve Y yönü için Sap2000 sonucu

Yapının son yerdeğiştirmesi 0,5 m yerdeğiştirmesi için yapının 14119 kN itilerek yapı KH sınırını aşmaktadır.

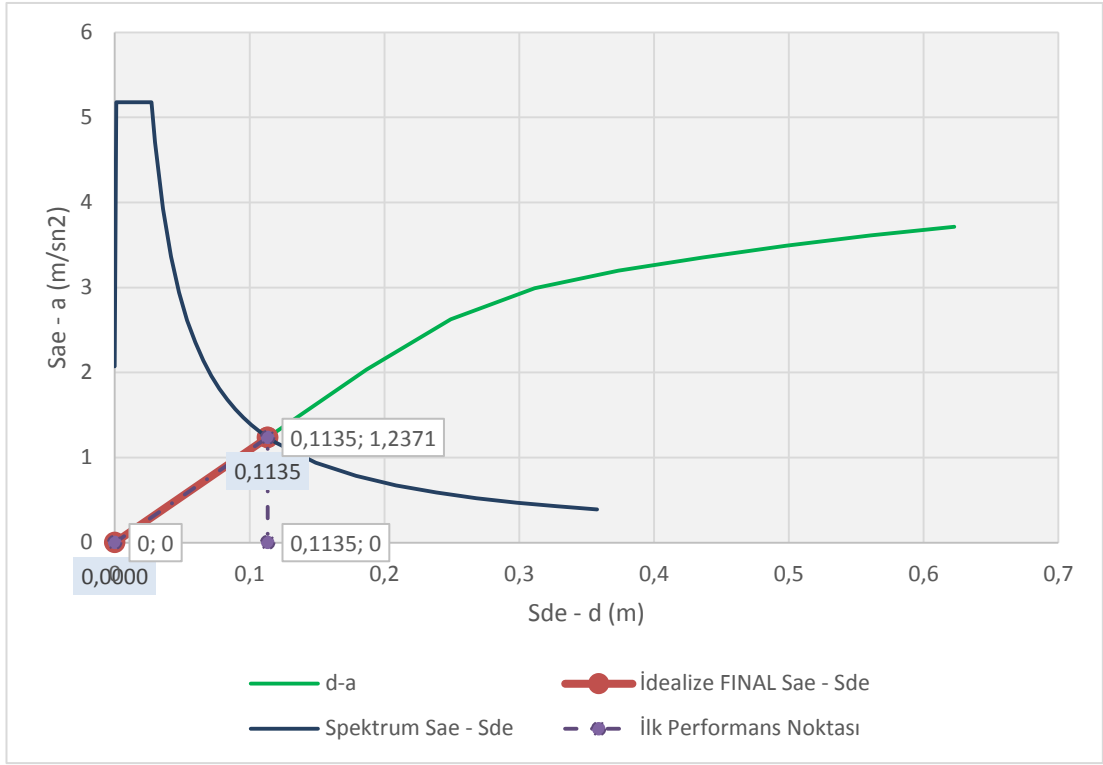
3.8.3 Eşit Yerdeğiştirme Kuralı Ve Elasto-Plastik Yerdeğiştirmenin Bulunması

Çizelge 3.10: Dört katlı Yapıya ait Modal Spektral Deplasman

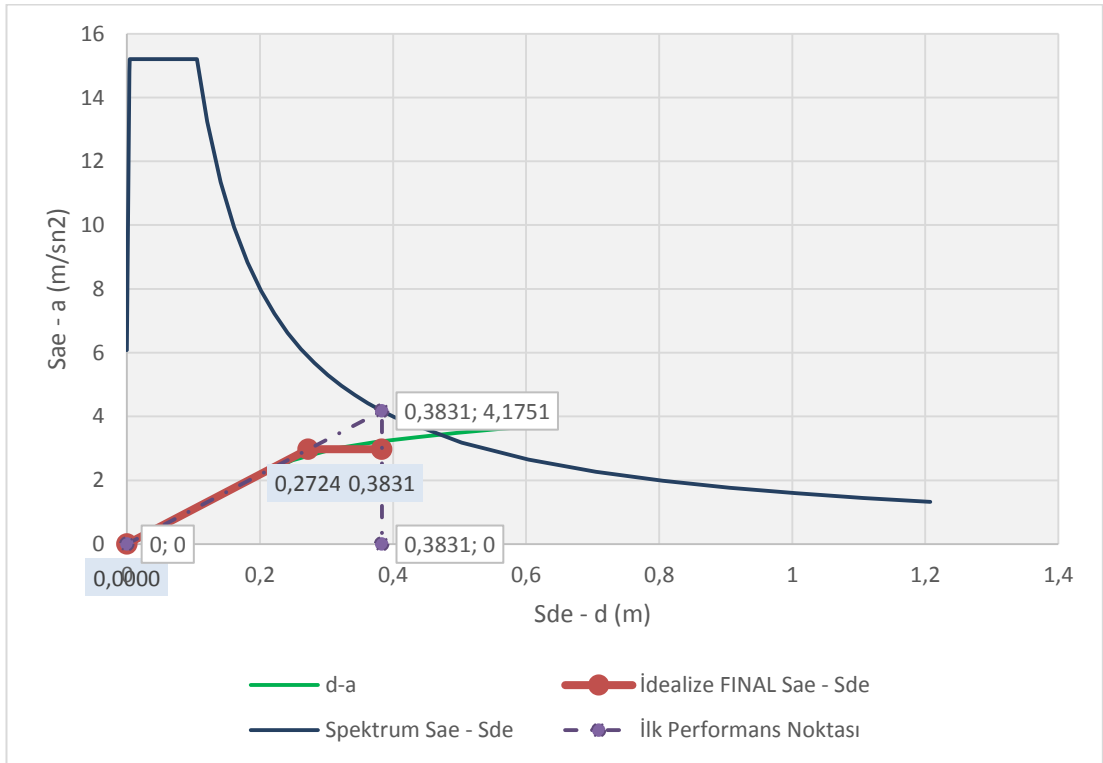
4 Katlı Yapı SAP2000 Program Çıktısı		DD1 Modal kapasite	Maksimum	DD3 Modal Kapasite	Maksimum
Hakim Periyot (sn) - T1	0.93				
Yapı Kütke Katılım Oranı	0.837	Cr	1	Cr	1
Yapı Modal Ağırlık (kN)	25750	Sdi/dmax (m)	0,1872	Sdi/dmax (m)	0,0555
Mod Tepe Deplasman (m) - φ	0.027	umax (m)	0.238	umax (m)	0.07
Mod Katılım Çarpanı (kN,m) - Γ	47,08				

Çizelge 3.11: Sekiz katlı Yapıya ait Modal Spektral Deplasman

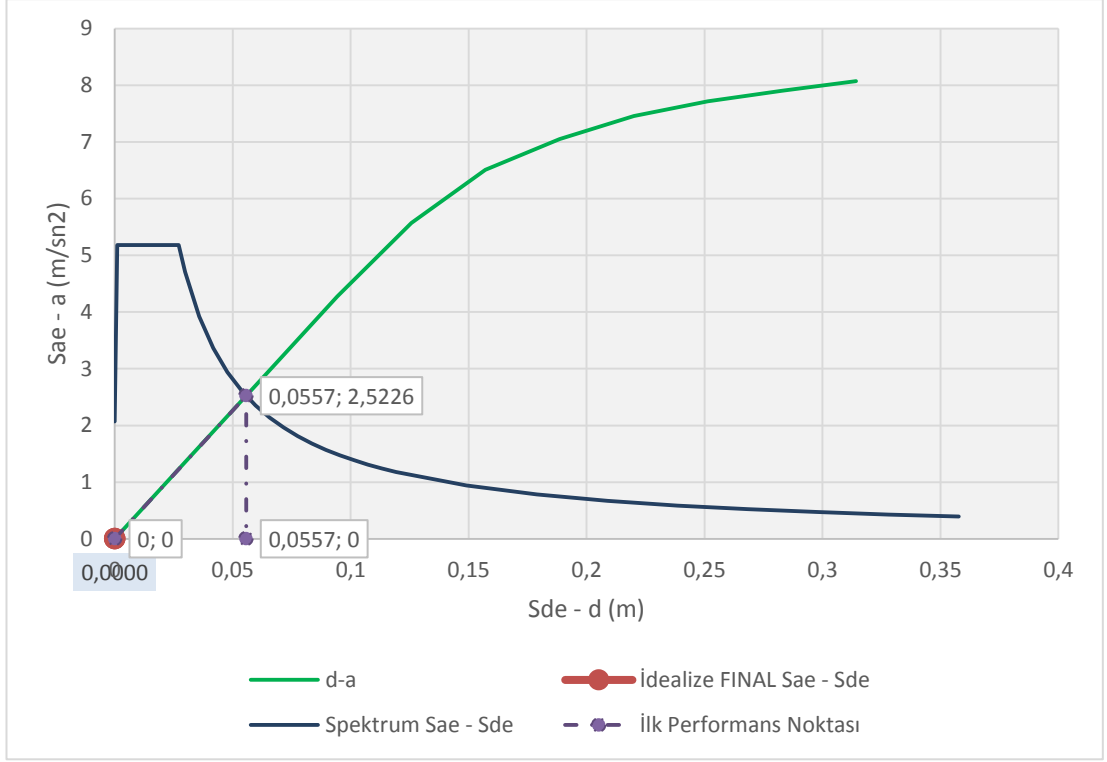
8 Katlı Yapı SAP2000 Program Çıktısı		DD1 Modal kapasite	Maksimum	DD3 Modal Kapasite	Maksimum
Hakim Periyot (sn) - T1	1,903				
Yapı Kütke Katılım Oranı	0.815	Cr	1	Cr	1
Yapı Modal Ağırlık (kN)	52500	Sdi/dmax (m)	0,383	Sdi/dmax (m)	0,1135
Mod Tepe Deplasman (m) - φ	0.0194	umax (m)	0.49	umax (m)	0.146
Mod Katılım Çarpanı (kN,m) - Γ	66,03				



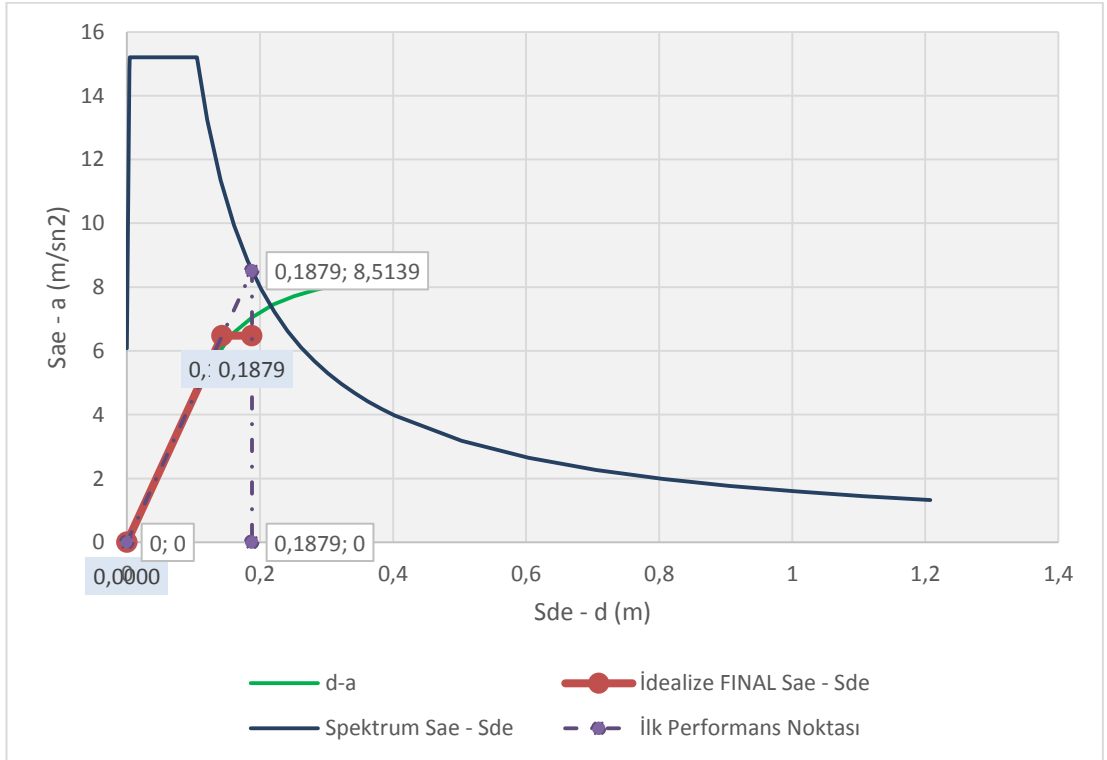
Şekil 3.56: 8 katlı DD3 ait eşit yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.57: 8 katlı DD1 ait eşit yerdeğiştirme grafiği



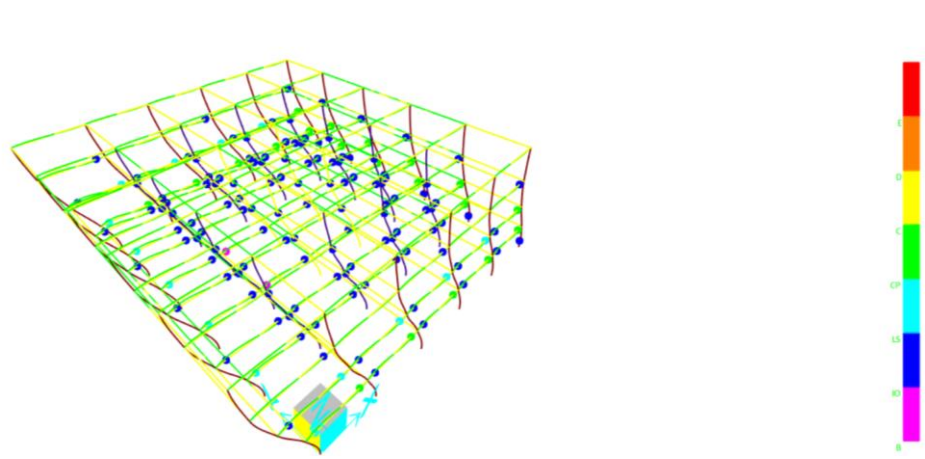
Şekil 3.58: 4 katlı DD3 ait eşit yerdeğiştirme grafiği



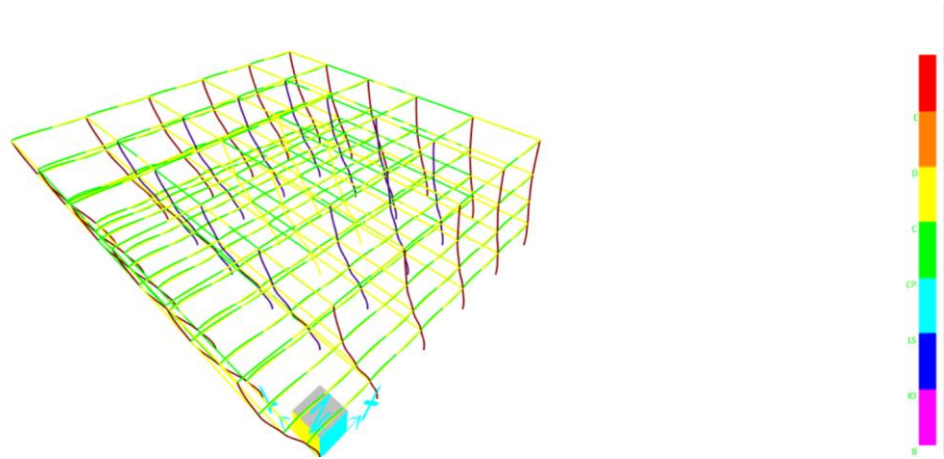
Şekil 3.59: 4 katlı DD1 ait eşit yerdeğiştirme grafiği

4. ŞEKİL DEĞERLENDİRMELERİN VE İÇ KUVVETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

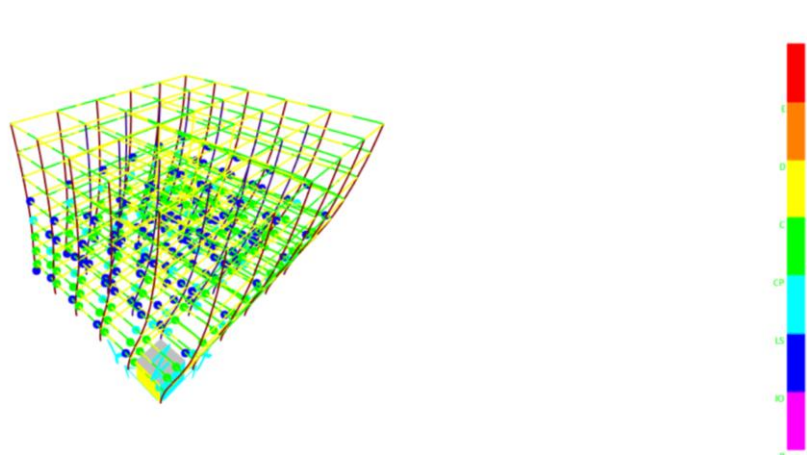
4.1 Betonarme Binalar için İzin Verilen Sınırların Belirlenmesi



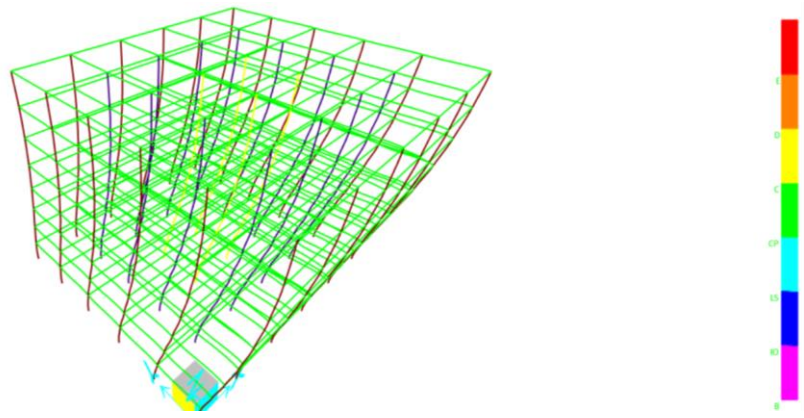
Şekil 4.1: 4 katlı yapının DD-1 için kesitlerde oluşan mafsalsal durumları



Şekil 4.2: 4 katlı yapının DD-3 için kesitlerde oluşan mafsalsal durumları



Şekil 4.3: 8 katlı yapının DD-1 için kesitlerde oluşan mafsals durumları



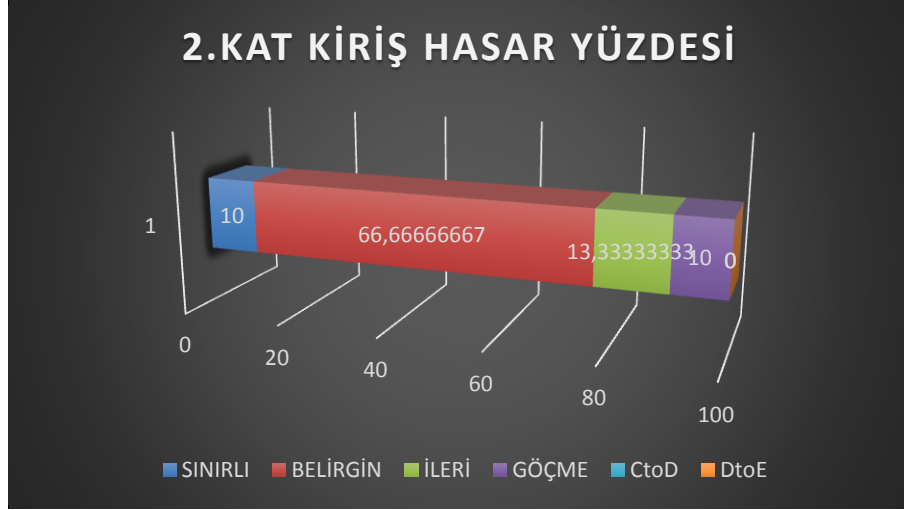
Şekil 4.4: 8 katlı yapının DD-3 için kesitlerde oluşan mafsals durumları

4.1.1 DD-1 etkisi altında 4 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri

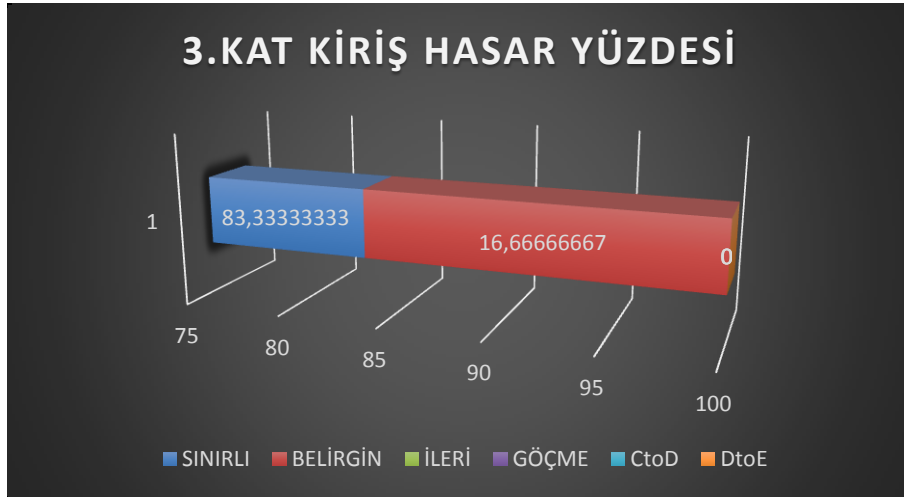
4 katlı yapıya ait DD-1 deprem düzeyi ideal pushover analizi sonucunda kirişlerde oluşan mafsallar aşağıdaki Şekil 4.5-4.6-4.7-4.8' de gösterilmiştir.



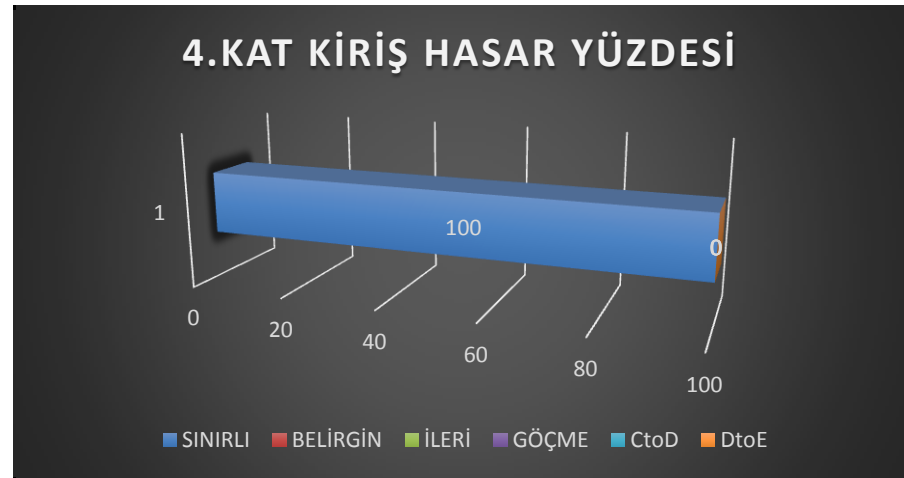
Şekil 4.5: 4 Katlı Yapıya Ait 1. Kat Kiriş Hasarı



Şekil 4.6: kil 1. 4 Katlı Yapıya Ait 2. Kat Kiriş Hasarı



Şekil 4.7: 4 Katlı Yapıya Ait 3. Kat Kiriş Hasarı



Şekil 4.8: 4 Katlı Yapıya Ait 4. Kat Kiriş Hasarı

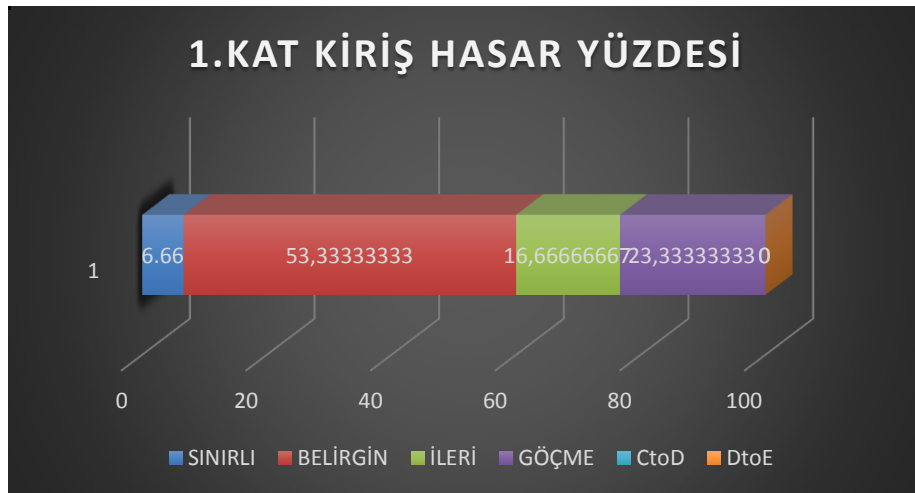
4.1.2 DD-3 etkisi altında 4 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri

4 katlı yapıya ait DD-3 deprem düzeyi ideal pushover analizi sonucunda kirişlerde mafsallar oluşmamıştır.

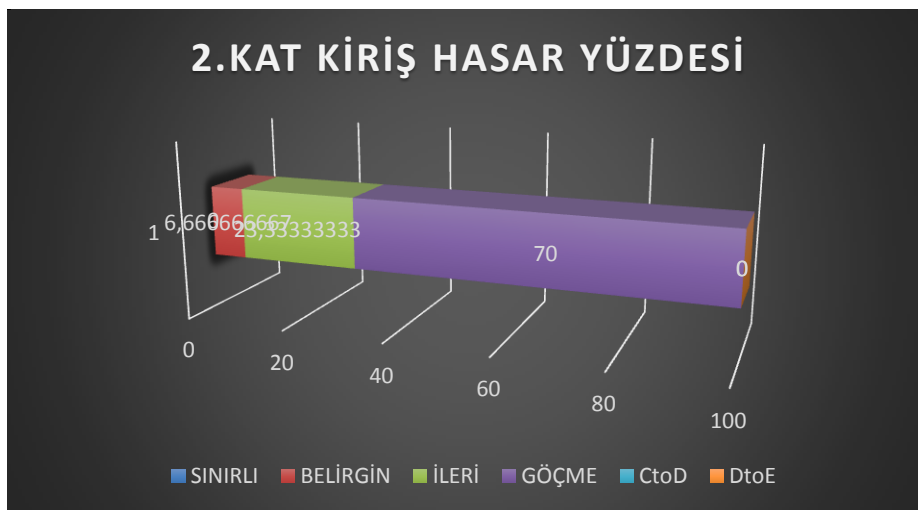
DD-3 için yapıda bulunan herhangi bir kolon ya da kiriş Sınırlı Hasar seviyesine yani akma sınırına ulaşmamıştır. Bu nedenle, kolonlarda ve kirişlerde plastik mafsal mekanizması meydana gelmemiş olup, kesitler elastik sınırlar içerisinde kalmıştır.

4.1.3 DD-1 etkisi altında 8 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri

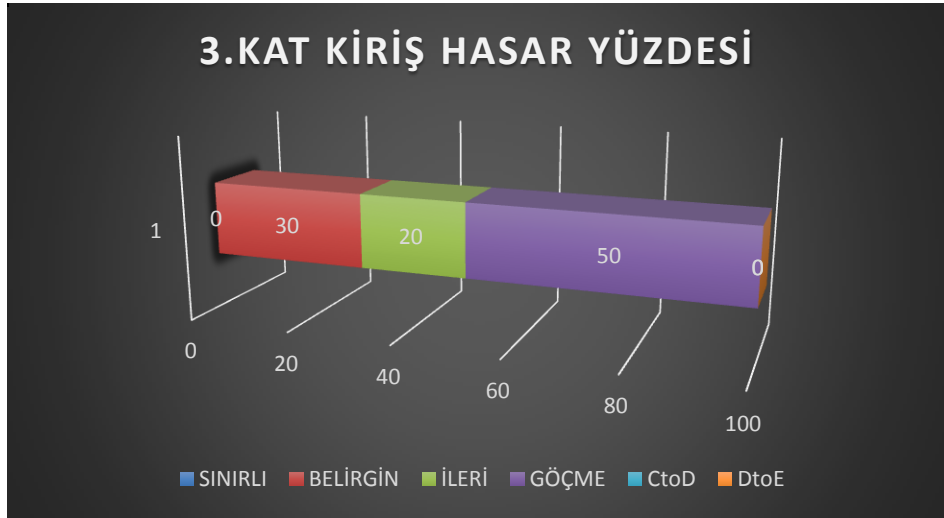
8 katlı yapıya ait DD-1 deprem düzeyi ideal pushover analizi sonucunda kirişlerde oluşan mafsallar aşağıdaki Şekil 4.9-4.10-4.11-4.12-4.13-4.14' de gösterilmiştir.



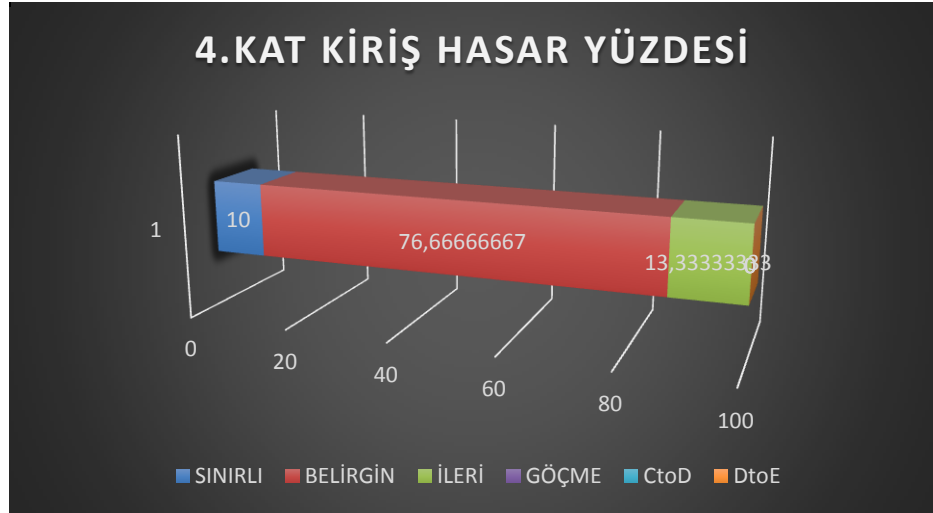
Şekil 4.9: 8 Katlı yapıya ait 1. kat kiriş hasarı



Şekil 4.10: 8 Katlı yapıya ait 2. kat kiriş hasarı



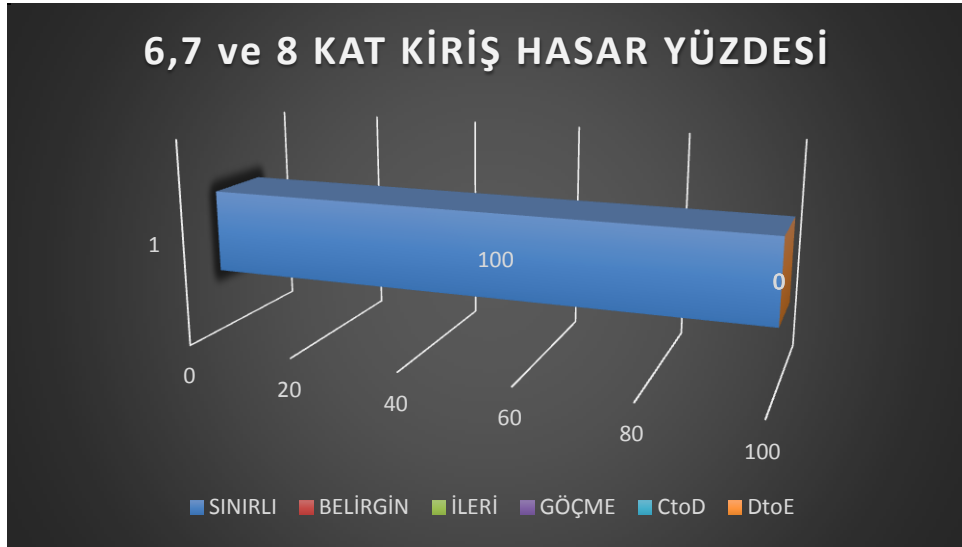
Şekil 4.11: 8 Katlı yapıya ait 3. kat kiriş hasarı



Şekil 4.12: 8 Katlı yapıya ait 4. kat kiriş hasarı



Şekil 4.13: 8 Katlı yapıya ait 5. kat kiriş hasarı



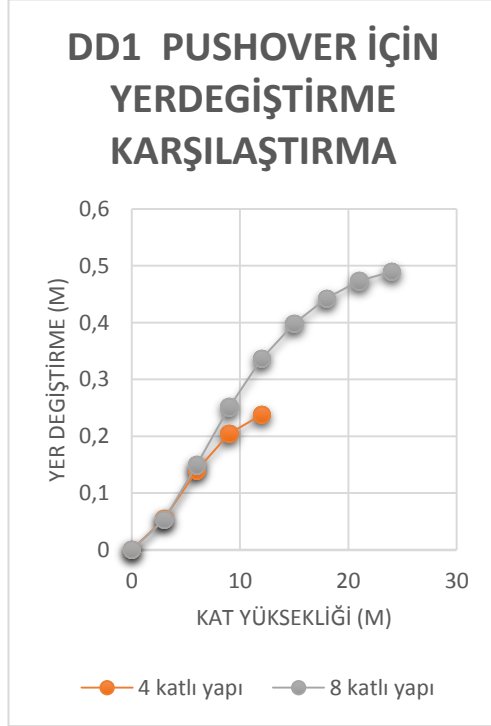
Şekil 4.14: 8 Katlı yapıya ait 6., 7. ve 8. kat kiriş hasarı

4.1.4 DD-3 etkisi altında 8 katlı yapıya ait kiriş hasarı yüzdeleri

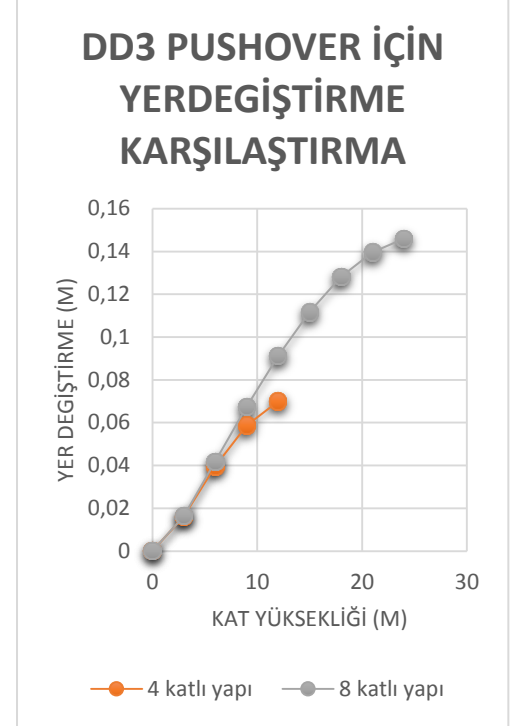
8 katlı yapıya ait DD-3 deprem düzeyi ideal pushover analizi sonucunda kirişlerde mafsallar oluşmamıştır.

DD-3 için yapıda bulunan herhangi bir kolon ya da kiriş Sınırlı Hasar seviyesine yani akma sınırına ulaşmamıştır. Bu nedenle, kolonlarda ve kirişlerde plastik mafsal mekanizması meydana gelmemiş olup, kesitler elastik sınırlar içerisinde kalmıştır.

5. . SONUÇLAR



Şekil 4.15: DD1 Pushover sonrası yerdeğiştirme



Şekil 4.16: DD3 Pushover sonrası yerdeğiştirme

Sonuç olarak, ele almış olduğumuz dört ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemden oluşan yapılarımızı İstanbul İli Esenler İlçesinde yapılacağı düşünülerek tasarım hesapları doğrusal olmayan sabit tek modlu itme analizi Sap2000 Programında tasarlanmıştır. Yapılan bu analiz sonuçları:

4 katlı yapı için Şekil 4.1-4.2' de gözüktüğü üzere kirişlerde plastik mafsallı mekanizması oluşmuş olup, hasar seviyeleri belirlenmiştir.

8 katlı yapı için Şekil 4.3-4.4' de gözüktüğü üzere kirişlerde plastik mafsallı mekanizması oluşmuş olup, hasar seviyeleri belirlenmiştir

- Yapıların DD-1 deprem etkisinde oluşan pushover etkisi sonucunda 0.238^m ve 0.49^m yer değiştirmelerine denk gelen taban kesme kuvvetleri Şekil 4.15' te gösterilmektedir. Dört ve sekiz katlı yapılarda uygulanan

sabit itme kuvveti neticesinde her bir yapıda (Şekil 4.15) yer değiştirmelere denk gelen taban kesme kuvvetleri sırasıyla 15525 kN ve 14032 kN' dur.

Şekil 4.15' te artan yer değiştirme için gerekli olan taban kesme kuvvetleri kat adediyle ters orantılı olarak değişmiştir.

- Yapıların DD-3 deprem etkisinde oluşan pushover etkisi sonucunda 0.07^m ve 0.146^m yer değiştirmelerine denk gelen taban kesme kuvvetleri Şekil 4.16' da gösterilmektedir. Dört ve sekiz katlı yapılarda uygulanan sabit itme kuvveti neticesinde her bir yapıda (Şekil 4.16) yer değiştirmelere denk gelen taban kesme kuvvetleri sırasıyla 5526 kN ve 5402 kN' dur.

Şekil 4.16' da artan yer değiştirme için gerekli olan taban kesme kuvvetleri kat adediyle ters orantılı olarak değişmiştir.

Çizelge 3.10 ve 3.11' de görüldüğü üzere kat adedi arttıkça yapının hakim periyodu da (T) artmaktadır. Yapının periyodunun artmasına neden olan etken yapının rijitliğinin (k) azalması, kütlelerin artması dolayısıyla açılmalık frekansın (ω_n) azalmasıdır. Benzer bir çalışmada da artan rijitlik sonucunda yapının periyodu azalmış ve taban kesme kuvveti artmıştır [37].

DD-3 için yapının sabit tek modlu itme analizi sonucunda yapının herhangi bir kolonunda veya kirişinde plastik mafsala izin verilmemiştir. Çizelge 2.1' de belirtilen ileri performans hedefi Yönetmelik' teki gibi sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Kolon ve kirişlerde her bir kesitin elastik sınırları aşmamasından dolayı plastik dönmelere izin verilmemiştir.

DD-1 için ideal doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeleri sonucunda oluşan plastik mafsallar Şekil 4.1 ve 4.3' de gösterilmektedir. Her iki yapı için oluşan plastik mafsallar, Çizelge 2.1' de şekile belirtilen kontrollü hasar seviyesini geçerek güvenli tarafta kalmamıştır. En çok zorlanan kirişler DD-1 deprem etkisi altında olduğundan kirişlerin mafsal noktasında yani kolon yüzeyinden itibaren oluşan moment değeri:

- 4 katlı yapıya ait birinci kat kirişlerinde, sol taraftaki plastik mafsalda oluşan moment değeri 506 kNm, akma dayanımı olan 493 kNm değerini geçerek belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Sağ taraftaki plastik

mafsalda oluşan moment değeri 378 kNm, akma dayanımı olan 355 kNm değerini geçerek göçme hasar bölgesinde kalmıştır. Beton limit akma dayanımına gelmeden çelik akma dayanımını geçerek kesitte ilk çalışan eleman olmuştur.

- 8 katlı yapıya ait birinci kat kirişlerinde, sol taraftaki plastik mafsalda oluşan moment değeri 527 kNm, akma dayanımı olan 493 kNm değerini geçerek göçme hasar bölgesinde kalmıştır. Sağ taraftaki plastik mafsalda oluşan moment değeri 386 kNm, akma dayanımı olan 355 kNm değerini geçerek göçme hasar bölgesinde kalmıştır. Beton limit akma dayanımına gelmeden çelik akma dayanımını geçerek kesitte ilk çalışan eleman olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Z. Celep**, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, İstanbul: Beta Basın Yayım Dağıtım A.Ş., 2020.
- [2] **H. Krawinkler Ve G. Seneviratna**, Pros and Cons of A Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, USA: Elsevier, 1998.
- [3] **M. Özkan**, Zemin Dinamiğine Giriş, s.134-135, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, 2017.
- [4] **M. Utkucu, E. Budakoğlu Ve H. Durmuş**, A Discussion on the Seismicity and Seismic Hazard of the Marmara Region (NW Turkey), Ankara: Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University Yerbilimleri, 32 (3), 187-212, 2011.
- [5] TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.
- [6] TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, 1997.
- [7] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2019.
- [8] **U. Ersoy, G. Özcebe Ve E. Canbay**, Betonarme I-II, 2019.
- [9] **B. Uzbaş**, Beton İçin Geliştirilen Gerilme-Şekil Değiştirme Modellerinin Karşılaştırılması, 2014.
- [10] **J. Mander, M. Priestley Ve R. Park**, Theoretical Stress- Strain Model For Confined Concrete, 1988.
- [11] **K. William Ve E. Warnke**, «Constitutive Model for Triaxial Behavior of Concrete,» 1975.

- [12] **S. Sheikh Ve S. Uzumeri**, «Strength and Ductility of Tied Concrete,» 1980.
- [13] **D. Biskinis Ve M. Fardis**, Deformations at Flexural Yielding of Members with Continuous or Ap-spliced Bars. Structural Concrete, 2010.
- [14] **W. Corley**, Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams," Journal of Structural Division,, ASCE, Vol. 92, ST5,, 1966.
- [15] **A. Baker**, Ultimate Load Theory Applied to the Design of Reinforced and Prestressed Concrete Frames,, London: Concrete Publications Ltd., 1956.
- [16] **H. Sawyer**, Design of Concrete Frames for Two Failure States, ASCE-ACI,, 1964.
- [17] **A. Mattock**, Discussion of Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams by W. D. G. Corley, ASCE J. Struct. Div., 93(2), 519-522, 1967.
- [18] **M. Priestley Ve R. Park**, Strength ads Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading, ACI Struct. J., 84(1), 61-76, 1987.
- [19] **T. Paulay Ve M. Priestley**, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, New York, 1992.
- [20] **S. Sheikh Ve S. Khoury**, Confined Concrete Columns with Stubs, ACI Structural Journal, V.90, No.4, July-August, pp.414-431, 1993.
- [21] **J. Coleman Ve E. Spacone**, Localization Issues in Force – Based Frame Elements,, Journal of Structural Engineering ASCE, 127(11): 1257-1265., 2001.
- [22] **T. Panagiotakos Ve M. Fardis**, Deformations of Reinforced Concrete Members at Yielding and Ultimate, ACI Struct. J., 98(2), 135-148, 2001.
- [23] **S. Bae Ve O. Bayrak**, Plastic Hinge Length of Reinforced Concrete Columns, ACI Structural Journal, V.105, No.3, May-June., 2008.
- [24] **Z. Celep**, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 2018.

- [25] I. Computers and Structures, Static and Dynamic Finite Element of Structures Analysis, CALIFORNIA: CSI.
- [26] **N. I. O. S. A. T.** (NIST), Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings Part Iib – Reinforced Concrete Moment Frames (p.3-2), U.S. Government, 2017.
- [27] **A. Doğangün**, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2019.
- [28] **A. Chopra Ve R. Goel**, «A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings,» %1 içinde *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 26-30 Mayıs 2003.
- [29] **R. Lawson, V. Vance Ve H. Krawinkler**, Nonlinear Static Push-over Analysis - Why, When and How?, Chicago, 1994.
- [30] **O. Güngör**, Mevcut Bir Karayolu Köprüsünün Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Performans Değerlendirmesi, İstanbul, 2010.
- [31] **Xtract**, Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, Sacramento, 2013.
- [32] **E. Saral**, Betonarme Yüksek Binaların Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi, İZMİR: DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ (TEZ), 2015.
- [33] **Atc-40**, Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Vol.1,, Redwood City, CA: Applied Technology Council, 1996.
- [34] **Fema-273-274**, Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, Washington: FEMA, 1997.
- [35] **Fema-356**, “Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, Washington: FEMA, 2000.
- [36] **Fema-440**, Recommended Provisions for the Development of Seismic

Regulations for New Buildings and other Structures, Washington: FEMA, 2005.

- [37] **A. Chopra**, «Peak Structural Response From The Response Spectrum,» %1 içinde *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering (Fourth Edition)*, USA, Pearson, 2013, p. 220.

