

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ
KULLANILARAK EĞİLME RİJİTLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erol KILIÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EKİM 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ
KULLANILARAK EĞİLME RİJİTLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Erol KILIÇ
(501131017)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Konuralp GİRGİN

EKİM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Erol KILIÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME KOLONLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ KULLANILARAK EĞİLME RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Eylül 2016
Savunma Tarihi : 05 Ekim 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Lisans ve lisansüstü eğitimim ve bu tez çalışması süresince desteğine ve yardımlarına sürekli başvurduğum, bilgi birikiminden ve tecrübesinden faydalandığım değerli tez danışmanım Prof. Dr. Konuralp GİRĞİN'e, değerli yardımlarından dolayı Araş. Gör. Ahmet GÜLLÜ'ye, bu mesleği sevmemde eğitim hayatım boyunca rolleri olan, deneyim ve zamanlarını benimle paylaşan bütün hocalarıma teşekkür eder, en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi fedakarlığı yapmaya çalışarak, bu güne gelmem için desteklerini sürekli yanımda hissettiğim sevgili annem, babam ve abime, zor zamanlarda desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma ve sevdiğim kadına en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince her türlü desteği sağlayan ve gerekli yerlerde yardımlarını ve zamanını esirgemeyen İTÜ Çelik ve Ahşap Yapılar Bölümü Araş. Gör. Bayram TÜRK'e ayrıca teşekkür ederim.

Eylül 2016

Erol KILIÇ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÖZET.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Tez Çalışmasının Amacı	2
1.3 Tez Çalışmasının Kapsamı	2
1.4 Tez Çalışmasının İçeriği	3
2. LİTERATÜR	5
2.1 Giriş	5
2.2 Literatür Çalışmaları	5
2.3 Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemleri	9
2.3.1 Doğrusal teori	9
2.3.2 Doğrusal olmayan teori	10
2.4 Doğrusal Olmayan Malzeme Bağlılıkları	15
2.4.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri	15
2.4.2 Donatı çeliği modeli	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI İLE PERFORM3D MODEL SONUCUNUN KARŞILAŞTIRILMASI	19
3.1 Malzeme Özelliklerinin Karşılaştırılması	19
3.1.1 Deneyde kullanılan malzeme özellikleri	19
3.1.2 Perform3D malzeme özellikleri	20
3.2 Deney Ve Perform3D Modelleri İçin Kolon Özellikleri	22
3.3 Sonuçların Karşılaştırılması	23
3.4 Etkin Eğilme Rijitliklerinin Hesap Edilmesi	25
4. NARİNLİK DEĞİŞİMLERİNE GÖRE KOLON MODELLERİ	31
4.1 Kolon Modeli $\lambda=50$	32
4.2 Kolon Modeli $\lambda=75$	37
4.3 Kolon Modeli $\lambda=100$	41
4.4 Kolon Modeli $\lambda=105$	45
4.5 Kolon Modeli $\lambda=110$	49
4.6 Kolon Modeli $\lambda=115$	53
4.7 Kolon Modeli $\lambda=120$	57
4.8 Kolon Modeli $\lambda=125$	61
4.9 Kolon Modeli $\lambda=130$	65
4.10 Kolon Modeli $\lambda=135$	69
4.11 Kolon Modeli $\lambda=140$	73
4.12 Kolon Modeli $\lambda=145$	77
4.13 Kolon Modeli $\lambda=150$	81
5. SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	85

EKLER.....	93
EK A: Perform3D Model Oluşturma ve Analiz Aşamaları	93

KISALTMALAR

ACI 318	: Amerikan beton enstitüsü (American Concrete Institute)
ATC	: Applied Technology Council
COLA	: Deneysel çalışmalar sonucu yazılmış kolon analiz programı
CSI	: Yapı ve deprem mühendisliği yazılım şirketi (Computers & Structures, INC)
DBYBHY2007	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
EC2	: Betonarme dizayn kodu (Euro Code 2)
EI	: Eğilme rijitliği
ETABS	:Yapısal matematik modellerin kurulup çözümlendiği bilgisayar programı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
PERFORM3D	: Yapısal matematik modellerin kurulduğu ve çözümlendiği doğrusal olmayan analizlerin yapıldığı bilgisayar programı
S30_14	: 30x30 kesitinde ve 14 mm çaplı boyuna donatıya sahip kolon numunesi
SAP2000	:Yapısal matematik modellerin kurulup çözümlendiği bilgisayar programı
TS500	: Türk standardı

SEMBOLLER

η	: Süneklik katsayısı
α_p	: Katsayı
ΔL	: Boyuna uzama farkı
a_i	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arası mesafe
A_s	: Boyuna donatı alanı
B	: Kolon kesit yüksekliği
b	: Kolon kesidi boyu
b_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyeler arası net mesafe
D	: Kolon kesidi genişliği
e	: Eksantrisite mesafesi
E_c	: Beton malzemesinin elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliği malzemesinin elastisite modülü
E_{sec}	: Kesit elastisite modülü
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{c0}	: Sargısız betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Beton çekme birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sh}	: Boyuna donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
f_c	: Sargılı betonda basınç gerilmesi
f_{c0}	: Sargısız beton basınç dayanımı
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_{ck}	: 28 günlük betonun silindirik numune karakteristik basınç dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_{ex}	: X doğrultusunda etkili sargılama basıncı
f_{ey}	: Y doğrultusunda etkili sargılama basıncı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatı akma dayanımı
h_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arası mesafe
I_c	: Beton atalet momenti
I_s	: Donatı atalet momenti
k_1	: Katsayı
k_2	: Katsayı
K_c	: Betonun sünme oranıyla ilgili katsayı
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı

K_s	: Donatı çeliğinin sünmesiyle ilgili katsayı
L	: Konsol kolon boyu
m	: Uzunluk birimi metre
n	: Boyutsuz eksenel kuvvet
P	: Yatay kuvvet
s	: Etriye aralığı mesafesi
α	: Eksantirisite katsayısı
α_c	: Katsayı
β_d	: Eksenel kuvvet katsayısı
δ	: Yatay deplasman
λ	: Narinlik
λ_m	: Mekanik donatı oranı
v	: Relatif eksenel kuvvet
V_t	: Taban kesme kuvveti
ρ	: Boyuna donatı oranı
ρ_s	: Toplam enine donatının hacımsal oranı
ρ_x	: X doğrultusunda enine donatının hacımsal oranı
ρ_y	: Y doğrultusunda enine donatının hacımsal oranı
σ	: Gerilme
Φ	: Donatı çapı
φ_{eff}	: Sünme oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : S220 ve S420 donatı çeliği.	17
Çizelge 3.1 : Perform3D Sargısız beton dayanımları.	21
Çizelge 3.2 : Perform3D Sargılı beton dayanımları.	21
Çizelge 4.1 : $\lambda=50$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	33
Çizelge 4.2 : $\lambda=50$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	33
Çizelge 4.3 : $\lambda=50$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	34
Çizelge 4.4 : $\lambda=50$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	34
Çizelge 4.5 : $\lambda=50$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	35
Çizelge 4.6 : $\lambda=50$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	35
Çizelge 4.7 : $\lambda=50$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	36
Çizelge 4.8 : $\lambda=50$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	36
Çizelge 4.9 : $\lambda=75$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	37
Çizelge 4.10 : $\lambda=75$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	37
Çizelge 4.11 : $\lambda=75$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	38
Çizelge 4.12 : $\lambda=75$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	38
Çizelge 4.13 : $\lambda=75$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	39
Çizelge 4.14 : $\lambda=75$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	39
Çizelge 4.15 : $\lambda=75$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	40
Çizelge 4.16 : $\lambda=75$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	40
Çizelge 4.17 : $\lambda=100$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	41
Çizelge 4.18 : $\lambda=100$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	41
Çizelge 4.19 : $\lambda=100$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	42
Çizelge 4.20 : $\lambda=100$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	42
Çizelge 4.21 : $\lambda=100$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	43
Çizelge 4.22 : $\lambda=100$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	43
Çizelge 4.23 : $\lambda=100$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	44
Çizelge 4.24 : $\lambda=100$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	44
Çizelge 4.25 : $\lambda=105$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	45
Çizelge 4.26 : $\lambda=105$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	45
Çizelge 4.27 : $\lambda=105$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	46
Çizelge 4.28 : $\lambda=105$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	46
Çizelge 4.29 : $\lambda=105$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	47
Çizelge 4.30 : $\lambda=105$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	47
Çizelge 4.31 : $\lambda=105$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	48
Çizelge 4.32 : $\lambda=105$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	48
Çizelge 4.33 : $\lambda=110$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	49
Çizelge 4.34 : $\lambda=110$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	49
Çizelge 4.35 : $\lambda=110$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	50
Çizelge 4.36 : $\lambda=110$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	50

Çizelge 4.37 : $\lambda=110$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	51
Çizelge 4.38 : $\lambda=110$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	51
Çizelge 4.39 : $\lambda=110$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	52
Çizelge 4.40 : $\lambda=110$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	52
Çizelge 4.41 : $\lambda=115$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	53
Çizelge 4.42 : $\lambda=115$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	53
Çizelge 4.43 : $\lambda=115$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	54
Çizelge 4.44 : $\lambda=115$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	54
Çizelge 4.45 : $\lambda=115$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	55
Çizelge 4.46 : $\lambda=115$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	55
Çizelge 4.47 : $\lambda=115$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	56
Çizelge 4.48 : $\lambda=115$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	56
Çizelge 4.49 : $\lambda=120$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	57
Çizelge 4.50 : $\lambda=120$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	57
Çizelge 4.51 : $\lambda=120$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	58
Çizelge 4.52 : $\lambda=120$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	58
Çizelge 4.53 : $\lambda=120$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	59
Çizelge 4.54 : $\lambda=120$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	59
Çizelge 4.55 : $\lambda=120$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	60
Çizelge 4.56 : $\lambda=120$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	60
Çizelge 4.57 : $\lambda=125$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	61
Çizelge 4.58 : $\lambda=125$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	61
Çizelge 4.59 : $\lambda=125$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	62
Çizelge 4.60 : $\lambda=125$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	62
Çizelge 4.61 : $\lambda=125$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	63
Çizelge 4.62 : $\lambda=125$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	63
Çizelge 4.63 : $\lambda=125$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	64
Çizelge 4.64 : $\lambda=125$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	64
Çizelge 4.65 : $\lambda=130$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	65
Çizelge 4.66 : $\lambda=130$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	65
Çizelge 4.67 : $\lambda=130$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	66
Çizelge 4.68 : $\lambda=130$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	66
Çizelge 4.69 : $\lambda=130$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	67
Çizelge 4.70 : $\lambda=130$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	67
Çizelge 4.71 : $\lambda=130$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	68
Çizelge 4.72 : $\lambda=130$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	68
Çizelge 4.73 : $\lambda=135$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	69
Çizelge 4.74 : $\lambda=135$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	69
Çizelge 4.75 : $\lambda=135$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	70
Çizelge 4.76 : $\lambda=135$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	70
Çizelge 4.77 : $\lambda=135$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	71
Çizelge 4.78 : $\lambda=135$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	71
Çizelge 4.79 : $\lambda=135$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.	72
Çizelge 4.80 : $\lambda=135$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	72
Çizelge 4.81 : $\lambda=140$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.	73
Çizelge 4.82 : $\lambda=140$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	73
Çizelge 4.83 : $\lambda=140$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.	74
Çizelge 4.84 : $\lambda=140$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	74
Çizelge 4.85 : $\lambda=140$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.	75
Çizelge 4.86 : $\lambda=140$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.	75

Çizelge 4.87 : $\lambda=140$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	76
Çizelge 4.88 : $\lambda=140$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	76
Çizelge 4.89 : $\lambda=145$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	77
Çizelge 4.90 : $\lambda=145$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	77
Çizelge 4.91 : $\lambda=145$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	78
Çizelge 4.92 : $\lambda=145$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	78
Çizelge 4.93 : $\lambda=145$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	79
Çizelge 4.94 : $\lambda=145$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	79
Çizelge 4.95 : $\lambda=145$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	80
Çizelge 4.96 : $\lambda=145$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	80
Çizelge 4.97 : $\lambda=150$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	81
Çizelge 4.98 : $\lambda=150$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	81
Çizelge 4.99 : $\lambda=150$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	82
Çizelge 4.100 : $\lambda=150$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	82
Çizelge 4.101 : $\lambda=150$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	83
Çizelge 4.102 : $\lambda=150$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	83
Çizelge 4.103 : $\lambda=150$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.....	84
Çizelge 4.104 : $\lambda=150$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doğrusal elastik malzeme	10
Şekil 2.2 : Elasto plastik malzeme	11
Şekil 2.3 : Yanal yük etkisinde büyük geometri değişimleri meydana gelir	11
Şekil 2.4 : Burkulma yükü tayini için tepe deplasmanı-taban kesme eğrisi.....	12
Şekil 2.5 : Limit yükün bulunması için plastik mafsallık hipotezi	13
Şekil 2.6 : P- δ grafikleri.....	14
Şekil 2.7 : Mander sargılı sargısız beton modelleri	16
Şekil 2.8 : Donatı çeliği modeli	17
Şekil 3.1 : Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	20
Şekil 3.2 : Donatı çubuğu gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	20
Şekil 3.3 : Sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği	21
Şekil 3.4 : Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	22
Şekil 3.5 : S420 donatı gerilme-şekil değiştirme grafiği	22
Şekil 3.6 : Kolon kesidi	23
Şekil 3.7 : Cola ve Deney tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	24
Şekil 3.8 : Modellerin karşılaştırılması için tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafikleri.....	24
Şekil 3.9 : Çok parçalı kolon modeli tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafikleri.....	25
Şekil 3.10 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	26
Şekil 3.11 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	27
Şekil 3.12 : Konsol kolon sistem görünüşü	27
Şekil 3.13 : Narinlik arttıkça Perform3D tepe deplasman taban kesme grafiği	29
Şekil 4.1 : Tepe deplasman-Taban kesme kuvveti grafiği.....	33
Şekil 4.2 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	34
Şekil 4.3 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	35
Şekil 4.4 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	36
Şekil 4.5 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	37
Şekil 4.6 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	38
Şekil 4.7 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	39
Şekil 4.8 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	40
Şekil 4.9 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	41
Şekil 4.10 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	42
Şekil 4.11 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	43
Şekil 4.12 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	44
Şekil 4.13 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	45
Şekil 4.14 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	46
Şekil 4.15 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	47
Şekil 4.16 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	48
Şekil 4.17 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.....	49

Şekil 4.18 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	50
Şekil 4.19 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	51
Şekil 4.20 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	52
Şekil 4.21 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	53
Şekil 4.22 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	54
Şekil 4.23 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	55
Şekil 4.24 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	56
Şekil 4.25 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	57
Şekil 4.26 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	58
Şekil 4.27 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	59
Şekil 4.28 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	60
Şekil 4.29 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	61
Şekil 4.30 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	62
Şekil 4.31 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	63
Şekil 4.32 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	64
Şekil 4.33 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	65
Şekil 4.34 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	66
Şekil 4.35 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	67
Şekil 4.36 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	68
Şekil 4.37 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	69
Şekil 4.38 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	70
Şekil 4.39 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	71
Şekil 4.40 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	72
Şekil 4.41 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	73
Şekil 4.42 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	74
Şekil 4.43 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	75
Şekil 4.44 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	76
Şekil 4.45 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	77
Şekil 4.46 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	78
Şekil 4.47 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	79
Şekil 4.48 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	80
Şekil 4.49 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	81
Şekil 4.50 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	82
Şekil 4.51 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	83
Şekil 4.52 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği	84

BETONARME KOLONLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ KULLANILARAK EĞİLME RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Gelişen teknoloji doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Doğrusal olmayan hesaplar için geliştirilmiş bilgisayar programları sayesinde araştırmacılar ve mühendisler yapının gerçek davranışını yakından izleyebilmektedir. Böylelikle daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilebilmektedir.

Sunulan bu tez çalışmasının amacı doğrusal olmayan hesap yapabilen Perform3D paket programını kullanarak, betonarme kolonların eğilme rijitliklerinin hesaplanmasıdır. Bu program malzemenin doğrusal olmayan davranışını ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini birlikte gözönüne alabilmektedir. Tez çalışmasının başında, Perform3D ile yapılan modellemenin doğrulanması için, İTÜ Yapı ve Deprem laboratuvarında betonarme kolonlar ile ilgili yapılan bir deneysel çalışma ve bu çalışma kapsamında geliştirilen statik itme analizi yapabilen bir bilgisayar yazılımının sonuçlarından faydalanılmıştır. Yeterli düzeyde yakın sonuçların elde edilmesinin ardından yapılan modelleme çalışmasının doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu doğrulama çalışmasından sonra, betonarme kolonlarda narinlik (λ), boyuna donatı oranı (ρ) ve boyutsuz eksenel kuvvet seviyesinin (n) değişimleri dikkate alınmak suretiyle Perform3D kullanılarak taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme bağıntıları elde edilmiştir. Bu amaç için 364 analiz yapılmıştır. Bu arada, belirli bir taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme için, konsol bir çubukta eğilme rijitliğini veren bağıntılar üzerinde çalışılmıştır. Taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme bağıntısı bulunan bir kolonun eğilme rijitliğinin hesabında, aşağıda belirtilenler içinde en küçük tepe yerdeğiştirmesini veren durum esas alınmıştır.

- Taban kesme kuvvetinin maksimumdan geçtiği nokta ve bu noktaya karşı gelen yerdeğiştirme
- Tepe yerdeğiştirmesinin kolon yüksekliğine oranı $\delta/L=0.02$ için hesaplanacak tepe yerdeğiştirmesi ve buna karşı gelen taban kesme kuvveti

Bu çalışmada hesaplanan eğilme rijitlikleri, yönetmelikler ve literatürdeki çalışmalar ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Sunulan bu tez çalışması beş ana bölüm altında ele alınmıştır;

- Birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı ve içeriği hakkında genel bilgiler verilmiştir.
- İkinci bölüm içerisinde literatür kısmı yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında araştırılan konu için literatürde yer alan yayınlar ve yönetmelikler incelenerek bunlarla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

- Üçüncü bölümde ise deneysel çalışmalar ile Perform3D programında oluşturulan modellerin karşılaştırmaları verilmiştir.
- Doğru model oluşturulduktan sonra, perform3D programıyla oluşturulan ve analizleri tamamlanan kolon modellerin 52 tanesinin tepe deplasmanı taban kesme kuvveti eğrileri ve buna ait sonuçlar dördüncü bölüm içerisinde verilmiştir.
- Son bölüm olan beşinci bölümde ise elde edilen sonuçları ve bu sonuçlara ait yorumlara yer verilmiştir.

DETERMINATION OF THE FLEXURAL RIGIDITY OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS BY USING THE NON-LINEAR ANALYSIS METHOD

SUMMARY

Technological developments helped to realize non-linear analysis, since it requires iterative approach to the problems. This approach aids engineers to grasp the real behaviour of structures. Thus more economical and realistic solutions are obtained compared to linear analysis.

In this thesis, a computer aided design (CAD) programme, Perform3D, is utilized to calculate the effective flexural rigidity of reinforced concrete columns. This programme qualifies to take into consideration of non-linear behaviour of materials and impact of geometric strains on equilibrium equations. Initially to verify, structural modelling developed by Perform3D, an experimental study of reinforced concrete columns conducted in Istanbul Technical University Structural and Earthquake Engineering Laboratory and computer program that can investigate static pushover analysis have been taken into consideration. With results matching satisfactorily, it has been concluded that CAD model developed by Perform3D, will give realistic results.

After this verification process, base shear force and displacement relations are obtained by Perform3D, taking into consideration slenderness ratio (λ), longitudinal reinforcement ratio (ρ) and non-dimensional axial force (n) variations of reinforced concrete columns. For this purpose 364 different analysis are conducted. Meanwhile, for a given base shear force and displacement, equations are obtained for effective flexural rigidity of a cantilever column. The flexural rigidity values were calculated by two different way for each column model. In the third part fort this thesis, explanation about that ways are given. The results are summarized about the same selected columns and their displacement-base shear graphs. Column models that were analyzed for this thesis and their non-linear static pushover results and flexural rigidity values compared with the studies about articles about finding EI for the reinforced concrete console column in detailed. Also studies for this thesis' resulsts compared with the EI values for the design guides ACI, EC2 and TS500. To calculate effective flexural rigidity of a column, the following scenarios are investigated and the one that gives the smallest top displacement is taken into consideration.

- The point that gives maximum base shear and corresponding top displacement.
- The top displacement calculated for the ratio of top displacement to column height equal to 0.02 ($\delta / L = 0.02$)

Effective flexural rigidities calculated in this study are compared to those given values in standards and academic studies.

This thesis composed by five main sections;

- In the first section, general information of the purpose , scope and context of the study is given.
- In the second section, academic studies falling into the scope of this thesis are examined.
- In the third section, comparison of the results obtained by experiments and analysis of Perform3D is presented.
- In the fourth section , a verified Perform3D model is presented. Also, base shear force-top displacement graphs and results of 52 models are given
- In the final section of this thesis, conclusions obtained by this study, and corresponding comments, remarks on the light of the study is given briefly.
- In the appendix part, modelling phases in Perform3D programme for a reinforced concrete column are given annotatively.

As a consequence of the earthquake that occurred throughout the world and the damage they caused design for both safety and economy and understanding of structures in seismically active areas became a must. The main design concept is based on the performance of the structure, which asks for various levels of damage for different seismic loadings. Structures are investigated for their response behaviour under a non-linear analysis. Thus both economy and safety criterias are expected to be satisfied for different loadings.

This methodology is widely acknowledged and various academic studies and experiments are made to clarify our understanding of non-linear behaviour. Many structures are investigated by non-linear analysis to capture their real world behaviour. For structures such as high rise buildings which common analysis methods fail, non-linear analysis became a compulsority.

On the other hand, non-linear analysis require extensive calculation. To overcome this burden, computer programmes are being developed. These programmes helped engineers to save analysis time.

Computing the deformation and the displacement of the structure is the basis of the design that based on the performance of structure. In this thesis' content, non-linear analyze was made by using the Perform3D CAD program. The study was completed with the non-linearity of the materials (concrete and steel) for each model. Besides, second order effects of the member was considered for the accurate analysis. Non-linear behaviour of the building materials were defined in Perform3D program according to the models of steel, confined and unconfined concrete placed in the Turkish earthquake guide line DBYBHY2007.

The aim of this thesis, trying to obtain the flexural stiffness of the reinforced concrete columns by using non-linear static pushover analyze method. The maximum base shear value on the roof displacement-base shear graph and the displacement value that response the shear was used for t e calculate the flexural rigidity (EI) of each column by the result of non-linear pushover analyze in Perform3D. While the modelling phase of the column, 364 frame models were created with the slenderness ratio (λ), reinforcement ratio (ρ) and the axial force changes. Non-linear static pushover analyze were made for all this columns.

All information about the flexural rigidity values founded by design guides and researches are given in the third part of the thesis. The flexural rigidity values were calculated by two different way for each column model. In the third part fort this thesis, explanation about that ways are given. The results are summarized about the same selected columns and their displacement-base shear graphs. Compare about the EI values founded by Perform3D program against the design guides and studies' results are also given in the fourth part.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Yapıların tasarımı veya tasarımı yapılmış yapıların değerlendirilmesi, günümüzde yapılaşma sayısının artması ve mevcut yapıların deprem performansının bilinmesi için, doğrusal analizin yanı sıra doğrusal olmayan davranışında hesaba katılmasının önemini arttırmaktadır. Ülkemizde genel olarak yapılan tasarımlarda doğrusal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat yapı sistemlerinin karma sistemler olarak tasarlanması doğrusal analizle tasarımı ve bu analizle değerlendirme yöntemlerini kısıtlamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin önemi, bu kısıtlamaların ortaya çıktığı yapı sistemleriyle karşılaşıldığında görülmektedir.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri; yapıda kullanılan yapısal elemanların kesit özelliklerine, malzeme özelliklerine ve yapının deprem karşısındaki davranışına ve geometrisine bağlıdır.

Deprem etkileri altında kalan yapıların yıkılması veya hasar görmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapıların deprem performansları konularının önemle irdelenmesini ve tasarım aşamasında bu konularında göz önünde bulundurulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu deprem etkilerine maruz kalan yapıların can güvenliği performans düzeyini sağlamalarının yanında depremden sonrada kullanılabilirlik durumlarının araştırılması ve deprem etkileri altında kaldıktan sonra yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanlarda oluşan yapısal hasarların güçlendirilerek, yapının kullanılabilirlik durumunun sağlanması gerekmektedir. Deprem etkileri altında yapı performans düzeylerinin değerlendirilmesinde de doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır.

Günümüzde teknolojinin gelişimiyle birlikte doğrusal olmayan analiz yöntemlerin paket programlarca analizi daha kolay, doğru ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların artmasıyla birlikte de, bu tip ticari programların kendilerini geliştirerek konunun daha net ele alınarak çabuk sonuçlandırılması gibi faydaları olmuştur. Yine bu konuda çalışacak mühendislerin bu tür programların

kullanımına hâkim olarak hızlı ve doğru bir şekilde doğrusal olmayan analizi gerçekleştirebildikleri görülmektedir.

1.2 Tez Çalışmasının Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, kesit özellikleri bilinen ve kısa süreli yatay yük etkisinde olan betonarme narin kolonların Perform3D analiz programı kullanılarak malzeme ve geometri değişimi bakımından ve ikinci mertebe etkileride göz önünde bulundurularak doğrusal olmayan analizi sonucu etkin eğilme rijitliğinin hesap edilmesidir [1]. Elde edilen bu etkin eğilme rijitliklerinin, daha önce bu konuda yapılan çalışmalarca elde edilen ve belirli kod veya yönetmeliklerce verilen etkin eğilme rijitliği formülleriyle karşılaştırılarak yeni bir deneye dayalı formülasyon üretilmeye çalışılmıştır.

1.3 Tez Çalışmasının Kapsamı

Daha önce İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda kolon elemanlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan doktora çalışmasında bahsedilen Cola isimli program aracılığıyla elde edilen sonuçlar, Perform3D doğrusal olmayan analiz programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak yakınsaklık incelenmiştir [2,3,1].

Bu yakınsaklık elde edildikten sonra DBYBHY2007' de verilen Mander beton modeline göre gerilme şekil değiştirme bağıntılarıyla elde edilen Doğrusal Elastik Olmayan Sargılı ve Sargısız Beton modelleri ve Donatı çeliği Perform3D programına tanımlanarak inelastik malzeme tanımı yapılmıştır [4,5,1]. Tanımlanan bu malzemeler, kesit bazında fiber elemanlara ayrılan kolonlara tanımlanmıştır.

Malzeme tanımlamaları yapıldıktan sonra kolon narinliği (λ), kolonun donatı oranı (ρ) ve kolon elemana gelen eksenel yük parametreleri değiştirilerek elde edilen 364 adet kolona statik itme analizi yapılarak modellemeler yapılmıştır. Bu analizler sonucu elde edilen tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafikleri yardımıyla kolon elemanların etkin eğilme rijitliklerinin hesabına geçilmiştir.

Modellemesi yapılan elemanların doğrusal olmayan davranışını hesaplayabilmek için fiber yayılı mafsalsal modeli kullanılmıştır. Tez kapsamında kullanılan analiz yöntemi olaraksa her modele statik itme analizi uygulanmıştır.

1.4 Tez Çalışmasının İçeriği

Bu tez çalışması 5 başlık altında toplanmıştır. Her bölüm içerikleri, aşağıda kısaca bahsedilerek açıklanmaya çalışılmıştır:

1. Bölüm giriş bölümü olarak verilmiştir. Bu bölümde incelenecek olan elemanın özellikleri, bu yapının modelini oluşturma aşamaları, doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen sonuçların incelenerek neler yapılmasının amaçlandığını bilgileri kısaca anlatılmaya çalışılmıştır. Bu şekilde, tez çalışmasının genel hatlarıyla özet bir şekilde ifade edildiği bölümdür.

2. Bölüm bu tez çalışmasında kullanılan hesap yöntemi olan doğrusal olmayan analiz hakkında temel bilgilerin verildiği ve bu hesap yöntemine yönelik daha önceden yapılmış olan çalışmalara dayanan literatür araştırılmasının yapılarak anlatıldığı bölümdür.

3. Bölüm Perform3D programının kullanımında doğru modelin oluşturulduğunu gösterebilmek adına daha önceden yapılmış olan deneysel çalışmaların, bu deneysel çalışmalarla ortaya çıkarılan Cola isimli programa ait sonuçların ve Perform3D ile oluşturulan modellerin karşılaştırılarak birbirine yakın sonuçların bulunduğu gösterildiği bölümdür [1,3].

4. Bölümde malzeme tanımlamaları Perform3D programında yapılarak, narinlik oranı $\lambda=50, 75, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150$ donatı oranı $\rho=0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ ve boyutsuz eksenel kuvvet oranı $n=0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40$ olan parametrelerin değişkenliğine göre oluşturulmuş 364 ayrı model incelenmiştir [1]. Oluşturulan bu modellerden $n=0.30$ boyutsuz eksenel kuvvet oranında, eksenel kuvvet etkisindeki elemanların doğrusal olmayan analizleri sonucu elde edilen tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafiklerinden etkin eğilme rijitlikleri elde edilerek grafiksel olarak ilerleyen bölümlerde verilmiştir. Elde edilen bu değerler literatürde verilen çeşitli makalelerde elde edilmiş deneysel etkin eğilme rijitlikleriyle karşılaştırılarak tablolar halinde verilmiştir.

5. Bölümde son olarak tez çalışmasının yapılmasının ardından elde edilen sonuçlar genel olarak incelenerek bu kısımda verilmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1 Giriş

Bu bölüm içerisinde yapı sistemlerinin hesap yöntemleri kısaca açıklanıp, genel olarak doğrusal olmayan davranış açıklanacaktır. Doğrusal olmayan davranış biçiminin malzeme açısından hesaba katılmasında izlenen yöntemler, geometri değişimi bakımından hesabın nasıl yapıldığı anlatılacaktır. Doğrusal olmayan davranışın hesaplanmasında plastik mafsallık ve fiber mafsallık teoremleri kısaca açıklanıp, bu davranışın hesabında kullanılan analiz yöntemlerinden statik itme analizine literatürde bu konuyla ilgili yapılan kaynaklarda kullanılarak değinilmeye çalışılmıştır.

2.2 Literatür Çalışmaları

İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamlanan bir doktora çalışmasında, kare kolonlar için yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalardan bahsedilmiştir [2]. Toplam 13 adet numune İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda sabit eksenel normal kuvvet etkisi altında yön değiştiren tekrarlı yanal yer değiştirme çevrimleri uygulanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır [6]. Aynı tez içerisinde yer alan teorik çalışmalarda ise performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kapsamında, yer değiştirme kontrollü hesapların yapıldığı açıklanmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak, bu çalışmanın sonucunda yer değiştirme sünekliği üzerine kurulmuş bir ardışık yaklaşım yöntemi önerilmiştir.

Yapılan bu yüksek lisans tezi içerisinde bu ardışık yöntem sonucu elde edilen COLA programıyla ve 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda orijinal ve güçlendirilmiş prefabrik betonarme kolonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmaların raporu incelenerek, Perform3D programıyla aynı kolon modellemeleri yapılarak sonuçların yakınsaklığı incelenmiştir [3,6,1].

Yapılan akademik bir çalışmada, ACI 318’de yer alan moment büyütme yöntemi yaklaşımı kullanılarak dizayn edilen ve betonarme kutu kesitli kolonlar için önerilen etkin eğilme rijitliği değeri araştırılmıştır [7]. Yapılan bu çalışmalar sonucunda etkin eğilme rijitliği (EI) için yeni bir ampirik formül elde edilmiştir. Bu yaklaşım yapılırken, kolon örnekleri için çatlama, sünme ve betonarme malzemelerinin doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme eğrileri değişkenlerle verilerek yaklaşık 9500 adet dikdörtgen kolon model sonuçları irdelenmiştir. Bu kolonlara doğrusal olmayan analizler uygulanıp regresyon analizleri yapılarak Denklem 2.1’de yer alan etkin eğilme rijitliği formülü verilmiştir. Bu analizler yapılırken, oluşturulan betonarme kolon modelleri boyuna donatı oranı, eksantirisite ve eksenel kuvvet değişimleri verilerek, bu değişkenlerin kolonun eğilme rijitliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır [8].

$$EI = \frac{\alpha E_c I_c + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (2.1)$$

$$\alpha = \left[0.27 + 0.003 \left(\frac{1}{h} \right) - 0.3 \left(\frac{e}{h} \right) \right] \geq 0 \quad (2.2)$$

Aynı şekilde 2005 yılında ise, yine daha önce yapılmış olan akademik çalışmalara paralel bir şekilde ACI 318 ve EC2’de verilen etkin eğilme rijitliği denklemleri ve daha önce Denklem 2.1’de verilen ampirik formüle dayanarak elde edilen etkin eğilme rijitliği denklemini 11000’in üzerinde dikdörtgen kesitli, boyuna donatı, eksenel kuvvet ve narinliklerine göre çeşitli değişkenlerle elde edilen kolon modellerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla geliştirerek Denklem 2.3’ de yer alan denklem verilmiştir [7, 9]. Bu çalışmada da etkin eğilme rijitliğine eksantirisite, eksenel kuvvet boyuna donatı oranı ve narinliğin etkileri irdelenmiştir [10].

$$EI = \frac{\alpha E_c I_c}{1 + \beta_d} + 0.8 E_s I_s \quad (2.3)$$

$$\alpha_c = \left[0.47 - 3.5 \frac{e}{h} \left(\frac{1}{1 + \beta \frac{e}{h}} \right) + 0.003 \frac{1}{h} \right] \geq 0 \quad \begin{array}{l} \rho < 0.02 \text{ ise } \beta = 7 \\ \rho \geq 0.02 \text{ ise } \beta = 8 \end{array} \quad (2.4)$$

Yine daha sonraki yıllarda yayınlanmış olan bir yayın ile, son 30 yılda yapılmış olan çalışmaları irdedikten sonra, çatlama, sünme ve doğrusal olmayan malzeme dayanımlarını baz alan parametreleri kullanarak, betonarme kolonlar için etkin eğilme rijitliği hesabı için Denklem 2.5’de verilen denklemi, aynı şekilde EC2 ve ACI 318’ de yer alan moment büyütme metodunu kullanarak elde etmişlerdir [9, 7]. Kısa süreli yüklemeler altında dikdörtgen kesitli betonarme kolon modellemeleri eksantirisite, narinlik, boyuna donatı oranı değişimine göre ve eksenel kuvvet şiddetleri değişkenlikler göstererek oluşturulan modellemeler ile farklı çok sayıda model oluşturulmuştur [11].

$$EI = \alpha \frac{E_c}{1 + \vartheta_{eff}} I_c + \frac{E_s}{1 + \eta} I_s \quad (2.5)$$

$$\alpha = \left(-0.14 \frac{l}{h} + 2.5 - 0.35 \vartheta_{eff} \right) \left(\frac{e}{h} - 0.2 \right) + \alpha_p \geq 0.1 \quad \frac{e}{h} < 0.2 \quad (2.6)$$

$$\alpha = \alpha_p \left(1.2 - \frac{e}{h} \right) \geq 0.1 \quad (2.7)$$

Yukarıda bahsedilen akademik çalışmalarda yer alan ve Denklem 2.1, Denklem 2.3 ve Denklem 2.5’te verilen betonarme kolonların etkin eğilme rijitliği değerleri için EC2 ve ACI 318’de verilen EI formülleri Denklem 2.8 ve 2.9’da verilmiştir [7, 9].

$$EI = \frac{0.2 E_c I_c + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (2.8)$$

$$EI = K_c I_c E_c + K_s I_s E_s \quad (2.9)$$

$$\rho \geq 0.01 \text{ ise } K_s = 0, K_c = \frac{0.3}{1 + 0.5 \vartheta_{eff}} \quad (2.10)$$

$$\rho \geq 0.02 \text{ ise } K_s = 1, K_c = \frac{k_1 k_2}{1 + \vartheta_{eff}}, k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}}, k_2 = v \frac{\lambda_m}{170} \leq 0.2 \quad (2.11)$$

329 adet betonarme kolon örneğinin incelendiği bir çalışmada, yanal kuvvet etkisiyle bu kolonlara ait etkin eğilme rijitlik değerleri elde edilerek, bu tez kapsamında yapılan çalışma bu deneyler ile bağdaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma, yine daha önce

aynı yazarların elde ettiği etkin eğilme rijitliği değerleriyle de kıyaslanmıştır. Bu yüksek lisans tezi içerisinde, elde edilen sonuçlar bu rijitlik değerleriyle kıyaslanarak, sonuçlar kısmında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir [12].

Elde edilen eğilme rijitlik değerlerinin hesabı için verilen ampirik formüllerde kullanılan azaltma katsayılarıyla ilgili araştırma sonucu, 2013 yılında yapılan bir çalışma incelenmiştir, bu katsayıların değişimleri incelenerek, bu değerler hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır [13].

Yine etkin eğilme rijitlikleri için, betonarme yapıların analiz ve dizayn aşamalarında verilen çalışmalar incelenerek, kesit rijitliğinin tahmininin önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Sismik etkiler karşısında, etkin eğilme rijitliğini etkileyen en önemli parametre kesitlerin çatlayarak akma dayanımlarına ulaşması (plastikleşmesi) moment eğrilik grafikleriyle gösterilmiştir. Kesit geometrisi, eksenel yük şiddeti, beton malzemesinin dayanımı, ve donatı oranları bu durumu etkileyen en önemli faktörler olarak gösterilmiştir [14].

Betonun çatlamasının eğilme ve kayma rijitliklerine etkileri betonarme elemanlar için önemli bir etkidir. Betonarme yapıları çatlamış kesit etkilerini göz ardı ederek düşünmek doğru davranışı elde etmemiz konusunda doğru sonuçlara ulaşmamızı sağlamaz, bu çatlamış kesit rijitliğini kesidin sargılanması, eksenel yük şiddeti, kesit boyutları, malzeme kalitesi gibi etkenlerin etkilediği verilmiştir. EC2 ve DBYBHY2007 göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmaya ait bazı testler sonucunda bu etkiler gözlemlenmiştir [9, 4, 15].

Basit bir yaklaşım ile betonarme narin kolonlar için dayanımın elde edilmesine ait bir hesap yöntemi incelenmiştir [16]. Bu hesap yönteminin, yapılan bu tez kapsamında analizleri doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak sonuçları elde edilen betonarme narin kolonlar ile benzeşimi incelenmiştir.

Betonarme kolonların şekli, donatıları arasındaki mesafe ve donatı çapları değişimleri parametre olarak alınarak test düzenekleri kurulan ve yapılan çalışmalar ile elemanlara ait yük taşıma kapasitelerinin, şekil değiştirme kapasitelerinin ve göçme durumlarının elde edildiği çalışmada, plastik mafsallarıyla ilgili sonuçlar gösterilmiştir. Sürekli yüklemeler altında yapılan bu testin aşamaları incelenerek bu tez kapsamında yapılan çalışmada donatı ve beton malzemelerin doğrusal olmayan davranışı etkilerine bakılmıştır [17].

Betonarme yapısal elemanların deprem hareketleri karşısında histerik davranışlarının, kullanılan malzeme özellikleri, yapılan işçilik, tasarım ve inşaat

yapım aşamalarıyla bağlantılarının açıklandığı bir çalışmada, betonarme konsol kolonlar ile düşük dayanımlı malzeme kullanıldığı zaman, bu davranışa betonarme elemanın yanıtı deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Malzemenin bu kuvvetler karşısındaki davranışı bu çalışma ile incelenmeye çalışılmıştır [18].

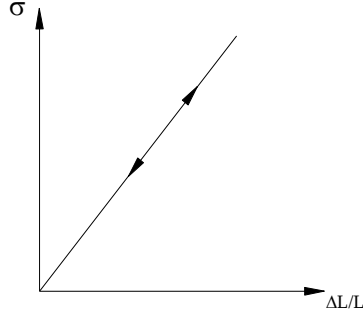
Betonarme fiber kesitler için, sargılı beton dayanımının göz önünde bulundurularak, yük taşıma kapasitesinin incelendiği kolon elemanlarda teorik bir model ile (sayısal integrasyon metodu kullanılarak) betonarme kolonların davranışları verilmiştir [19]. Var olan deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar kıyaslanarak yakınsaklık incelenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmayla benzerlik gösteren bu deneysel çalışma, ön hazırlık olarak incelenmiştir.

2011 yılında yayınlanmış bir makalede, narinliğin artmasıyla birlikte ikinci mertebe etkilerinin daha etkin olduğu sonucuna varıldığı görülmüştür [20]. Yapılan bu tez içerisinde de narinlik değişimine göre ikinci mertebe etkilerinin, etkin eğilme rijitliği üzerindeki etkileri irdelenerek, tahmin edilen değerlerin literatürde yer alan çalışmalar ile yakınsaklığı verilmiştir. Bu doğrusal olmayan analiz metodlarının hesap yöntemi, Betonarme sistemlerin doğrusal olmayan analizi kitabında ayrıntılı ve örneklemeli bir şekilde verilmiştir [21]. Aynı zamanda bu doğrusal olmayan analiz yöntemleri için ve eğilme rijitliği değeri için yabancı kaynaklarda irdelenmiştir [22]. Geliştirilen bir bilgisayar yazılımı ile betonarme kolonların doğrusal olmayan analizlerinin sonuçlarının elde edilmesi amacı ile yapılan çalışmada, ikinci mertebe etkilerinin, donatının burkulmasının ve zorlanmasının, bu analiz sonuçlarına etkileri gösterilerek, moment-eğrilik, kuvvet-deplasman eğri sonuçları incelenmiştir [23].

2.3 Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemleri

2.3.1 Doğrusal teori

- Malzeme davranışı Şekil 2.1’de gösterildiği gibi doğrusal elastiktir.



Şekil 2.1 : Doğrusal elastik malzeme.

- Yer değiştirmelerin, denge ve süreklilik denklemlerine etkileri terk edilebilecek kadar küçüktür. (I. Mertebe Teorisi)
- Tepki kuvvetleri çift yönlüdür ve sistemin boyutları yükleme ile değişmemektedir.

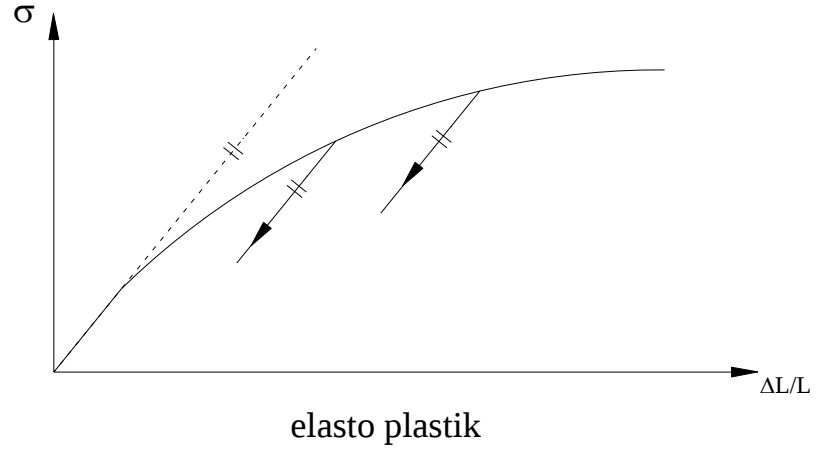
Bu varsayımlar sonucunda süperpozisyon prensibi geçerlidir ve doğrusal teoremin geçerli olduğu sistemlerin tasarımı bulunan iç kuvvetlere göre yapılabilir [24].

2.3.2 Doğrusal olmayan teori

Bu teori 3 şekilde meydana gelebilir;

- Malzeme bakımından doğrusal olmayan teori:

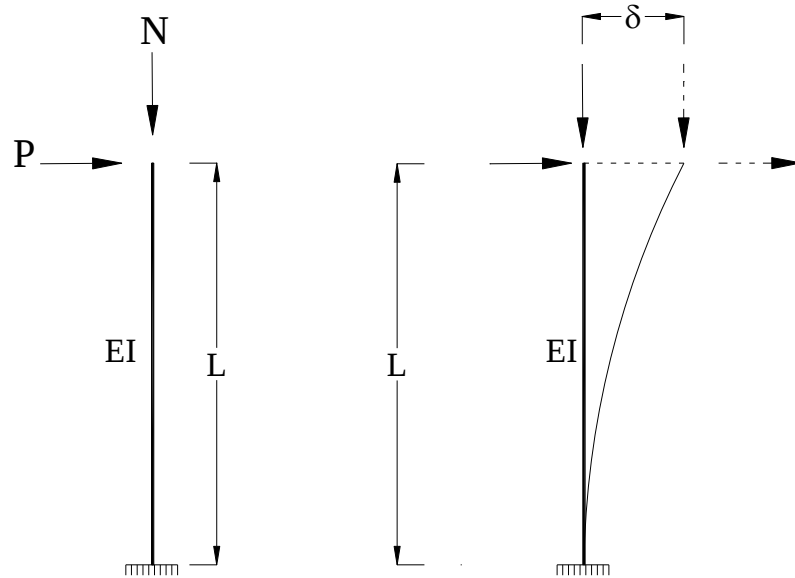
Malzeme davranışı artık doğrusal elastik değildir, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Malzeme elastik davranışın sonunda akmaya ulaşmakta, bundan sonra gerilmede bir artış olmaksızın elastik şekil değiştirmeler üzerine plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Boşalma elastik olarak oluşurken plastik şekil değiştirmeler geri dönmeyerek kalmaktadır.



Şekil 2.2 : Elasto plastik malzeme.

- Geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teori:

II. Mertebe Teorisi geçerlidir. Sistemde dış yüklerden dolayı Şekil 2.3'te gösterildiği gibi meydana gelen yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkileri ihmal edilebilecek kadar küçük değildir.



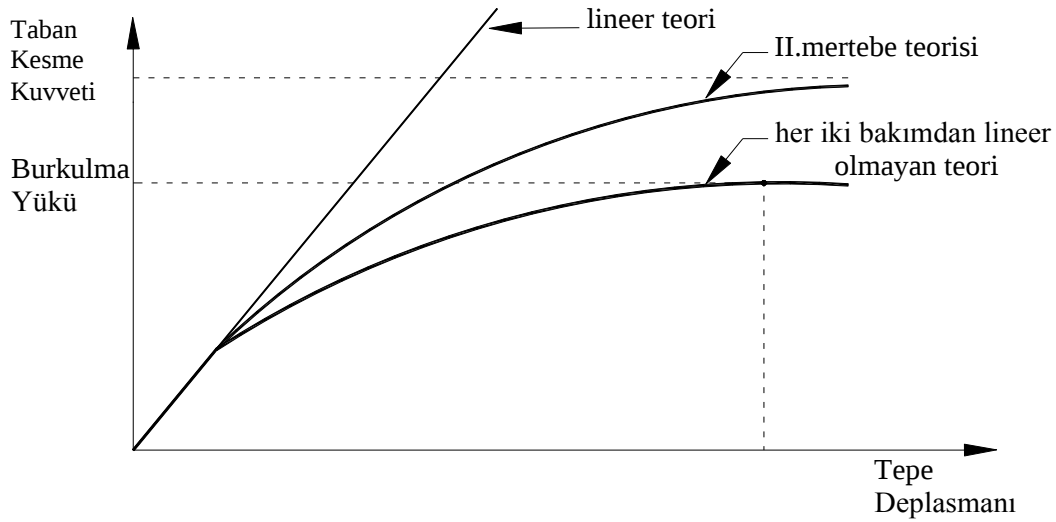
Şekil 2.3 : Yanal yük etkisinde büyük geometri değişimleri meydana gelir.

Yer değiştirmelerin yeteri kadar küçük olmadığı bu sistemlerde denge denklemlerinin şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekir. Bu şekilde geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin göz önüne alındığı teoriye II.

Mertebe teorisi denir. Sistemin şekil değiştirmiş eksenini bilinirse denge denklemleri bu eksen üzerinde yazılarak II. Mertebe teorisine göre hesap yapılabilir.

- Her iki bakımdan doğrusal olmayan teori:

Malzeme bakımından ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan davranışların birlikte görüldüğü sistemlerdir. Sistem artan yükler altında iki bakımdan lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak, sistemin Şekil 2.4'te gösterildiği gibi tepe deplasmanı-taban kesme kuvveti eğrisi çizilirse, bu eğrinin bir maksimum noktadan geçtiği görülür. Bu maksimum değer sistemin burkulma yükü adını alır.

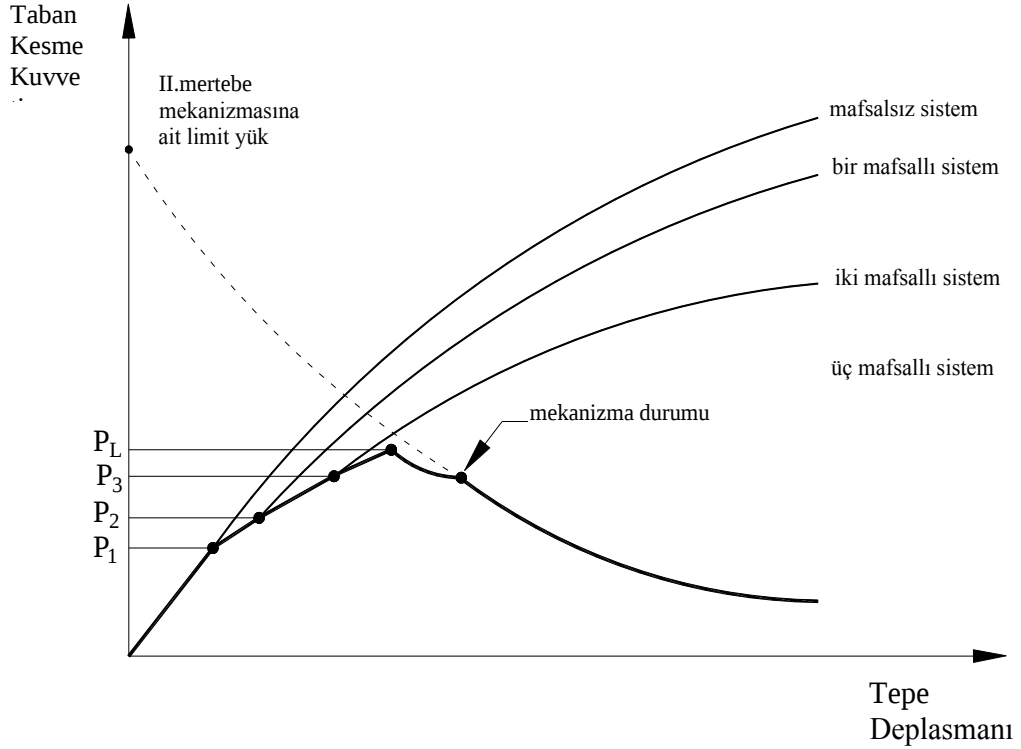


Şekil 2.4 : Burkulma yükü tayininde, tepe deplasmanı taban kesme kuvveti eğrisi.

İki bakımdan doğrusal olmayan teoriye göre hesapta lineer olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali düşünüldüğünde ardışık yaklaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Başlangıç kirişi, teğet vb. gibi lineerleştirme tekniklerinden herhangi birisi kullanılarak malzemenin ve II. Mertebe teorisi için lineerleştirilmesi gerçekleştirilir. Ardışık iki adımda bulunan büyüklükler (kesit zorları, yerdeğiştirmeler) birbirlerine yeterli derecede yakın olunca hesaba son verilir. Bu sebeple hesaba küçük yüklerle başlanabilir.

Şekil değiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olmadığı durumlar düşünüldüğünde ise plastik mafsallara göre hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Birinci mertebe teorisine göre hesapta uygulanan yük artımı yönteminden yararlanılabilir. II. Mertebe teorisinde süperpozisyon prensibi geçerli olmadığından yüklere küçük artımlar verilerek hesap yapılır. Yükler artarak bir sınır değere geldiğinde tepe deplasmanı-

taban kesme eğrisi, sistemin mekanizma durumuna gelmesinden dolayı, veya oluşan plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükünün, son plastik mafsalı oluşturan yük parametresinden daha küçük olması ile bir maksimumdan geçer. Bu taban kesme yüküne ikinci mertebe limit yük denir. Plastik mafsal hipotezine göre hesap ile sistemin limit yükünün bulunmasına ait tepe deplasmanı-taban kesme eğrisi Şekil 2.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.5 : Limit yükün bulunması için plastik mafsal hipotezi.

Doğrusal ve doğrusal olmayan davranışların hesap yöntemlerinde çözümün sağlaması gereken koşullar, bu koşullar sağlandığında yer değiştirmelerin denge ve geometrik süreklilik denklemlerine etkileri Tablo 2.1'de özet bir şekilde gösterilmiştir. Tablo 2.1'de verilen etkilerin gösterimi de Şekil 2.6'da grafiksel olarak verilmiştir.

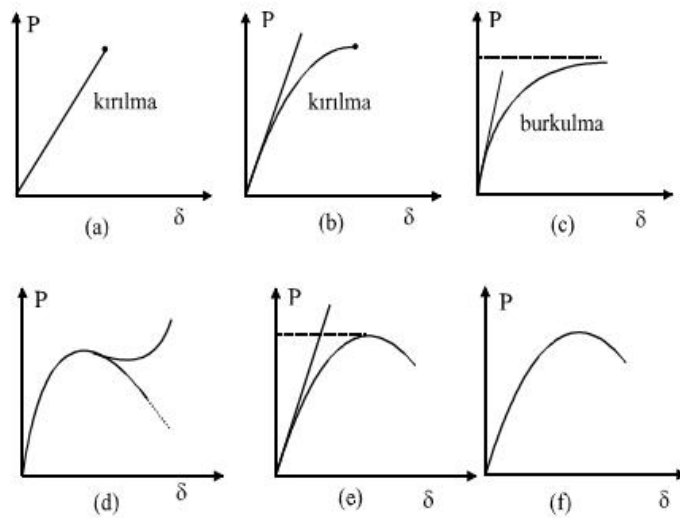
Sonuç olarak doğrusal olmayan hesabın avantajları genel olarak aşağıda verilen maddelerdeki gibi kısaca özetlenebilir;

- Göçmeye karşı sabit bir güvenlik sağlanmaktadır,
- Sistemin doğrusal-elastik sınır yükünden sonraki taşıma kapasitesinden yararlanılmaktadır,

- Bunun yanında, işletme yükleri altında istenen özelliklerde gerçekleşmektedir [24].

Doğrusal ve doğrusal olmayan davranış

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar		Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
			Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
				II. Mertebe Teorisi	Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi	II. Mertebe Teorisi	Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi
Bünye Bağıntıları		Doğrusal Elastik	Doğrusal Olmayan	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik	Doğrusal Olmayan	Doğrusal Olmayan
Yerdeğiştirmeler	Denge denklemleri	küçük	küçük	küçük değil	küçük değil	küçük değil	küçük değil
	Geometrik süreklilik denklemleri	küçük	küçük	küçük	küçük değil	küçük	küçük değil
Grafik		a	b	c	d	e	f



Şekil 2.6 : P- δ grafikleri.

2.4 Doğrusal Olmayan Malzeme Bağlılıları

2.4.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde, başkaca bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme şekil değıştirme bağıntıları verilmiştir. Bu model bazı kesit programlarında ve Sap2000 gibi analiz programlarında Mander beton modeli olarak Şekil 2.7’de gösterildiği gibi verilmektedir [25, 5]. Bu beton modeli için Razvi modelide incelenmiş olup, Sap2000 ve örnekler kitabında yer alan doğrusal olmayan analiz örneği irdelenerek Mander modeli tercih edilmiştir[26, 27].

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değıştirmesi ε_c ’nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (2.12)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} ; \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (2.13)$$

Buradaki f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} ; f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.14)$$

Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranlarını, k_e ise aşağıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (2.15)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını

göstermektedir. Denklem 2.12'deki normalize edilmiş beton birim şekil değıştirmesi x ile r değışkenine ilişkin bağıntılar ise řu şekilde verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} ; \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5(\lambda_c - 1) \right] ; \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (2.16)$$

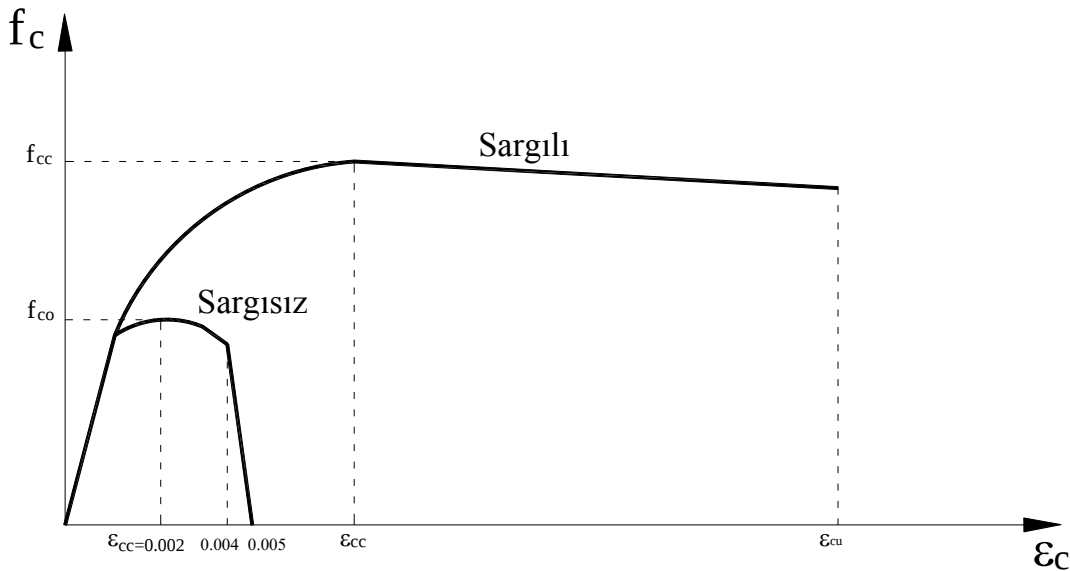
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} ; E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} ; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.17)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değıştirmesi ε_{cu} aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.18)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacimsel oranını (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$), ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değıştirmesini göstermektedir.

Sargılı beton için verilen denklem 2.12, $\varepsilon_c = 0.004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı $f_e = 0$ ve buna bağılı olarak denklem 2.13'den $\lambda_c = 1$ olacağından denklem 2.16 ve denklem 2.17'da $f_{cc} = f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$ alınacaktır. $\varepsilon_c = 0.005$ 'de $f_c = 0$ olarak tanımlanır. $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ aralığında gerilme şekil değıştirme ilişkisi doğrusaldır [4].



Şekil 2.7 : Mander sargılı sargısız beton modelleri.

2.4.2 Donatı çeliği modeli

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme şekil değiştirme bağıntıları Şekil 2.8’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

$$f_s = E_s \varepsilon_s ; \left(\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \right)$$

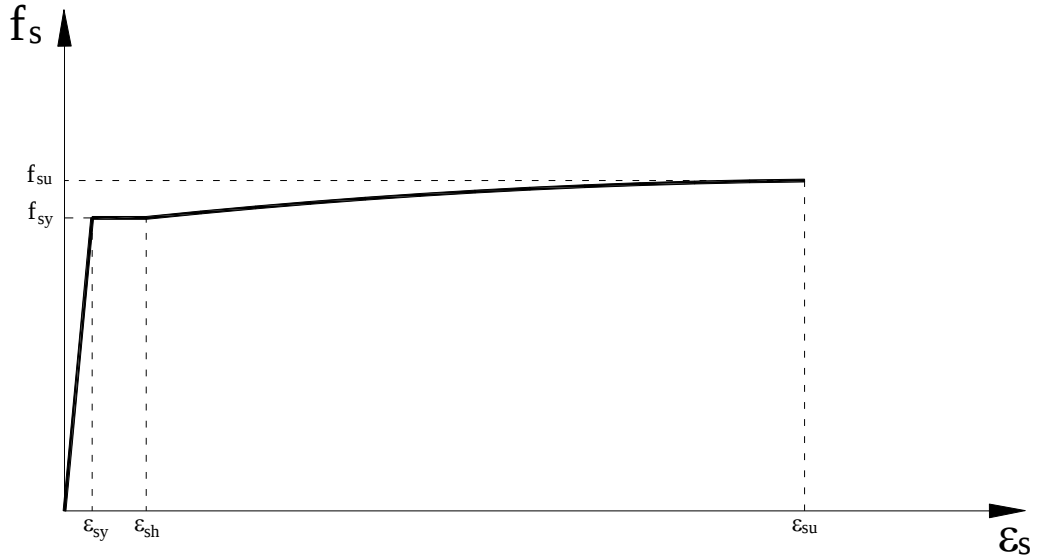
$$f_s = f_{sy} ; \left(\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \right)$$

$$f_s = f_{su} - \left(f_{su} - f_{sy} \right) \frac{\left(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s \right)^2}{\left(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \right)^2} ; \left(\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \right)$$
(2.19)

Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s=2 \times 10^5$ MPa’dır. S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait Çizelge 2.1’de gösterilen tablodan alınabilir [4].

Çizelge 2.1 : S220 ve S420 donatı çeliği.

Kalite	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550



Şekil 2.8 : Donatı çeliği modeli.

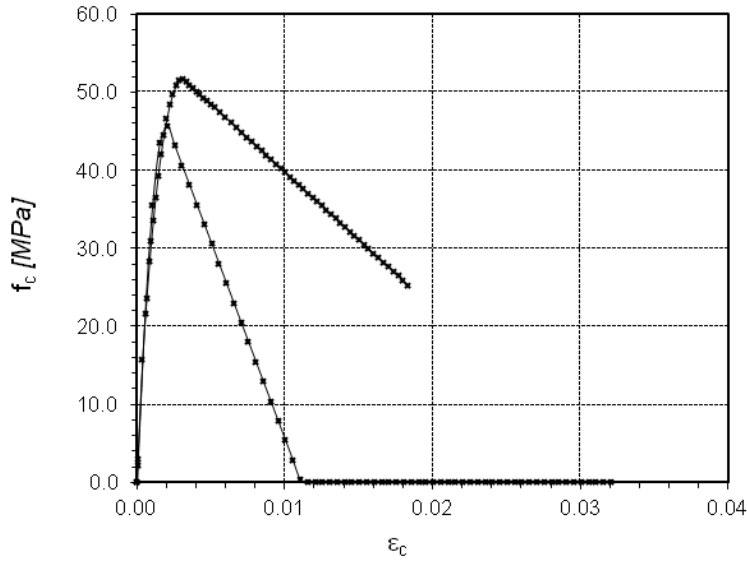
3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI İLE PERFORM3D MODEL SONUCUNUN KARŞILAŞTIRILMASI

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda 2006 yılında raporu hazırlanan sabit düşey yük ile yatayda depremi çağrıştıran tersinir deplasman çevrimleri kullanılarak incelenmiş olan kolon numulerinden S30_14 kolonuna ait deney sonuçları örnek olarak alınmıştır [6]. Aynı kolon modeli Perform3D programında da oluşturularak tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafikleri karşılaştırılmıştır [1]. Bu programa ait çalışmalar yayınlanmış olan bir konsol perde eleman örneği incelenerek yapılmıştır [28]. Yine bu deneysel çalışmalar sonucu elde edilen Cola isimli program ile elde edilmiş değerlerde karşılaştırma yapılmak üzere verilmiştir [3]. Böylelikle bundan sonra teorikte oluşturulacak konsol kolonlara ait modellemelerin doğruluğu gösterilmeye çalışılmıştır.

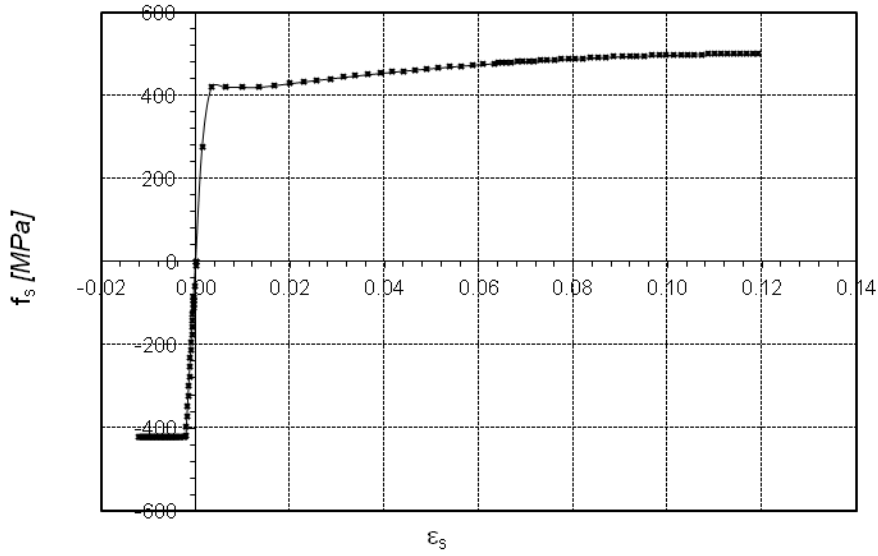
3.1 Malzeme Özelliklerinin Karşılaştırılması

3.1.1 Deneyde kullanılan malzeme özellikleri

Yapılmış olan deneysel çalışmalarda sonuçları doğru şekilde değerlendirebilmek için numunelerin tasarımında kullanılan malzeme dayanımları ile numunelerin üretildiği beton ve çelik için gerçek dayanımlar karşılaştırılmıştır. Beton için elde edilmiş basınç dayanımı ve donatı için elde edilmiş akma ve çekme dayanımları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de sırasıyla verilmiştir. Bu değerler literatür kısmında da anlatılan İstanbul Teknik Üniversitesi'nde konsol kolonlar için yapılan çalışmalardan faydalanılarak elde edilmiştir [6].



Şekil 3.1 : Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.



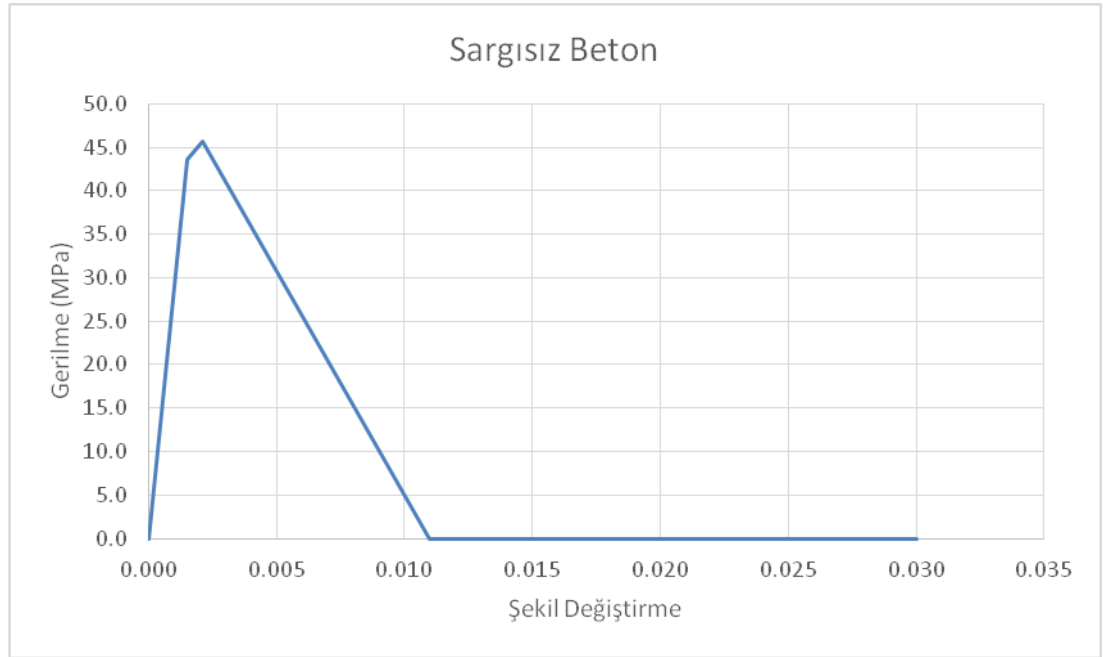
Şekil 3.2 : Donatı çubuğu gerilme-şekil değiştirme grafiği.

3.1.2 Perform3D malzeme özellikleri

Perform3D programı kullanılarak modelleme yapılırken sargılı ve sargısız beton modellemeleri için oluşturulmuş basınç dayanımı ile donatı çeliği modeli için oluşturulmuş akma ve çekme dayanımları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu dayanımlara ait gerilme şekil değiştirme diyagramları ise Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de verilmiştir [1].

Çizelge 3.1 : Perform3D Sargısız beton dayanımları.

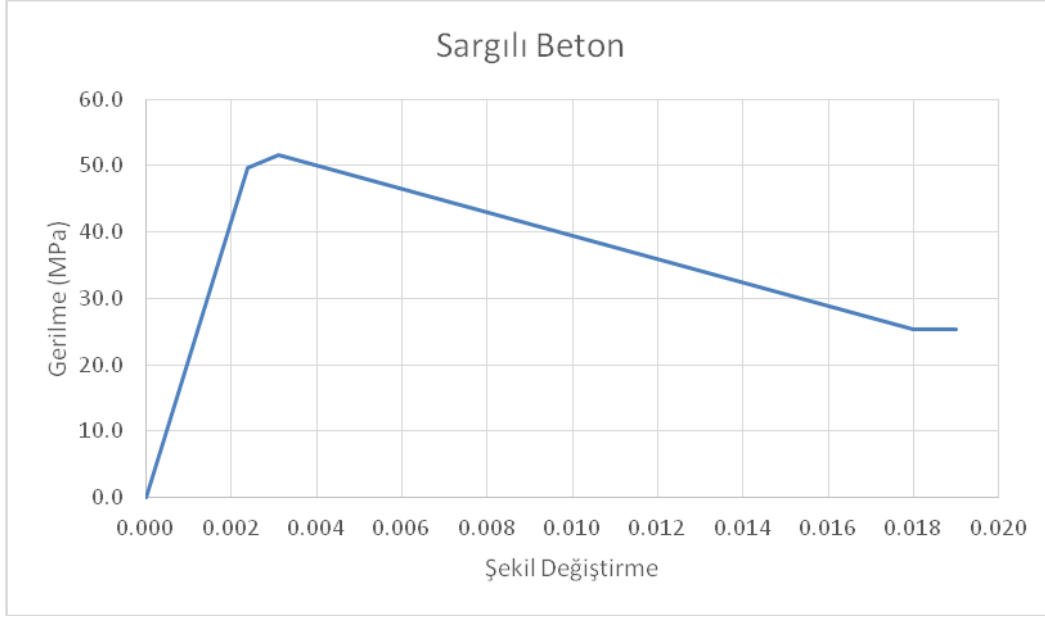
ε_o	0.0000	0.0015	0.0021	0.0110	0.0300
f_o [MPa]	0.0	43.6	45.7	0.0	0.0
E [MPa]	40000000				



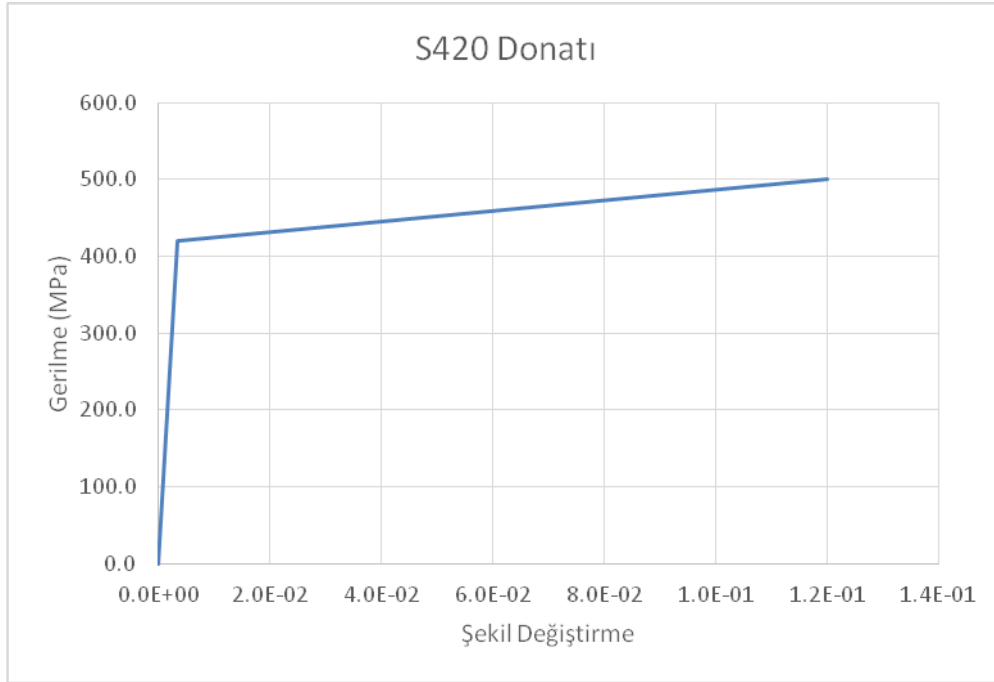
Şekil 3.3 : Sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Çizelge 3.2 : Perform3D Sargılı beton dayanımları.

ε_o	0.0000	0.0024	0.0031	0.0180	0.0190
f_o [MPa]	0.0	49.8	51.7	25.3	25.3
E [MPa]	40000000				



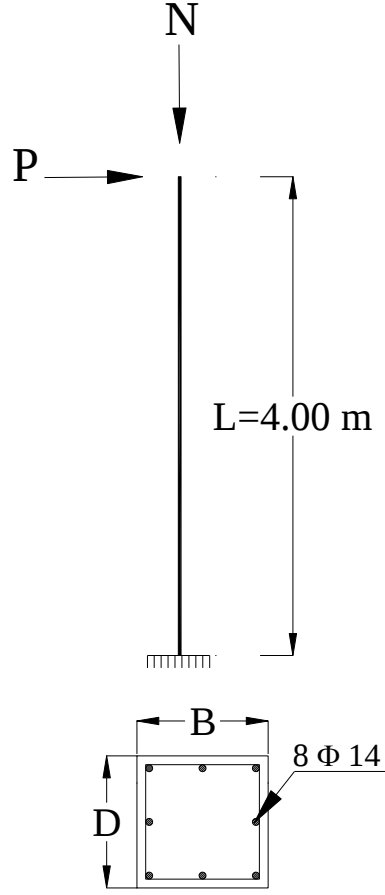
Şekil 3.4 : Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.5 : S420 donatı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

3.2 Deney Ve Perform3D Modelleri İçin Kolon Özellikleri

Yukarıda hem deneysel hemde modellemeye ait doğrusal olmayan malzeme özellikleri verilen kolona ait bilgiler ve kesit özellikleri aşağıda gösterildiği gibidir. Bu kolon tipi için doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak tepe deplasmanı-taban kesme kuvveti grafikleri incelenecektir.



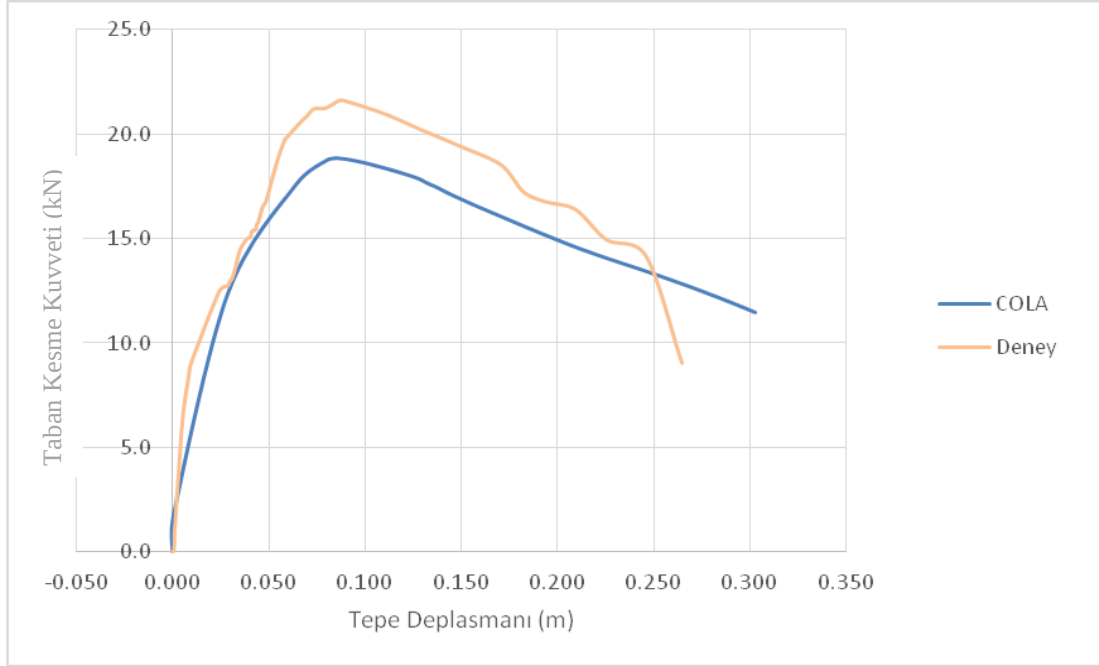
Şekil 3.6 : Kolon kesidi.

Kesidi şekil 3.4’de verilen kolon örneğinin boyutları $B=0.30$ m ve $D=0.30$ m’dir. 4.0 m yüksekliğinde olan kolon 280 kN eksenel kuvvet etkisindedir. Boyuna 8 adet $\Phi 14$ ’lük donatıyla tasarlanmış kolonun, sargı bölgesinde $\Phi 8/10$ uç kısımlarında $\Phi 8/15$ etriye düzeni vardır. Özellikleri yukarıda verilen kolona statik itme analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucu elde edilen tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafikleri karşılaştırılarak yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3.3 Sonuçların Karşılaştırılması

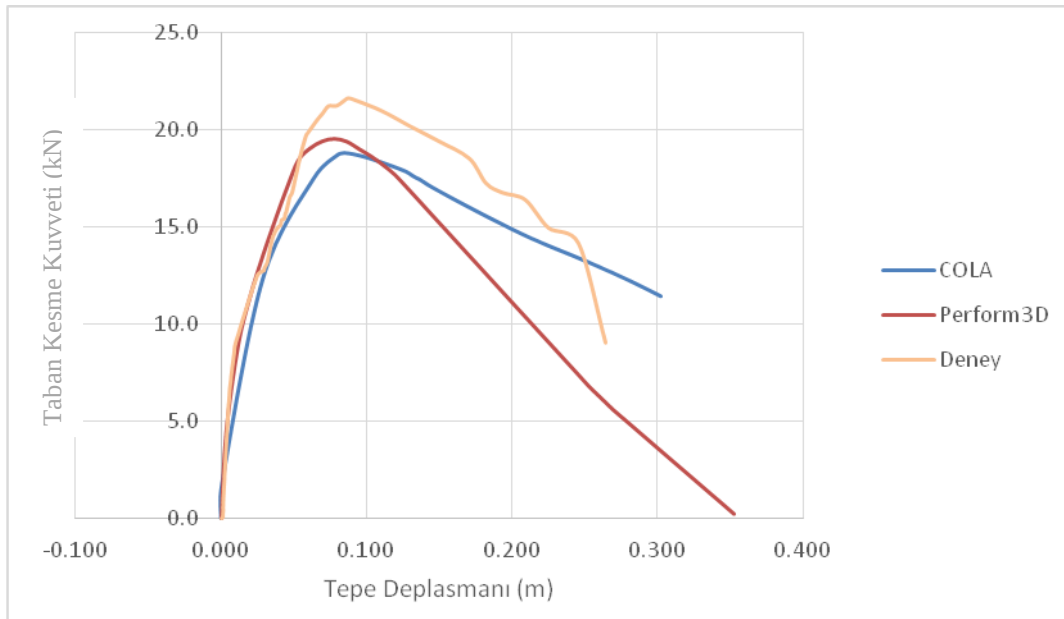
Bu kısımda daha önce İTÜ deprem laboratuvarında deneysel çalışmaları yapılmış olan, malzeme özellikleri verilen kolon modellerinde, S30_14 kolonunun itme analizi sonuçları ile, bu çalışma sonucu elde edilmiş program ile elde edilen ve Perform3D programı ile modellediğimiz kolonun tepe deplasmanı-taban kesme kuvveti grafikleri karşılaştırılarak yakınsaklık elde edilmesi amaçlanmıştır [6, 1]. Bu amaca yönelik

hedeflenen deneysel çalışmalara ait tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafiği Şekil 3.5’de verilmiştir.



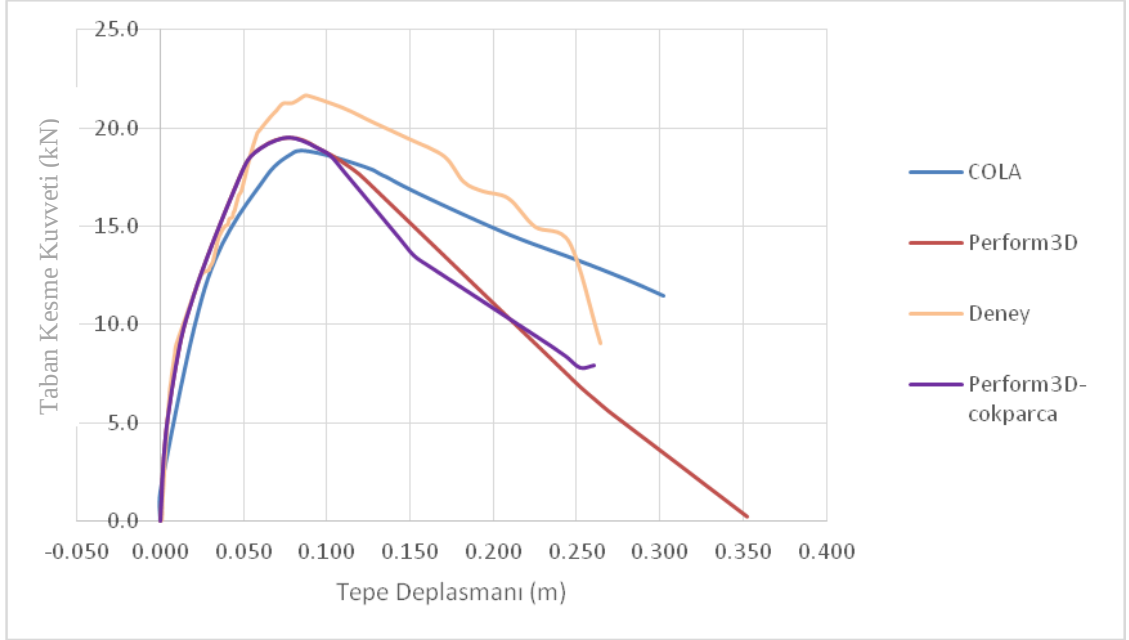
Şekil 3.7 : Cola ve Deney tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Şekil 3.6’ da ise Perfrom3D programı ile malzeme ve II. Mertebe etkileride göz önünde bulundurularak doğrusal olmayan statik itme analizi yapılan komsol kolon modelinin sonuçları ve bu sonuçların deneysel çalışmalar ile karşılaştırıldığı grafik verilmiştir [1].



Şekil 3.8 : Modellerin karşılaştırılması için tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafikleri.

Grafikte görüldüğü üzere, Perform3D programı kullanılarak elde edilen sonuç ile deneysel çalışmanın sonucunun başlangıç eğimleri, mafsallaşma meydana gelene kadar olan eğilme rijitlikleri için yaklaşık olarak denk gelmiştir [1].



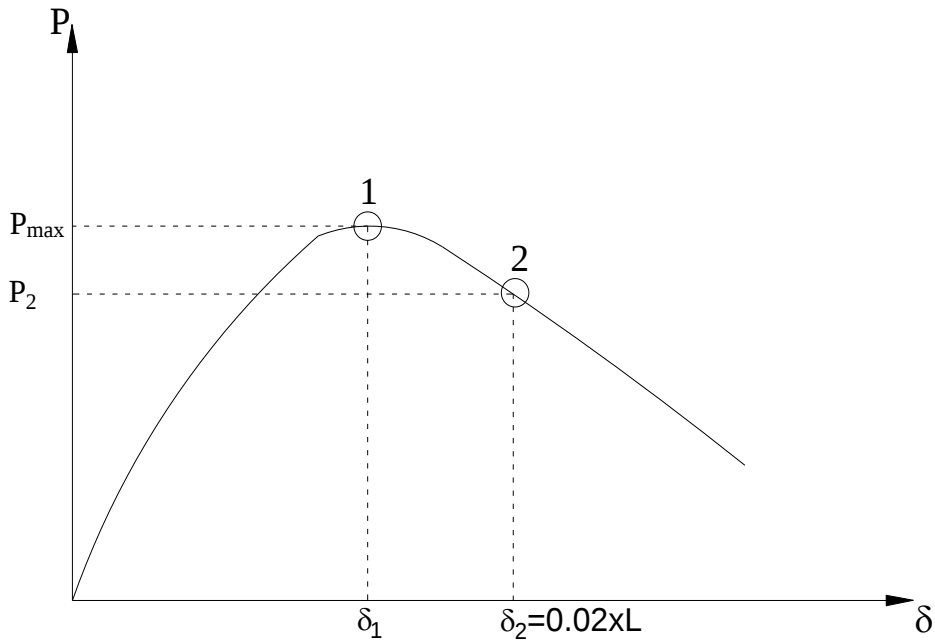
Şekil 3.9 : Çok parçalı kolon modeli tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafikleri.

Programda daha hassas sonuçlar elde edebilmek için incelenen kolon modeli ilk olarak tek parça olarak modellenmiştir. Daha sonra sonuçların hangi oranda değiştiğini görebilmek için 4.00 m uzunluğundaki kolon 0.10 m aralıklarla çok parçalı sistem haline getirilerek yayılı mafsal hipotezine göre analiz tekrar edilmiştir. Bu çok parçalı sistemin analiz sonucu daha önceki analizle, deney ve teori sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçları Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Sonuç olarak başlangıç rijitliklerinin deneysel çalışmaya daha yakın bir eğimle yükseldiği ve II. Mertebe etkileriyle göçme olana kadar ki değişiminde yakınlığı göz önünde bulundurularak bundan sonraki yapılacak modellemelerde çok parçalı kolon modellerinin kullanılması uygun görülmüştür.

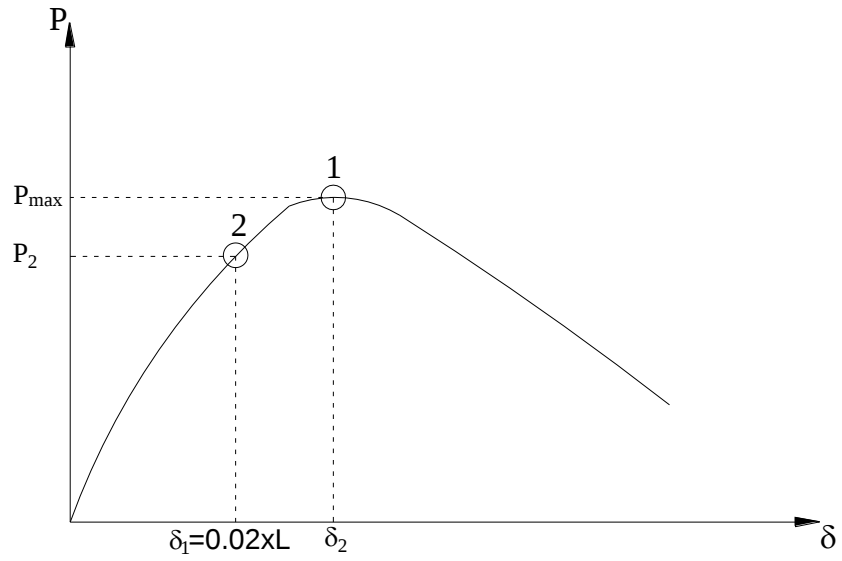
3.4 Etkin Eğilme Rijitliklerinin Hesap Edilmesi

Bu tez kapsamında modellenecek kolon elamanların narinliğinin, donatı oranının ve kolon üzerine gelen eksenel kuvvetin değiştirilmesiyle birçok kolon modeli oluşturulup bu kolonların eğilme rijitliklerinin hesap edilmesine çalışılacaktır. Perform3D programı yardımıyla malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal

olmayan analizler yapılarak bu analizler sonucunda her modele ait tepe deplasmanı-taban kesme grafikleri aşağıda örneği verilen Şekil 3.10'daki gibi oluşturulmuştur [1]. Eğilme rijitliklerinin hesap edilmesinde kullanılan maksimum taban kesme kuvvetine (1 noktasına) karşılık gelen tepe deplasmanı, DBYBHY2007'de verilen göreceli kat ötelemesi sınırlarını aşmayacak şekilde hesaba katılacaktır [4]. Eğer maksimum tepe deplasmanına karşılık gelen ötelenme (2 noktasındaki ötelenme) daha aşağıda ise, bu deplasmana karşı gelen taban kesme kuvveti hesaba katılarak EI eğilme rijitliği hesap edilecektir. Fakat 0.02 maksimum ötelenme maksimum taban kesme kuvvetini verdiği takdirde bu deplasman ve taban kesme kuvveti uygulanarak eğilme rijitliği hesap edilecektir bu hesap Şekil 3.11'de şematik olarak verilmiştir. Eğilme rijitliklerinin hesabına ilişkin formüller Denklem 3.1 ve Denklem 3.2' de gösterilmiştir.

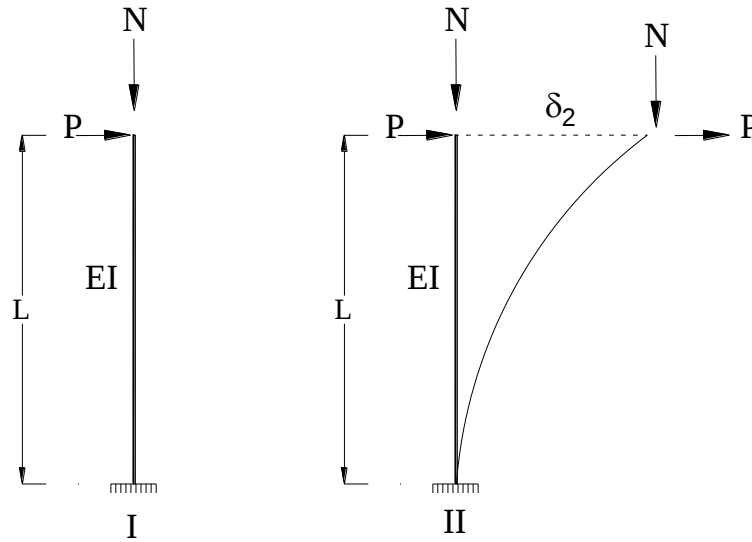


Şekil 3.10 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği .



Şekil 3.11 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği .

Betonarme konsol kolonlarda eğilme rijitlik bağıntılarının elde edilebilmesi için Şekil 3.12’de gösterilen 3 adet şekil değiştirmiş sistem üzerinde kuvvet yöntemi uygulanarak her bir sistemin eğilme rijitlik değeri bağıntıları sırasıyla Denklem 3.1, Denklem 3.2 ve Denklem 3.3’ te verilmiştir. Bu bağıntıların elde edilmesinde kullanılan hesap yöntemide kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3.12 : Konsol kolon sistem görünüşü.

$\delta = \frac{P \times L^3}{3EI}$ yer değiştirmesinden etkin eğilme erijitliği EI çekilirse;

$$EI_1 = \frac{P \times L^3}{3\delta_{\max}} \quad (3.1)$$

$\delta_1 = \frac{P \times L^3}{3EI} + \frac{N \times \delta \times L^2}{3EI}$ yer değiştirmesinden etkin eğilme erijitliği EI çekilirse;

$$EI_2 = \frac{L^2}{3\delta_{\max}} (P \times L + N \times \delta) \quad (3.2)$$

$\delta_2 = \frac{L^2}{12EI} (4PL + 3N\delta)$ yer değiştirmesinden etkin eğilme rijitliği EI

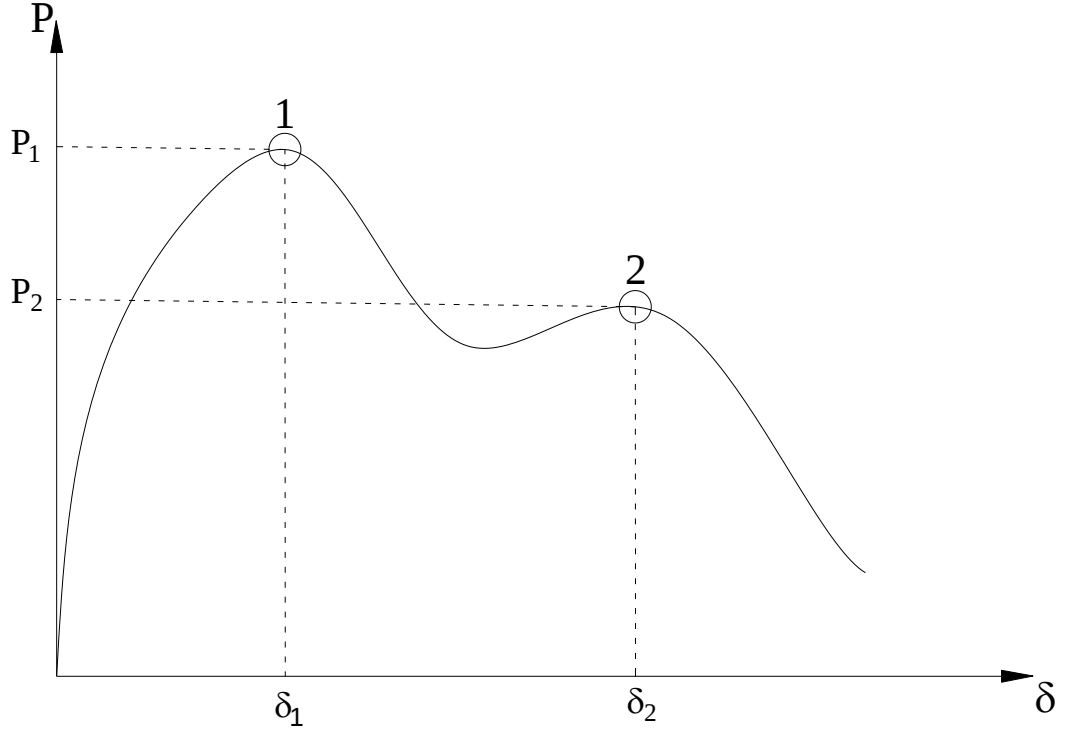
çekilirse;

$$EI_3 = \frac{L^2}{12\delta_1} (4PL + 3N\delta) \quad (3.3)$$

Burada ilk denklem ikinci mertebe etkilerinin göz önünde bulundurulmadan konsol kolonlar için tepe deplasmanının EI değerine bağlı olarak verilmesinden türetilerek elde edilmiştir. İkinci denklem sistemin üzerindeki eksenel kuvvetin, yanal kuvvet sebebiyle yer değiştirmeler meydana geldiğinde, sisteme ilave olarak getirdiği momentlerde göz önünde bulundurularak eğilme rijitliği elde edilmiştir. Denklem 3.2'deki yer değiştirmelerin lineer bir şekilde arttığı düşünülerek, çarpım tablosu kullanılarak eğilme rijitliği değerine geçilmiştir. Denklem 3.3'te yer alan eğilme rijitliği değeri ise yer değiştirmelerin 2. Derece parabol olarak arttığı düşünülerek yine çarpım tablosundan yararlanılarak eğilme rijitliği değerine geçilmiştir.

Kolon narinliği arttıķa, doğrusal olmayan analiz sonuçlarında tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafiklerinde tahmin edilen davranışa uygun olmayan bir davranış biçimi gözlemlenmiştir. Bu davranışın grafiksel gösterimi şekil 3.13'de gösterildiği gibidir. Perform3D programında kesit bazında fiber elemanlara ayrılan betonarme kolon kesidi için maksimum taban kesme kuvvetine ulaşıldığında fiber elemanların şekil değiştirmeleri elde edilememiştir [1]. Aşağıda şekilde gösterilen 1 noktasında betonarme kesidin sargısız betonunda şekil değiştirmelerin limit seviyelere ulaşarak

dökülmeye başlandığı varsayılarak etkin eğilme rijitliğinin hesabında 2 noktasındaki taban kesme kuvveti ve buna karşı gelen tepe deplasman değeri kullanılarak etkin eğilme rijitlikleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 : Narinlik arttıkça Perform3D tepe deplasman taban kesme kuvveti grafiği.

4. NARİNLİK DEĞİŞİMLERİNE GÖRE KOLON MODELLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, daha önceki bölümlerde belirli yakınsaklık elde edilmesinin ardından, eksenel yük etkisindeki betonarme konsol kolonların iki boyutlu modellemeleri oluşturularak, beton ve donatı gerilme şekil değiştirme diyagramlarında ikinci mertebe etkileri de göz önünde bulundurularak, doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Bu kolonlara ait kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen bu eğriler ile her kolon modeli için eğilme rijitlikleri hesap edilerek çeşitli çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılarak özet tablolar halinde verilmiştir.

PERFORM3D, deprem mühendisliği hesapları için geliştirilmiş ileri düzeyde doğrusal olmayan analizlerin yapılabildiği hesap için kullanılan bilgisayar yazılımıdır. Bu tezde modellemeleri ve analizleri yapılan basit sistemlerin yanı sıra karmaşık perde duvarlı ve düzensiz yapılar non-lineer olarak çok farklı seçeneklerle deplasman-tabanlı veya dayanım-tabanlı limit durumlar için hesaplanabilirler. Ayrıca bu yazılım özellikle yüksek katlı binaların analizlerinde kullanılmaktadır.

Model datası doğrudan CSI'a ait SAP2000 veya ETABS programlarından alınabilir, bu özellik kullanıcıya zaman açısından kolaylıklar getirmektedir [25, 29]. Bu bilgisayar yazılımında çok çeşitli eleman tipleri desteklenmektedir. Bunlardan bazıları; kirişler, kolonlar, çaprazlar, delikli ve deliksiz perdeler, döşemeler, damperler ve sismik izolatörler.

Doğrusal olmayan analiz statik ve/veya dinamik olabilir ve aynı modelde çalıştırılabilir. Dinamik deprem yükünü takip eden statik itme analizinde olduğu gibi yükler herhangi bir sıra ile uygulanabilir.

PERFORM 3D güçlü performans tabanlı tasarım olanakları sunar ve tüm elemanlar ve tüm limit durumlar için talep/kapasite (kullanım) oranlarını hesaplar. Performans tasarımları ATC-40, FEMA-356 veya ATC-440'a dayanır ve tam otomatiktir [30, 31, 32].

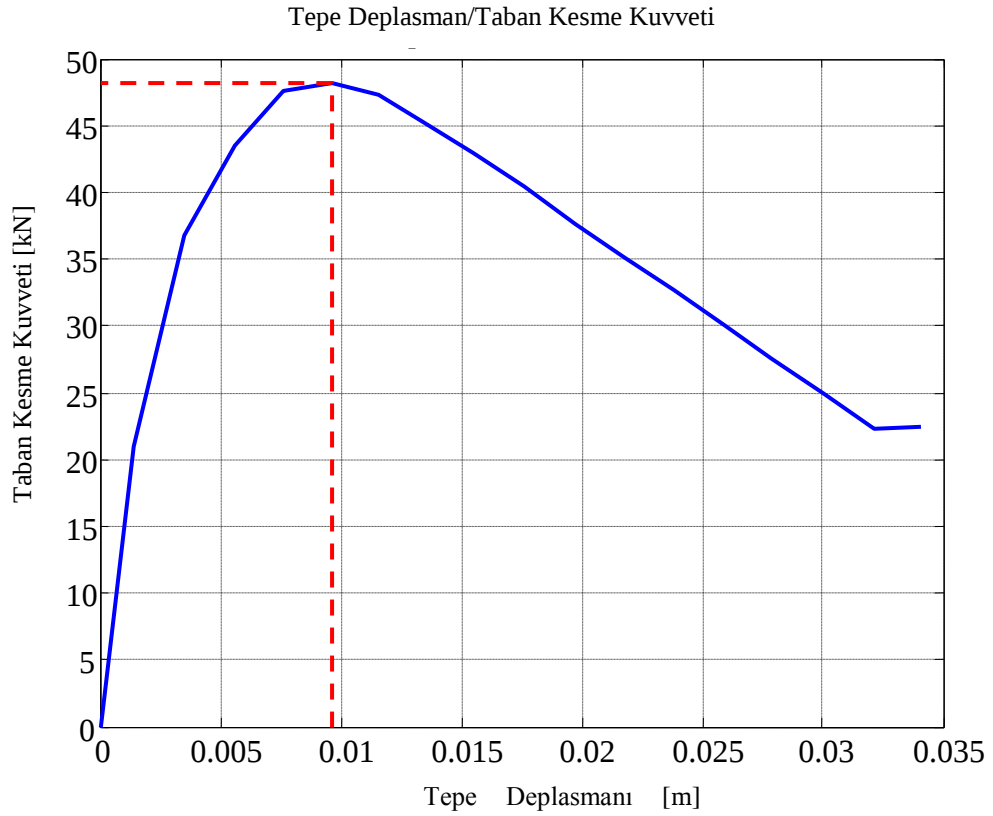
Bu bölümde narinlik, boyuna donatı ve eksenel kuvvet değişimleriyle oluşturulmuş 364 kolon örneğinden, boyutsuz eksenel kuvvet $n = 0.30$ ve boyuna donatı oranı $\rho=0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ olan ve 13 adet narinlik değişimiyle birlikte toplamda 52 modele ait yer değiştirme-taban kesme eğrileri ve sonuçları verilerek rijitlikleri incelenmiştir.

4.1 Kolon Modeli $\lambda=50$

Bu bölüm içerisinde $\lambda=50$ narinlik oranına göre yüksekliği 2.18 m olan ve 0.30 m x 0.30 m keside sahip betonarme kolon için $n = \frac{N}{bhf_{ck}} = 0.30$ boyutsuz eksenel kuvveti yüklemesi yapılarak, 0.01, 0.02, 0.03 ve 0.04 donatı oranlarına göre aynı model 4 kere tekrar edilerek statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. C30 beton ve S420 donatı malzemesi değerleri programa tanımlanmıştır. Elde edilen tepe deplasman-taban kesme kuvveti eğrisi ile her kolonun eğilme rijitliği hesaplanmış ve çeşitli çalışmalar sonucu elde edilen EI değerleriyle karşılaştırılması özet tablo halinde verilmiştir. Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde yer alan literatürdeki ve yönetmeliklerdeki formülasyonları verilen etkin eğilme rijitliği değerlerinin, üçüncü bölümde tahmin edilen etkin eğilme rijitlik değerleriyle kıyaslanabilmesi ve buna bağlı yorumlarla sonuçlar elde edilebilmesi için toplam 364 adet oluşturulan kolon modelleri bu bölüm içerisinde verilmiştir.

Her bir kolon modeli için elde edilen tepe deplasmanı taban kesme kuvveti grafikleri, bu grafiklerde üçüncü bölüm içerisinde anlatılan sınır değerlerde dikkate alınarak, maksimum tepe deplasman noktası veya maksimum taban kesme kuvvetine karşı gelen değerler elde edilmiştir. Bu değerler verilen her bir kolon modeli için grafikler üzerinde gösterilmiştir. Bu maksimum değerler sonucu hesap edilen etkin eğilme rijitlik değerleride her farklı model sonucuna göre tablolar halinde bu bölüm içerisinde gösterilmiştir.

- $\rho=0.01$, $n=0.30$



Şekil 4.1 : Tepe deplasman-Taban kesme kuvveti grafiği.

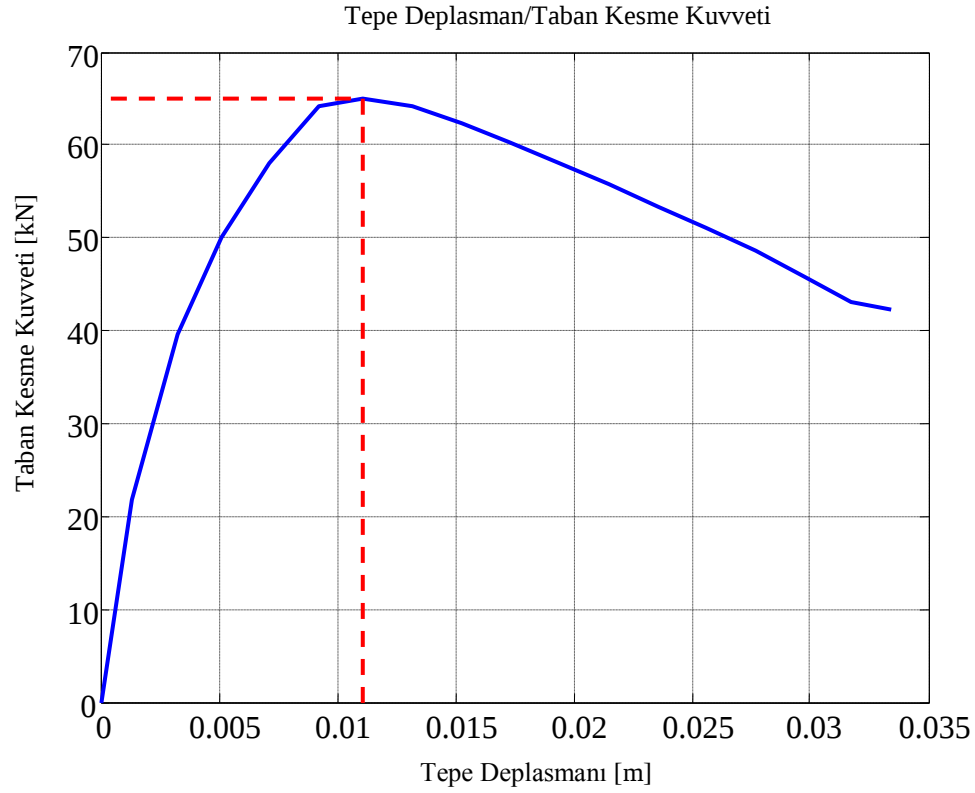
Çizelge 4.1 : $\lambda=50$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=50$	$L=2.18$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.0096x2.18=0.021		48.16	

Çizelge 4.2 : $\lambda=50$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8113.17
	Denklem 3.2	9396.32
	Denklem 3.3	9075.53
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	8514.14
	Denklem 2.3	7824.63
	Denklem 2.5	7422.10
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.2 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

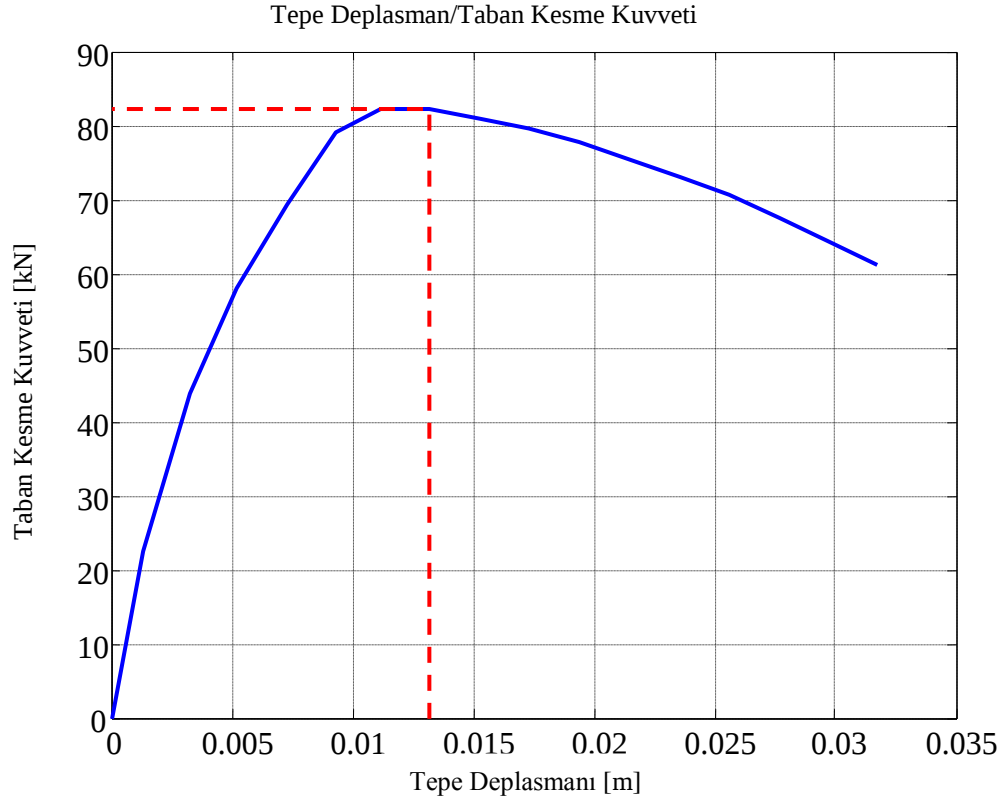
Çizelge 4.3 : $\lambda=50$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=50$	$L=2.18$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.024		64.94	

Çizelge 4.4 : $\lambda=50$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	9266.91
	Denklem 3.2	10550.06
	Denklem 3.3	10229.27
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	10786.14
	Denklem 2.3	9642.23
	Denklem 2.5	9532.36
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.3 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

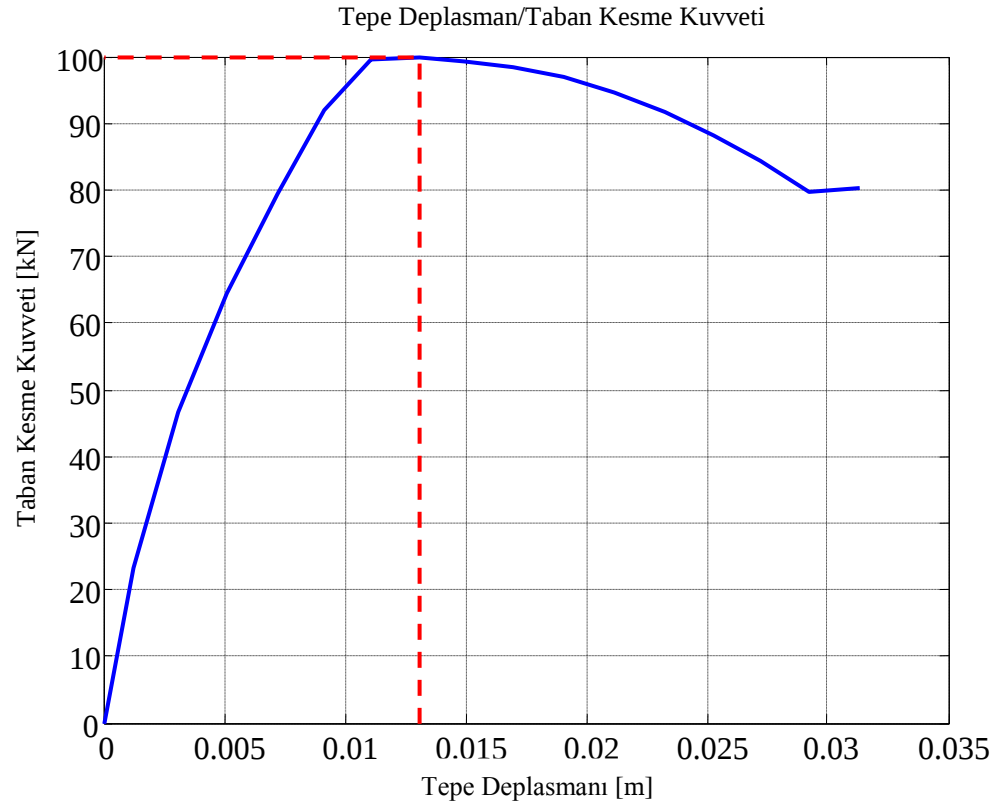
Çizelge 4.5 : $\lambda=50$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=50$	$L=2.18$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.029		82.32	

Çizelge 4.6 : $\lambda=50$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	9870.46
	Denklem 3.2	11153.61
	Denklem 3.3	10832.82
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	13998.70
	Denklem 2.3	11828.07
	Denklem 2.5	11650.04
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.4 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.7 : $\lambda=50$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=50$	$L=2.18$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.029		99.91	

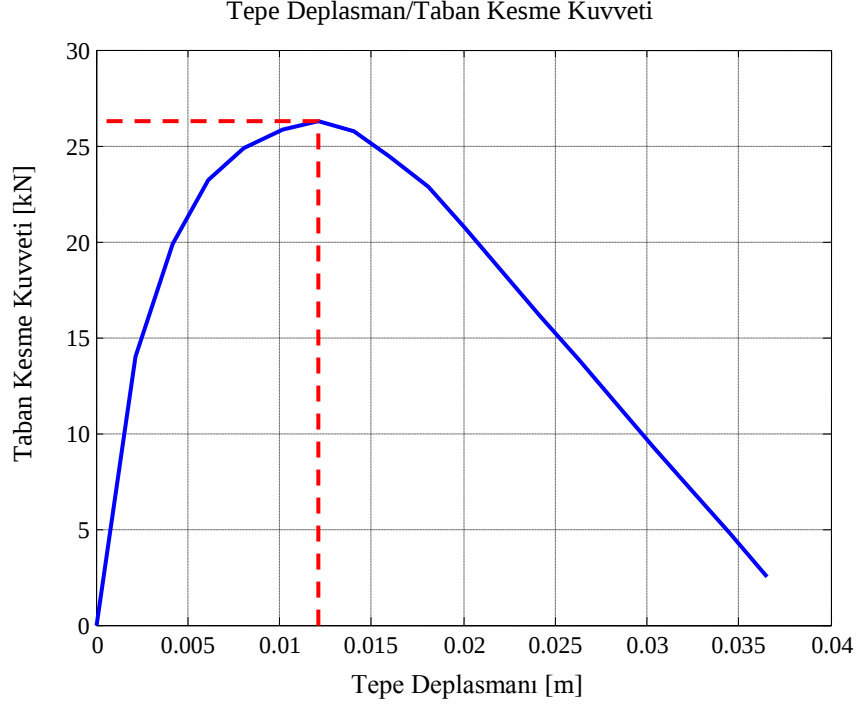
Çizelge 4.8 : $\lambda=50$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	12063.77
	Denklem 3.2	13346.91
	Denklem 3.3	13026.13
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	16280.70
	Denklem 2.3	13653.67
	Denklem 2.5	13769.59
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.2 Kolon Modeli $\lambda=75$

Bu bölümde ise $\lambda=75$ narinlik oranı için yüksekliği 3.25 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.5 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

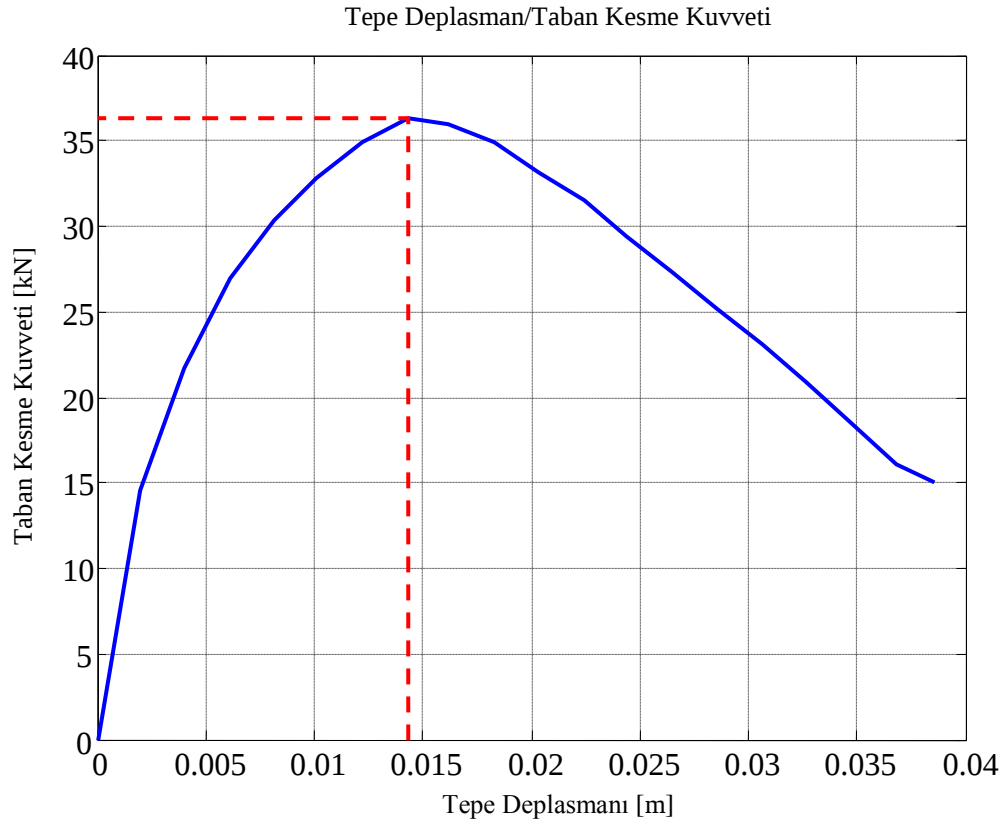
Çizelge 4.9 : $\lambda=75$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=75$	$L=3.25$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.039		26.30	

Çizelge 4.10 : $\lambda=75$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	7658.35
	Denklem 3.2	10510.22
	Denklem 3.3	9797.25
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	9314.49
	Denklem 2.3	8684.88
	Denklem 2.5	9018.46
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.6 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

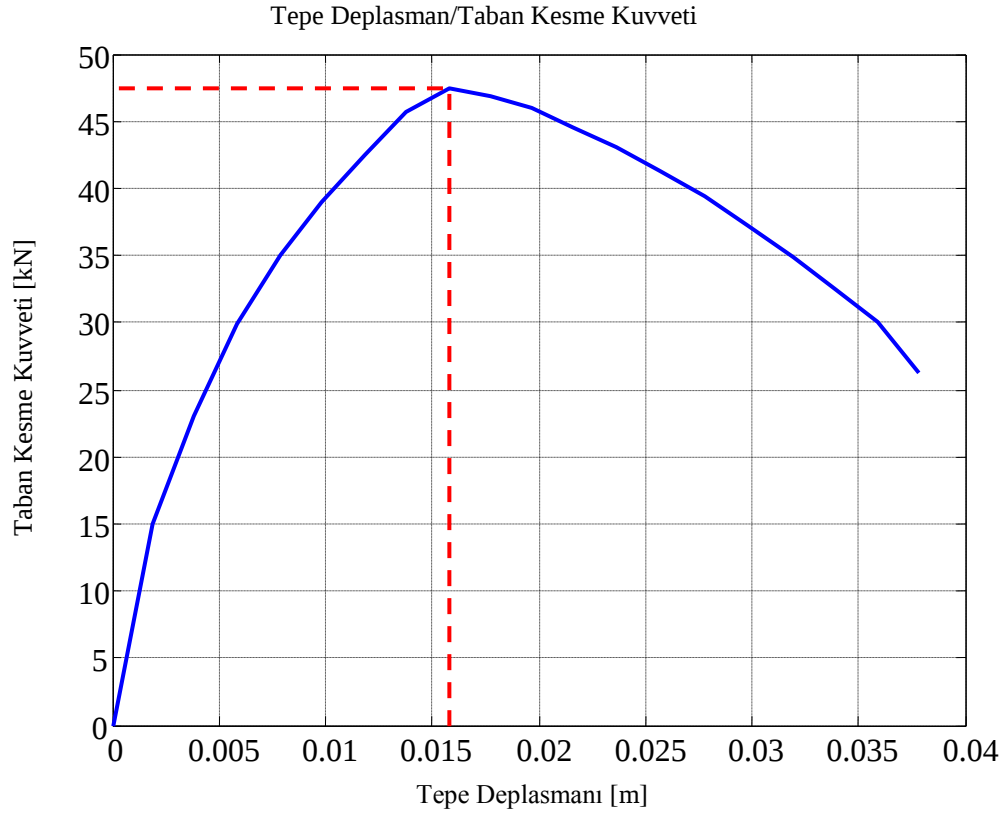
Çizelge 4.11 : $\lambda=75$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=75$	$L=3.25$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.047		36.34	

Çizelge 4.12 : $\lambda=75$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	8943.57
	Denklem 3.2	11795.45
	Denklem 3.3	11082.48
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	11586.49
	Denklem 2.3	10502.48
	Denklem 2.5	11240.95
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.7 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

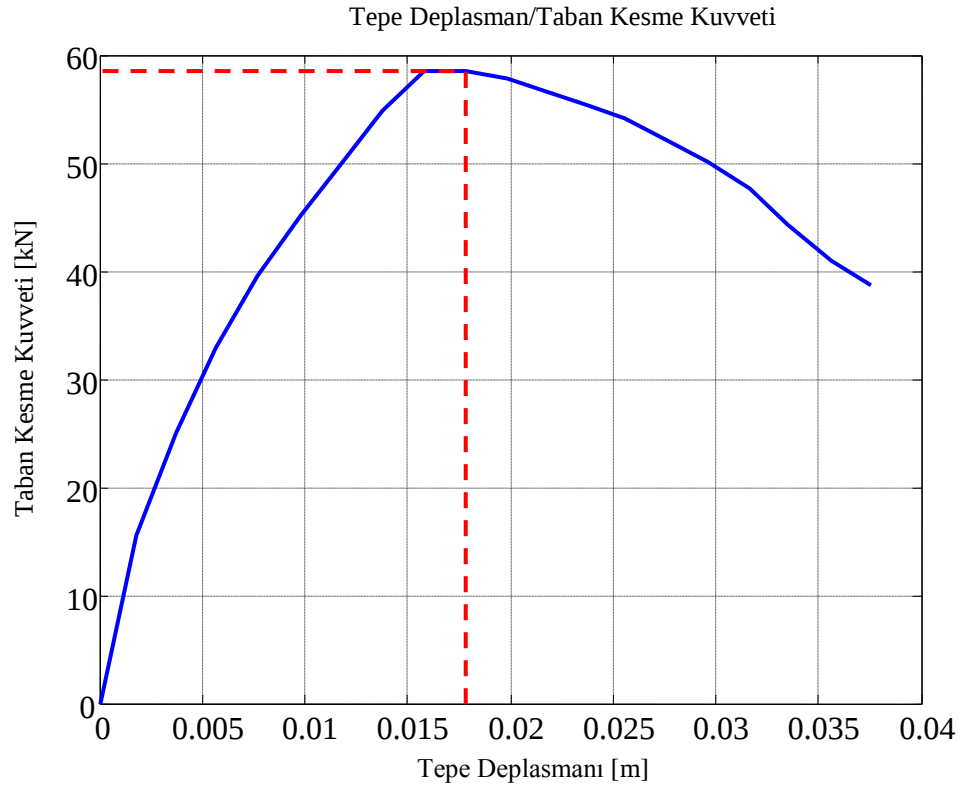
Çizelge 4.13 : $\lambda=75$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=75$	$L=3.25$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.051		47.48	

Çizelge 4.14 : $\lambda=75$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	10568.92
	Denklem 3.2	13420.80
	Denklem 3.3	12707.83
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	14766.23
	Denklem 2.3	12676.20
	Denklem 2.5	13471.26
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.8 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.15 : $\lambda=75$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=75$	$L=3.25$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.057		58.51	

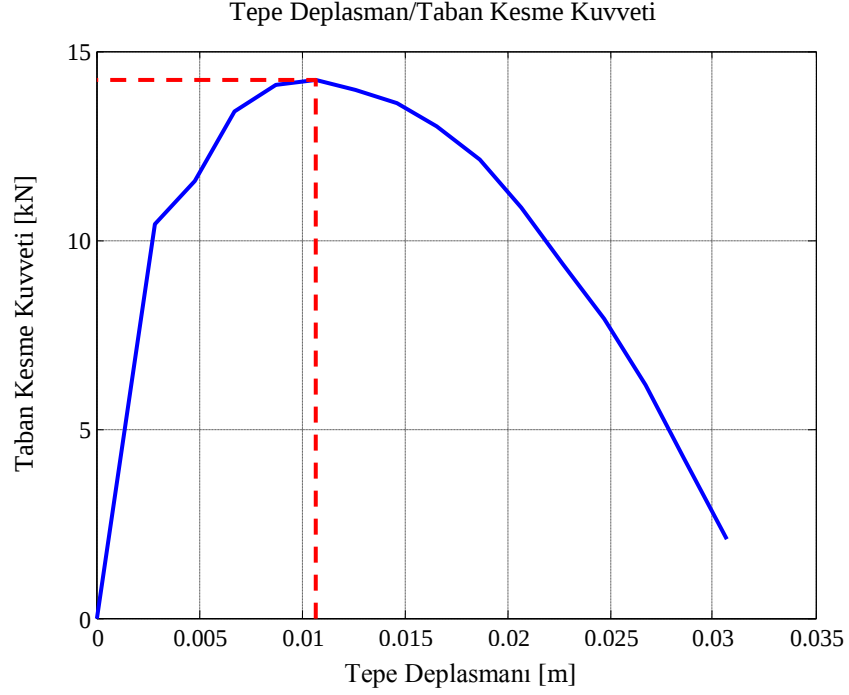
Çizelge 4.16 : $\lambda=75$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	11664.25
	Denklem 3.2	14516.12
	Denklem 3.3	13803.15
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	17048.23
	Denklem 2.3	14501.80
	Denklem 2.5	15703.52
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.3 Kolon Modeli $\lambda=100$

Bu bölümde ise $\lambda=100$ narinlik oranı için yüksekliği 4.35 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.9 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

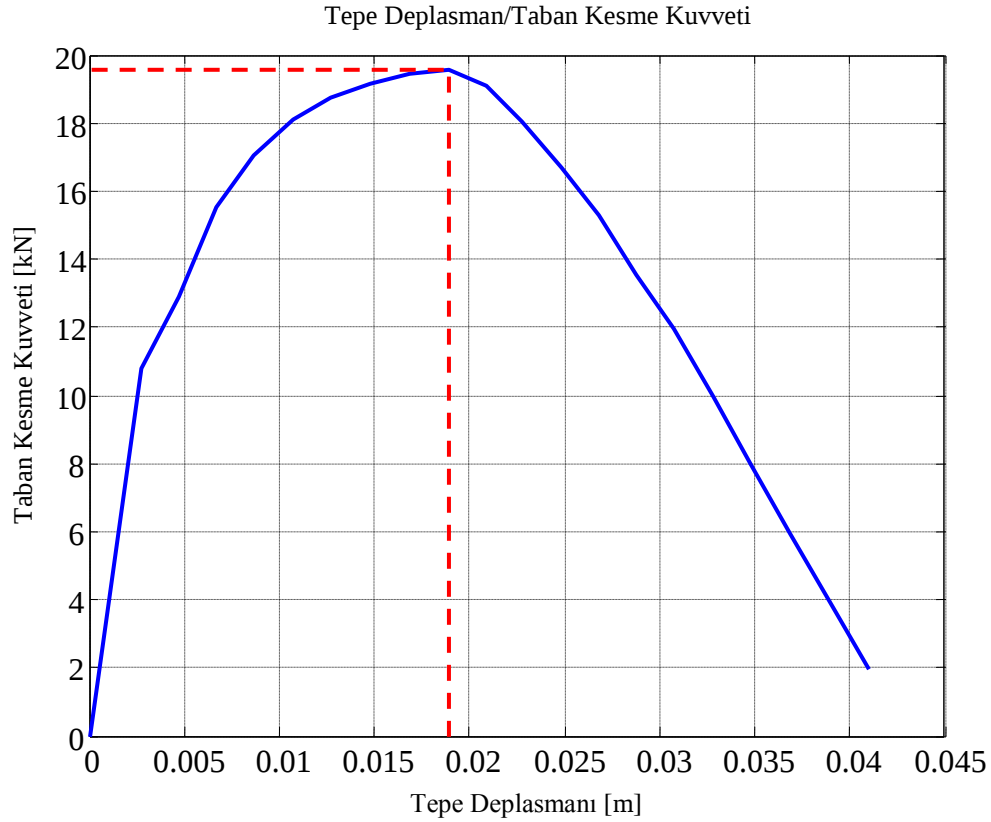
Çizelge 4.17 : $\lambda=100$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=100$	$L=4.35$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.047		14.21	

Çizelge 4.18 : $\lambda=100$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8387.36
	Denklem 3.2	13496.43
	Denklem 3.3	12219.16
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	10240.20
	Denklem 2.3	9899.59
	Denklem 2.5	12164.27
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.10 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

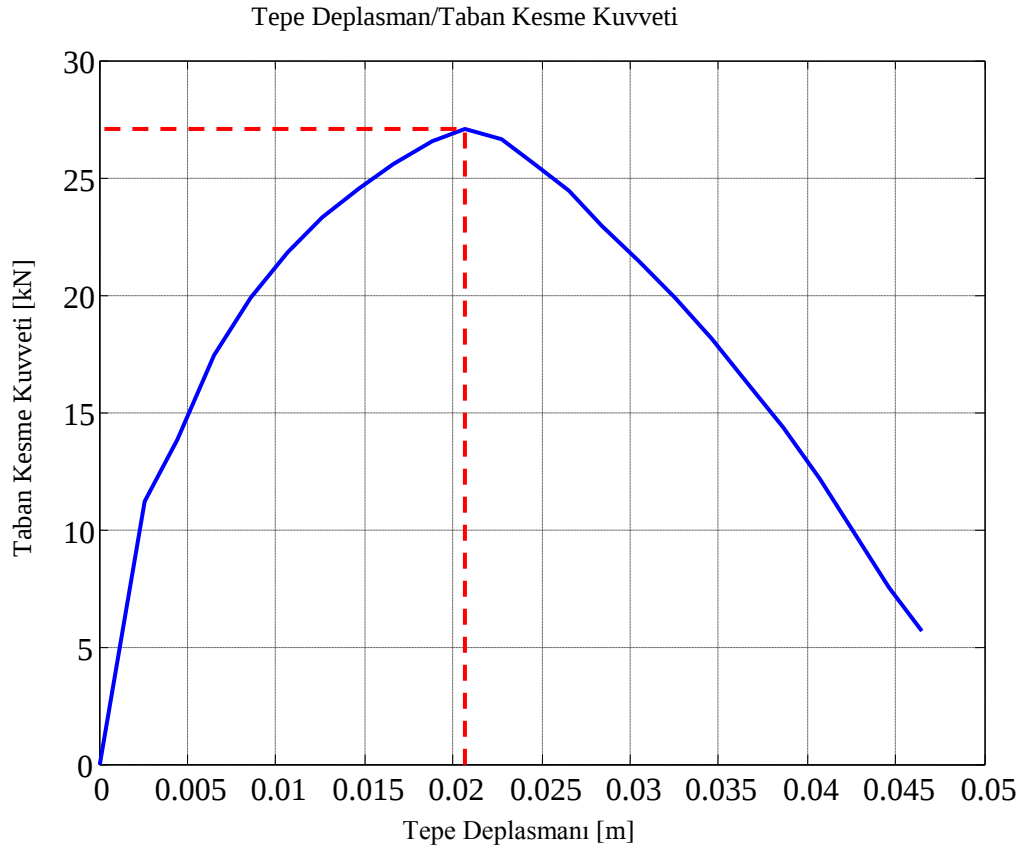
Çizelge 4.19 : $\lambda=100$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=100$	$L=4.35$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.082		19.58	

Çizelge 4.20 : $\lambda=100$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	6535.36
	Denklem 3.2	11644.44
	Denklem 3.3	10367.17
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	12512.20
	Denklem 2.3	11717.19
	Denklem 2.5	14422.15
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.11 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

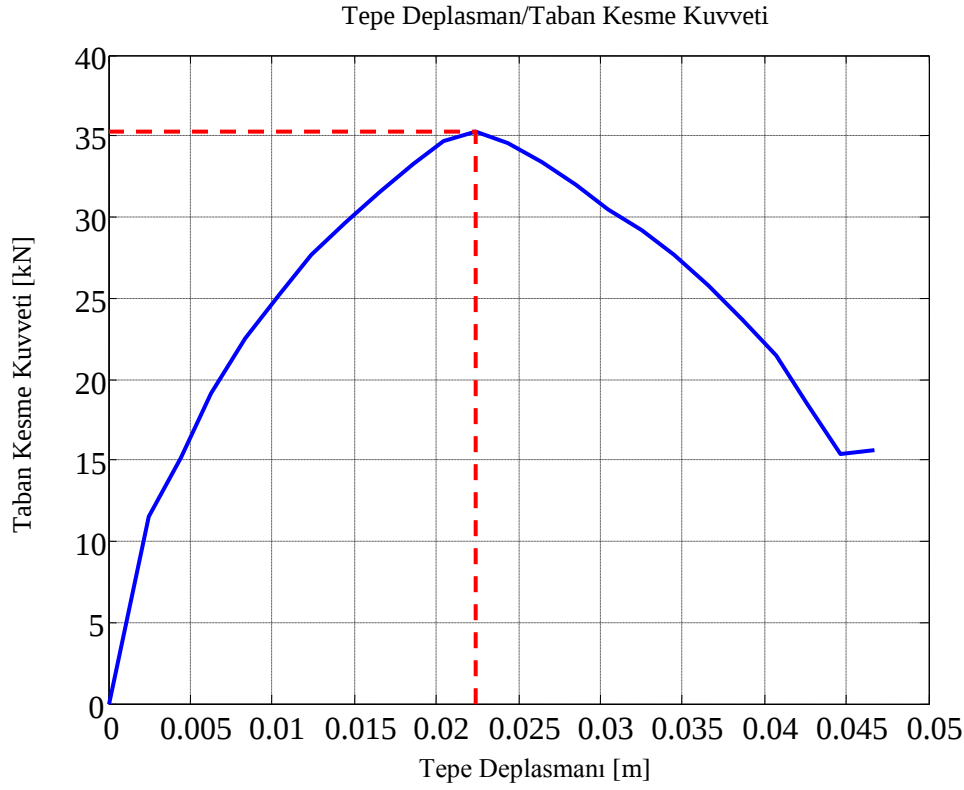
Çizelge 4.21 : $\lambda=100$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=100$	$L=4.35$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.087		26.59	

Çizelge 4.22 : $\lambda=100$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	8385.82
	Denklem 3.2	13494.90
	Denklem 3.3	12217.63
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	15555.28
	Denklem 2.3	13837.75
	Denklem 2.5	16687.97
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.12 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.23 : $\lambda=100$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=100$	$L=4.35$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.087		34.70	

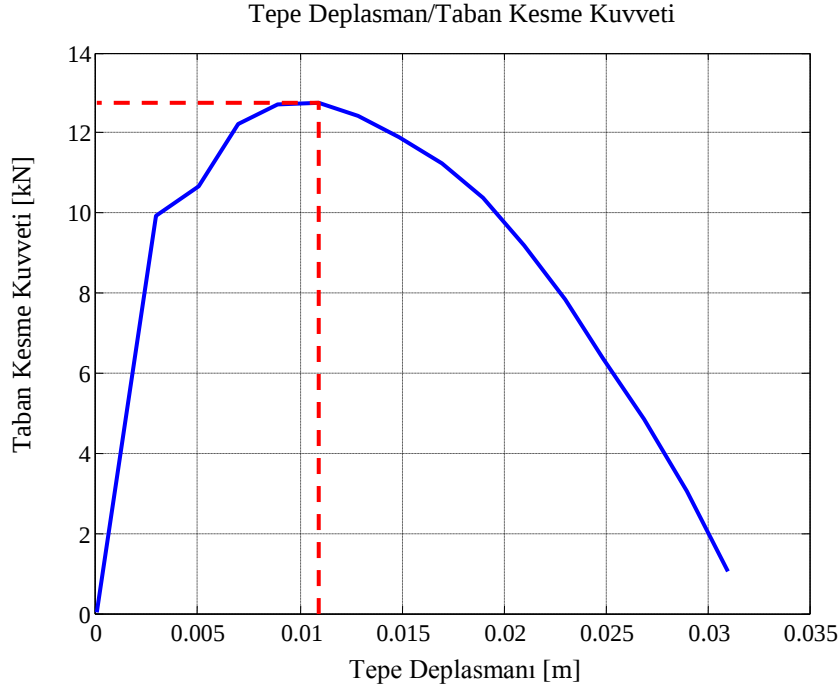
Çizelge 4.24 : $\lambda=100$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	10943.51
	Denklem 3.2	16052.59
	Denklem 3.3	14775.32
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	17837.28
	Denklem 2.3	15663.35
	Denklem 2.5	18955.79
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.4 Kolon Modeli $\lambda=105$

Bu bölümde ise $\lambda=105$ narinlik oranı için yüksekliği 4.55 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

$\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.13 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

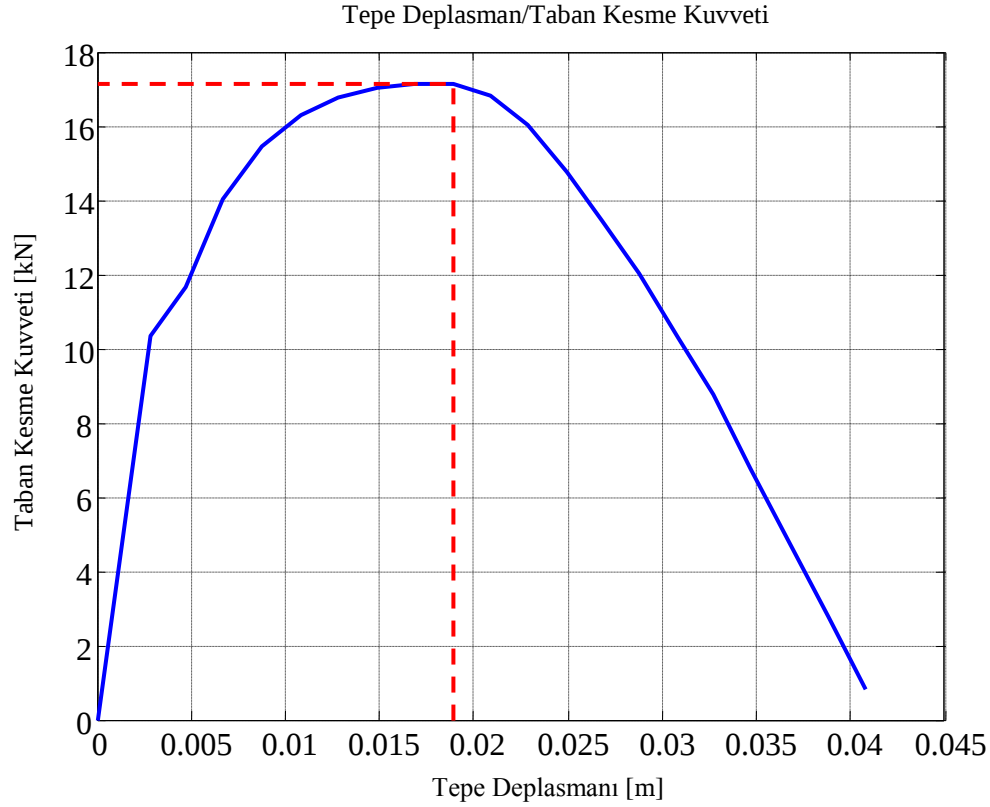
Çizelge 4.25 : $\lambda=105$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=105$	$L=4.55$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.050		12.74	

Çizelge 4.26 : $\lambda=105$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8064.74
	Denklem 3.2	13654.42
	Denklem 3.3	12257.00
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	10394.06
	Denklem 2.3	10078.36
	Denklem 2.5	12652.74
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.14 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

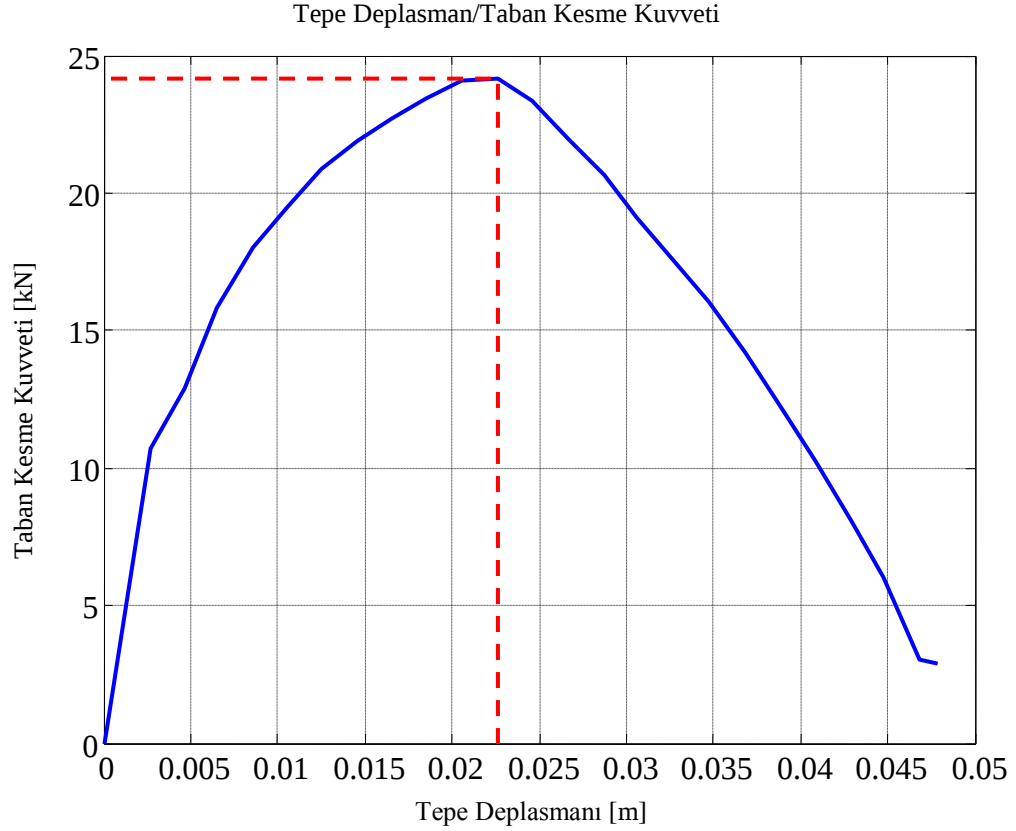
Çizelge 4.27 : $\lambda=105$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=105$	$L=4.55$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.086		17.13	

Çizelge 4.28 : $\lambda=105$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	6255.30
	Denklem 3.2	11844.97
	Denklem 3.3	10447.55
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	12666.06
	Denklem 2.3	11895.96
	Denklem 2.5	14913.52
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03, n=0.30$



Şekil 4.15 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

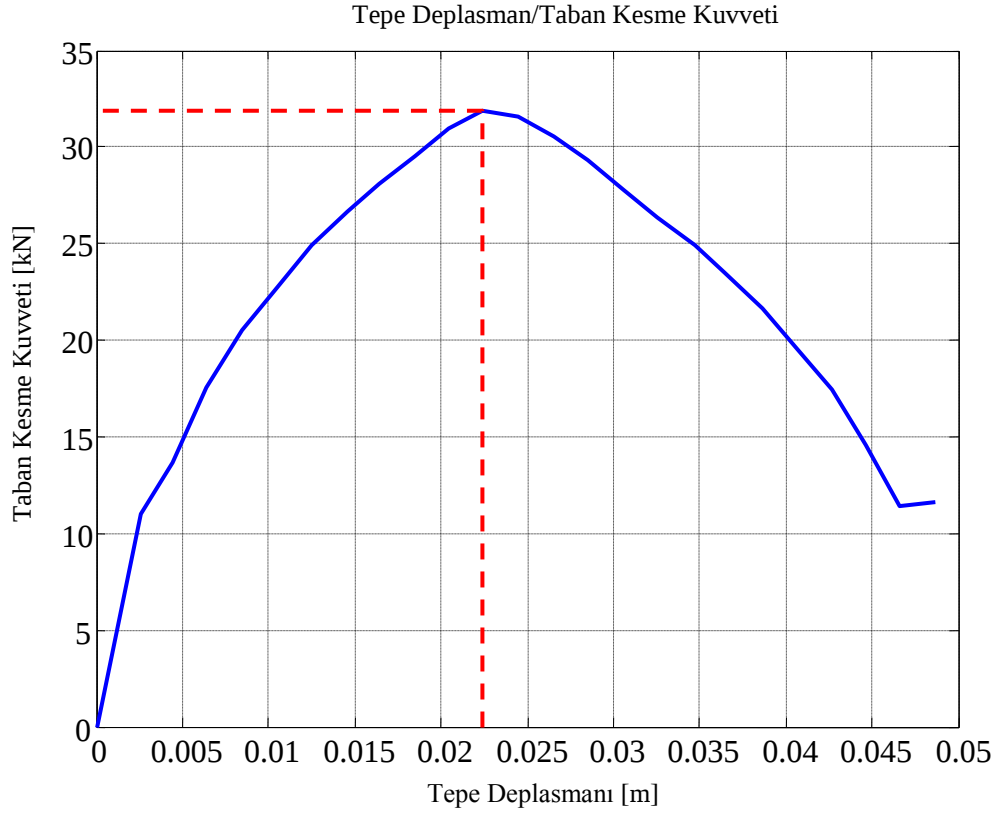
Çizelge 4.29 : $\lambda=105$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=105$	$L=4.55$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.091		24.01	

Çizelge 4.30 : $\lambda=105$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8284.45
	Denklem 3.2	13874.13
	Denklem 3.3	12476.71
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	15698.74
	Denklem 2.3	14012.30
	Denklem 2.5	17182.25
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04, n=0.30$



Şekil 4.16 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.31 : $\lambda=105$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=105$	$L=4.55$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.091		30.89	

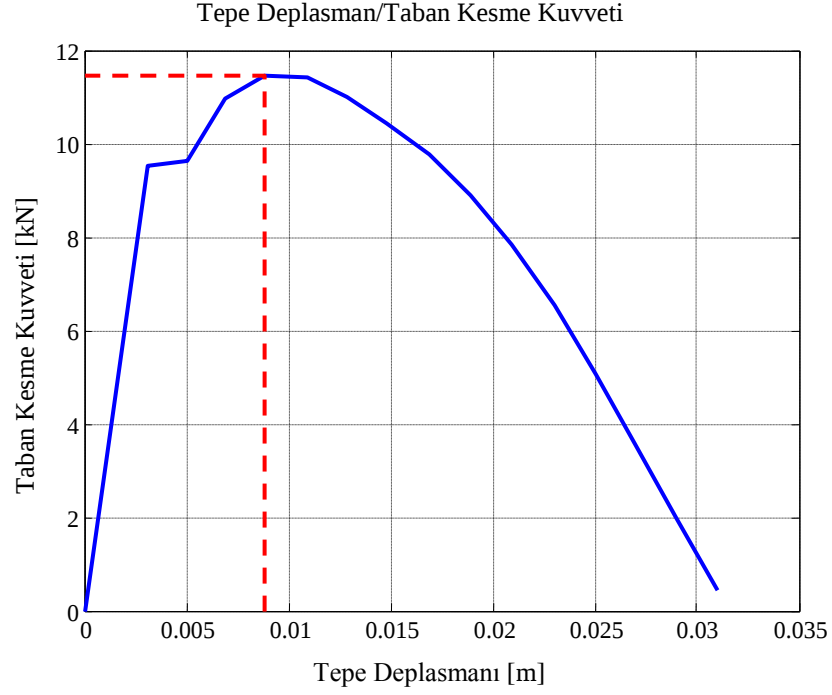
Çizelge 4.32 : $\lambda=105$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	10658.34
	Denklem 3.2	16248.01
	Denklem 3.3	14850.59
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	17980.74
	Denklem 2.3	15837.90
	Denklem 2.5	19452.97
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.5 Kolon Modeli $\lambda=110$

Bu bölümde ise $\lambda=110$ narinlik oranı için yüksekliği 4.75 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.17 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

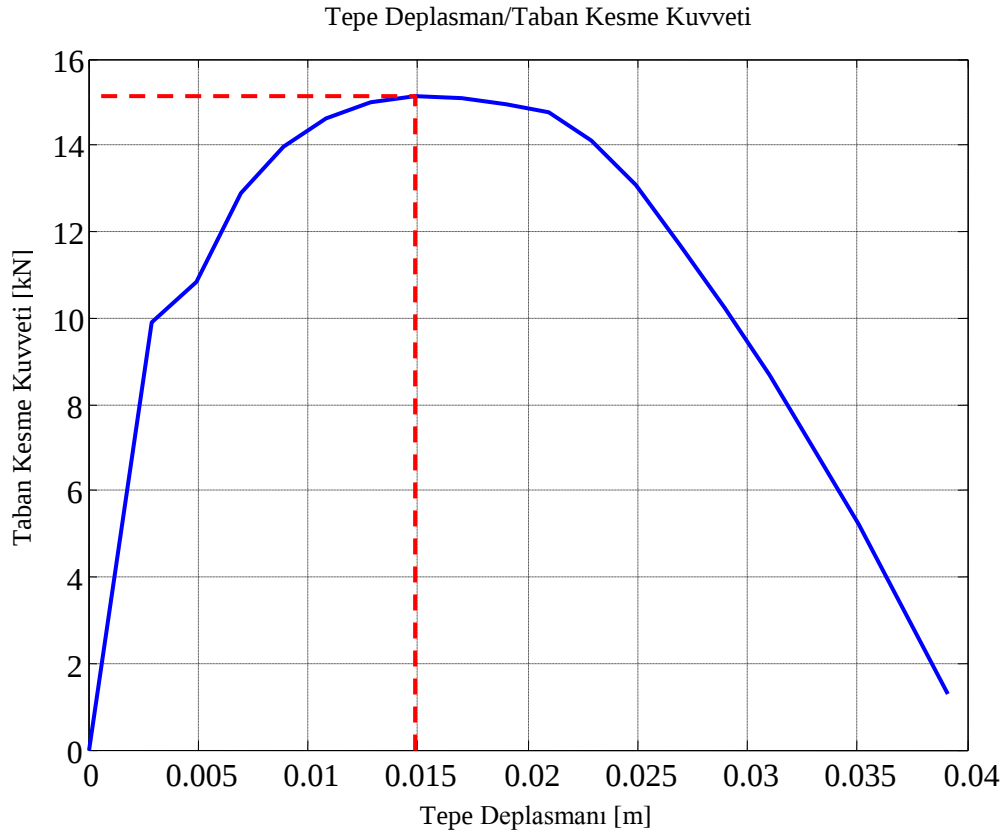
Çizelge 4.33 : $\lambda=110$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=110$	$L=4.75$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.042		11.47	

Çizelge 4.34 : $\lambda=110$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	9751.79
	Denklem 3.2	15843.67
	Denklem 3.3	14320.70
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	10611.63
	Denklem 2.3	10486.94
	Denklem 2.5	14065.66
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.18 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

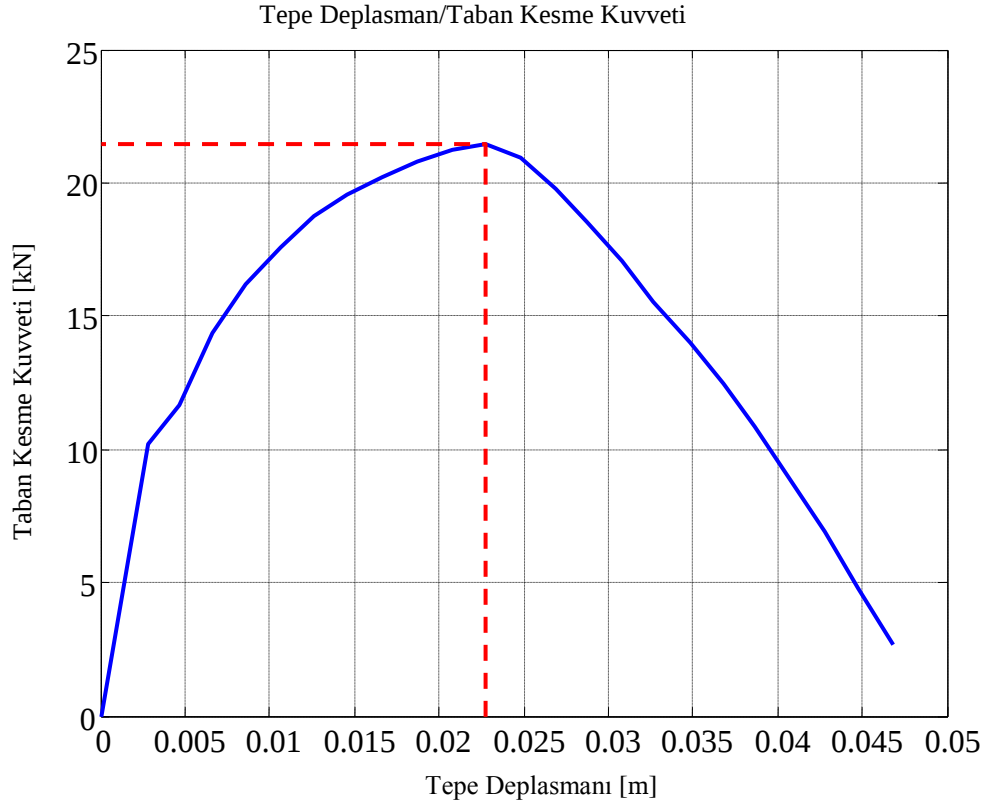
Çizelge 4.35 : $\lambda=110$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=110$	$L=4.75$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.071		15.11	

Çizelge 4.36 : $\lambda=110$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7615.15
	Denklem 3.2	13707.02
	Denklem 3.3	12184.05
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	12883.63
	Denklem 2.3	12304.54
	Denklem 2.5	16328.74
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.19 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

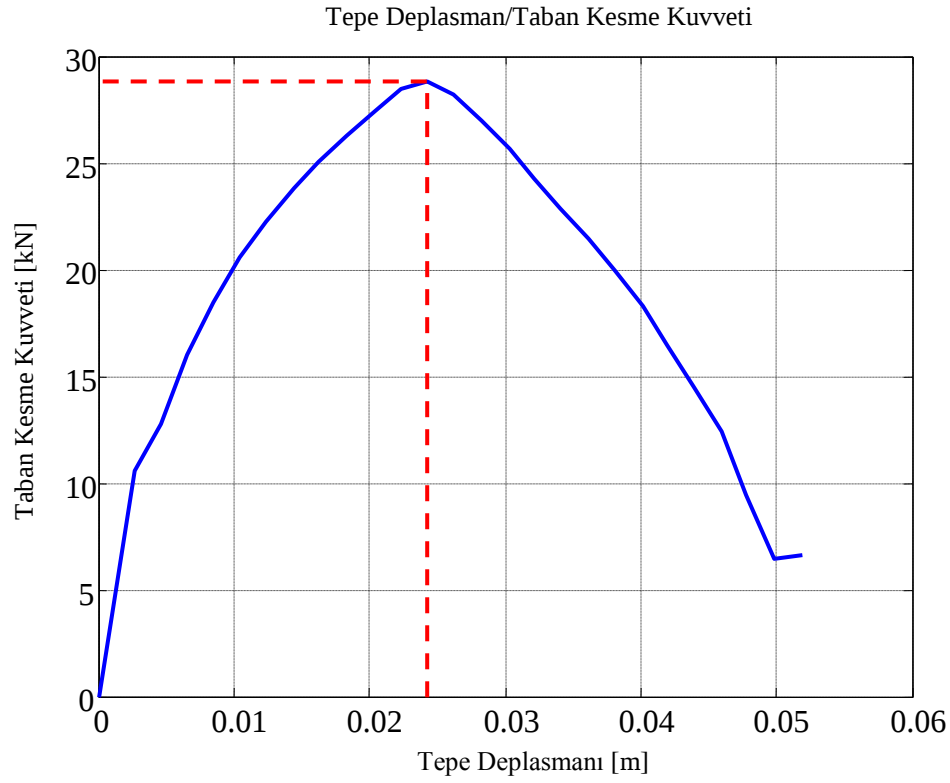
Çizelge 4.37 : $\lambda=110$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=110$	$L=4.75$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.095		21.01	

Çizelge 4.38 : $\lambda=110$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	7900.64
	Denklem 3.2	13992.51
	Denklem 3.3	12469.54
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	15842.21
	Denklem 2.3	14390.06
	Denklem 2.5	18599.79
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.20 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.39 : $\lambda=110$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=110$	$L=4.75$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.095		27.38	

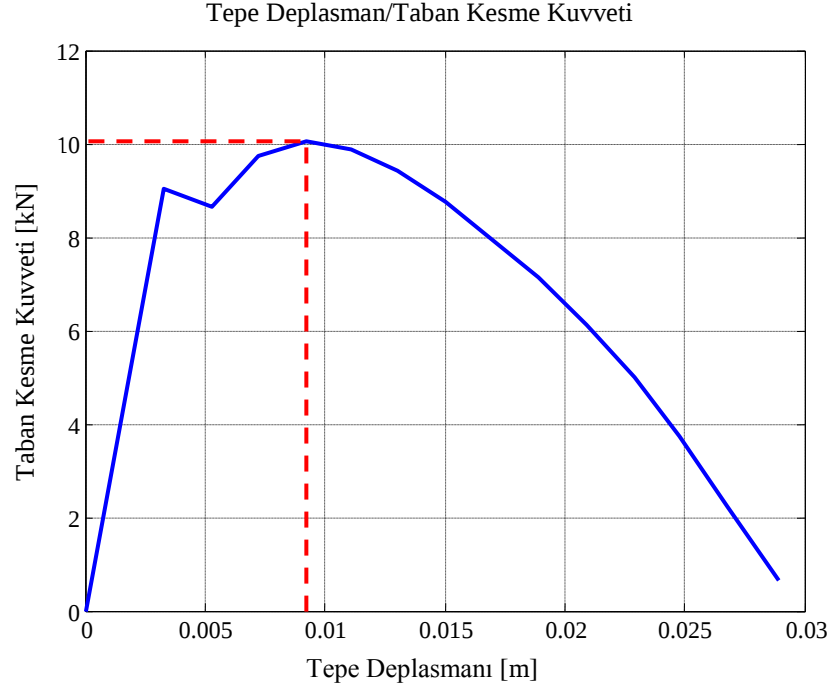
Çizelge 4.40 : $\lambda=110$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	10296.02
	Denklem 3.2	16387.90
	Denklem 3.3	14864.93
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	18124.21
	Denklem 2.3	16215.66
	Denklem 2.5	20872.83
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.6 Kolon Modeli $\lambda=115$

Bu bölümde ise $\lambda=115$ narinlik oranı için yüksekliği 5.00 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.21 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

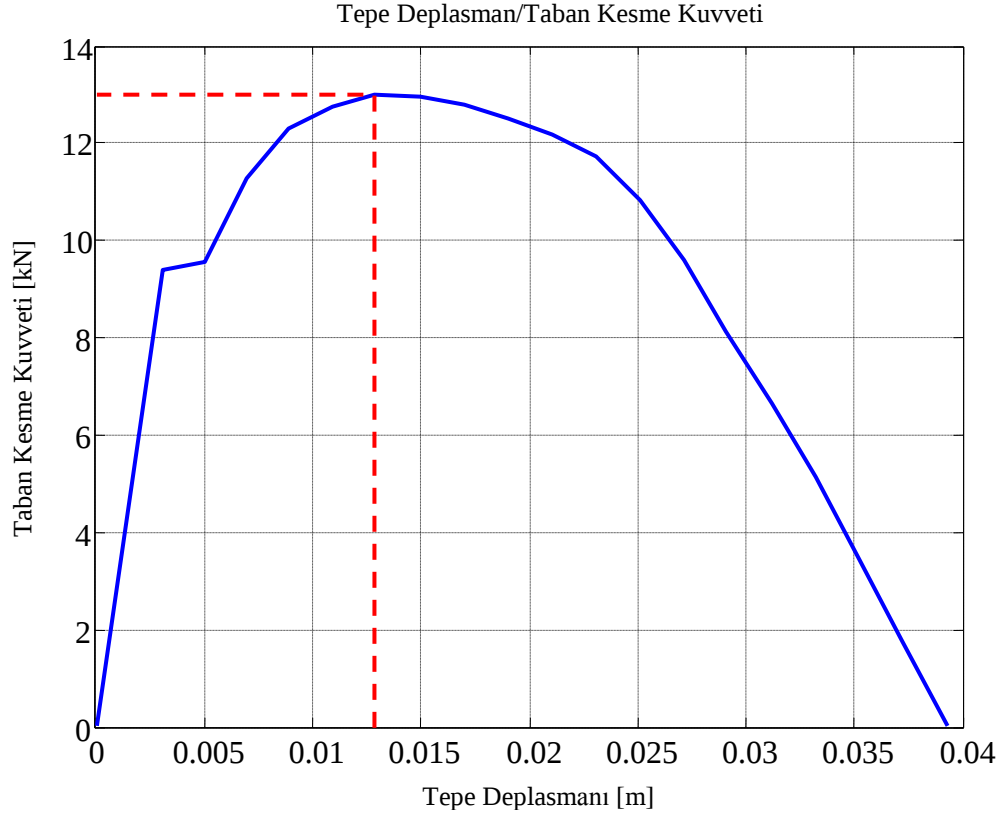
Çizelge 4.41 : $\lambda=115$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=115$	$L=5.00$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.046		10.06	

Çizelge 4.42 : $\lambda=115$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	9070.08
	Denklem 3.2	15820.08
	Denklem 3.3	14132.58
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	10796.89
	Denklem 2.3	10688.54
	Denklem 2.5	14664.24
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.22 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

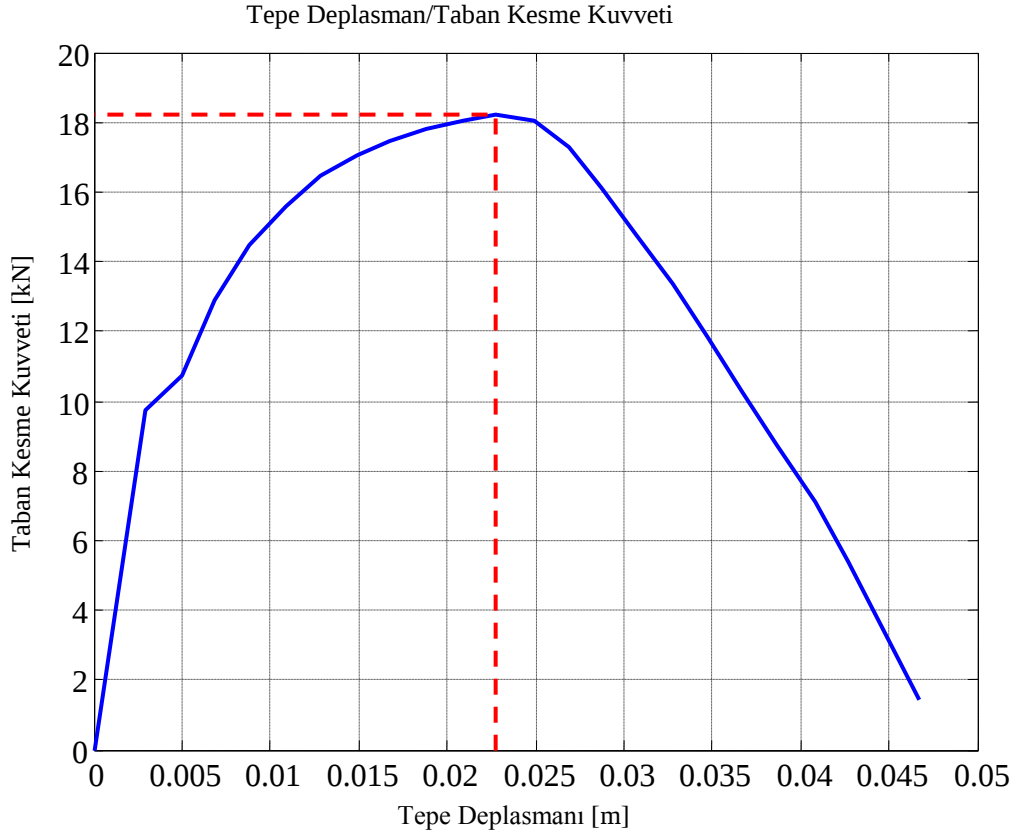
Çizelge 4.43 : $\lambda=115$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=115$	$L=5.00$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.065		12.99	

Çizelge 4.44 : $\lambda=115$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	8392.89
	Denklem 3.2	15142.89
	Denklem 3.3	13455.39
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	13068.89
	Denklem 2.3	12506.14
	Denklem 2.5	16929.55
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03, n=0.30$



Şekil 4.23 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

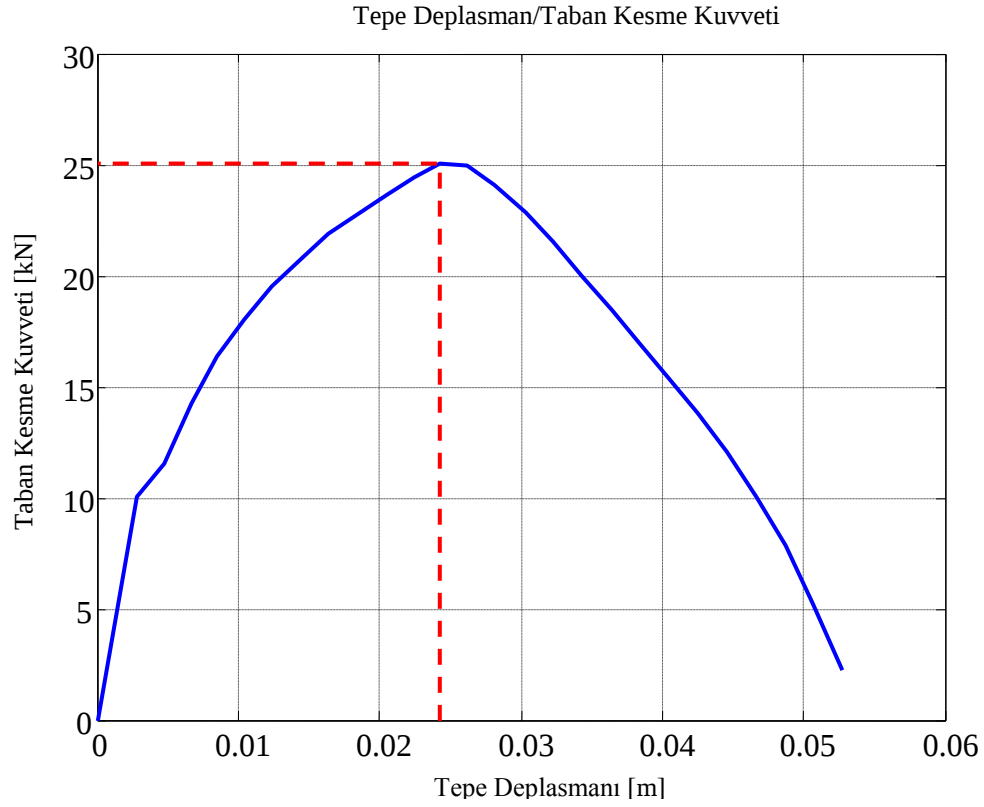
Çizelge 4.45 : $\lambda=115$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=115$	$L=5.00$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.100		17.93	

Çizelge 4.46 : $\lambda=115$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7470.83
	Denklem 3.2	14220.83
	Denklem 3.3	12533.33
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	16021.54
	Denklem 2.3	14589.14
	Denklem 2.5	19202.84
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.24 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.47 : $\lambda=115$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=115$	$L=5.00$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.100		23.59	

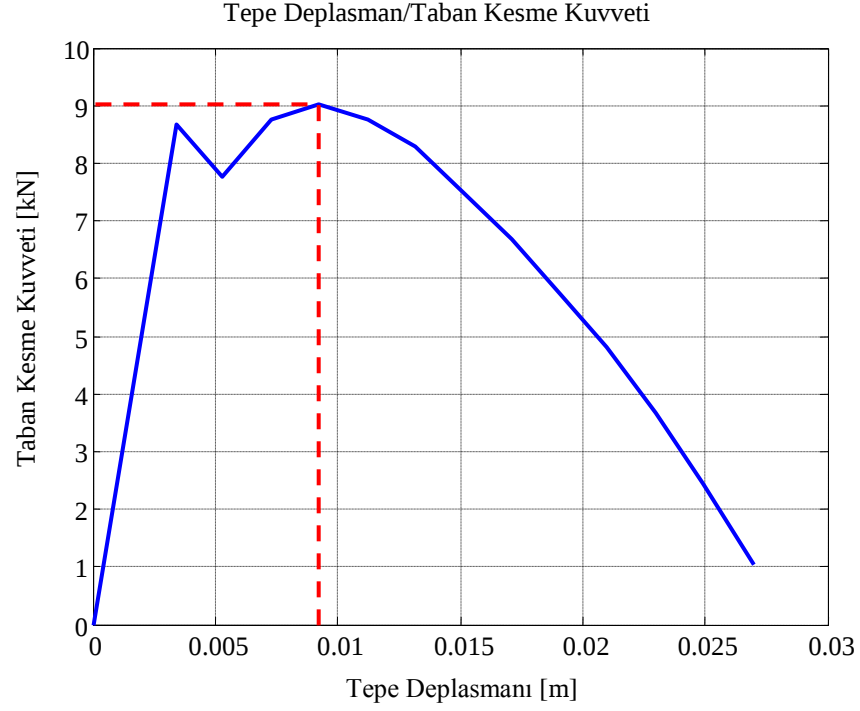
Çizelge 4.48 : $\lambda=115$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	9829.17
	Denklem 3.2	16579.17
	Denklem 3.3	14891.67
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	18303.54
	Denklem 2.3	16414.74
	Denklem 2.5	21478.12
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.7 Kolon Modeli $\lambda=120$

Bu bölümde ise $\lambda=120$ narinlik oranı için yüksekliği 5.20 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.25 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

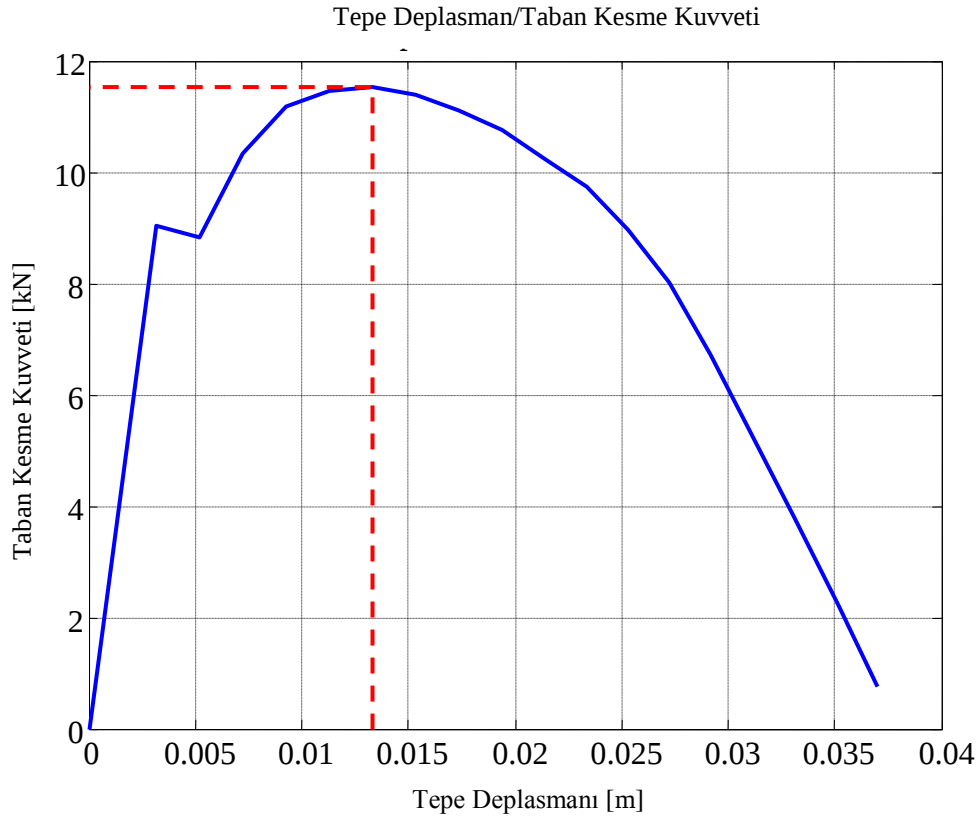
Çizelge 4.49 : $\lambda=120$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=120$	$L=5.20$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.048		9.03	

Çizelge 4.50 : $\lambda=120$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	8854.38
	Denklem 3.2	16155.18
	Denklem 3.3	14329.98
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	10955.93
	Denklem 2.3	10891.41
	Denklem 2.5	15322.77
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.26 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

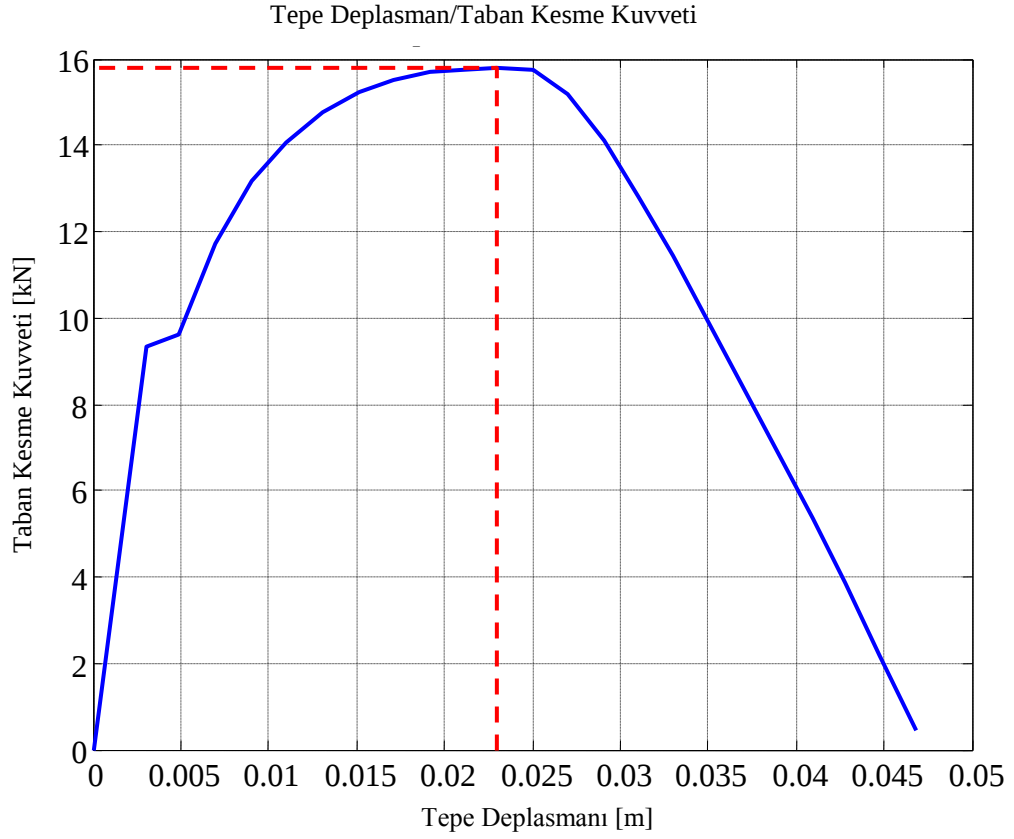
Çizelge 4.51 : $\lambda=120$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=120$	$L=5.20$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.069		11.54	

Çizelge 4.52 : $\lambda=120$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7817.56
	Denklem 3.2	15118.36
	Denklem 3.3	13293.16
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	13227.93
	Denklem 2.3	12709.11
	Denklem 2.5	17589.46
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03, n=0.30$



Şekil 4.27 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

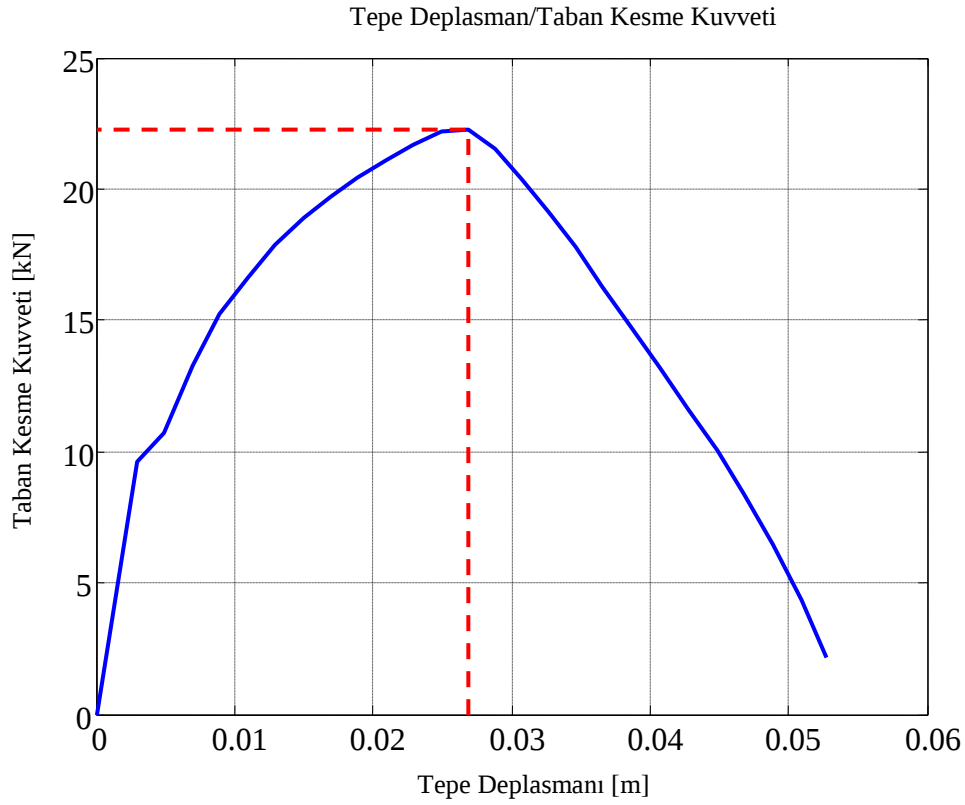
Çizelge 4.53 : $\lambda=120$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=120$	$L=5.20$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.104		15.62	

Çizelge 4.54 : $\lambda=120$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	7039.41
	Denklem 3.2	14340.21
	Denklem 3.3	12515.01
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	16165.00
	Denklem 2.3	14785.36
	Denklem 2.5	19864.12
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.28 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.55 : $\lambda=120$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=120$	$L=5.20$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.104		20.81	

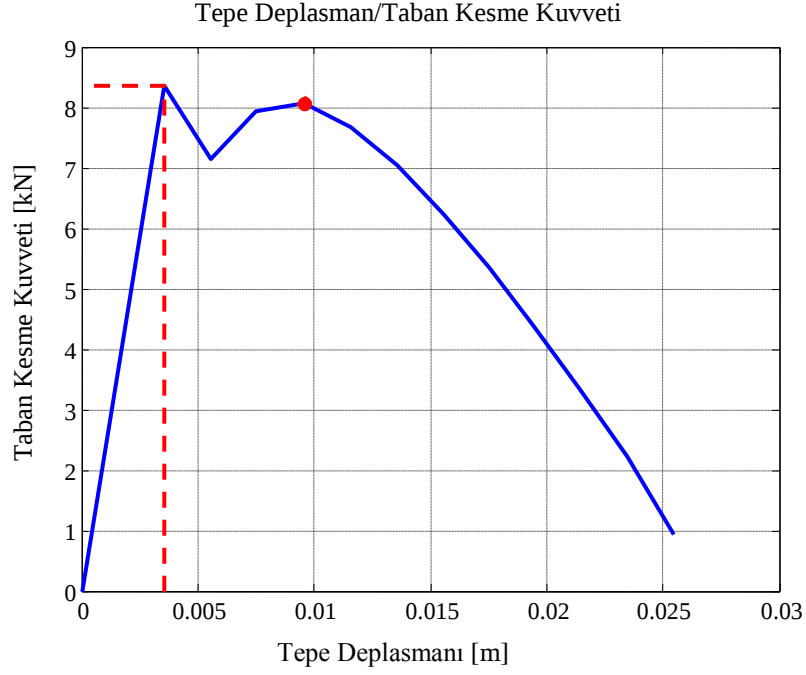
Çizelge 4.56 : $\lambda=120$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	9378.37
	Denklem 3.2	16679.17
	Denklem 3.3	14853.97
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	18447.00
	Denklem 2.3	16610.96
	Denklem 2.5	22140.79
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.8 Kolon Modeli $\lambda=125$

Bu bölümde ise $\lambda=125$ narinlik oranı için yüksekliği 5.40 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.29 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

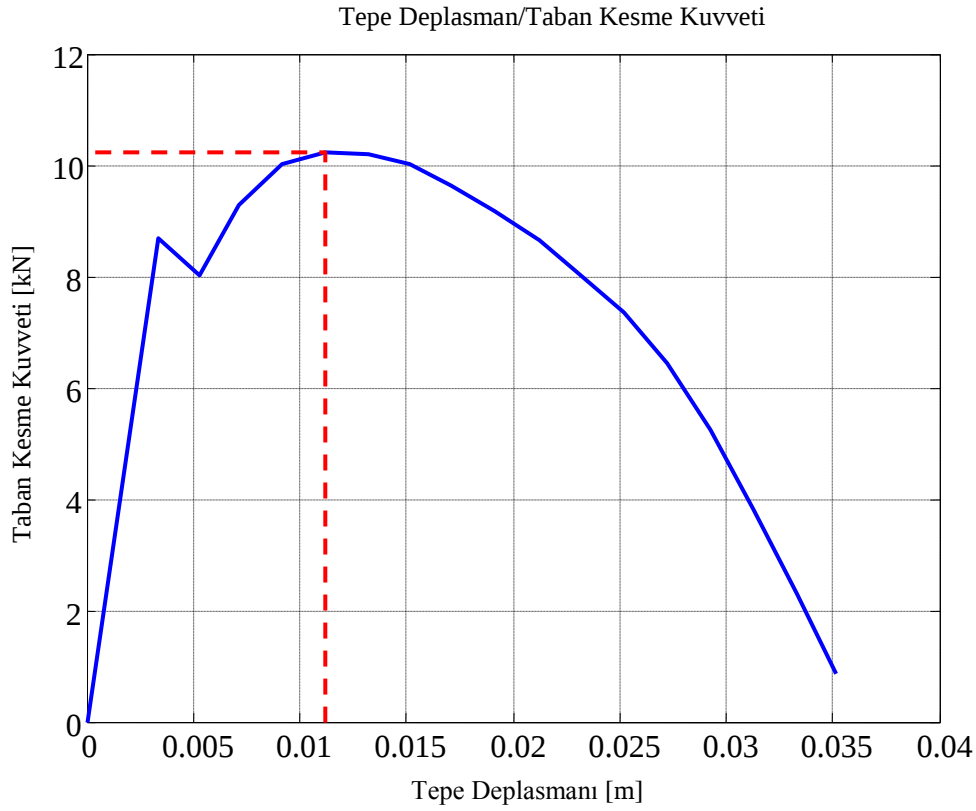
Çizelge 4.57 : $\lambda=125$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=125$	L=5.40 m	n=0.30	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.052		8.05	

Çizelge 4.58 : $\lambda=125$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8191.59
	Denklem 3.2	16064.79
	Denklem 3.3	14096.49
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	11102.41
	Denklem 2.3	11046.50
	Denklem 2.5	15794.52
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.30 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

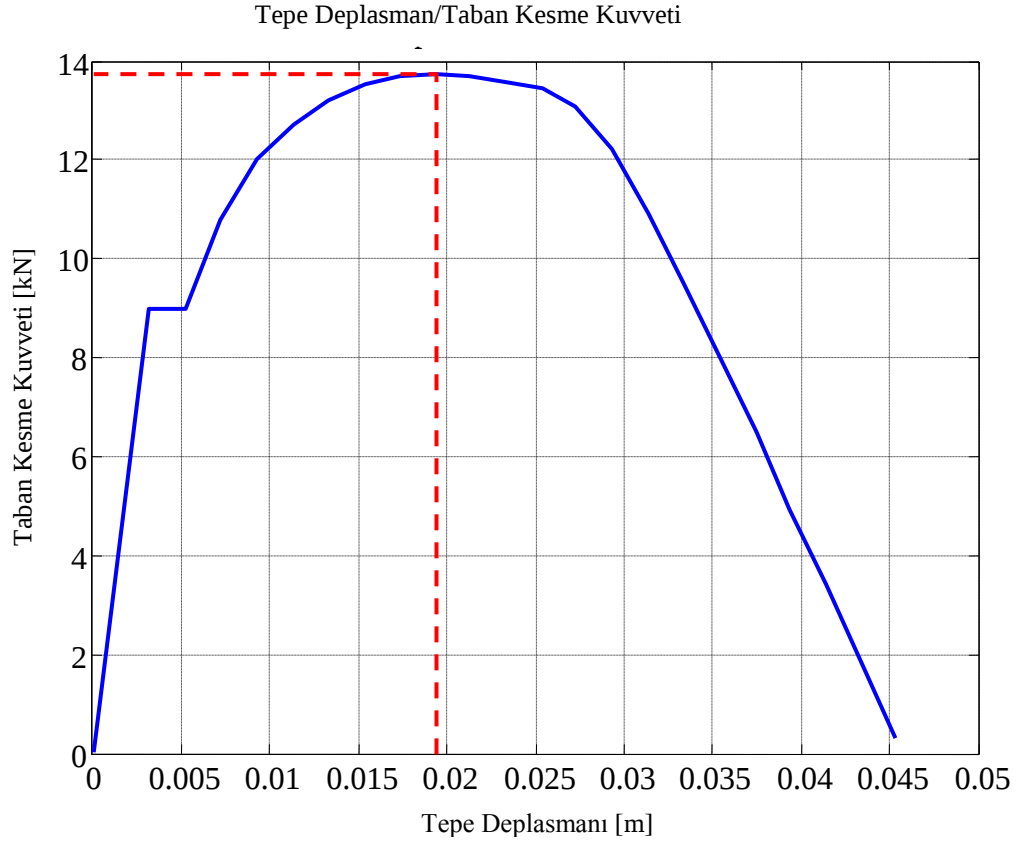
Çizelge 4.59 : $\lambda=125$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=125$	$L=5.40$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.061		10.23	

Çizelge 4.60 : $\lambda=125$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8874.81
	Denklem 3.2	16748.01
	Denklem 3.3	14779.71
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	13374.41
	Denklem 2.3	12864.10
	Denklem 2.5	18062.30
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.31 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

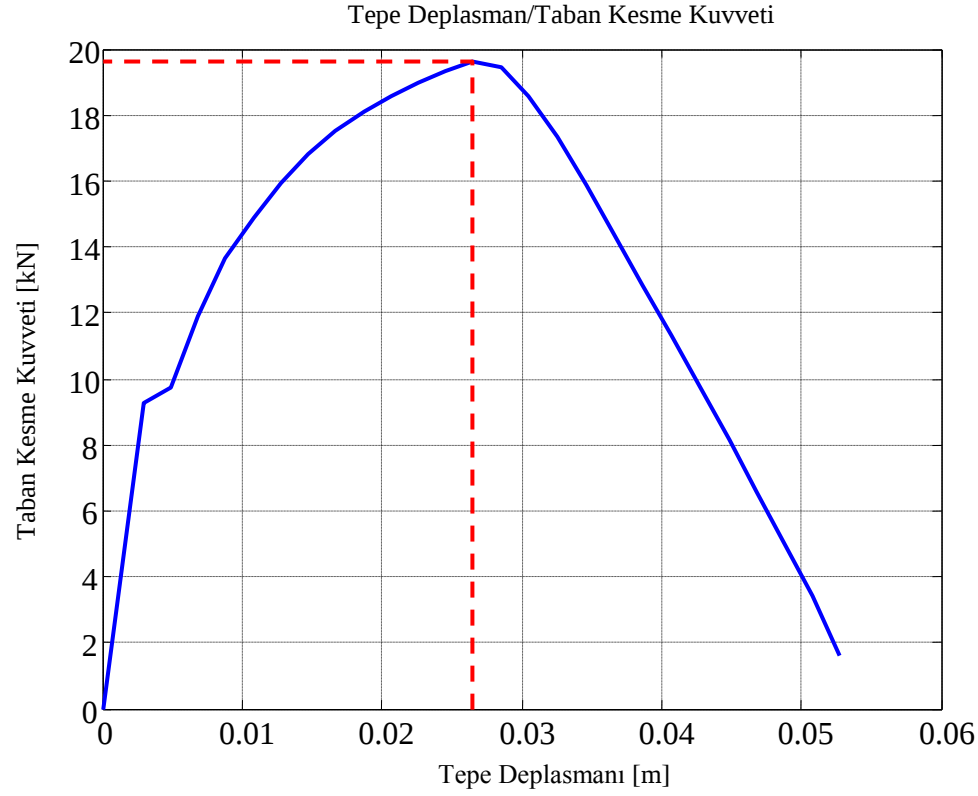
Çizelge 4.61 : $\lambda=125$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=125$	$L=5.40$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.105		13.72	

Çizelge 4.62 : $\lambda=125$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	6872.42
	Denklem 3.2	14745.62
	Denklem 3.3	12777.32
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	16308.46
	Denklem 2.3	14939.16
	Denklem 2.5	20338.07
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.32 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.63 : $\lambda=125$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=125$	$L=5.40$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.108		18.46	

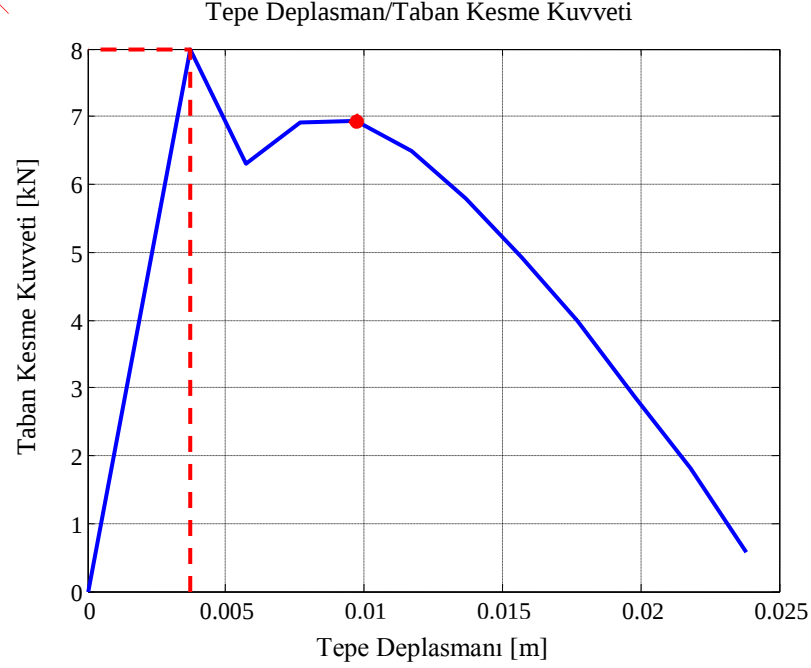
Çizelge 4.64 : $\lambda=125$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8971.56
	Denklem 3.2	16844.76
	Denklem 3.3	14876.46
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	18590.46
	Denklem 2.3	16764.76
	Denklem 2.5	22615.83
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.9 Kolon Modeli $\lambda=130$

Bu bölümde ise $\lambda=130$ narinlik oranı için yüksekliği 5.65 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.33 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

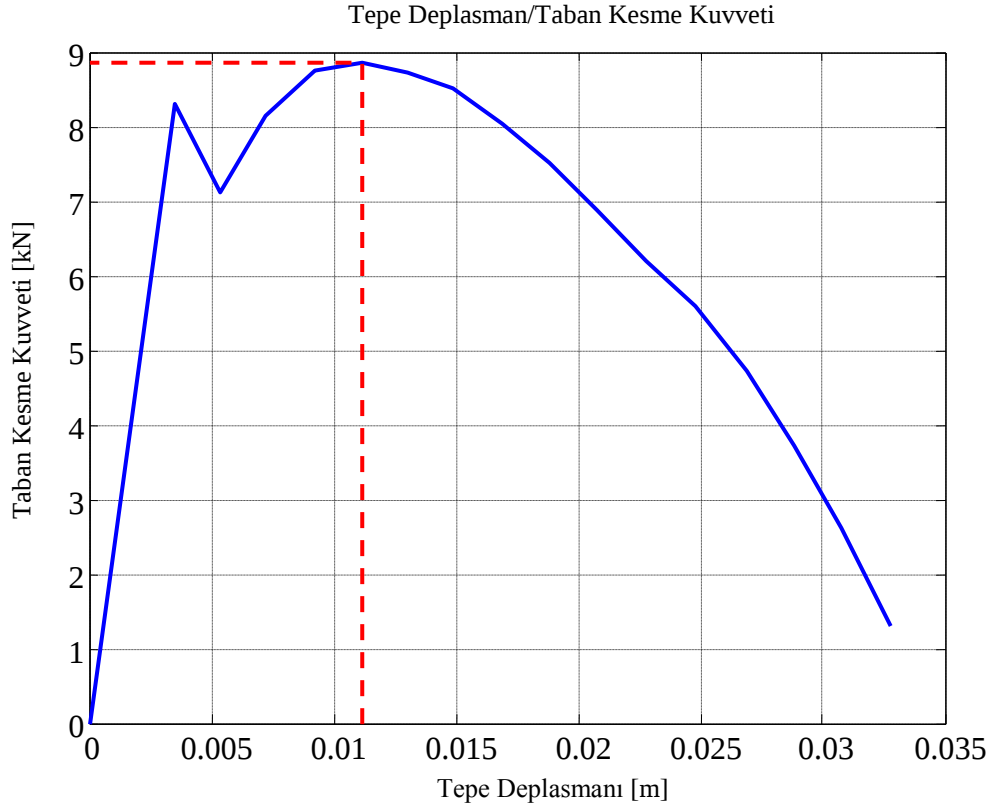
Çizelge 4.65 : $\lambda=130$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=130$	$L=5.65$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.055		6.94	

Çizelge 4.66 : $\lambda=130$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	7598.86
	Denklem 3.2	16217.94
	Denklem 3.3	14063.17
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	11294.07
	Denklem 2.3	11273.90
	Denklem 2.5	16540.04
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.34 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

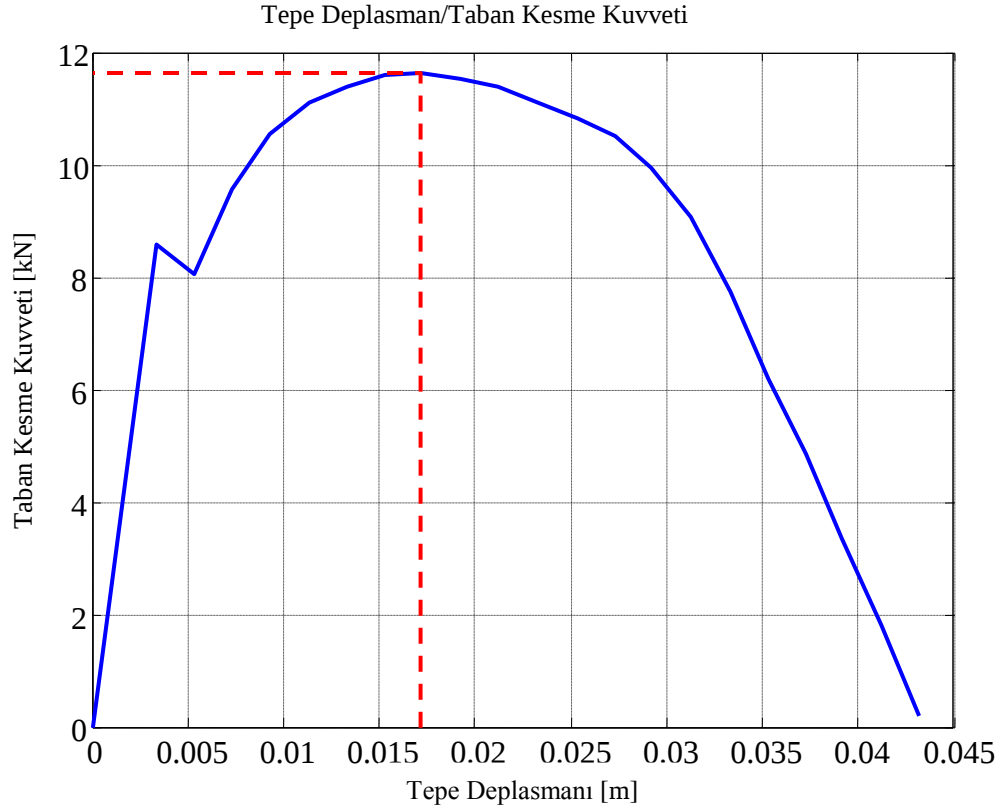
Çizelge 4.67 : $\lambda=130$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=130$	$L=5.65$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.063		8.85	

Çizelge 4.68 : $\lambda=130$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8403.03
	Denklem 3.2	17022.11
	Denklem 3.3	14867.34
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	13566.07
	Denklem 2.3	13091.50
	Denklem 2.5	18808.88
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.35 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

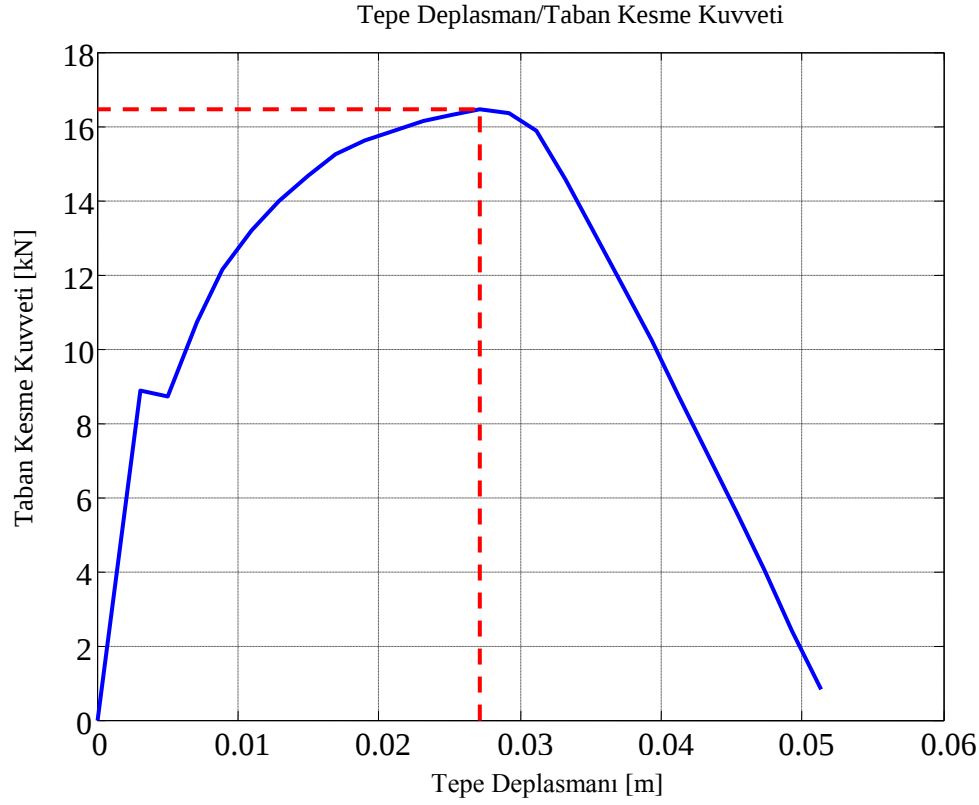
Çizelge 4.69 : $\lambda=130$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=130$	$L=5.65$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.097		11.63	

Çizelge 4.70 : $\lambda=130$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	7191.29
	Denklem 3.2	15810.37
	Denklem 3.3	13655.60
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	16487.79
	Denklem 2.3	15161.25
	Denklem 2.5	21085.70
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04, n=0.30$



Şekil 4.36 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.71 : $\lambda=130$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=130$	$L=5.65$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.113		15.80	

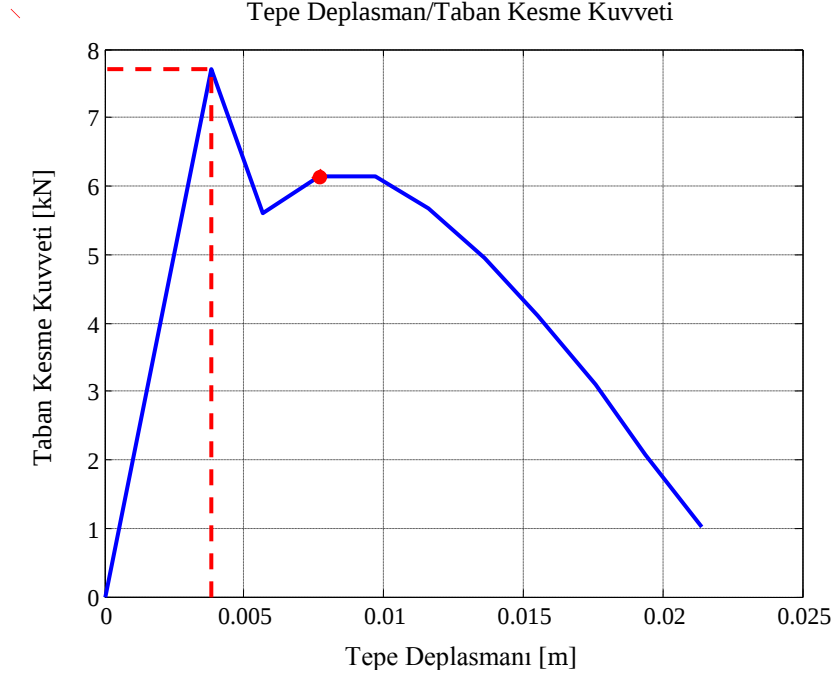
Çizelge 4.72 : $\lambda=130$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8406.26
	Denklem 3.2	17025.33
	Denklem 3.3	14870.56
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	18769.79
	Denklem 2.3	16986.85
	Denklem 2.5	23364.52
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.10 Kolon Modeli $\lambda=135$

Bu bölümde ise $\lambda=135$ narinlik oranı için yüksekliği 5.85 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.37 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

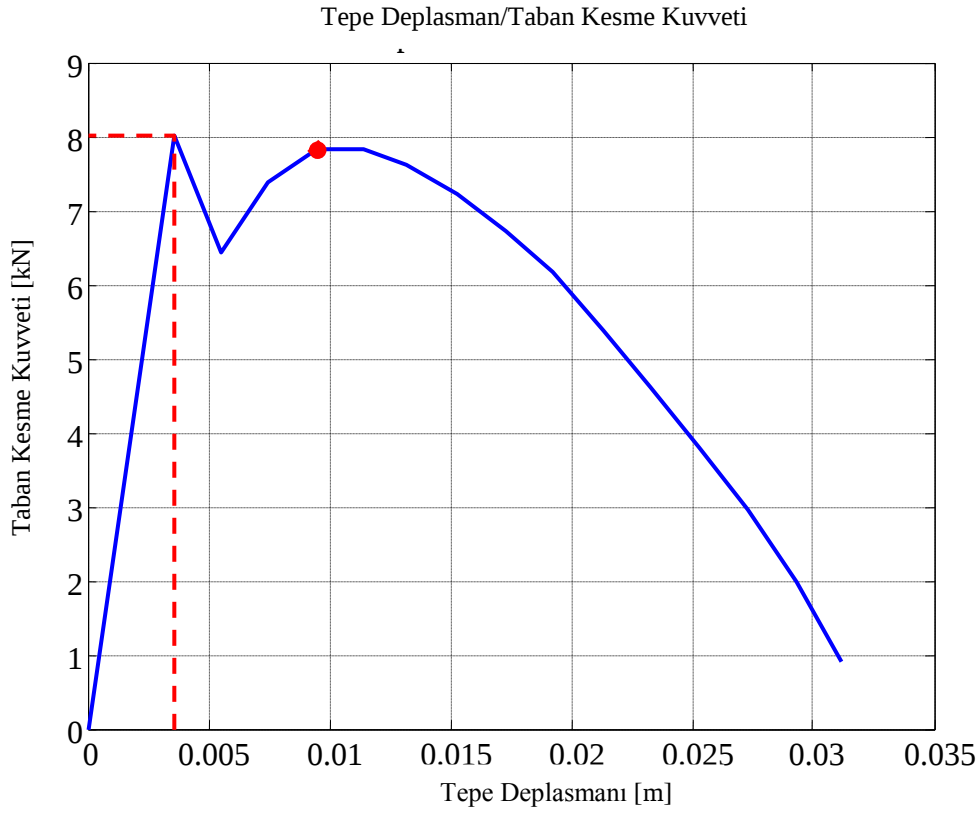
Çizelge 4.73 : $\lambda=135$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=135$	$L=5.85$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.045		6.15	

Çizelge 4.74 : $\lambda=135$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	9134.66
	Denklem 3.2	18374.74
	Denklem 3.3	16064.72
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	11524.59
	Denklem 2.3	11780.09
	Denklem 2.5	18560.01
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.38 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

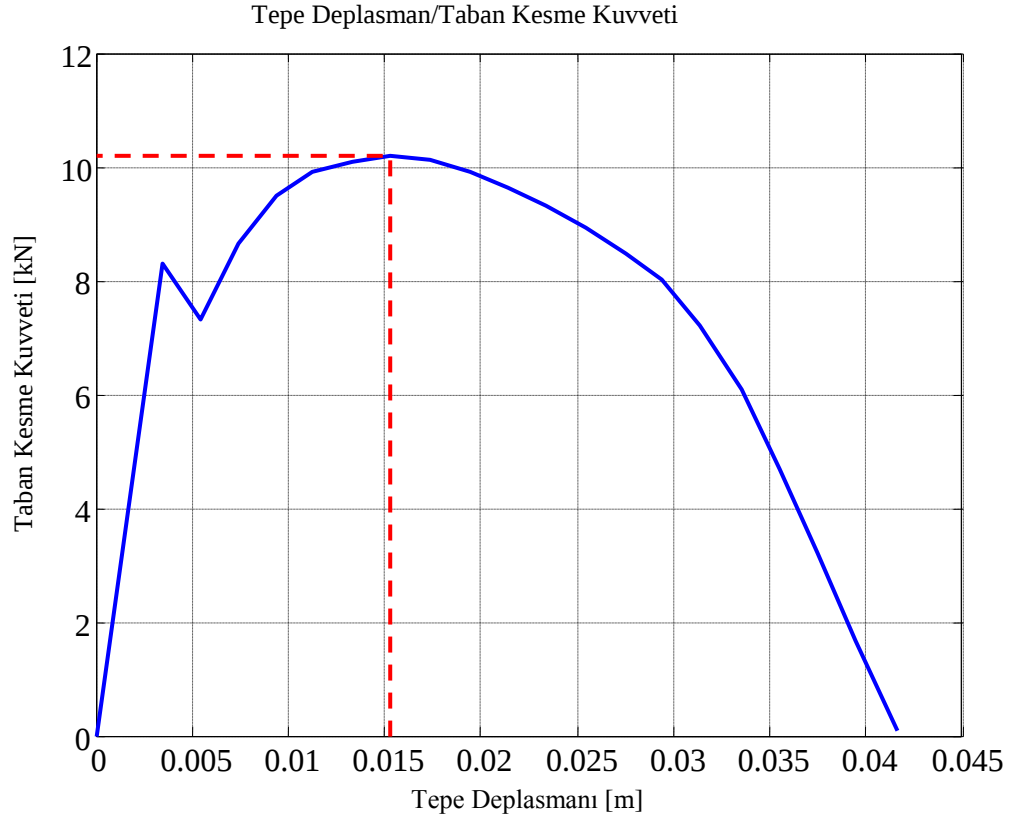
Çizelge 4.75 : $\lambda=135$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=135$	$L=5.85$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.055		7.83	

Çizelge 4.76 : $\lambda=135$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	9431.88
	Denklem 3.2	18761.96
	Denklem 3.3	16361.94
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	13796.59
	Denklem 2.3	13597.69
	Denklem 2.5	20829.50
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.39 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

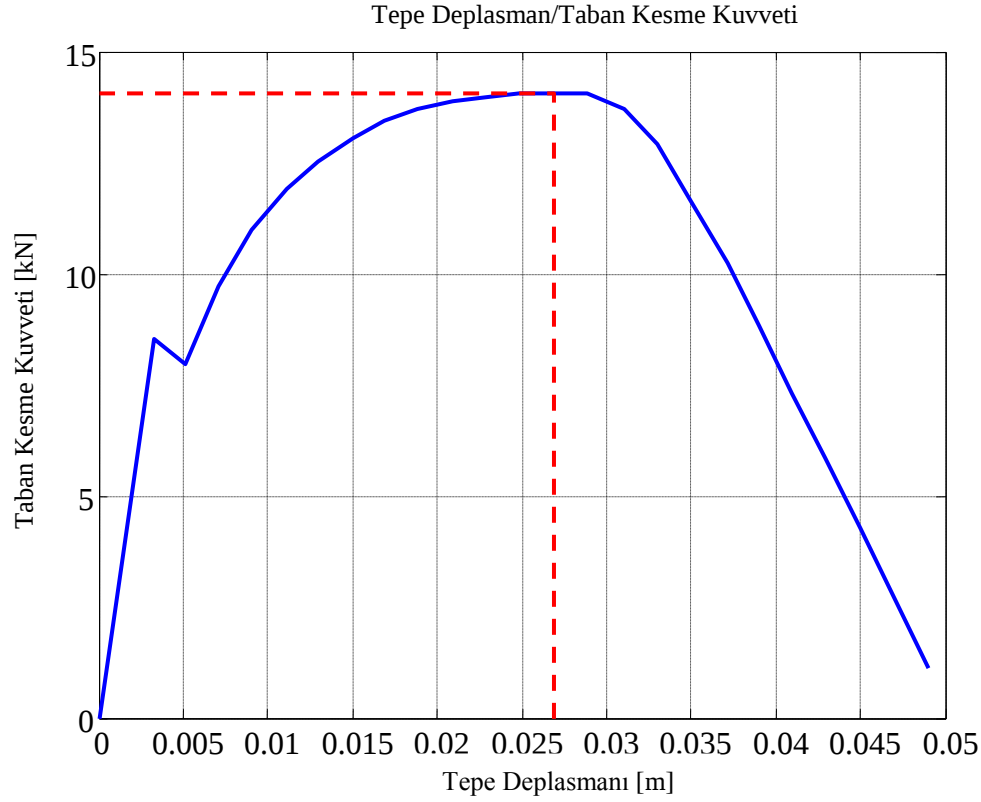
Çizelge 4.77 : $\lambda=135$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=135$	$L=5.85$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.090		10.18	

Çizelge 4.78 : $\lambda=135$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7589.69
	Denklem 3.2	16829.77
	Denklem 3.3	14519.75
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	16631.26
	Denklem 2.3	15629.10
	Denklem 2.5	23106.98
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.40 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.79 : $\lambda=135$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=135$	$L=5.85$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.117		13.70	

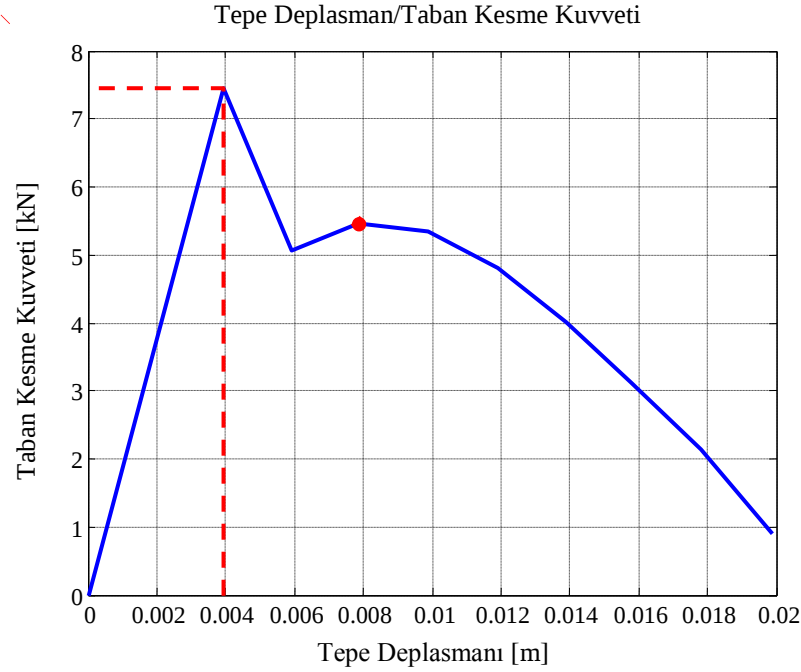
Çizelge 4.80 : $\lambda=135$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	7814.14
	Denklem 3.2	17054.21
	Denklem 3.3	14744.19
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	18913.26
	Denklem 2.3	17454.70
	Denklem 2.5	25386.45
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.11 Kolon Modeli $\lambda=140$

Bu bölümde ise $\lambda=140$ narinlik oranı için yüksekliği 6.05 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.41 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

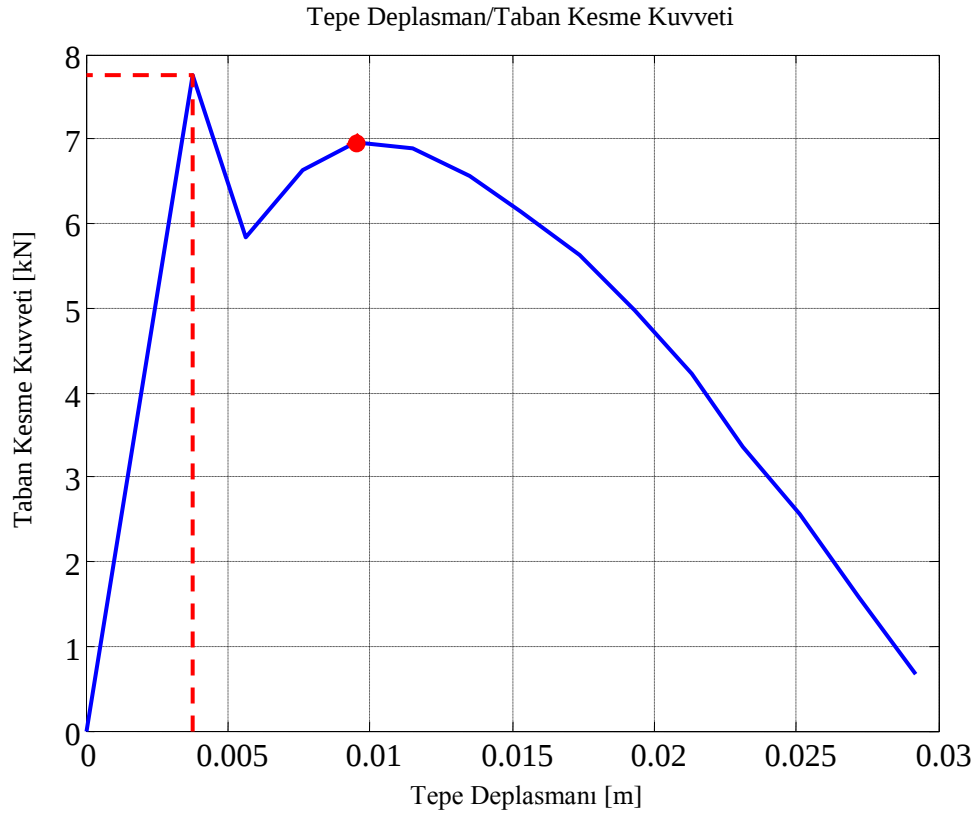
Çizelge 4.81 : $\lambda=140$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=140$	$L=6.05$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.048		5.45	

Çizelge 4.82 : $\lambda=140$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8475.52
	Denklem 3.2	18358.20
	Denklem 3.3	15887.53
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	11674.58
	Denklem 2.3	11952.53
	Denklem 2.5	19178.45
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.42 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

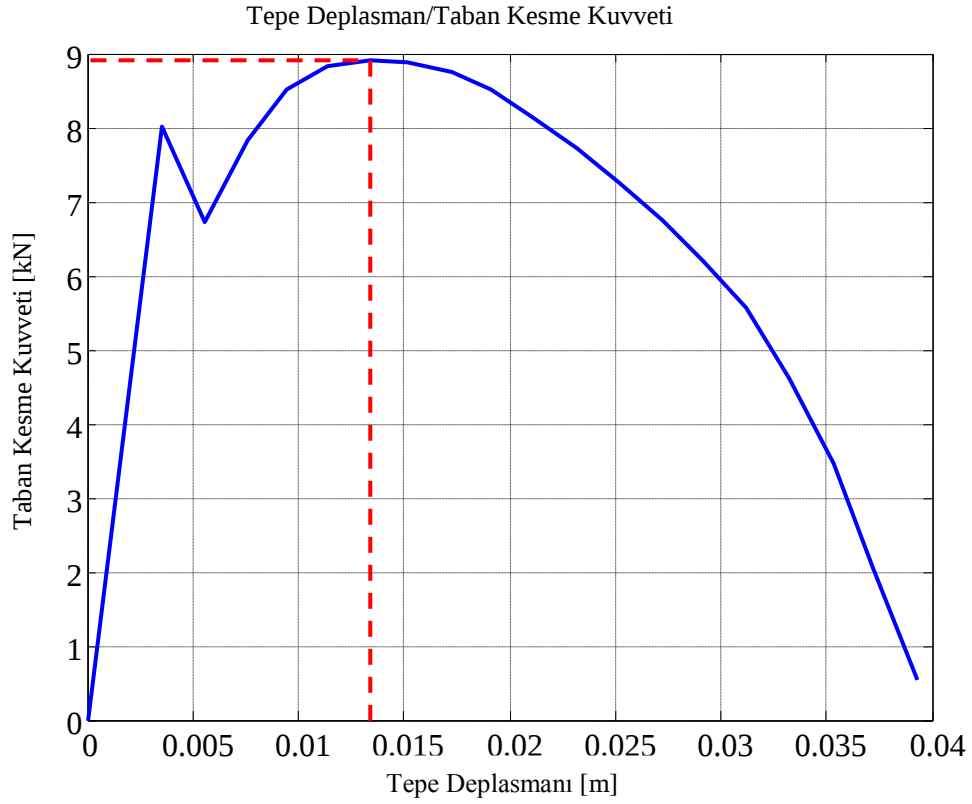
Çizelge 4.83 : $\lambda=140$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=140$	$L=6.05$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.058		6.95	

Çizelge 4.84 : $\lambda=140$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8905.22
	Denklem 3.2	18787.90
	Denklem 3.3	16317.23
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	13946.58
	Denklem 2.3	13770.13
	Denklem 2.5	21448.46
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.43 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

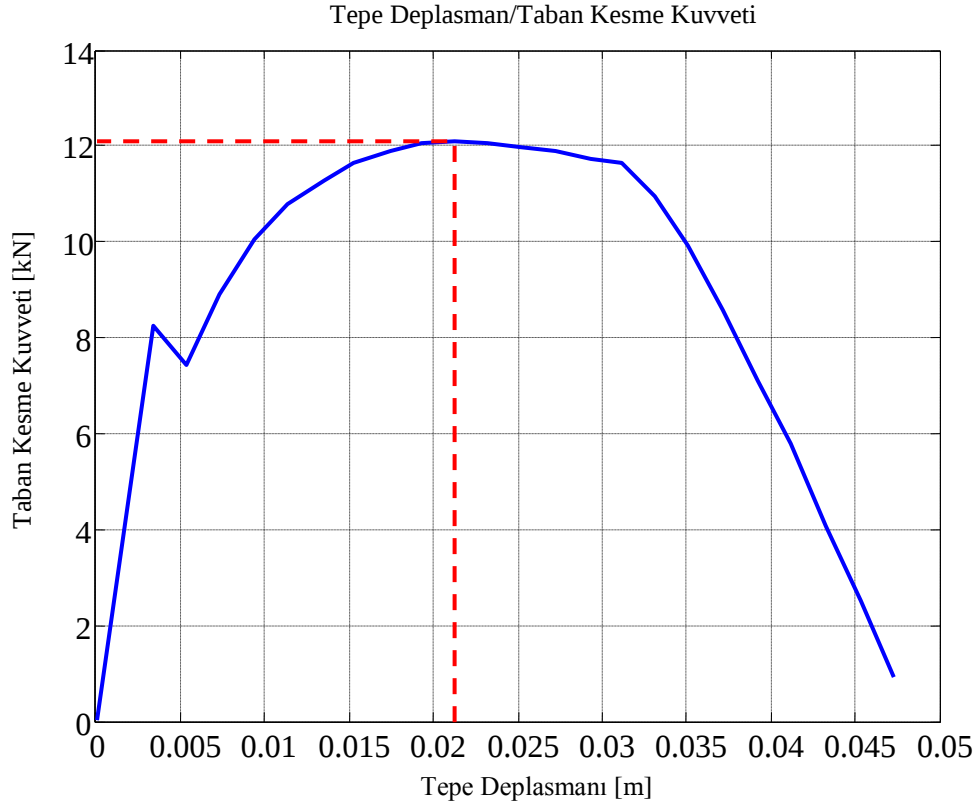
Çizelge 4.85 : $\lambda=140$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=140$	$L=6.05$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.081		8.92	

Çizelge 4.86 : $\lambda=140$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	8117.29
	Denklem 3.2	17999.96
	Denklem 3.3	15529.29
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	16774.72
	Denklem 2.3	15798.61
	Denklem 2.5	23726.46
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04$, $n=0.30$



Şekil 4.44 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.87 : $\lambda=140$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=140$	$L=6.05$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.121		12.00	

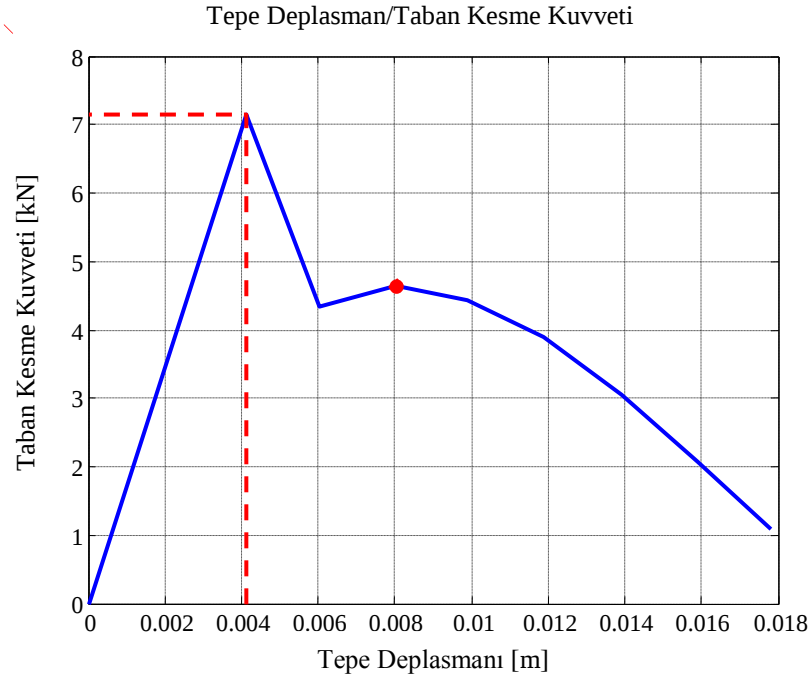
Çizelge 4.88 : $\lambda=140$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7320.50
	Denklem 3.2	17203.18
	Denklem 3.3	14732.51
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	19056.72
	Denklem 2.3	17624.21
	Denklem 2.5	26006.45
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.12 Kolon Modeli $\lambda=145$

Bu bölümde ise $\lambda=145$ narinlik oranı için yüksekliği 6.30 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.45 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

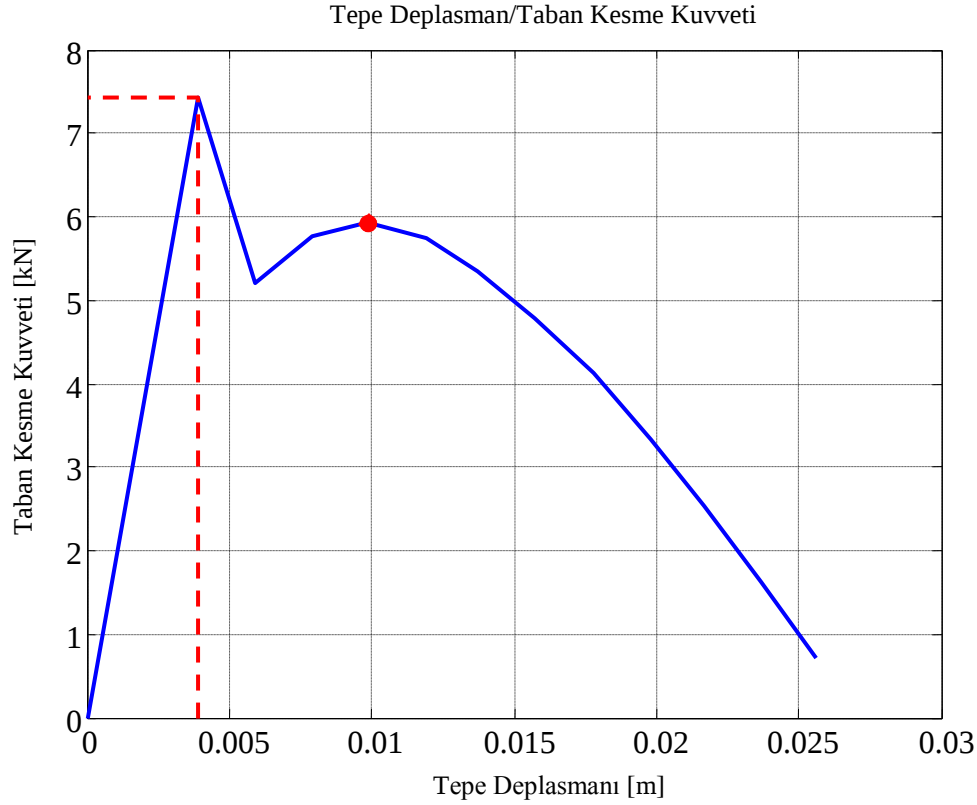
Çizelge 4.89 : $\lambda=145$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=145$	$L=6.30$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.051		4.64	

Çizelge 4.90 : $\lambda=145$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm^2)	Denklem 3.1	7639.78
	Denklem 3.2	18356.08
	Denklem 3.3	15677.00
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm^2)	Denklem 2.1	11863.62
	Denklem 2.3	12175.45
	Denklem 2.5	19995.32
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02$, $n=0.30$



Şekil 4.46 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

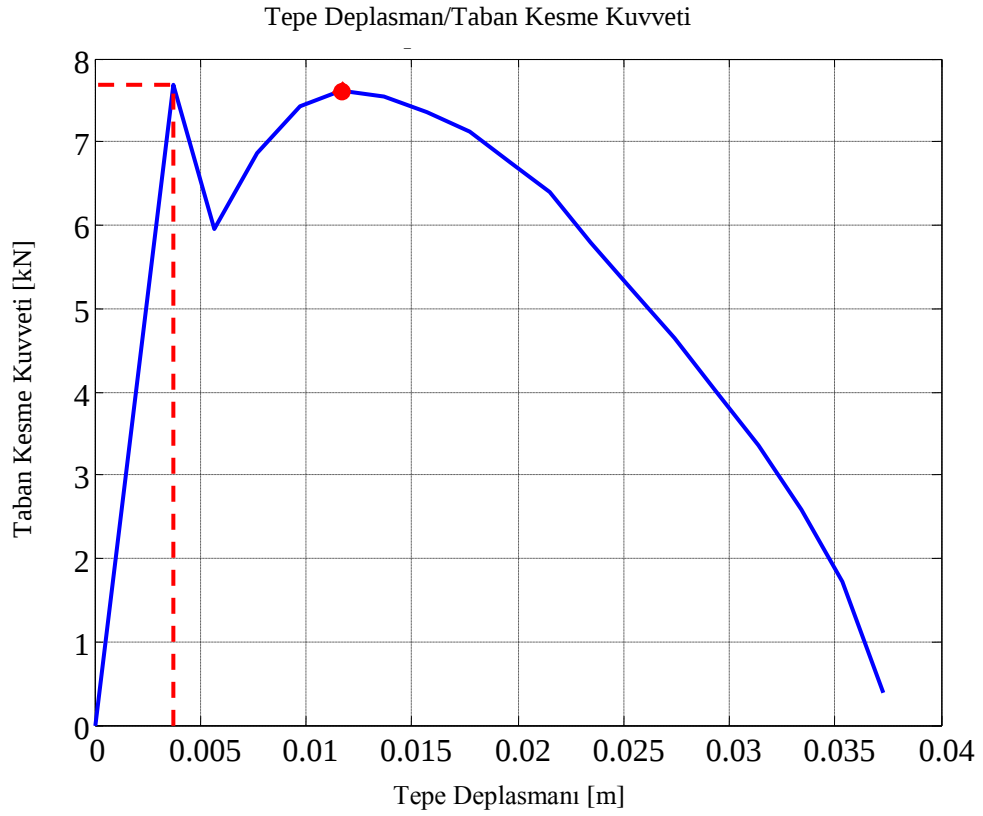
Çizelge 4.91 : $\lambda=145$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=145$	$L=6.30$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.062		5.94	

Çizelge 4.92 : $\lambda=145$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7982.68
	Denklem 3.2	18698.98
	Denklem 3.3	16019.91
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	14135.62
	Denklem 2.3	13993.05
	Denklem 2.5	22265.83
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03$, $n=0.30$



Şekil 4.47 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

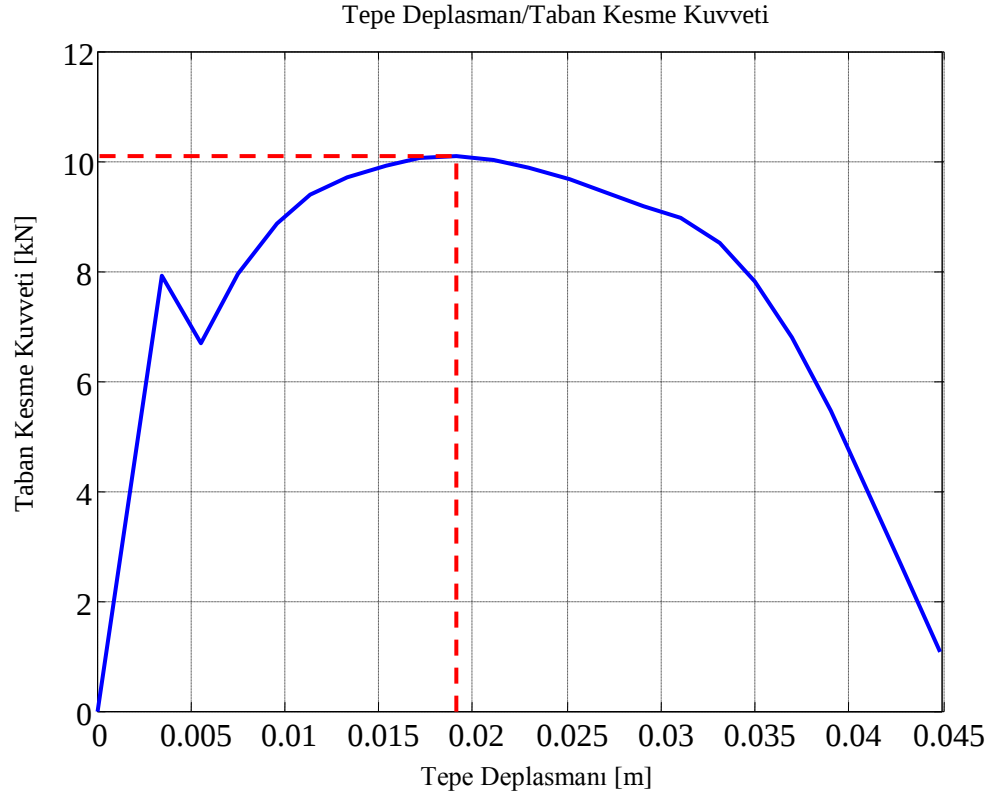
Çizelge 4.93 : $\lambda=145$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=145$	$L=6.30$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.074		7.61	

Çizelge 4.94 : $\lambda=145$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	8601.80
	Denklem 3.2	19318.10
	Denklem 3.3	16639.02
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	16954.05
	Denklem 2.3	16017.16
	Denklem 2.5	24544.33
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04, n=0.30$



Şekil 4.48 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.95 : $\lambda=145$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=145$	$L=6.30$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.120		10.09	

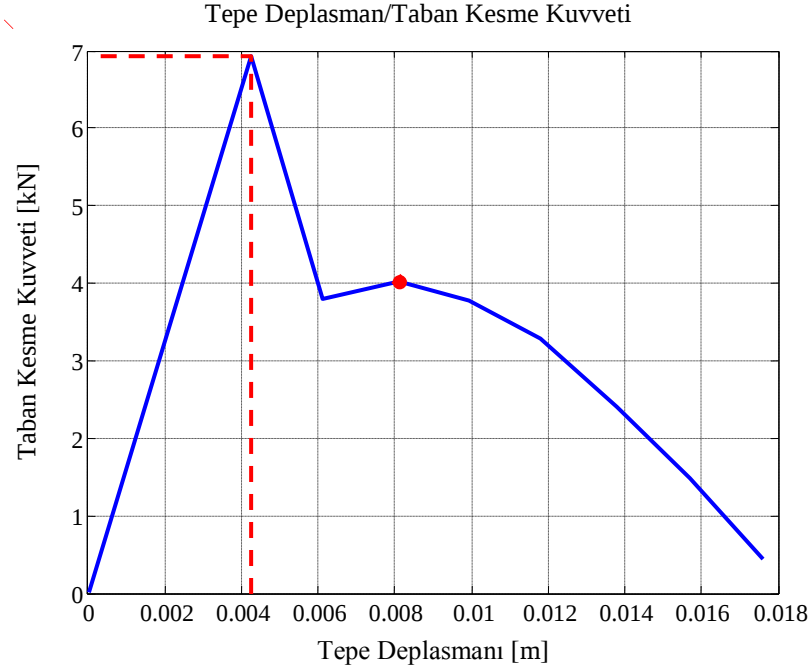
Çizelge 4.96 : $\lambda=145$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	6991.69
	Denklem 3.2	17707.99
	Denklem 3.3	15028.91
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	19236.05
	Denklem 2.3	17842.76
	Denklem 2.5	26824.82
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

4.13 Kolon Modeli $\lambda=150$

Bu bölümde ise $\lambda=150$ narinlik oranı için yüksekliği 6.50 m olan 4 tip kolon için doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları ve eğilme rijitlikleri verilmiştir.

- $\rho=0.01, n=0.30$



Şekil 4.49 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

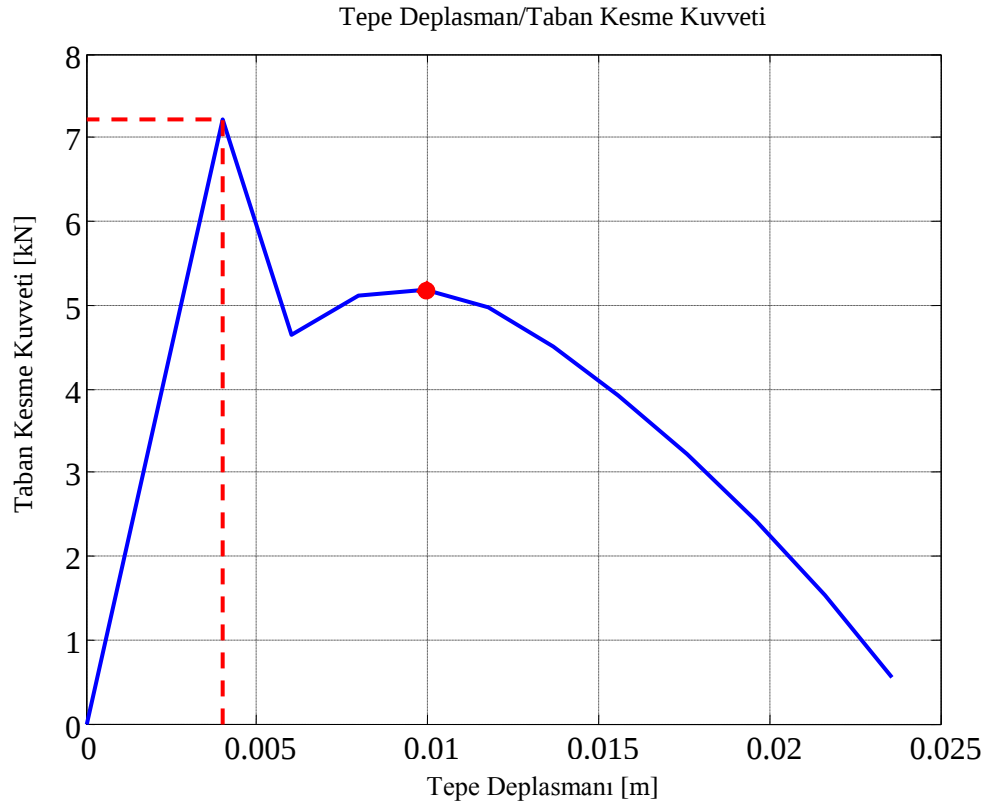
Çizelge 4.97 : $\lambda=150$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=150$	$L=6.50$ m	$n=0.30$	$\rho=0.01$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.053		4.03	

Çizelge 4.98 : $\lambda=150$ $\rho=0.01$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	7011.81
	Denklem 3.2	18419.31
	Denklem 3.3	15567.44
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	12017.91
	Denklem 2.3	12368.19
	Denklem 2.5	20724.05
	Denklem 2.8	6433.44
	Denklem 2.9	7468.80

- $\rho=0.02, n=0.30$



Şekil 4.50 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

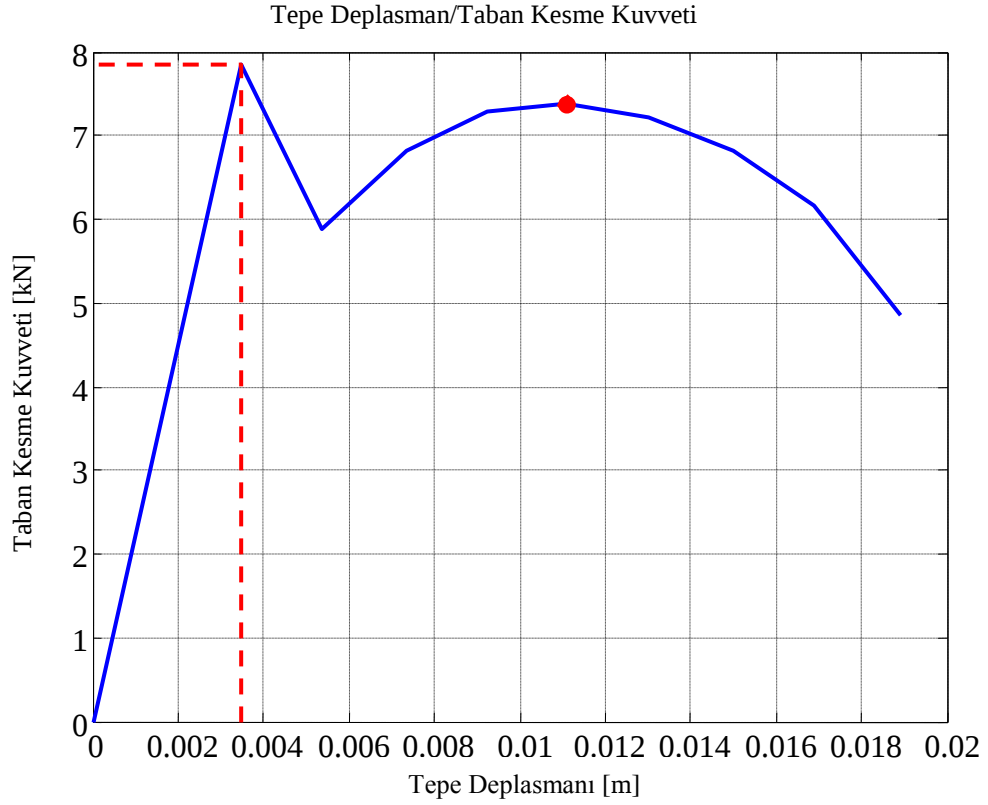
Çizelge 4.99 : $\lambda=150$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=150$	$L=6.50$ m	$n=0.30$	$\rho=0.02$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.065		5.18	

Çizelge 4.100 : $\lambda=150$ $\rho=0.02$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	7324.75
	Denklem 3.2	18732.25
	Denklem 3.3	15880.37
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	14289.91
	Denklem 2.3	14185.79
	Denklem 2.5	22994.87
	Denklem 2.8	8705.44
	Denklem 2.9	9740.80

- $\rho=0.03, n=0.30$



Şekil 4.51 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

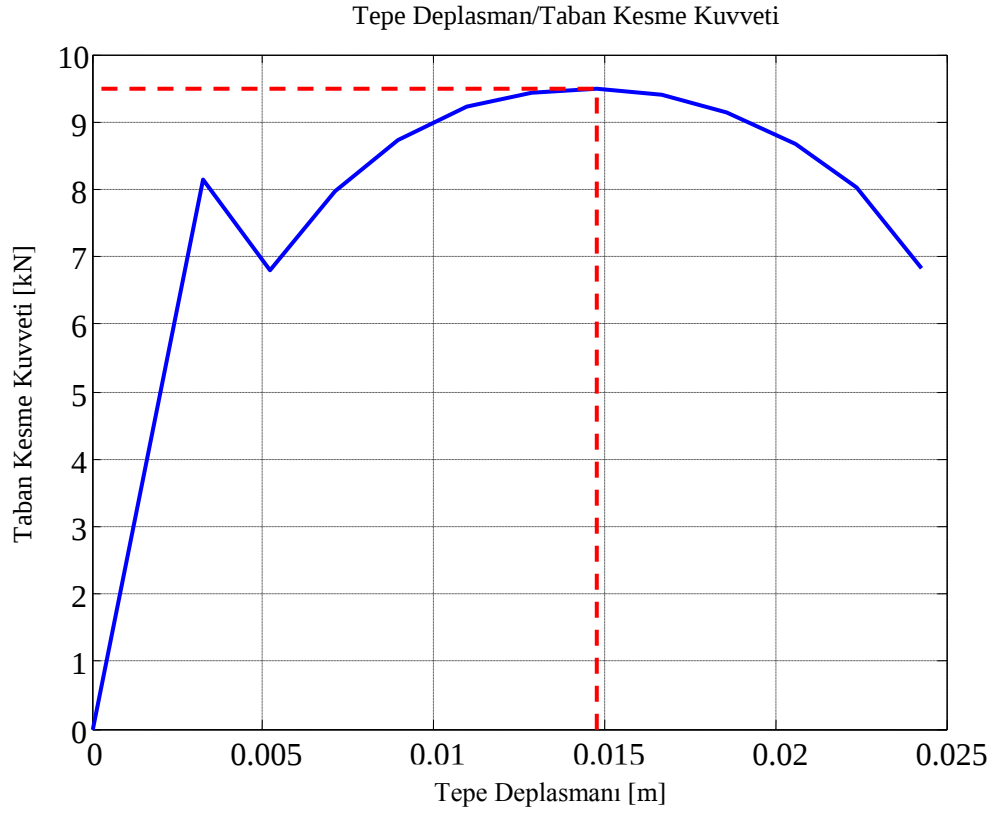
Çizelge 4.101 : $\lambda=150$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=150$	$L=6.50$ m	$n=0.30$	$\rho=0.03$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.072		7.38	

Çizelge 4.102 : $\lambda=150$ $\rho=0.03$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm²)	Denklem 3.1	9367.47
	Denklem 3.2	20774.97
	Denklem 3.3	17923.09.
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm²)	Denklem 2.1	17097.51
	Denklem 2.3	16205.01
	Denklem 2.5	25273.68
	Denklem 2.8	10985.44
	Denklem 2.9	12020.80

- $\rho=0.04, n=0.30$



Şekil 4.52 : Tepe deplasman-taban kesme kuvveti grafiği.

Çizelge 4.103 : $\lambda=150$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğri sonuçları.

$\lambda=150$	$L=6.50$ m	$n=0.30$	$\rho=0.04$
Tepe Deplasmanı (m)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
0.096		9.50	

Çizelge 4.104 : $\lambda=150$ $\rho=0.04$ Kolon modeli eğilme rijitlikleri.

Hesap edilen Etkin Eğilme Rijitlik değerleri (kNm ²)	Denklem 3.1	9041.50
	Denklem 3.2	20449.00
	Denklem 3.3	17597.13
Literatür ve Yönetmeliklerden elde edilen Etkin Eğilme Rijitlik Değerleri (kNm ²)	Denklem 2.1	19379.51
	Denklem 2.3	18030.61
	Denklem 2.5	27554.49
	Denklem 2.8	13267.44
	Denklem 2.9	14302.80

5. SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Sunulan bu tez çalışmasında, betonarme kolonların eğilme rijitliklerinin belirlenmesi konusu incelenmiştir. Bu amaçla malzemenin doğrusal olmayan davranışı ile birlikte geometri değişimlerinin denge denklemlerine olan etkisinin göz önüne alındığı Perform 3D yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle Perform 3D ile modellemenin doğruluğu araştırılmış, bunun için de İTÜ’de yapılan deneysel ve kuramsal bir çalışmanın sonuçlarından yararlanılmıştır. Modellemenin doğruluğu gösterildikten sonra betonarme kolonların eğilme rijitliklerinin belirlenmesi için 364 analiz yapılmıştır. Analizlerde narinlik, geometrik donatı oranı ve boyutsuz eksenel kuvvet oranının değişimleri dikkate alınmıştır. Bu çalışma ile elde edilen eğilme rijitlikleri literatür ve yönetmelikler ile hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

Kolon enine kesiti ve kolon boyunca sonlu eleman sayısı arttırıldıkça daha doğru sayısal sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Konsol bir kolonda taban kesme kuvveti ve yer değiştirme ilişkisinden faydalanılarak eğilme rijitliğinin hesabı için üç adet bağıntı önerilmiştir. Bu bağıntılar, denklem 3.1, 3.2 ve 3.3 de verilmiştir. Narinliğin az olduğu kolonlarda 1. Mertebe teorisine karşı gelen denklem 3.1, narinliğin arttığı kolonlarda ise 2.Mertebe etkilerinin göz önüne alındığı denklem 3.2 ve 3.3 daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Narinlik arttıkça, yer değiştirme de artmakta fakat taban kesme kuvvetleri azalmaktadır. Eğilme rijitlikleri ise değişkenlik göstermektedir. Aşağıda tabloda $\rho=0.01$ boyuna donatı oranı ve $n=0.10$ boyutsuz eksenel kuvvet oranı için narinlik oranı artımıyla elde edilen etkin eğilme rijitliği değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1: Narinlik oranı değişimiyle elde edilen sonuçların özeti.

λ	ρ	n	Δ (m)	V_t (kN)	EI_1 (kNm ²)	EI_2 (kNm ²)	EI_3 (kNm ²)
50	0.01	0.10	0.028	34.17	4260.30	4687.74	4580.81
75	0.01	0.10	0.049	20.23	4715.00	5665.00	5427.97
100	0.01	0.10	0.075	12.67	4618.23	6321.25	5895.50
110	0.01	0.10	0.083	10.80	4671.06	6701.68	6194.03
120	0.01	0.10	0.091	8.99	4657.72	7091.32	6482.92

Boyuna donatı oranı arttıkça, taban kesme kuvveti tepe deplasmanı değişimine göre daha büyük oranda artmakta dolayısıyla eğilme rijitliklerinin de arttığı izlenmektedir. Aşağıda tabloda bu sonuçlara örnek olarak yapılan model sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.2: Boyuna donatı oranı değişimiyle elde edilen sonuçların özeti.

ρ	n	λ	Δ (m)	V_t (kN)	EI_1 (kNm ²)	EI_2 (kNm ²)	EI_3 (kNm ²)
0.01	0.10	50	0.028	34.17	4260.03	4687.74	4580.81
0.02	0.10	50	0.033	55.67	5915.04	6342.76	6235.83
0.03	0.10	50	0.055	77.65	4857.77	5285.48	5178.55
0.04	0.10	50	0.059	100.66	5901.86	6329.58	6222.65

Boyutsuz eksenel kuvvet oranı (n) arttıkça, tepe deplasmanı daha düşük bir farkla azalmakta, fakat aynı oranda taban kesme kuvveti de artış göstermektedir. Eksenel kuvvet arttığı zaman ise kolonun eğilme rijitliğinde bir azalma görülmektedir.

Çizelge 5.3: Boyutsuz eksenel kuvvet oranı değişimiyle elde edilen sonuçların özeti.

n	ρ	λ	Δ (m)	V_t (kN)	EI_1 (kNm²)	EI_2 (kNm²)	EI_3 (kNm²)
0.10	0.01	50	0.028	34.17	4260.03	4687.74	4580.81
0.15	0.01	50	0.024	38.95	5604.90	6246.47	6086.08
0.20	0.01	50	0.023	43.78	6196.79	7052.22	6838.37
0.25	0.01	50	0.020	46.93	8062.77	9132.06	8864.74
0.30	0.01	50	0.020	48.16	8113.17	9396.32	9075.53
0.35	0.01	50	0.019	49.17	8242.42	9739.43	9365.17
0.40	0.01	50	0.017	50.65	10052.08	11762.95	11335.23

Narinlik az iken hesaplanan eğilme rijitlikleri yönetmelikler ile hesaplanan değerlere yakın iken, narinliğin artan değerleri için hesaplanan eğilme rijitlikleri akademik çalışmalarda bulunan sonuçlara yakınlaşmaktadır. Buradan çıkarılacak sonuç, yönetmeliklerin narinliği artan etkisini, eğilme rijitliklerinin hesabında daha kaba bir şekilde göz önüne almasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **PERFORM 3D.** (Versiyon 15) [Bilgisayar Yazılımı] Yapı Sistemlerinin doğrusal olmayan analizlerini yapabilen bir bilgisayar programı.
- [2] **Yüce, S. Z.** (2010). Basitleştirilebilen betonarme sistemlerin deprem hesabı için yerdeğiştirmeleri esas alan bir yöntem (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **COLA** (2010). [Bilgisayar Yazılımı] Column Analyze. Deneysel çalışmalar sonucu yazılımı yapılmış kolon analiz programı.
- [4]**DBYBHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [5] **Mander, John B.; Priestley, Michael JN & Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of structural engineering, 114.8: 1804-1826.
- [6] **Yüce, Serkan Z.; Karadoğın, H. Faruk & Yüksel, E.** (2011). Yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde bırakılan kare kesitli prefabrike betonarme kolonların davranış. ITU Journal Series D: Engineering, 10.5.
- [7]**ACI 318 Committee; American Concrete Institute;** International Organization For Standardization. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary.
- [8] **Mirza, S. A.** (1990). Flexural stiffness of rectangular reinforced concrete columns. Structural Journal, 87.4: 425-435.
- [9] **EUROCODE 2.** (2004). Design of Concrete Structures: Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. British Standards Institution.
- [10] **Tikka, Timo K. & Mirza, S. Ali.** (2005). Nonlinear El equation for slender reinforced concrete columns. ACI structural journal, 102.6: 839.

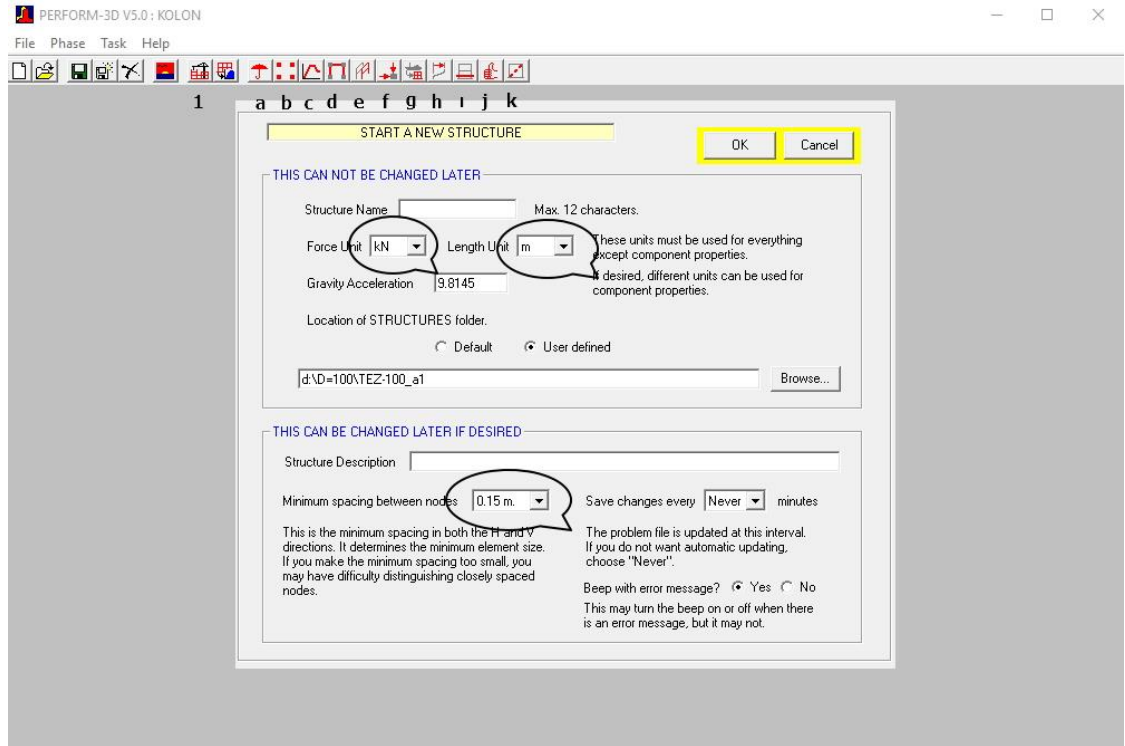
- [11] **Bonet, J. L.; Romero, Manuel L.; Miguel, P. F.** (2011). Effective flexural stiffness of slender reinforced concrete columns under axial forces and biaxial bending. *Engineering Structures*, 33.3: 881-893.
- [12] **Elwood, Kenneth J. & Eberhard, Marc O.** (2009). Effective stiffness of reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 106.4: 476.
- [13] **Feng, Xiuling**, et al. (2013). Research on Flexural Stiffness Reduction Factor of Reinforced Concrete Column with Equiaxial+ Shaped Section. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96: 168-174.
- [14] **Avşar, Ö.; Bayhan, B. & Yakut, A.** (2014). Effective flexural rigidities for ordinary reinforced concrete columns and beams. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 23.6: 463-482.
- [15] **Caglar, Naci**, et al. (2015). A simple formulation for effective flexural stiffness of circular reinforced concrete columns. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 38: 79-87.
- [16] **Hong, H. P.** (2001). Strength of slender reinforced concrete columns under biaxial bending. *Journal of Structural Engineering*, 127.7: 758-762.
- [17] **Eom, Tae-Sung**, et al. (2014). Cyclic loading test for reinforced concrete columns with continuous rectangular and polygonal hoops. *Engineering Structures*, 67: 39-49.
- [18] **Popa, Viorel; Cotofana, Dragos & Vacareanu, Radu.** (2014). Effective stiffness and displacement capacity of short reinforced concrete columns with low concrete quality. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12.6: 2705-2721.
- [19] **Jiang, T. & Teng, J. G.** (2012). Theoretical model for slender FRP-confined circular RC columns. *Construction and building materials*, 32: 66-76.
- [20] **Barrera, A. C.**, et al. (2011). Experimental tests of slender reinforced concrete columns under combined axial load and lateral force. *Engineering Structures*, 33.12: 3676-3689.
- [21] **Celep, Z.** (2008). Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme: deprem yönetmeliği 2007 kavramları. Beta Dağıtım.

- [22] **Chopra, Anil K.**, et al. (1995) Dynamics of structures. New Jersey: Prentice Hall.
- [23] **Yalcin, C. & Saatcioglu, M.**, (2000). Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Columns, Computers&Structures, V. 77, No. 5, pp. 539-555.
- [24] **Özer, E.**, (2008). İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Mühendisliği İleri Yapı Statik Ders Notları, 2008, İstanbul.
- [25] **SAP2000**, (Versiyon 14) [Bilgisayar Yazılımı]. Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- [26] **Saatcioglu, M. & Razvi, S. R.**, (1992). Strength and Ductility of Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, 118(6):1590-607.
- [27] **Özmen, G.; Orakdöğen, E.; Darilmaz, K.** (2009). Örneklerle SAP 2000-V12. Birsen Yayınevi.
- [28] **Powell, Graham H.** (2007). Detailed Example of a Tall Shear Wall Building Using CSI's Perform 3D Nonlinear Dynamic Analysis. Computers & Structures Educational Services.
- [29] **ETABS**, [Bilgisayar Yazılımı]. Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- [30] **ATC 40**, (1995). Structural Responce Modification Factors, Applied Technology Council. California 94065
- [31] **FEMA 356**, (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., USA.
- [32] **ATC 440**, (1995). Structural Responce Modification Factors, Applied Technology Council. California 94065

EKLER

EK A: Perform3D Model Oluşturma ve Analiz Aşamaları

Bu kısımda Perform3D bilgisayar analiz programında, basit bir kolon modelinin nasıl oluşturulduğu, oluşturulan bu modelin ikinci mertebe etkileride göz önünde bulundurularak statik itme analiziyle doğrusal olmayan analizin yapılması kısaca anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1A: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

Şekil 1A'da görüldüğü gibi Perform3D programında yeni bir modele başlamak için diğer programlarda olduğu gibi dosya bölümünden yeni model seçilir ve görünen ekran gelir. Burada yapı ismi, dosyanın kaydedileceği yerlerin düzenli bir şekilde girilmesi önem arz etmektedir. Kuvvet birimi ve uzunluk birimini hesapta kullanacağımız şekilde girmekte yine hesap yöntemi için kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır, yer çekimi ivmesi istediğimiz birimlere göre program tarafından hesap edilmektedir. Ayrıca kullanıcının ne kadar hassasiyetle çalıştığına göre

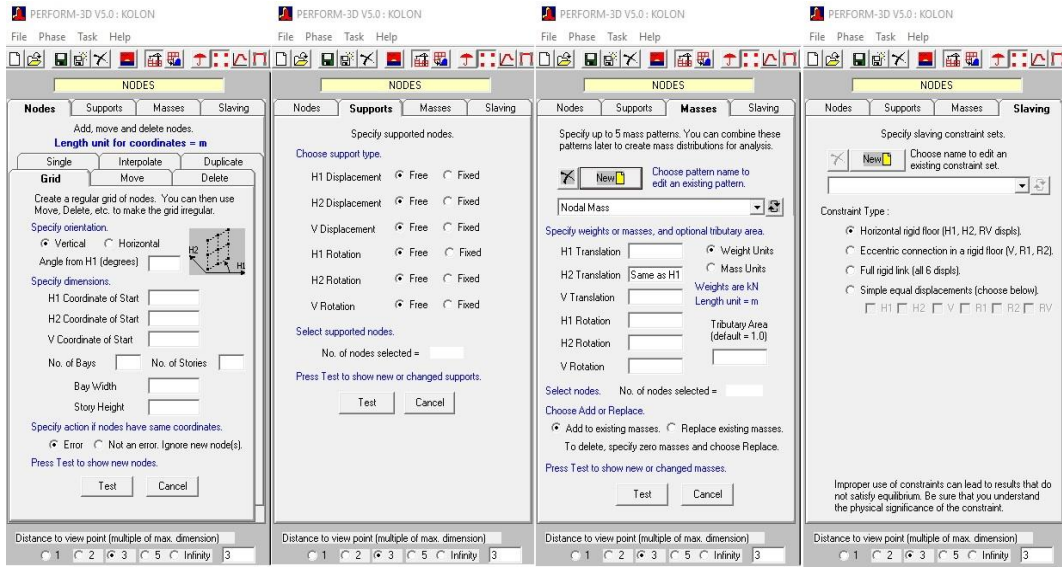
program içinde oluşturulmak istenen iki nokta arasındaki minimum mesafede bu giriş penceresinde belirtilmelidir.

Programda bir modeli oluşturmak iki aşamada gerçekleştirilmektedir;

1. Modelleme aşaması:

Bu aşamada şekil 1A'da görülen 11 adet bileşen yardımı ile yapı sistemi tanımlanabilir veya Sap2000 Etabs gibi programlarda var olan modellerin import/export edilmesiyle var olan bir yapı kontrollü bir şekilde programa aktarılabilmektedir. Bu bileşenler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

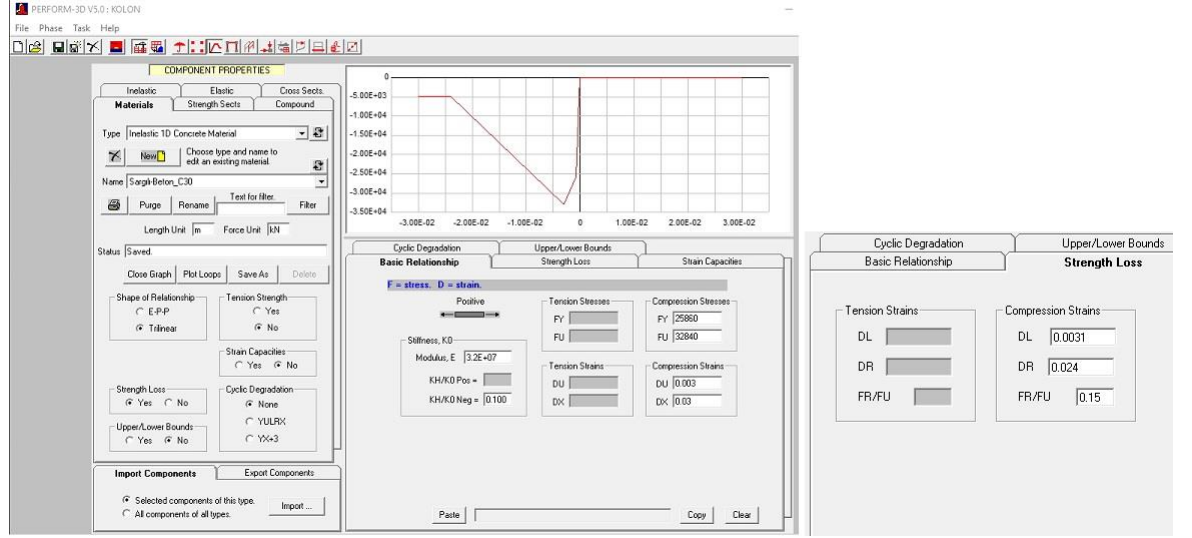
- a. Yapı hakkındaki özet bilgiler,
- b. Düğüm noktaları, bu kısımda yapının oluşturulmasında kullanılacak noktaların, aksların oluşturulması, var olanların değiştirilmesi gibi girdilerin yanı sıra, mesnet tanımlamaları, mass tanımı ve rijit diyaframlar bu bölümde tanımlanır. Şekil 2A' da genel bir şekilde bu kısım gösterilmiştir.



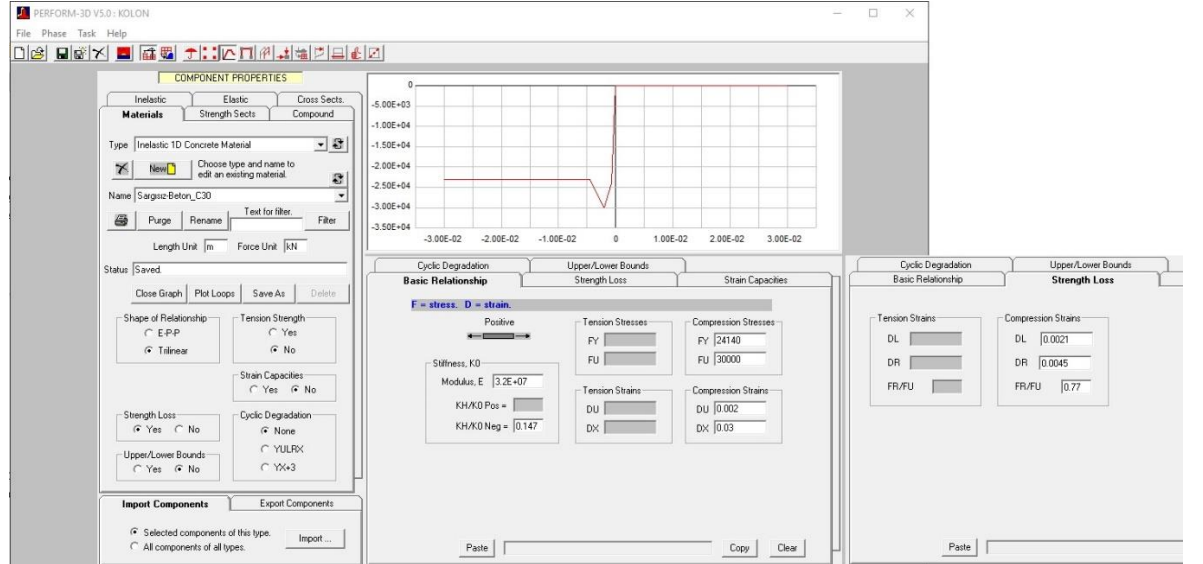
Şekil 1B: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- c. Bileşen özellikleri, burada yapı sistemini oluşturan bileşenlerin kolon, kiriş vs. malzeme tanımları, kesit özellikleri, elastik veya elastik olmayan davranış gösterecek şekilde tanımlanabilmektedir. Bu tez kapsamında oluşturulan kolon modellerinde kullanılan sargılı, sargısız beton ve donatı için doğrusal olmayan malzeme tanımları

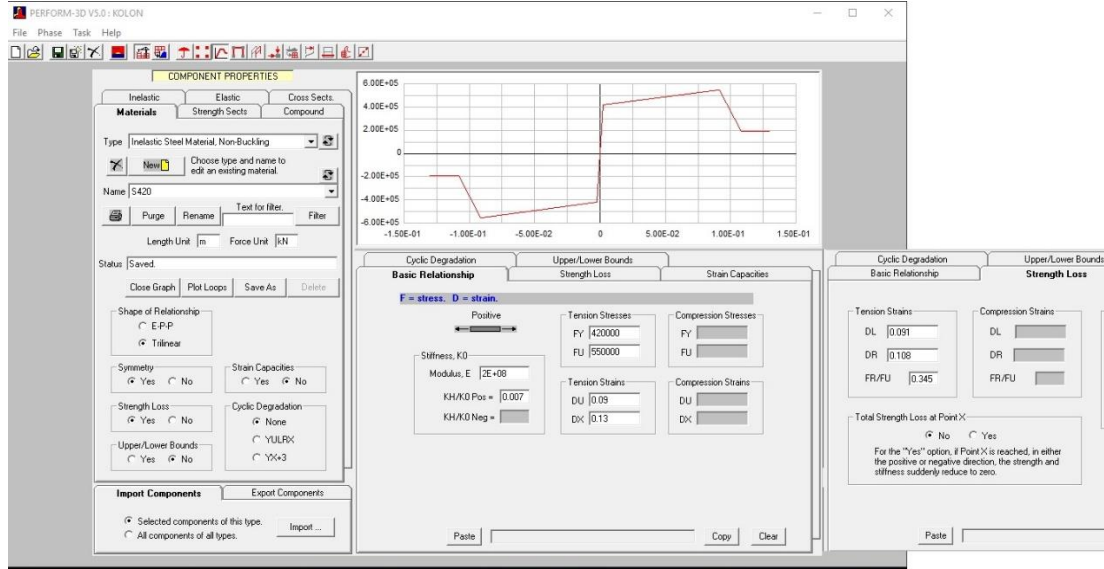
şekil 1C,1D,1E’de gösterilmiştir. Daha sonra kesitler kısmında, kesit bazında fiber elemanlara ayrılmış elastic olmayan kesit donatı ve beton olarak alan, x ve y koordinatlarıyla tanımlanarak kolon eleman şekil 1F’de gösterildiği gibi sonlu elemanlara ayrılmıştır. Oluşturulan bu kesit, compound bölümünde şekil 1G’de gösterildiği gibi bileşik olarak girilmelidir. Bu bölümde plastik mafsal var ise onun yeride tanımlanabilmektedir.



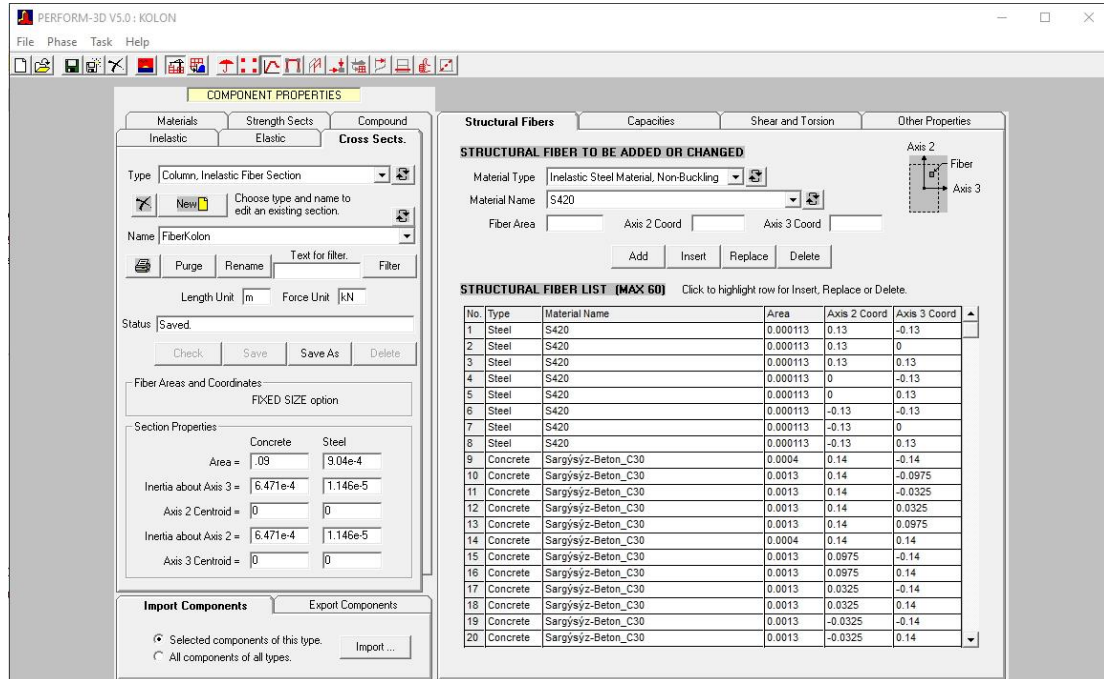
Şekil 1C: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.



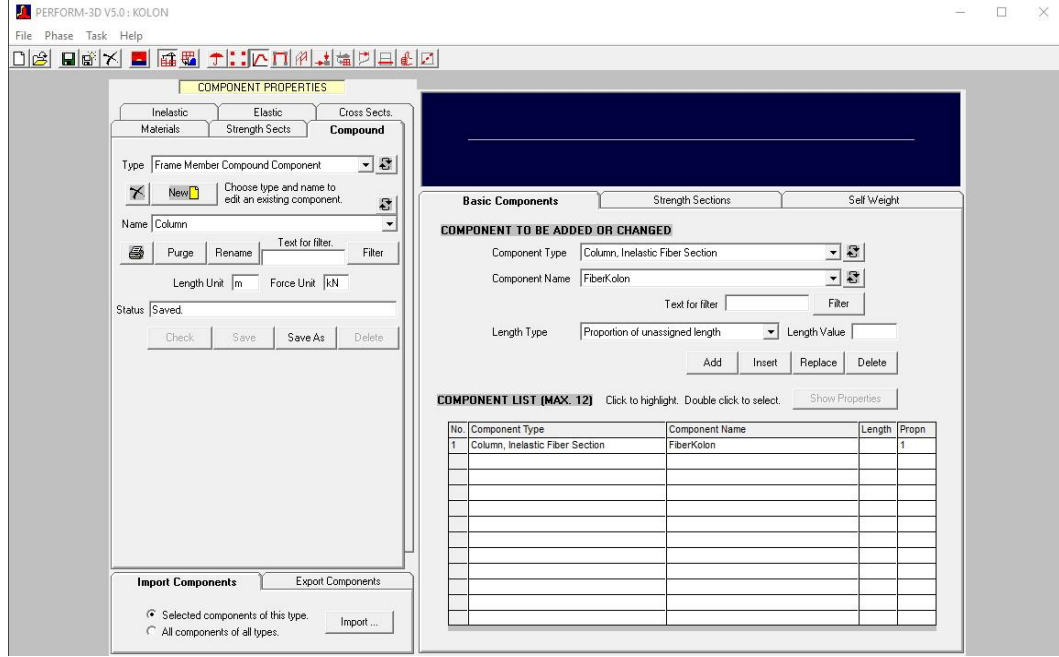
Şekil 1D: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.



Şekil 1E: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

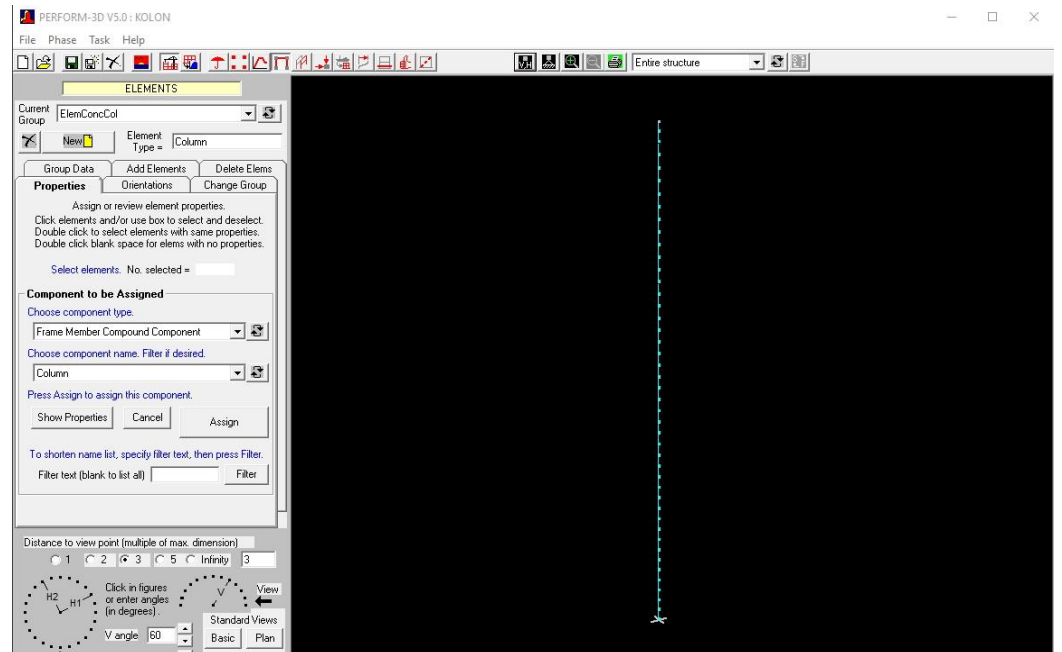


Şekil 1F: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

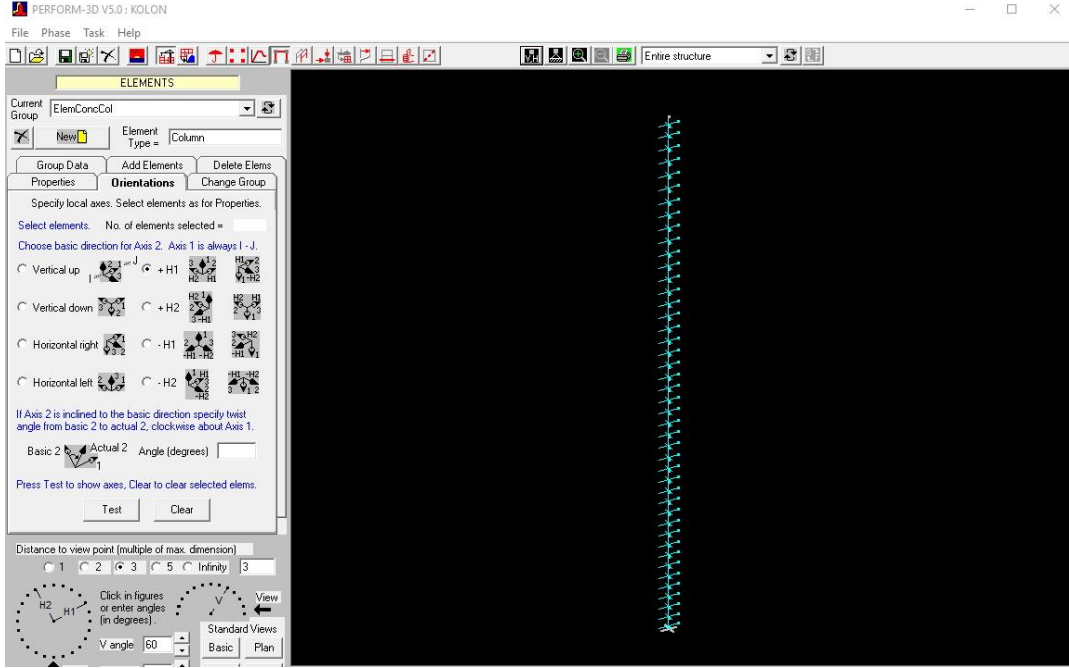


Şekil 1G: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

d. Elementler bölümünde oluşturulan kolon, kiriş vs. elemanların özelliklerinin tanımlanması (fiber kesit burada özellik olarak atanmalıdır şekil 1H'da gösterilmiştir), eklenip silinmesi ve gruplandırılması yapılmaktadır. Ayrıca şekil 1I'da gösterildiği gibi elementlerin eksen takımları belirtilmelidir. İkinci mertebeye etkileride burada p-delta etkilerinin etkiltilmesi seçeneğiyle etkin hale gelmektedir.

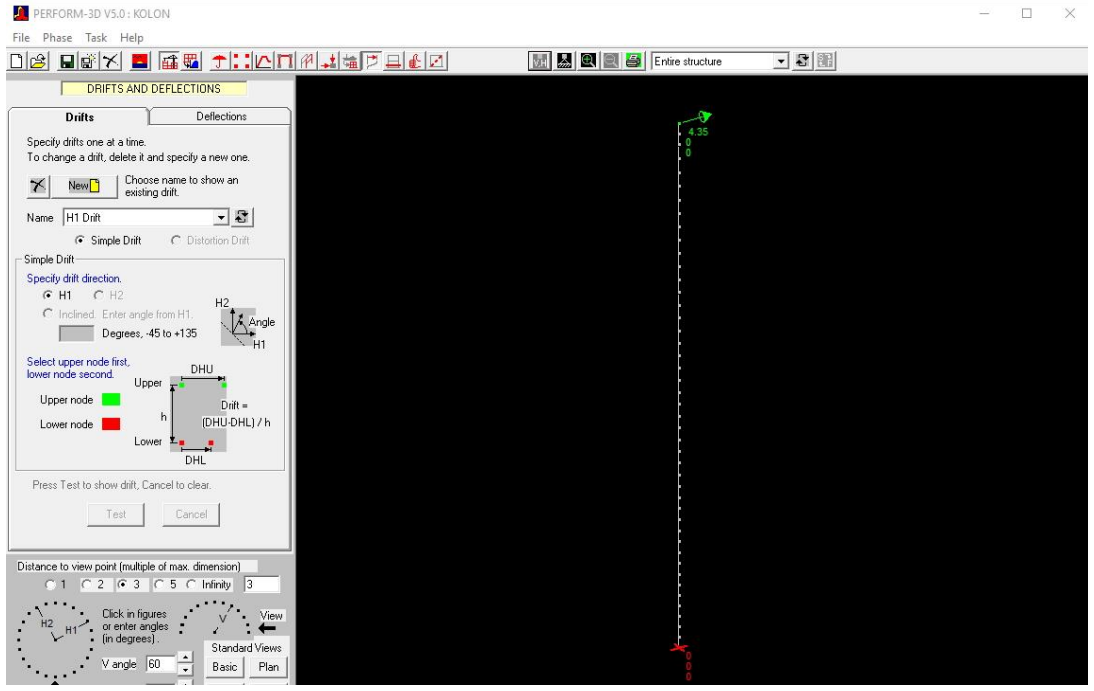


Şekil 1H: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.



Şekil 1I: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- e. Çerçeve eklenip çıkarılması,
- f. Yük parametreleri, bu kısımda noktasal yüklemeler, elementel yüklemeler ve zati ağırlık olarak tanımlanmaktadır. H1 x doğrultusunu, H2 y doğrultusunu ve V ise düşey doğrultuyu temsil etmektedir. Etkitilmesi gereken kuvvet veya momentler bu bölümde modele tanımlanmalıdır. Statik itme analizi için H1 doğrultusunda E, eksenel kuvvet içinse V doğrultusunda EKSENEL adlı yük parametreleri oluşturulmuştur.
- g. Import/export seçenekleri,
- h. Ötelenme ve deplasman tanımlanması, bu kısımda kontrolleri yapılacak ötelenme veya deplasmanlar tanımlanmalıdır. Şekil 1J'de gösterildiği gibi bu tezde modellenen konsol kolonların tepe deplasmanını okuyabilmek için H1 drifti tanımlanmıştır.

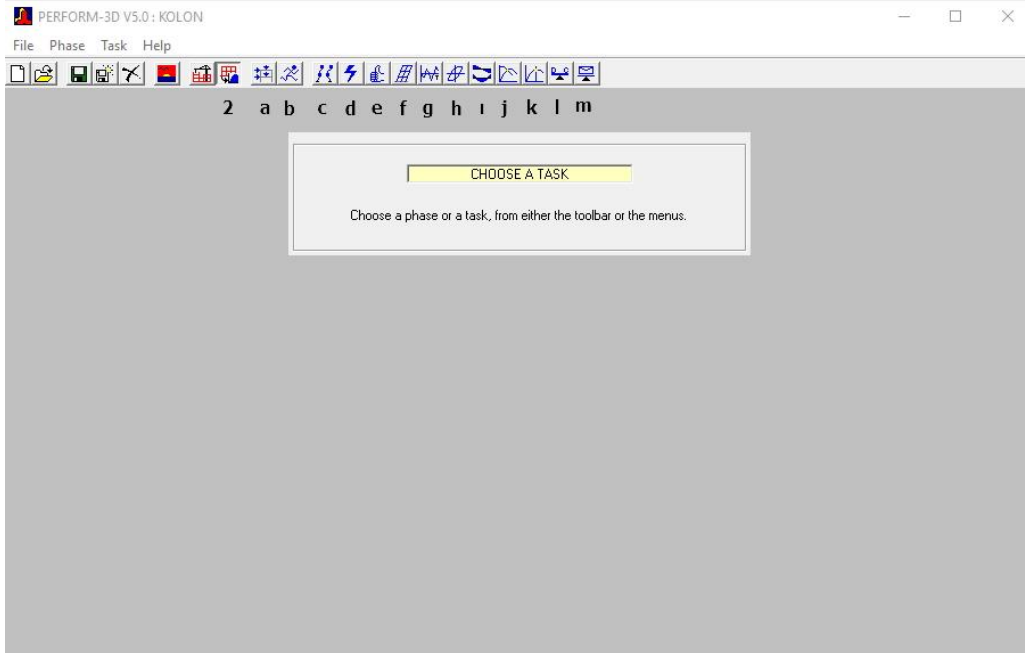


Şekil 1J: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- i. Yapısal kesitler, bu kısımda yapıda yapılması gereken kesitler için control kesitleri tanımlanmaktadır.
- j. Limit durumlar,
- k. Düşey yükler için ihmal edilen elementler, olarak 11 bileşen içinde gerekli kısımlar tamamlanarak analiz aşamasına geçilir.

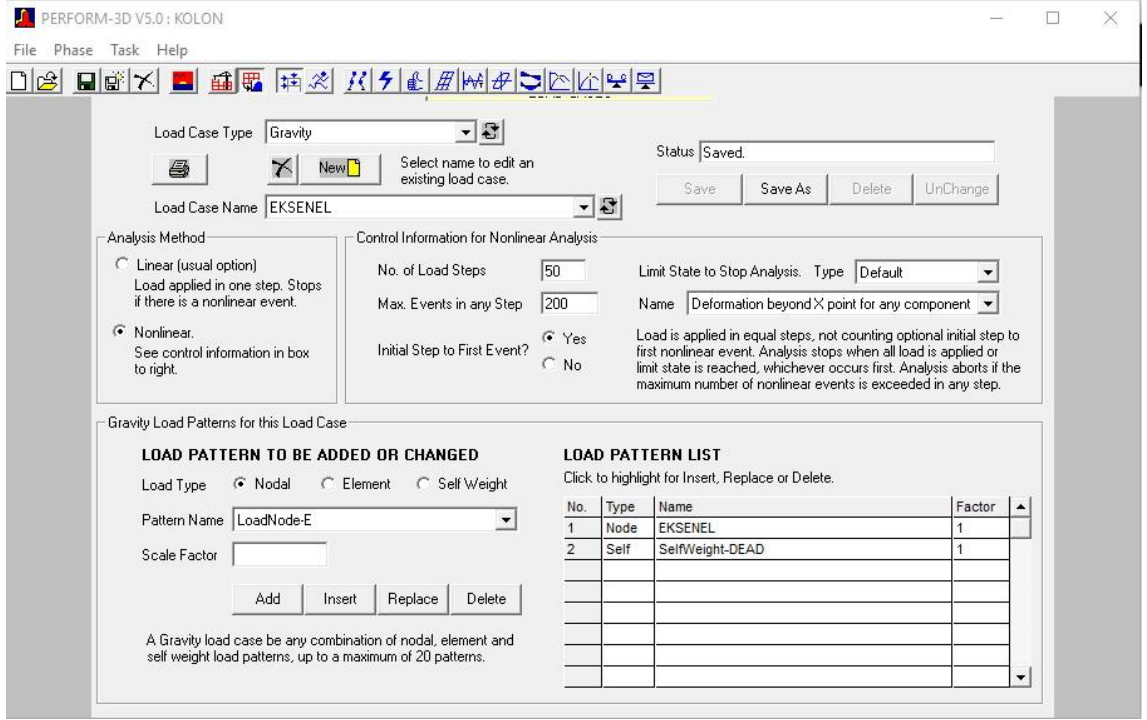
2. Analiz aşaması

Bu aşamada ise şekil 2A'da görülen 13 adet bileşen ile modelleme aşamasında oluşturulan yapı sistemi için statik veya dinamik yüklemeler ile doğrusal olmayan analizler yapılmaktadır. Bu bileşenler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

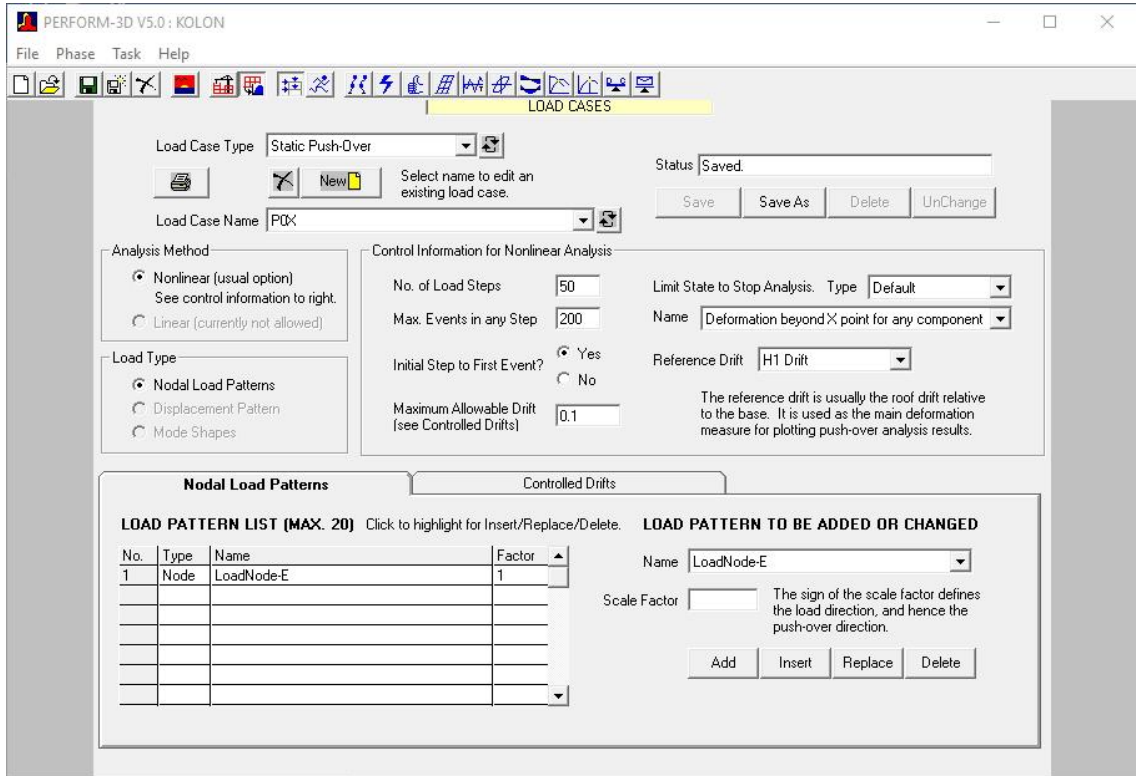


Şekil 2A: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- a. Yükleme durumları, bu bölümde doğrusal olmayan analizlerin yapılabilmesi için yapıya etkitilecek yüklerin yükleme durumları tanımlanmaktadır. Şekil 2B’de görülen yükleme durumu tiplerinde yer çekimi doğrultusunda EKSENEL olarak isimlendirilmiş doğrusal olmayan durumun tanımlanması verilmiştir. Bu yükleme durumu içerisinde modelleme aşamasında oluşturulan ve yapıya etkileyen eksenel kuvvet ile yapı zati ağırlığı etkitilmiştir. Bu analizin aşamaları 50 adım olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde P0X yük durumu adıyla static itme yükleme durumu tanımlanmıştır. Yine bu analiz içinde 50 aşama tanımlanmış ve maksimum göreceli kat ötelenmesi 0.10 olarak girilmiştir. Ayrıca referans ötelenme olarak modelleme aşamasında tanımlanan H1 ötelenmesi alınmıştır. Bu yükleme durumu gösterimi şekil 2C’de gösterilmiştir.



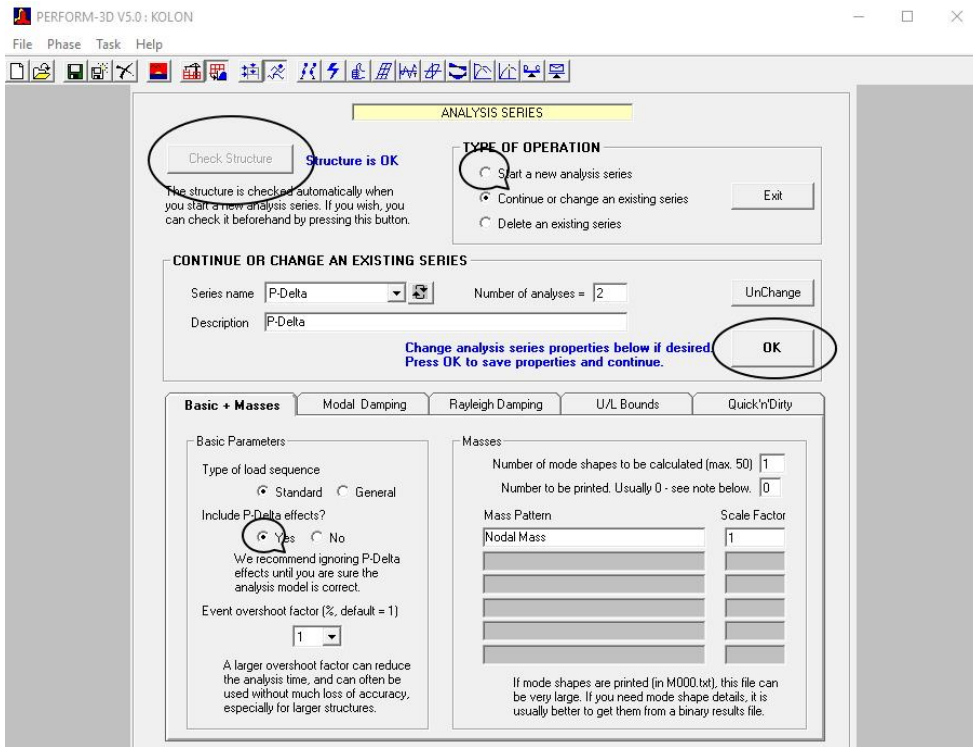
Şekil 2B: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.



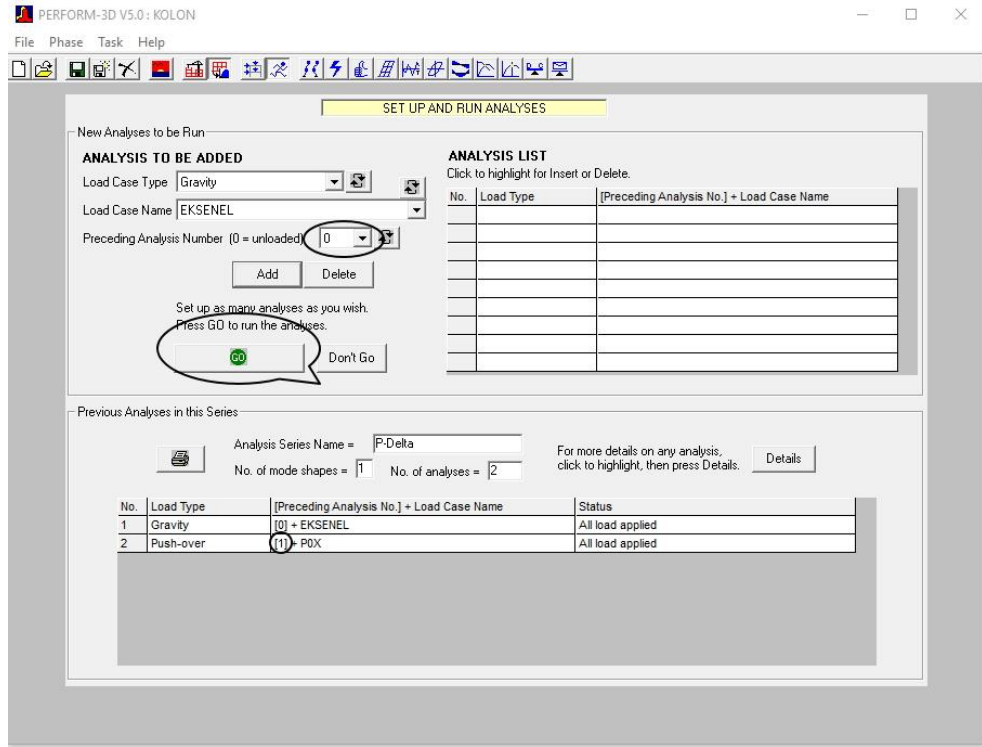
Şekil 2C: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- b. Analizin başlatılması, burada check structure seçeneği ile modellediğimiz yapıda eksiklikler var ise onun kontrolü yapılabilir. Yeni bir analiz serisi

başlatılarak ve adlandırılarak analize geçilir. P-Delta etkilerini içermesi içinde bir seçenek bu kısım içerisinde yer almaktadır. Bu işlemler yapıp kaydedilip devam ettikten sonra daha önce tanımladığımız yükleme durumları analiz listesine eklenir. Burada dikkat edilmesi gereken husus yer çekimi doğrultusundaki yükleme yapıldıktan sonra statik itme analizi yüklemesi, listeye ilk eklenen yük tipinin devamına etkitilir. Ardından Go seçeneği ile analiz başlatılır. Seride yer alan ve analiz yapılan yük tipleri o sayfanın alt kısmında gösterilmektedir. Bu kısım şekil 2D ve şekil 2E’de gösterilmiştir.

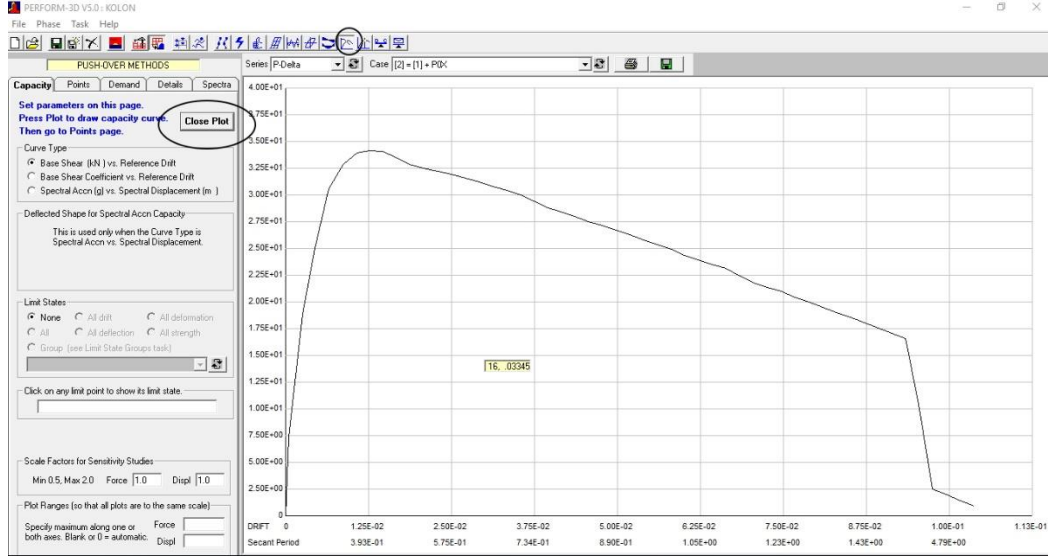


Şekil 2D: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.



Şekil 2E: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- c. Modal analiz sonuçları,
- d. Enerji dengesi,
- e. Limit durum gruplamaları,
- f. Şekil değiştirme,
- g. Zaman tanım alanı yüklemeleri,
- h. Histerik yüklemeler,
- i. İç kuvvet diyagramları
- j. Statik itme analiz sonucu çizimleri, bu kısımda şekil 2F’de gösterildiği gibi plot seçeneği ile modellemesi yapılan ve analiz için yüklemeleri yapılan modelin statik itme analizinin grafiksel gösterimi verilmektedir. Bu grafiğin verileri txt dosyası olarak kayıt edilerek gerekli yerlerde kullanılabilir.



Şekil 2E: Tepe deplasman-taban kesme grafiği.

- k.** Hedef deplasman statik itme analiz sonucu çizimleri,
- l.** Grafikler,
- m.** Kombinasyonlar, olarak 11 bileşen içinde gerekli kısımlar tamamlanarak analiz aşamasına geçilir.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Erol KILIÇ

Doğum Tarihi ve Yeri : 21.07.1990 Gümüşhacıköy/Amasya

E-posta : erol.kilic.90@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği