

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**I ENKESİTLİ, DEĞİŞKEN YÜKSEKLİKLİ PREFABRİK BETONARME
KİRİŞLERDE YANAL BURKULMANIN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemal COŞKUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**I ENKESİTLİ, DEĞİŞKEN YÜKSEKLİKLİ PREFABRİK BETONARME
KİRİŞLERDE YANAL BURKULMANIN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cemal COŞKUN
501111078**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111078 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cemal COŞKUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**1 ENKESİTLİ, DEĞİŞKEN YÜKSEKLİKLİ PREFABRİK BETONARME KİRİŞLERDE YANAL BURKULMANIN İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Canan GİRGIN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**

Savunma Tarihi : **26 Mayıs 2014**

Üzerimde emeđi geçen herkese,

ÖNSÖZ

Lisans öğrenimim sırasında kendisinden almış olduğum dersler ve lisans tezi sayesinde, bana bir mühendislik bakış açısı kazandıran, yüksek lisans tez çalışmam süresince bana değerli vaktini ayıran ve her konuda yardımını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN'a, yüksek lisans tez çalışmam sırasında zaman ayırıp, desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Metin AYDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana maddi manevi destek olan, her an yanımda olan aileme teşekkürleri bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Cemal COŞKUN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	27
1.1 Tezin Amacı	29
1.2 Literatür Araştırması	30
2. İNCE DİKDÖRTGEN KESİTLİ ÇELİK KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI	33
2.1 Dikdörtgen Kesitli Konsol Kirişlerin Yanal Burkulması	33
2.1.1 Konsol ucuna tekil yük etkimesi hali	33
2.1.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	33
2.1.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	37
2.1.2 Konsol boyunca yayılı yük etkimesi hali	41
2.1.2.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	41
2.1.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	42
2.2 Dikdörtgen Kesitli Basit Mesnetli Kirişlerin Yanal Burkulması	44
2.2.1 Kesit merkezine tekil yük etkimesi hali	44
2.2.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	44
2.2.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	46
2.2.2 Kiriş ağırlık merkezi boyunca yayılı yük etkimesi hali	49
2.2.2.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	49
2.2.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	49
3. SABİT I ENKESİTLİ ÇELİK KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI	53
3.1 I Konsol Kirişlerin Yanal Burkulması	53
3.1.1 Konsol ucuna tekil yük etkimesi hali	54
3.1.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	54
3.1.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	55
3.2 Basit Mesnetli I Kirişlerin Yanal Burkulması	56
3.2.1 Kesit merkezine tekil yük etkimesi hali	57
3.2.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	57
3.2.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	58
3.2.2 Kiriş ağırlık merkezi boyunca yayılı yük etkimesi hali	59
3.2.2.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap	59
3.2.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap.....	60
4. SABİT I ENKESİTLİ BASİT MESNETLİ BETONARME KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI	63
4.1 Elastik Stabilite Teorisi Kullanılarak Yapılan Hesap.....	63

4.1.1 Sistem, orta üst kesidinden tekil yükleme yapılması	64
4.1.2 Sistem üst başlık ekseninden düzgün yayılı yükleme yapılması.....	65
4.2 Sap2000 Sonlu Elemanlar Analiz Programı Kullanılarak Yapılan Hesap	66
4.2.1 Sistem, orta üst kesidinden tekil yükleme yapılması	68
4.2.1.1 Teorik hesap modeli	68
4.2.1.2 Uygulamalarda kullanılan sistem modeli	69
4.2.2 Sistem üst başlık ekseninden düzgün yayılı yükleme yapılması.....	75
4.2.2.1 Teorik hesap modeli	75
4.2.2.2 Uygulamada kullanılan hesap modeli	76
5. DEĞİŞKEN GEOMETRİ VE DEĞİŞKEN İ ENKESİTLİ BASİT	
MESNETLİ BETONARME KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI.....	81
5.1 Tekil Yük Etkisinde Alt Başlıklarından Tutulu Sistemler	82
5.1.1 Model 1	83
5.1.1.1 Berkitmesiz sistem	83
5.1.1.2 Tek berkitmeli sistem	87
5.1.1.3 İki berkitmekli sistem.....	91
5.1.1.4 Üç berkitmeli sistem.....	94
5.1.2 Model 2	98
5.1.3 Model 3	102
5.1.4 Model 4	106
5.2 Yayılı Yük Etkisinde Alt Başlıklarından Tutulu Sistemler	109
5.2.1 Model 1	109
5.2.1.1 Berkitmesiz sistem	110
5.2.1.2 Tek berkitmeli sistem	112
5.2.1.3 İki berkitmekli sistem.....	115
5.2.1.4 Üç berkitmeli sistem.....	118
5.3 Tekil Yük Etkisinde Alt Ve Üst Başlıklarından Tutulu Sistemler	121
5.3.1 Model 1a.....	121
5.3.2 Model 2a.....	124
5.3.3 Model 3a.....	128
5.3.4 Model 4a.....	131
5.4 Yayılı Yük Etkisinde Alt Ve Üst Başlıklarından Tutulu Sistemler.....	134
5.4.1 Model 1a.....	135
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	139
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	143

KISALTMALAR

x, y, z	: Dik koordinatlar
L	: Kiriş uzunluğu
P_{cr}	: Kritik burkulma yükü
E	: Çekme ve basınçta elastisite modülü.
G	: Kayma modülü
M	: Eğilme momenti
μ	: Poisson oranı
B₁	: xz düzlemindeki eğilme rijitliği
B₂	: yz düzlemindeki eğilme rijitliği
C	: Burulma rijitliği
D	: Başlığın eğilme rijitliği
u	: Yerdeğiştirme bileşeni
R	: Dönme bileşeni

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tekil yük etkisindeki konsol kirişin malzeme-kesit özellikleri ve kritik yanal burkulma yükü.....	36
Çizelge 2.2 : İnce dikdörtgen kesitli konsol kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.....	42
Çizelge 2.3 : Tekil ve yayılı yükler altında ilk 6 sistem burkulma mod faktörü.....	44
Çizelge 2.4 : Tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişin malzeme-kesit özellikleri ve kritik yanal burkulma yükü.....	46
Çizelge 2.5 : İnce dikdörtgen kesitli basit kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.....	49
Çizelge 3.1 : (3.4) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.....	55
Çizelge 3.2 : I kesitli konsol kiriş için malzeme, kesit, kritik yük ve gerilme değerleri.....	55
Çizelge 3.3 : (3.6) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.....	57
Çizelge 3.4 : Basit mesnetli I kesitli kiriş için malzeme, kesit, kritik yük ve gerilme değerleri.....	58
Çizelge 3.5 : (3.7) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.....	60
Çizelge 3.6 : I kesitli basit kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.....	60
Çizelge 4.1 : Basit mesnetli, tekil yükle yüklenmiş I kesitli kiriş için kritik m değerleri.....	64
Çizelge 4.2 : Basit mesnetli yayılı yükle yüklenmiş I kesitli kiriş için kritik m değerleri.....	65
Çizelge 4.3 : Düğüm noktaları yatay mesafeleri.....	66
Çizelge 4.4 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	71
Çizelge 4.5 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	72
Çizelge 4.6 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	74
Çizelge 4.7 : Düğüm noktası birim yük değerleri.....	75
Çizelge 4.8 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	77
Çizelge 4.9 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	78
Çizelge 4.10 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	78
Çizelge 4.11 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	80
Çizelge 5.1 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	84
Çizelge 5.2 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	86
Çizelge 5.3 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	87
Çizelge 5.4 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	88
Çizelge 5.5 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	89
Çizelge 5.6 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	90
Çizelge 5.7 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	92

Çizelge 5.8 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	93
Çizelge 5.9 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	94
Çizelge 5.10 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	95
Çizelge 5.11 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	97
Çizelge 5.12 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	98
Çizelge 5.13 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	99
Çizelge 5.14 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	101
Çizelge 5.15 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	102
Çizelge 5.16 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	103
Çizelge 5.17 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	104
Çizelge 5.18 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	105
Çizelge 5.19 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	107
Çizelge 5.20 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	108
Çizelge 5.21 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	109
Çizelge 5.22 : Düğüm noktası P(Buck) birim burkulma yükleri.....	109
Çizelge 5.23 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	110
Çizelge 5.24 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	111
Çizelge 5.25 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	111
Çizelge 5.26 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	112
Çizelge 5.27 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	113
Çizelge 5.28 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	113
Çizelge 5.29 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	114
Çizelge 5.30 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarındaki deplasmanlar.....	114
Çizelge 5.31 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	116
Çizelge 5.32 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	116
Çizelge 5.33 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	117
Çizelge 5.34 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	117
Çizelge 5.35 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	119
Çizelge 5.36 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	119
Çizelge 5.37 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	120
Çizelge 5.38 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	120
Çizelge 5.39 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	122
Çizelge 5.40 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	123

Çizelge 5.41 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	124
Çizelge 5.42 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	125
Çizelge 5.43 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	127
Çizelge 5.44 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	127
Çizelge 5.45 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	129
Çizelge 5.46 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	130
Çizelge 5.47 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	131
Çizelge 5.48 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	132
Çizelge 5.49 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	133
Çizelge 5.50 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	134
Çizelge 5.51 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	135
Çizelge 5.52 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.....	135
Çizelge 5.53 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.....	136
Çizelge 5.54 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarındaki deplasmanlar..	137
Çizelge 6.1 : Dikdörtgen kesitli çelik kirişlerde yanal burkulma özet tablosu.....	139
Çizelge 6.2 : I kesitli çelik kirişlerde yanal burkulma özet tablosu.....	139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Betonarme çatı ana kirişi.....	27
Şekil 1.2 : Kiriş enkesit şekilleri.....	28
Şekil 1.3 : Kiriş gövde başlık kesitleri.....	28
Şekil 1.4 : Kiriş gövdelerindeki berkitmelerin görünüşü.....	29
Şekil 2.1 : İnce dikdörtgen kesitli bir konsol kirişin yanal burkulması.....	34
Şekil 2.2 : Malzeme ve kesit özelliklerinin tanımlanması.....	38
Şekil 2.3 : Yüklerin tanımlanması.....	38
Şekil 2.4 : Yük bilgilerinin tanımlanması.....	39
Şekil 2.5 : Oluşturulan model ve kesit özelliklerinin görünümü.....	39
Şekil 2.6 : Mesnet koşullarının tanımlanması.....	40
Şekil 2.7 : Burkulma(Tekil) yükünün etkitilmesi.....	40
Şekil 2.8 : Mod 1 kritik burkulma yükü.....	41
Şekil 2.9 : Mod 1 Kritik burkulma şekli.....	41
Şekil 2.10 : Sap2000 Programında Yayılı Burkulma Yük Bilgilerinin Tanımlanması.....	42
Şekil 2.11 : Burkulma(Yayılı) yükünün etkitilmesi.....	43
Şekil 2.12 : Mod 1 kritik burkulma yükü.....	43
Şekil 2.13 : Mod 1 kritik burkulma şekli.....	43
Şekil 2.14 : İnce dikdörtgen kesitli basit mesnetli kirişin yanal burkulması.....	45
Şekil 2.15 : Basit mesnetli kiriş modeli.....	47
Şekil 2.16 : Mesnet koşullarının tanımlanması.....	47
Şekil 2.17 : Burkulma(Tekil) yükünün etkitilmesi.....	48
Şekil 2.18 : Mod 1 kritik burkulma yükü.....	48
Şekil 2.19 : Mod 1 kritik burkulma şekli.....	48
Şekil 2.20 : Burkulma(yayılı) yükünün etkitilmesi.....	50
Şekil 2.21 : Mod 1 kritik burkulma yükü.....	50
Şekil 2.22 : Mod 1 Kritik Burkulma Yükü.....	50
Şekil 3.1 : I kiriş genel görünüm.....	56
Şekil 3.2 : Buck(Tekil) burkulma yüklemesi.....	56
Şekil 3.3 : Burkulma modu ve kritik yük.....	56
Şekil 3.4 : I kiriş mesnet koşulları.....	58
Şekil 3.5 : Buck(Tekil) burkulma yüklemesi.....	58
Şekil 3.6 : Burkulma modu ve kritik yük.....	59
Şekil 3.7 : Burkulma modu şekli.....	59
Şekil 3.8 : I kiriş mesnetlenme görünümü.....	60
Şekil 3.9 : Burkulma Yükleme.....	60
Şekil 3.10 : Mod 1 kritik burkulma yükü.....	61
Şekil 3.11 : Mod 1 kritik burkulma şekli.....	61
Şekil 4.1 : Hesaba esas betonarme I kesit ve eşdeğer kesit.....	63
Şekil 4.2 : Sistem genel görünüşü.....	66
Şekil 4.3 : Sistem gövde kesidi plak eleman tanımlanması.....	66

Şekil 4.4 : Sistem üst başlık çubuk eleman tanımlanması.....	67
Şekil 4.5 : Sistem alt başlık çubuk eleman tanımlanması.....	67
Şekil 4.6 : Mesnet koşullarının tanımlanması.....	68
Şekil 4.7 : P(Buck) burkulma yükünün tanımlanması.....	68
Şekil 4.8 : P(Buck) burkulma yükünün yüklenmesi.....	69
Şekil 4.9 : P(Buck) yüklemesi altındaki şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	69
Şekil 4.10 : Kabuk eleman kesitleri.....	69
Şekil 4.11 : P(Buck), P1 ve P1(Buck) yük tanımları.....	70
Şekil 4.12 : P(Buck) yüklemesi.....	70
Şekil 4.13 : P(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	71
Şekil 4.14 : P1 yüklemesi.....	71
Şekil 4.15 : P1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	72
Şekil 4.16 : P(lateral) yük tanımı.....	73
Şekil 4.17 : Py yüklemesi.....	73
Şekil 4.18 : P(lateral) yüklemesi sonucu oluşan yatay ve düşey deplasmanlar.....	73
Şekil 4.19 : P1(Buck) yüklemesi.....	74
Şekil 4.20 : P1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	74
Şekil 4.21 : Birim yük değerleri hesaplanması.....	75
Şekil 4.22 : Q(Buck) yüklemesi.....	75
Şekil 4.23 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	76
Şekil 4.24 : Q(Buck), Q1 ve Q1(Buck) yük tanımları.....	76
Şekil 4.25 : Q(Buck) yüklemesi.....	77
Şekil 4.26 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	77
Şekil 4.27 : Q1 yüklemesi.....	78
Şekil 4.28 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	78
Şekil 4.29 : Q1 yüklemesi sonucu alt- üst başlık eksenel yükler.....	79
Şekil 4.30 : Q1(Buck) yüklemesi.....	79
Şekil 4.31 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	79
Şekil 5.1 : Çatı kiriş modeli kesit görünüşü-1.....	81
Şekil 5.2 : Çatı kiriş modeli kesit görünüşü-1.....	81
Şekil 5.3 : Model1, 2, 3 ve 4 genel görünüş.....	82
Şekil 5.4 : Model1, 2, 3 ve 4 mesnetlenme şekilleri.....	82
Şekil 5.5 : P(Buck), P1 ve P1(Buck) yüklemelerinin tanımlanması.....	83
Şekil 5.6 : Yük tiplerinin tanımlanması.....	83
Şekil 5.7 : P(buck) yüklemesi.....	84
Şekil 5.8 : P(buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	84
Şekil 5.9 : P1 yüklemesi.....	85
Şekil 5.10 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	85
Şekil 5.11 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.....	85
Şekil 5.12 : P1(Buck) yüklemesi.....	86
Şekil 5.13 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	86
Şekil 5.14 : Tek berkitmeli sistem genel görünüş.....	87
Şekil 5.15 : P(Buck) yüklemesi.....	88
Şekil 5.16 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	88
Şekil 5.17 : P1 yüklemesi.....	89
Şekil 5.18 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	89
Şekil 5.19 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.....	89
Şekil 5.20 : P1(Buck) yüklemesi.....	90
Şekil 5.21 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.....	90
Şekil 5.22 : Çift berkitmeli sistem genel görünüş.....	91

Şekil 5.23 : P(Buck) yüklemesi.	91
Şekil 5.24 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	91
Şekil 5.25 : P1 yüklemesi.	92
Şekil 5.26 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	92
Şekil 5.27 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	93
Şekil 5.28 : P1(Buck) yüklemesi.	93
Şekil 5.29 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	94
Şekil 5.30 : Üç berkitmeli sistem genel görünüş.	94
Şekil 5.31 : P(Buck) yüklemesi.	95
Şekil 5.32 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	95
Şekil 5.33 : P1 yüklemesi.	96
Şekil 5.34 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	96
Şekil 5.35 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	96
Şekil 5.36 : P1(Buck) yüklemesi.	97
Şekil 5.37 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	97
Şekil 5.38 : P(Buck) yüklemesi.	98
Şekil 5.39 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	99
Şekil 5.40 : P1 yüklemesi.	100
Şekil 5.41 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	100
Şekil 5.42 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	100
Şekil 5.43 : P1(Buck) yüklemesi.	101
Şekil 5.44 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	101
Şekil 5.45 : P(Buck) yüklemesi.	102
Şekil 5.46 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	103
Şekil 5.47 : P1 yüklemesi.	103
Şekil 5.48 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	104
Şekil 5.49 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	104
Şekil 5.50 : P1(Buck) yüklemesi.	105
Şekil 5.51 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	105
Şekil 5.52 : P(Buck) yüklemesi.	106
Şekil 5.53 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	106
Şekil 5.54 : P1 yüklemesi.	107
Şekil 5.55 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	107
Şekil 5.56 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	108
Şekil 5.57 : P1(Buck) yüklemesi.	108
Şekil 5.58 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	109
Şekil 5.59 : Q(Buck) yüklemesi.	110
Şekil 5.60 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	110
Şekil 5.61 : Q1 yüklemesi.	111
Şekil 5.62 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	111
Şekil 5.63 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	112
Şekil 5.64 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	113
Şekil 5.65 : Q1 yüklemesi.	113
Şekil 5.66 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	114
Şekil 5.67 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	114
Şekil 5.68 : İki berkitmeli sistem genel görünüş.	115
Şekil 5.69 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	115
Şekil 5.70 : Q1 yüklemesi.	116
Şekil 5.71 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	116
Şekil 5.72 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.	117

Şekil 5.73 : Üç berkitmeli sistem genel görünüşü.	118
Şekil 5.74 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	118
Şekil 5.75 : Q1 yüklemesi.	119
Şekil 5.76 : Q1 yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	119
Şekil 5.77 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	120
Şekil 5.78 : Model1a, 2a, 3a ve 4a genel görünüşü.	121
Şekil 5.79 : Model1a, 2a, 3a ve 4a mesnetlenme şekilleri.	121
Şekil 5.80 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	122
Şekil 5.81 : P1 yüklemesi.	122
Şekil 5.82 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	123
Şekil 5.83 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	123
Şekil 5.84 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	124
Şekil 5.85 : P(Buck) yüklemesi.	125
Şekil 5.86 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	125
Şekil 5.87 : P1 yüklemesi.	126
Şekil 5.88 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	126
Şekil 5.89 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	126
Şekil 5.90 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	127
Şekil 5.91 : P(Buck) yüklemesi.	128
Şekil 5.92 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	128
Şekil 5.93 : P1 yüklemesi.	129
Şekil 5.94 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	129
Şekil 5.95 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	130
Şekil 5.96 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	130
Şekil 5.97 : P(Buck) yüklemesi.	131
Şekil 5.98 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	132
Şekil 5.99 : P1 yüklemesi.	132
Şekil 5.100 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	133
Şekil 5.101 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.	133
Şekil 5.102 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	134
Şekil 5.103 : Q(Buck) yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	135
Şekil 5.104 : Q1 yüklemesi.	136
Şekil 5.105 : Q1 yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	136
Şekil 5.106 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.	137

I ENKESİTLİ, DEĞİŞKEN YÜKSEKLİKLİ PREFABRİK BETONARME KİRİŞLERDE YANAL BURKULMANIN İRDELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; geniş açıklıklı, değişken yükseklikli, I enkesitli betonarme öngermeli prefabrik kirişlerin, düşey yükler altında oluşması muhtemel yanal burkulma probleminin, S. Timoshenko'nun Elastik Stabilite Teorisi esasları kapsamında teorik yönden ve Sonlu Elemanlar Analiz Programı olan SAP2000 programı yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

Öncelikle konsol ve basit mesnetli çelik levhaların yanal burkulmaya neden olan kritik yükler, elastik stabilite teorisinden elde edilen diferansiyel denklemler yardımıyla hesaplanmış, SAP2000 programıyla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. SAP2000 analizinde dikdörtgen kirişin gövdesi sonlu sayıda parçaya bölünerek shell(kabuk) sonlu elemanlarla idealize edilmiştir.

Çalışmanın devamında sabit I enkesitli çelik kirişlerin düzlemi içindeki yükler altında, konsol ve basit mesnetli halleri için yanal burkulmaları incelenmiştir. Teorik hesaplarda yükler kesit ağırlık merkezinden etkileceği, sonlu elemanlar modelinde ise kesitin alt ve üst başlıklarının merkezinden etkideği kabul edilmiştir. Konsol kirişler için gövde ve başlık olarak kabuk model, basit mesnetli kirişler için gövde kabuk, başlıklar çubuk eleman olarak düzenlenmiştir.

İlerleyen kısımda sabit I enkesitli betonarme kirişlerin düzlemi içindeki yükler altında basit mesnetli olması durumu incelenmiştir. Öncelikle mesnet bölgelerinde dolu gövdeli olmayan teorik model üzerinde yapılacak olan inceleme, SAP2000 programında önce mesnede yakın bölgelerde dolu gövdeli olmayacak şekilde modellenerek teorik hesapla karşılaştırma yapılmıştır.. Ardından her iki mesnette mesnede yakın bölgelerde toplam açıklığın 1/12,5'i kadar uzunluğunda dolu gövdeli olacak şekilde modellenmiştir. Bu şekilde dolu gövdeli başlık kısmının yanal burkulmaya olan etkisi de irdelenmiştir.

Çalışmanın son kısmında değişken yükseklikli, I enkesitli betonarme kirişlerin düşey yükler altında incelenmesi yapılmıştır. Basit mesnetli olarak incelenecek sistem modeli, mesnet kısımlarında üst başlıklarından tutulu ve üst başlıklarından tutulu olmayan olmak üzere 2, yüklemelerin sistem üst kesidi; 1/3'ü üst, 2/3'ü alt kesidi; 2/3'ü üst, 1/3'ü alt kesidi ve alt başlık kesidinden yapılmak üzere 4 tip model de incelenmiştir. Böylece sistemde üst başlıkların tutulu olması durumunun ve yükün etkideği noktaların yanal burkulma üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Sadece alt başlık kesidinden mesnetli sistemlerin, tekil yükün üstten yapılması durumu berkitmeli ve berkitmesiz olarak incelenmiştir. Berkitmeler 20cm kalınlığında kabuk elemanlardan oluşturulmuş olup, sistem üzerine tek noktadan (merkez) 2 noktadan (kesit 1/3'lerinden) ve 3 noktadan (merkezden ve kalan parçaları 2 eşit parçaya bölen) sisteme eklenmiştir. Böylece sistem üzerine eklenecek berkitmelerin adedine göre yanal burkulmadaki değişim izlenmiştir. Yayılı yük altında alt başlıklarından

tutulu sistemlerin berkitmeli ve berkitmesiz olma durumlarında incelenmiştir. Ayrıca sabit enkesitli ve değişken enkesitli olma durumları karşılaştırılmıştır.

Mesnet bölgelerinin dolu gövdeli olarak oluşturulması, mesnet bölgelerindeki yüksek kesme kuvvetlerini karşılamaya yanı sıra yanal burkulma yükünün üzerinde, %20'lik arttırıcı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sistemin hem alt hemde üst başlığında mesnetli olması, sadece alt başlığında mesnetli olması durumuna göre burkulma yükünü %1 artmıştır.

Sistem üzerinde burkulma yükü, yükün etki ettiği noktanın kesit üst kısmından altına doğru inildikçe artış göstermiştir. Yalnız alttan yüklü sistemler, sadece üstten yüklü sistemlere göre %15-16 daha yüksek bir yük seviyesine kadar yanal burkulmaya uğramadan stabil olarak kalabileceği gözlemlenmiştir.

Merkezden tek berkitmeli sistemler berkitmesiz sistemlere göre %0,3-0,5; sistemi üç parçaya ayıran çift berkitmeli sistemlerde %2,5-3,5 ve sistemi dört parçaya ayıran üç berkitmeli sistemlerde %4,2-4,3 mertebesinde daha yüksek bir yük seviyesine kadar yanal burkulmaya uğramadan stabil olarak kalabileceği gözlemlenmiştir.

Sabit enkesitli ve değişken yükseklikli I kirişlerin karşılaştırılmasında, kiriş ortasındaki yükseklik esas alınarak yapılan sabit enkesitli model, değişken yükseklikli modele göre %12,7 daha yüksek bir yanal burkulma yüküne ulaşmıştır. Fakat sistemin ağırlığındaki artış, burkulma yükü açısından daha elverişsiz bir sonucu ortaya çıkartacağı görülmüştür.

INVESTIGATION ON LATERAL BUCKLING OF VARIABLE DEPTH PRECAST CONCRETE I-BEAMS

SUMMARY

In this study; the target is the comparable examination of wide-span, variable-depth, I cross sectioned concrete precast prefabricated beam, the presumptive problem of lateral buckling under vertical loading, with the guidance of SAP2000.v15.0 which is within the scope of S.Timoshenko's theory of elastic stability in theoretical aspect and finite elements analysis software.

As a theoretical part of the investigations, beam which is bent in the plane of greatest flexural rigidity may buckle laterally at a certain critical value of the load. In the design of beams of without lateral support, this lateral provided the flexural rigidity of the beam in the plane of bending is large in comparison with the lateral bending rigidity. The beam stable, as long as the load on such a beam is below the critical value. As the load increase, a condition is reached at which a slightly deflected from equilibrium becomes possible. The plane configuration of beam is unstable, and the lowest load at which this critical condition occurs represents the critical load for the beam.

Subjected to arbitrary loads acting in yz plane, is the plane of maximum rigidity. Small lateral deflection occurs under the action of these loads. From the differential equation of deflected beam, can easily calculate the critical values of the loads. Fixed coordinates shall be use in deriving differential equations as axes x, y, z. Simply supported beam is bent in yz plane by a load P applied at the centroid of the middle cross section, lateral buckling may occur when the load reaches a certain critical value.

First, the critical loads that will cause lateral buckling on console and simple supported steel plates are calculated with the help of differential equations from the elastic stability theory, and the results are compared with the values obtained from the Sap2000 computer software. In the Sap2000 analysis, the rectangle beam body divided into finite element and shell is idealized with the finite elements. The analysis carried out under both joint load and concentrated load at the middle. Lateral buckling investigation at cantilever steel rectangular beam carried out on the dimensions of 15m length, 1,5m height and 5 cm thickness element. Initially the analyze executed under point and concentrated load. Then supports of the beam has been changed with simply supported system with same dimentions of the beam. In all these cases, theory of elastic stability and Sap2000 gives rather small differences between the critical values of lateral buckling.

In next part of study, under the loads in the stable I cross-sectioned steel beam, the lateral buckling for console and simple supported conditions are examined. In theoretical calculations it is accepted that loads will be applied in the cross section center of gravity, and for the finite element model, the center of upper and lower heads of the system. Console beams, for body and head the shell model, simple supported beam body shell, the heads will be arranged as a frame element. Lateral

buckling investigation at cantilever steel rectangular beam carried out on the dimensions of 12m length, 1,0m height and 1,9 cm flange thickness, 30cm flange width and 1,1cm web thickness element. Initially the analyze executed under point load. After then fixing of the beam has been changed with simply supported system with same dimentions of the I beam. In all these cases, theory of elastic stability and Sap2000 gives minor differences between the critical values of lateral buckling.

Onward, the condition in which under the loads stable I cross-sectioned reinforced concrete replaced with simple braced plates will be examined. Since the results obtained from the reinforced concrete which is 25 m in length, 1.7 m in height, head width of 35 cm, and body thickness 10 cm, showed that the results from Sap2000 and theoretical values are almost identical, it is decided that Sap2000 finite elements calculation and analysis software can be used for lateral buckling analysis. Thereafter, all the necessary calculations are done using Sap2000. Primarily, the examination of theoretical model of non-filled body model in the braced areas, using Sap2000 first it will be modeled with non-filled head and a comparison will be made with the theoretical calculations. Then, another model with the filled head sections will be done and with this process, the lateral buckling affect of filled head sections will be studied.. In analyzed shows that variable height I beams can be calculated by using Sap2000 computer software. By taking advantage of computer software, different type of beams can be analyzed fastly and safely.

Taking consider for second order effects, P(lateral) loads applied to the system. Vertical and horizontal second order displacements are examined with this P-delta load. P(lateral) load is the sum of two loads. One of them P1 vertical static load and the other one Py (1kN) lateral load. When we compared with p-delta effects and under static loads, results are very similar. Loading will be applied just under static loads.

Prefabricated reinforced concrete I-beams buckle laterally as expected. In analyzed variable height I beams can be calculated by using Sap2000 computer software. By taking advantage of computer software, different type of beams can be analyzed fastly and safely.

In the final part of the study, the examination of variable height, I cross-sectioned reinforced concrete beam will be done under vertical loading. The system model that will be examined in simple braced, 2 model with upper parts hold and upper parts not hold, and 4 more models with loadings will be applied from the upper section; 1/3 from upper, 2/3 from lower section; 2/3 from upper, 1/3 from lower section; and lower section will also be examined. Thus, effect of the upper head hold condition and centers where load is applied conditions are examined on the lateral buckling. Only lower head section braced systems, single load applied from upper side condition will be examined in both with stiffner and non-stiffner model. Stiffners will be created with 20 cm thick shell elements, and will be added to the system in one point (center), 2 points (sections 1/3's), and 3 points (center and 2 equal parts of the remaining). By this way, according to the number of stiffners added to the system, the changes on the lateral buckling will be monitored. Under spread loading, the lower head section hold systems will be examined in both stiffner and non-stiffner conditions. Besides, stable cross-sectioned and variable cross-sectioned conditions will be compared.

It is observed that the use of filled body head sections not only compensate the high shear force, it also 20% increase on the lateral buckling load. There are three different results obtained from the variable height beams in the last section.

First of them, the system that is braced in both upper and lower head section showed increase of 1% of buckle load when compared to the system with only lower head bracing.

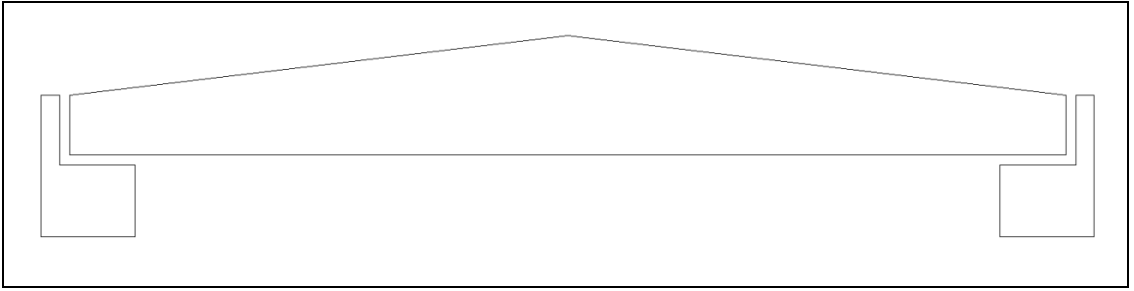
The point of impact is very important for lateral buckling load. As a descended from top part of the beam to the down, lateral buckling load has been increased. Only bottom of the loaded systems gives 15-16% critical lateral buckling load value then the top part loaded systems.

The comparison of the systems without stiffeners or with stiffeners(one, two & three), system with one stiffener gives 0,3-0,5% greater, system with two stiffeners 2,5-3,5% greater and system with three stiffeners 4,2-4,3% greater value of lateral buckling loads.

The comparison of the constant cross section I beam with variable height cross section I beam, constant height beam gives 12,7% greater lateral buckling value than variable height system. However, increase in weight of the system gives more unfavorable results.

1. GİRİŞ

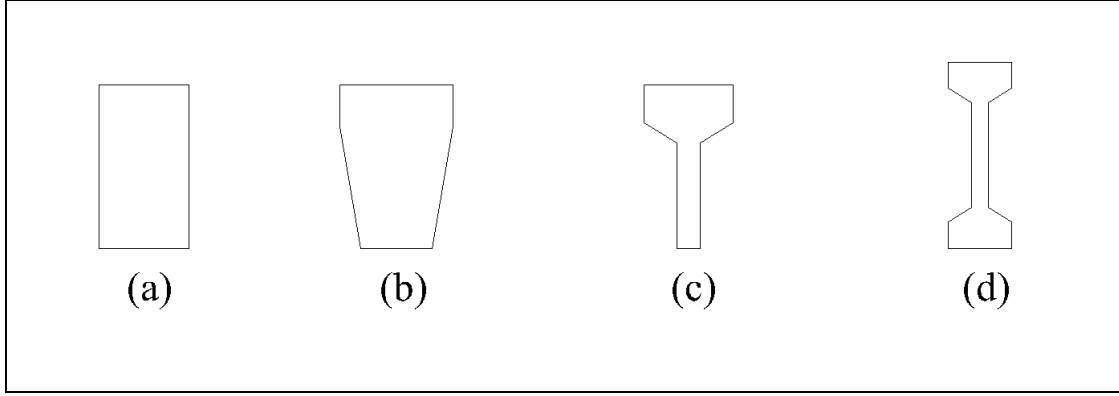
Fabrika, depo gibi binalarda, oldukça büyük açıklıkların geçilmesi(10m-30m) halinde betonarme veya öngermeli prefabrik çatı ana kirişlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Kaplama malzemesinin cinsine bağlı olarak bu kirişlerin üstüne uygun eğim verilmekte, altı genel olarak yatay yapılmaktadır (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 : Betonarme çatı ana kirişi.

Çatı ana kiriş kesitleri belirlenirken Aka ve Altan (1992) Betonarme Taşıyıcı Sistemler adlı kitabında belirtildiği gibi:

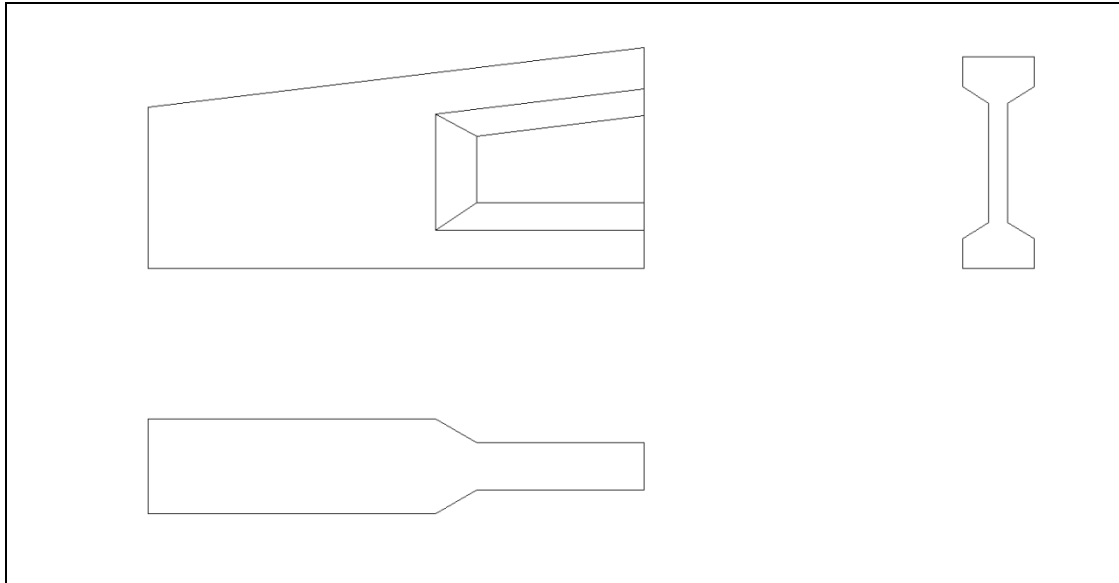
- a) Eğilme ve kesme etkilerinin güvenlikle karşılanması
- b) Kesit alanının küçük olması (Hem malzeme tasarrufu, hemde taşıma ve yerleştirme maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak kiriş ağırlığının azalması bakımlarından).
- c) Kalıbın basit bir biçimde yapılması ve kolay sökülmesi
- d) Donatının kolay yerleştirilmesi
- e) Beton dökümünde sıkıntı yaşanmaması gibi hususların dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 1.2 : Kiriş enkesit şekilleri.

Dikdörtgen enkesit b koşulunu sağlamaması nedeniyle ancak küçük açıklıkların geçilmesi halinde uygulanmaktadır. Açıklık bir miktar büyüdükçe basınç başlığı geniş tutulurken (Şekil 1.2 (b) ve (c))’deki gibi gövdeyi inceltmeye çalışılmaktadır. Ancak büyük momentler ortaya çıktığında, donatı yerleşiminin kolaylaştırılması ve çatlak kontrollerini sağlamak açısından Şekil 1.2 (d)’deki gibi çekme başlığının oluşturulması da zorunlu hale gelir. Kalıp sökümü ve beton dökümü bakımından başlıkların gövdeye bağlantılarının şekildeki gibi eğik yapılması uygun olmaktadır.

Kesme kuvvetlerinin büyük olduğu mesnet kesitlerinde yüksekliğin de azaldığı dikkate alınır, gövde genişliğinin artırılmasının zorunlu olacağı açıktır. Bu bölgede gövdenin başlıkla aynı genişlikte olması uygun olur. Gövde genişliği değişimi Şekil 3.1’de gösterildiği gibi ani olmamalıdır.

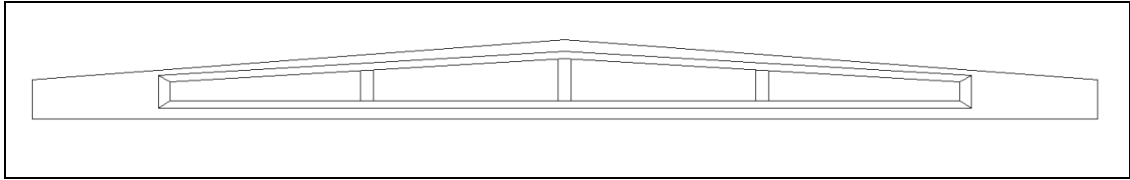


Şekil 1.3 : Kiriş gövde başlık kesitleri.

Bu tür kirişler genellikle betonarme kolon üstlerine veya kolonlardan çıkartılmış olan konsollara oturtulur.

Sıcaklık değişim etkisini dikkate almak koşuluyla bu kirişlerin her iki mesnedinin de sabit oturtulması, deprem yatay etkilerinin her iki kolona eşit dağıtılmaları bakımından uygun olur. Mesnetlerden birinin kayıcı yapılması genellikle tercih edilmez. Çoğunlukla mesnetlerde kiriş üst başlığının yanal doğrultuda tutulması yoluna gidilmediğinden, mesnet oturma genişliği devrilme emniyetini karşılayacak düzeyde olmaktadır.

Açıklığın büyümesiyle ve gövde kalınlığının kiriş yüksekliğine göre azalmasına bağlı olarak, bu kirişlerde üst başlık yanal burkulma tahkiki önem kazanmaktadır. Yanal burkulma güvenliğini arttırmaya yönelik olarak büyük açıklıklı kirişlerde yer yer berkitmeye yönelik genişletmeler yapılması yoluna gidilmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : Kiriş gövdelerindeki berkitmelerin görünüşü.

Açıklık ortasındaki berkitme, eğik başlık basınç kuvvetlerinin gövdede yaratacağı düşey çekme kuvvetini karşılayan özel etriyelerin yerleştirilmesi açısından da yararlı olacaktır.

Bu tür I enkesitli, değişken yükseklikli kirişlerde yanal burkulma güvenliğinin tahkiki çok sayıda parametreye bağlı olup, basit şekilde formüle edilmesi mümkün değildir. Bu çalışmada basit sistemler üzerinden yola çıkılarak sap2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programı kullanılarak, yanal burkulma hesaplarının yapılabilirliği üzerine çalışılacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Çalışma, geniş açıklıklı, değişken yükseklikli, I enkesitli betonarme öngermeli prefabrik kirişlerin, düşey yükler altında oluşması muhtemel yanal burkulma probleminin, S. Timoshenko'nun Elastik Stabilitate Teorisi esasları kapsamında teorik yönden ve Sonlu Elemanlar Analiz Programı olan SAP2000 programı yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Aka ve Altan (1992), Betonarme Taşıyıcı Sistemler adlı yayınlarında, taşıyıcı sistem olarak kullanılan betonarme çatıların tasarım, uygulamaya kolaylığı ve maliyet açısından incelemişlerdir. Kesitlerin seçilmesinde dikkat edilecek hususlardan, sistemdeki yapı güvenliğini sağlayacak betonarme prefabrik, prekast elemanlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Elastik kararsızlığın, basınç yükü etkisindeki elemanların yanal burkulmasına ait olan problemlerin ilk çözümü L. Euler tarafından yapılmıştı. Bu dönemlerde kullanılan malzemelerin genellikle ahşap ve taş olması sebebiyle kesitlerde burkulma kontrollerine gerek duyulmayacak büyüklükteki kesitlerin kullanılması yaygındı. Euler'in çözümleri uzun yıllar uygulama alanı olmadan teoride kaldı. Daha sonraki dönemde çelik demiryolu köprülerinin inşaatının başlamasıyla burkulma problemleri önem kazanmaya başladı. Basınç yükü etkisindeki elemanların yanal burkulması elastik kararsızlığın yalnız özel bir hali olmuştur.

Timoshenko, S.(1961)'nin Elastik Stabilite Teorisi adlı kitabında, doğrudan doğruya özel problemlerin ele alındığı, hangi şartlar altında stabilite kontrollerinin yapılması gerektiği üzerinde durmuştur. Problem tiplerine bağlı olarak en iyi çözüm metodları üzerinde durulmuş, özel hal için çözüm yolu belirten kritik yükler ve gerilmelerin değerlerini veren tablolara yer verilmiştir.

Bu kitaba, kirişlerin yanal burkulma problemlerinin incelendiği bölümünde ince dikdörtgen kesitli çelik kirişlerin, düzlemi içindeki yükler altında, farklı mesnetlenme şekilleri altındaki yanal burkulma kritik yükleri incelenmiştir. Daha ileriki bölümlerde I kesitli çelik kirişler incelenerek, bu kirişlerle ilgili tablolara yer verilmiştir.

İrtem, Türker ve Ünlüoğlu; "Factors Affecting Lateral Buckling of Precast Concrete I-Beams" isimli makalesinde, farklı kesit ve açıklıklardaki prekast kirişlerin burkulma parametreleri incelenmiştir. Üst ve alt başlıkların genişliklerindeki değişimin değişen açıklıklardaki kombinasyonları incelenmiş olan çalışmada, farklı kalınlıklardaki berkitmelerinin uygulanma noktasına göre burkulma yük parametresi üzerindeki etkisine bakılmıştır. Berkitmeler ikili ve üçlü olarak denenmiş olup sistemde buldukları yere göre etkileri incelenmiştir.

Günkut Barka ve Ata Kulaksızoğlu'nun, Beton prefabrikasyon dergisinde yayınladıkları Prefabrike Çatı Kirişlerinde Üst Başlık İçin Uygulanabilir Hesap Yöntemi isimli makalelerinde, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Adapazarı-Gölcük depremleri sonucu oluşan geniş açıklıklı prefabrike çatı kirişlerindeki düzlemine dik yönde oluşan eğilme sorunları irdelenmiştir. Nümerik bir sistem üzerinde yapılan inceleme deprem yüklerinin prefabrik çatı kirişlerine olan etkilerine dikkati çekmeyi amaçlamıştır.

2. İNCE DİKDÖRTGEN KESİTLİ ÇELİK KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI

Bu bölümde, ince dikdörtgen enkesitli çelik kirişlerin yanal burkulma hesaplamaları Elastik Stabilite Teorisi ve Sap2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programı yardımıyla incelenecektir. Kirişlerin konsol ve basit mesnetli olması durumuna göre irdelenecek sistemler aynı zamanda tekil ve yayılı yük durumu için de incelenecektir.

2.1 Dikdörtgen Kesitli Konsol Kirişlerin Yanal Burkulması

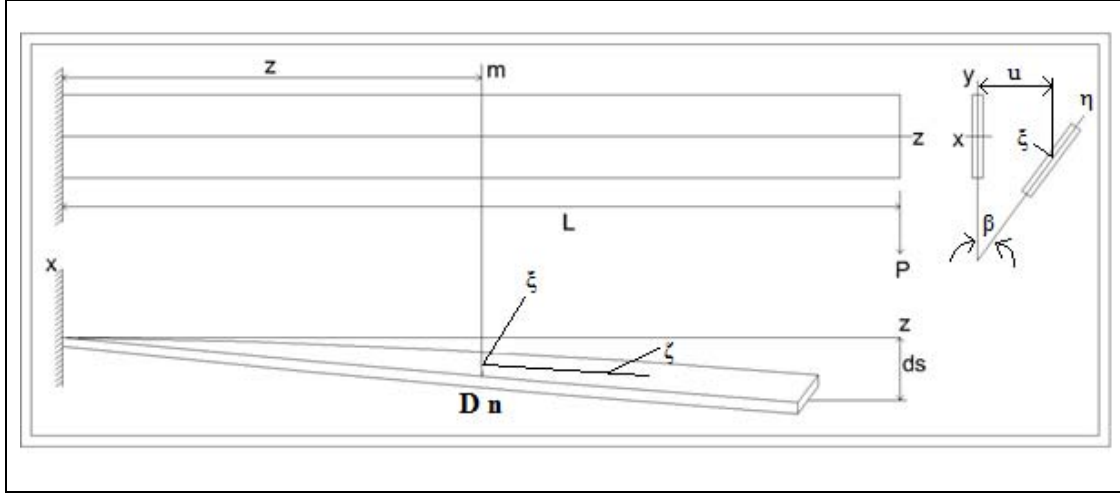
İnce dikdörtgen kesitli konsol kirişlerin, tekil ve yayılı yük altındaki yanal burkulmaları, 2 kısımda incelenecektir.

2.1.1 Konsol ucuna tekil yük etkimesi hali

Öncelikle konsol uç kısmından tekil yük etkimesi incelenecek olan dikdörtgen kiriş elastik stabilite teorisi ve bilgisayar programı(Sap2000) yardımıyla hesaplanacaktır.

2.1.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

İnce dikdörtgen enkesitli çelik levhada hesap; öncelikle konsolun ucunda, ağırlık merkezine uygulanacak yük ile levhanın eğilmesi hali incelenecektir (Şekil 2.1). İncelemenin yapılabilmesi için levhada küçük bir yanal burkulma meydana geldiğini farzedelim. Burkulmuş çubuğun denge denklemleri yardımıyla, bu durumu gösterecek en küçük yük değerini(kritik yük) bulabiliriz. X, Y ve Z sabit koordinat eksenlerinin sistemin sol ucundan başladığını düşünüp, herhangi bir mn dik kesitteki ξ , η , ζ eksen sistemi alınır. Şekildeğiştirmeler, u,v çökmeleri ve β burulma açısıyla gösterilmiştir. mn kesidinin sağındaki konsol parçasını gözönüne alarak P düşey yükünün kesitin D ağırlık merkezinden geçen x, y, z eksenlerine paralel eksenlere göre momentini alalım.



Şekil 2.1 : İnce dikdörtgen kesitli bir konsol kirişin yanal burkulması.

$$M_x = P(L - z) \quad (a)$$

$$M_y = 0 \quad (b) \quad (2.1)$$

$$M_z = -P(ds - u) \quad (c)$$

Bu momentleri ξ , η ve ζ eksenlerine çevirerek yazarsak;

$$M_\xi = P(L - z) \quad (a)$$

$$M_\eta = -\beta P(L - z) \quad (b) \quad (2.2)$$

$$M_\zeta = P(L - z) \frac{du}{dz} - P(ds - u) \quad (c)$$

olur. Levha ekseninin eğriliklerinin nümerik değerleri, xz ve yz düzlemlerinde sırasıyla d^2u/dz^2 ve d^2v/dz^2 'dir. Çok küçük β açısı için $\xi\zeta$ ve $\eta\zeta$ düzlemlerindeki eğriliklerin aynı değer alacağını kabul edebiliriz. Eksenin birim uzunluk için burulma açısı $d\beta/dz$ olacaktır. Eğrilikler ve burulmalarla birlikte denge differansiyel denklemleri ;

$$B_1 \frac{d^2u}{dz^2} = M_\eta \quad (a)$$

$$B_2 \frac{d^2v}{dz^2} = -M_\xi \quad (b) \quad (2.3)$$

$$C \frac{d\beta}{dz} = M_\zeta \quad (c)$$

Bu denklemdeki B_1 ve B_2 sırasıyla xz ve yz düzlemlerindeki asal eğilme rijitlikleri ve C levha burulma rijitliğidir.

Denklem (2.2)'de bulunan momentlerin, denklem (2.3) de yerine yerleştirilmesiyle;

$$B_1 \frac{d^2 u}{dz^2} = -\beta P (L - z) \quad (a)$$

$$B_2 \frac{d^2 v}{dz^2} = -P (L - z) \quad (b) \quad (2.4)$$

$$C \frac{d\beta}{dz} = P (L - z) \frac{du}{dz} - P (ds - u) \quad (c)$$

elde edilir. Bu denklemlerden üçüncüsünü z 'ye göre türetip birincisini kullanarak, d^2u/dz^2 'yi yok ederek β 'nın belirlenmesi için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{d^2\beta}{dz^2} + \frac{P^2}{B_1 C} (L - z)^2 \beta = 0;$$

$$w = L - z \text{ ve } \frac{P^2}{B_1 C} = k^2 \text{ kullanılarak; } \frac{d^2\beta}{dw^2} + k^2 w^2 \beta = 0 \text{ olur.} \quad (2.5)$$

Bu değişken katsayılı denklemi çözmek için sonsuz seriler metodunu kullanarak;

$$\begin{aligned} \beta = A & \left(1 - \frac{k^2}{3.4} w^4 + \frac{k^4}{3.4.7.8} w^8 - \frac{k^6}{3.4.7.8.11.12} w^{12} + \dots \right) \dots \\ & + B \left(w - \frac{k^2}{4.5} w^5 + \frac{k^4}{4.5.8.9} w^9 - \frac{k^6}{4.5.8.9.12.13} w^{13} \right. \\ & \left. + \dots \right) \text{ elde edilir.} \end{aligned}$$

Burada A ve B integrasyon sabitleri uç şartları kullanılarak belirlenecektir. Şekil 2.1'de gösterilen bu şartlar şunlardır;

- Ankastre uçta burulma açısı sıfır olduğundan ; $w=L$ için; $\beta = 0$.
- Yüklü uçta M_z momenti sıfır olur. $w=0$ için; $\frac{d\beta}{dz} = 0$

Bu sınır şartları denklemde yerine konulduğunda $B=0$ elde edilir. Geriye kalan denklem şu şekildedir:

$$1 - \frac{(kL^2)^2}{3.4} + \frac{(kL^2)^4}{3.4.7.8} - \frac{(kL^2)^6}{3.4.7.8.11.12} + \dots = 0 \quad (2.6)$$

Denklemin sol tarafının kL^2 'nin fonksiyonu olarak nümerik değerlerinin tablosu L. Prandtl tarafından hesaplanmış ve bu denklemin sonsuz sayıda kökü olduğu gözlenmiştir. Bu köklerden en küçüğü $kL^2=4,013$ 'dür. k yerine $\frac{P}{\sqrt{B_1 C}}$ konularak, kritik yük:

$$P_{cr} = \frac{4,013\sqrt{B_1 C}}{L^2} \text{ olarak elde edilir.}$$

Konsol uç kısmında, levha düzleminde ve ağırlık merkezine etkiyen kuvvet altında yanal burkulması hesaplanan konsol kiriş malzeme ve kesit özellikleri:

$$\sigma_{yem} = 240000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; E = 2,1 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; L = 15\text{m}; h = 1,5\text{m}; b = 0,05\text{m}; \mu = 0,3$$

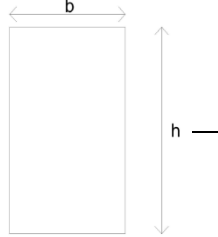
$$B_1 = \frac{hb^3}{12} E \quad ; \quad xz \text{ düzlemindeki eğilme rijitliği} \quad ; \quad \rightarrow B_1 = 3218,9 \text{ kNm}^2$$

$$B_2 = \frac{bh^3}{12} E \quad ; \quad yz \text{ düzlemindeki eğilme rijitliği} \quad ; \quad \rightarrow B_2 = 28,97 \times 10^5 \text{ kNm}^2$$

$$C = \frac{hb^3}{3} \left(1 - 0,630 \frac{b}{h}\right) G \quad ; \quad \text{levha burulma rijitliği} \quad ; \quad \rightarrow C = 4848,2 \text{ kNm}^2$$

Çizelge 2.1 : Tekil yük etkisindeki konsol kirişin malzeme-kesit özellikleri ve kritik yanal burkulma yükü

İnce Kesitli Dikdörtgen Kiriş					
Akma Gerilmesi	E	l	h	b	μ
kN/m ²	kN/m ²	m	m	m	-
240000	210000000	15	1,5	0,05	0,3



Per
kN
70,44

P_{cr} için verilen bu formül kritik yükün değerini ancak elastik bölge içinde kaldığında doğru verir. Elastik sınır ötesinde bulunan yükten daha küçük bir yük değerinde burkulma meydana gelir. Bu formülden faydalanarak konsol kirişlerin boyutlarını hesaplamak için bu kirişteki maksimum eğilme gerilmesini hesaplamak gereklidir. Kesitteki kritik gerilme, en büyük eğilme momentinin mukavemet momentine oranından bulunabilir (Timoshenko, 1961).

$$M_e = P_{cr} L \text{ ve } M_w = \frac{2B_2}{hE};$$

$$\sigma_{cr} = \frac{h E P_{cr} L}{2 B_2} = 2,487 \frac{b^2}{h l} E \sqrt{1 - 0,630 \frac{b}{h}} = 56366,7 \text{ kN/m}^2$$

Genel olarak b/h değerinin çok küçük olduğu ince dikdörtgen kesit hallerinde yanal burkulmayı gözönüne almak gerekir. Teorik olarak burkulma b/h 'nın çok küçük olmadığı halde de oluşabilir. Bu durumda L boyu çok büyüktür. Levha düzleminde yanal burkulmanın oluşması öncesinde büyük çökmeler meydana gelir.

Yapılan hesapta P yükünün kesidin ağırlık merkezine etkilendiği kabul edilmiştir. Yükün, uç kesidin ağırlık merkezinin alt ve üstüne etkilmesinin P_{cr} değerine etkisi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir. Burada a, yükün tatbik noktasının ağırlık merkezinden ne kadar yukarıda yada aşağıda olduğunu gösterir.

$$P_{cr} = \frac{4,013\sqrt{B_1 C}}{L^2} \left(1 - \frac{a}{L} \sqrt{\frac{B_1}{C}} \right); \rightarrow P_{cr(\text{üst})} = 67,57 \text{ kN}; P_{cr(\text{alt})} = 73,31 \text{ kN}$$

2.1.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında kullanılacak model için öncelikle malzeme ve kesit özellikleri girilecektir. Bu özellikler elastik stabilite teorisi yardımıyla hesaplanan kesitin özellikleri ile aynı olacaktır.

Dikdörtgen levha malzeme ve kesit özelliklerini tanımlayabilmek için;

“Define > Materials” seçeneğine tıklanıp: “Add New Material” sekmesinden malzeme özellikleri tanımlanır. Bu bilgiler sırasıyla: Malzeme Adı: St37, Elastisite Modülü: $2,1 \cdot 10^7 \text{ t/m}^2$ ($2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$), Poisson Oranı: 0,3, Akma Gerilmesi: 24000 tonf/m^2 (240000 kN/m^2), Çekme Gerilmesi: 36000 tonf/m^2 (360000 kN/m^2) olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.2).

Kesit özellikleri için ise: “Define > Section Properties > Area Sections” seçeneğine tıklanıp, “Add New Section” sekmesinden; kesit adı, tipi, malzeme özelliği ve et kalınlığı bilgileri girilir. Kullanılacak kesitimizde bu bilgiler sırasıyla: Kesit adı: St, Tip: Shell Thin(ince kabuk), Malzeme Özelliği: St37, Et Kalınlığı: 0,05m olarak girilmiştir (Şekil 2.2).

Şekil 2.2 : Malzeme ve kesit özelliklerinin tanımlanması.

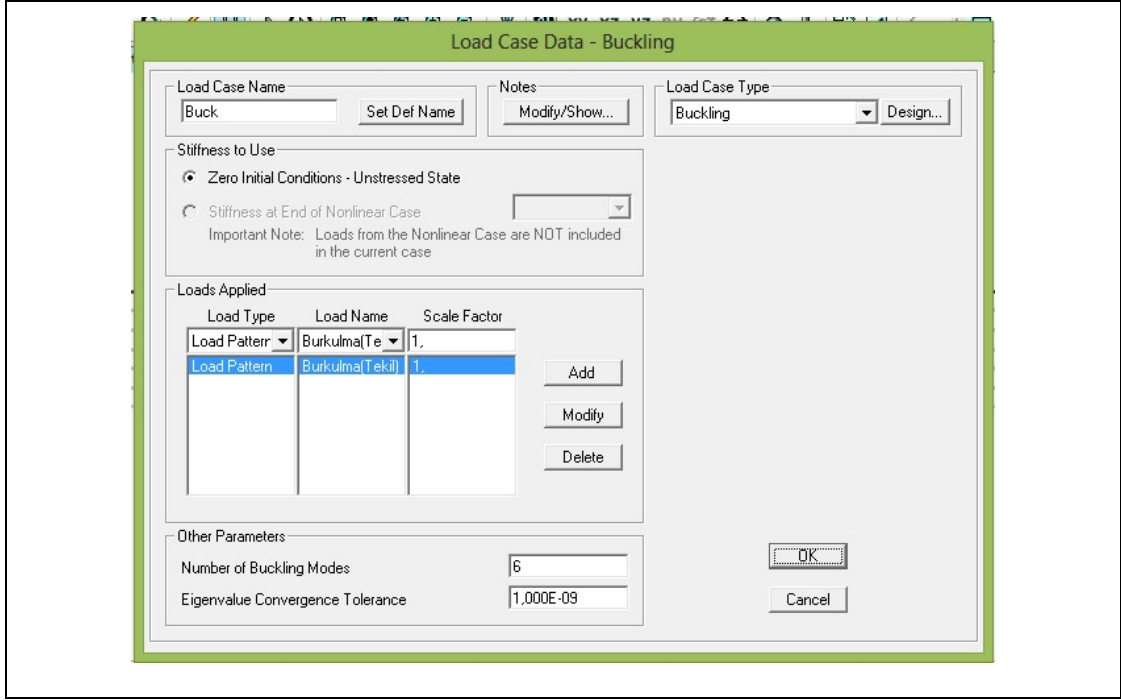
Model üzerine etkililecek yük tanımlaması için; “Define > Define Load Patterns” seçeneğine tıklanıp: Yük adı, tipi ve zati ağırlık katsayısı belirlenip “Add New Load Pattern” sekmesine tıklanarak yük oluşturulur. Kullanılacak yükde bu bilgiler sırasıyla: Burkulma(Tekil), Dead ve 0 olarak girilmiştir (Şekil 2.3).

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
G	DEAD	1	
Kar	SNOW	0	
Ardgerme	OTHER	0	
Kaplama	DEAD	0	
Asik	DEAD	0	
Burkulma(Tekil)	OTHER	0	
Burkulma(Yayili)	OTHER	0	

Şekil 2.3 : Yüklerin tanımlanması.

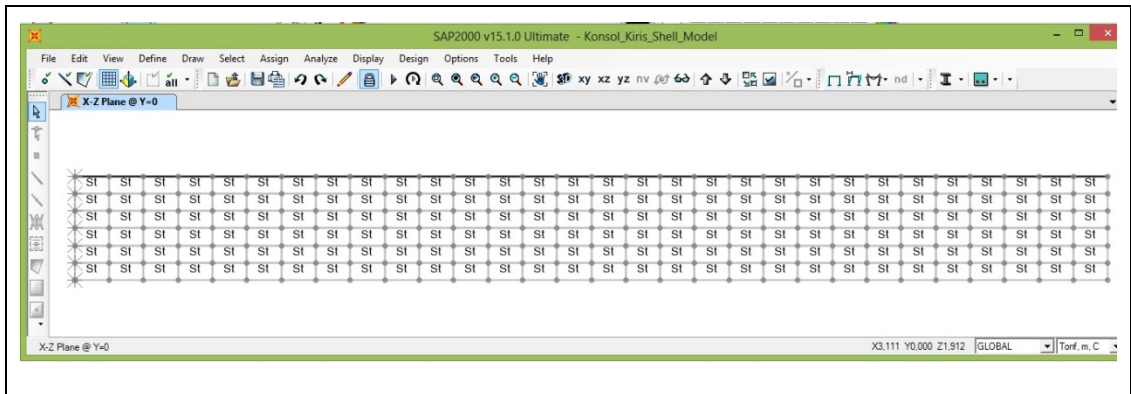
Model üzerine etkililecek yük bilgilerinin tanımlaması için; “Define > Load Cases” seçeneğine tıklanıp ve oluşturulmuş olan Burkulma(Tekil) seçilerek “Modify/Show

Load Case” sekmesine tıklanır. “Load Case Type” sekmesinden “Buckling(Burkulma)” seçeneği işaretlenir. İstenilen sayıda burkulma modu, “Number of Buckling Modes” sekmesinde girilerek yük tipi tanımlama işlemi tamamlanır (Şekil 2.4).

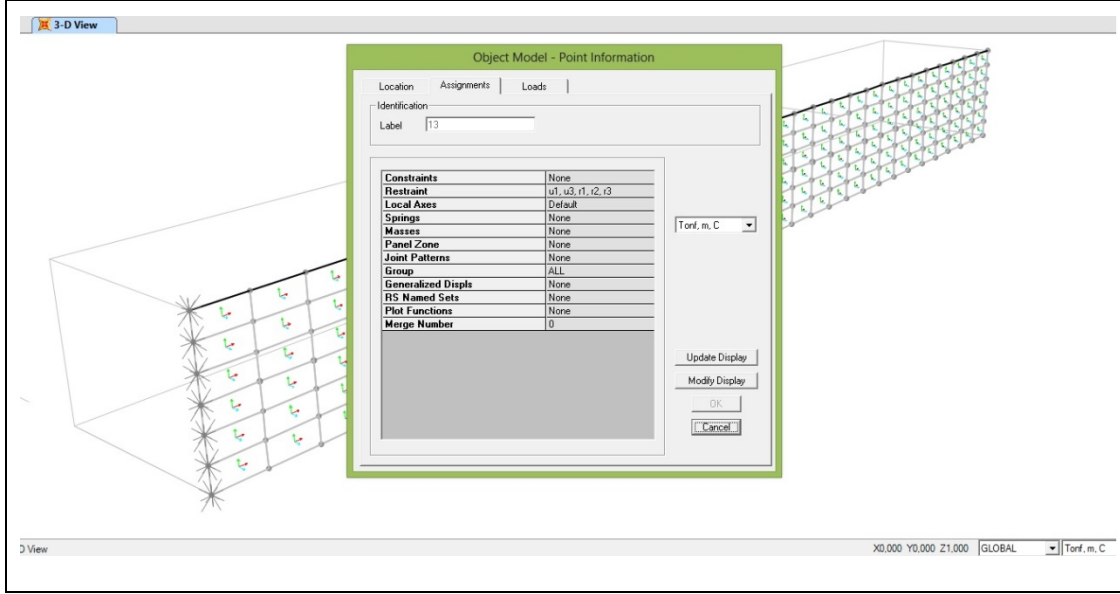


Şekil 2.4 : Yük bilgilerinin tanımlanması.

Program arayüzünde oluşturulan modelin kesit bilgileri Şekil 2.5 de görülmektedir. Yatayda 30 ve düşeyde 6 parçaya bölünen sistem, 15m uzunluğunda 1,5m yüksekliğinde ve 5cm et kalınlığındaki çelik levhanın mesnet koşullarının tanımlanması için; mesnetlenecek kısımda bulunan noktalar seçilerek; “Assign > Joint > Restraints” seçeneğine tıklanıp; sırasıyla x ve z yönündeki deplasman ve x, y, z doğrultularındaki dönmeleri tutularak ankastrelik sağlanır (Şekil 2.6).

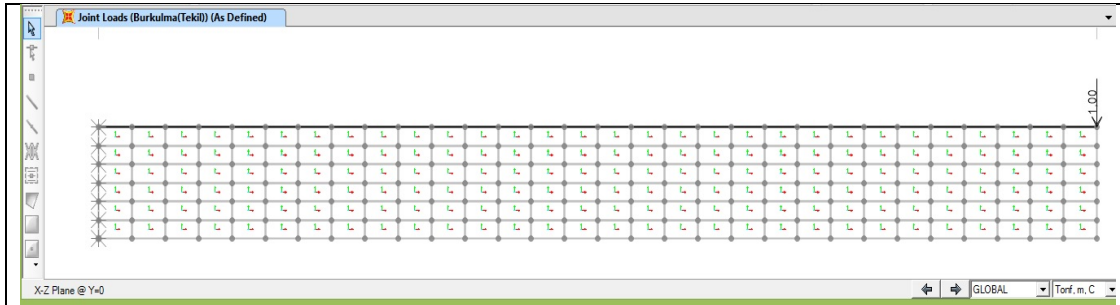


Şekil 2.5 : Oluşturulan model ve kesit özelliklerinin görünümü.



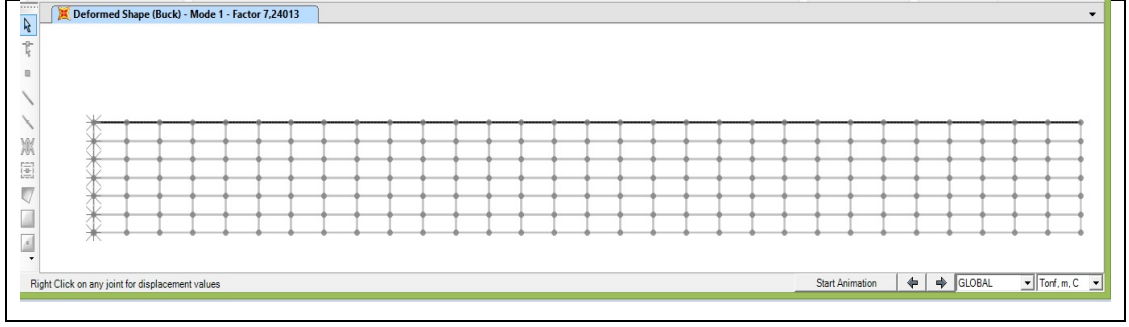
Şekil 2.6 : Mesnet koşullarının tanımlanması.

Yükün etkitileceği nokta seçilerek: “Assign > Joint Loads > Forces” seçeneğine tıklanıp; oluşturulmuş olan yük adıyla (Burkulma(Tekil)) birlikte birim yükleme yapılır. Yapılan birim yükleme, analiz sonucu bulunan mod faktörüyle çarpılarak burkulma yükü hesaplanır (Şekil-2.7).

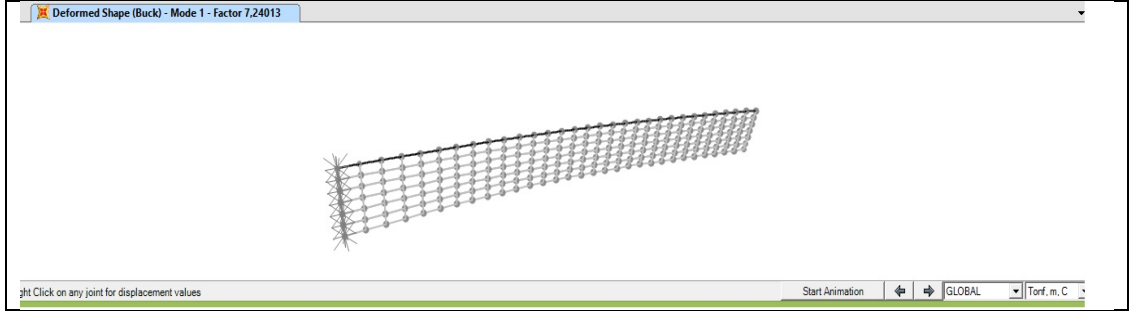


Şekil 2.7 : Burkulma(Tekil) yükünün etkitilmesi

Analizin başlatılabilmesi için son olarak: “Analyze > Run Analysis yada F5” seçeneğine tıklanarak analiz başlatılır. Analiz sonucu Şekil-2.8’den de anlaşılacağı gibi mod-1 faktörü 7,24 olarak bulunmuştur. Bu değer 1tonf birim yük değeriyle çarparak, kritik yükü değeri 7,24tonf (71,02kN) olarak bulunur. Bu değer elastik teori yardımıyla hesaplanan 7,18tonf (70,44kN) değerine oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Şekil 2.9’de kritik burkulma yükünün oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.8 : Mod 1 kritik burkulma yükü



Şekil 2.9 : Mod 1 Kritik burkulma şekli

2.1.2 Konsol boyunca yayılı yük etkimesi hali


Dikdörtgen kesitli konsol kirişin yayılı yük altındaki yanal burkulma analizi elastik stabilite teorisi ve sap2000 kullanılarak yapılacaktır.

2.1.2.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

Aynı kesit için ; konsolun ucuna kuvvet yüklemek yerine üzerine yayılı yük yüklenirse, aynı yanal burkulma yükün kritik değere ulaşmasıyla oluşur. Konsolun eksenini boyunca yayılmış q şiddetinde üniform bir yük yükleyelim. Bu yükün kritik değeri burkulmuş kirişin denge denklemleri yardımıyla hesaplanır.

$$(ql)_{cr} = \frac{12,85\sqrt{B_1C}}{L^2} ; \rightarrow (ql)_{cr} = 22,998 \frac{\text{tonfm}}{\text{m}} ; \rightarrow (q)_{cr} = 15,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Çizelge 2.2 : İnce dikdörtgen kesitli konsol kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.

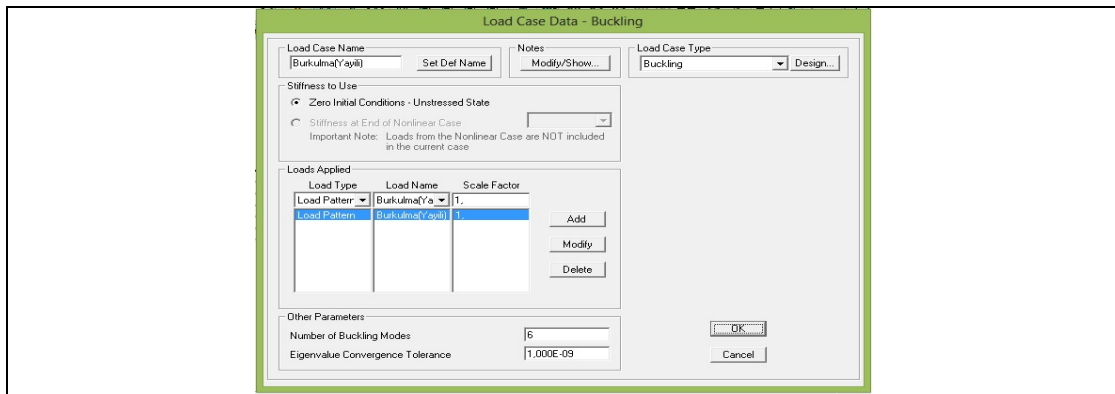
İnce Kesitli Dikdörtgen Kiriş						
Akma Gerilmesi	E	l	h	b	μ	
kN/m ²	kN/m ²	m	m	m	-	
240000	210000000	15	1,5	0,05	0,3	

Dikdörtgen Kiriş Ankastre(Yayılı Yük)	qcr
	kN/m
	15,01

Konsol üzerinde yayılı yük bulunması durumunda denge denklemleri kullanılarak yapılan hesap sonucu kritik yayılı yük değeri 1,533tonf/m olarak elde edilmiştir.

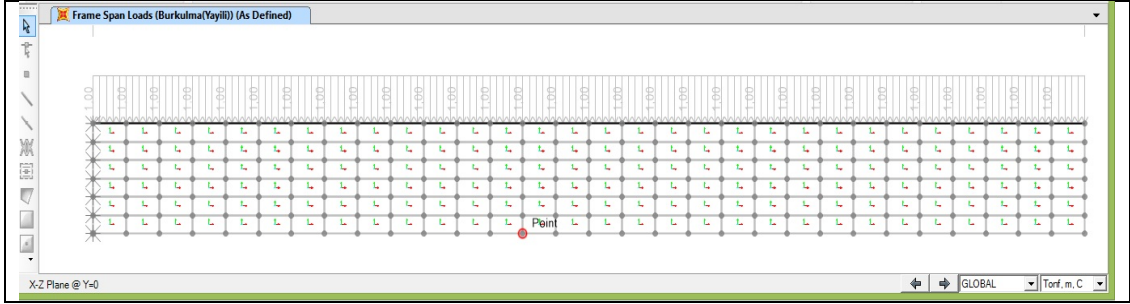
2.1.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Aynı model üzerine etkitilecek yayılı yük bilgilerinin tanımlaması için; “Define > Load Cases” seçeneğine tıklanıp ve oluşturulmuş olan Burkulma(Yayılı) seçilerek “Modify/Show Load Case” sekmesine tıklanır. “Load Case Type” sekmesinden “Buckling(Burkulma)” seçeneği işaretlenir (Şekil 2.10).



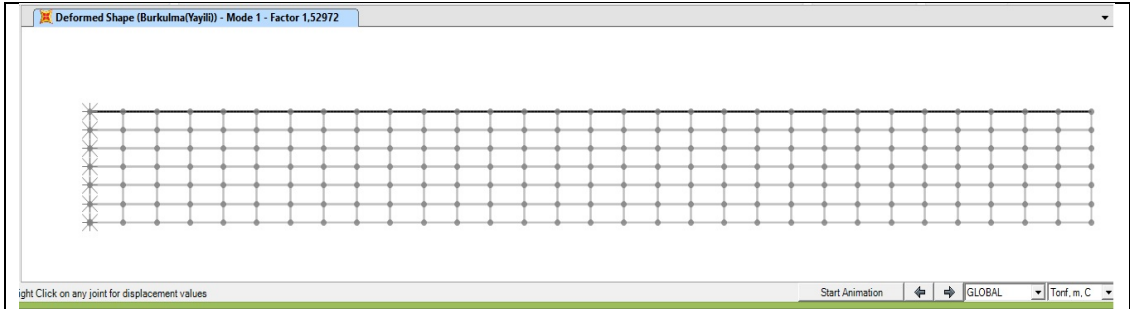
Şekil 2.10 : Sap2000 Programında Yayılı Burkulma Yük Bilgilerinin Tanımlanması

Yayıllı yükün modele etkilmesine yardımcı olması için oluşturulmuş fiktif çubuk, shell kesitin üst kısmına eklenmiştir. Shell modelle uyumlu sonlu sayıda elemana bölünen çubuk seçilip: “Assign > Frame Loads > Distributed” seçeneğine tıklanıp; oluşturulmuş olan yük adıyla (Burkulma(Yayıllı)) uniform load kısmından birim yükleme yapılır. Yapılan birim yükleme, analiz sonucu bulunan mod faktörüyle çarpılarak kritik yayılı burkulma yükü hesaplanır (Şekil 2.11).

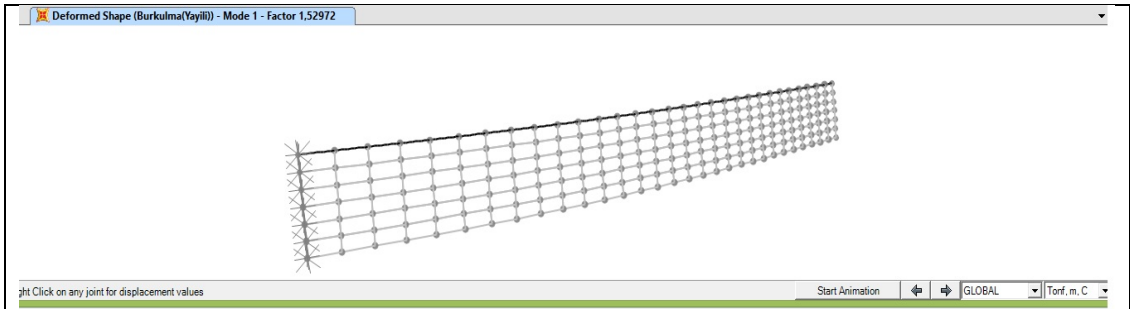


Şekil 2.11 : Burkulma(Yayıllı) yükünün etkilmesi

Analizin başlatılarak Şekil 2.12’de görülen mod-1 faktörü 1,53 olarak bulunur. Bu değer 1tonf/m birim yük değeriyle çarpılarak, kritik yükü değeri 1,530tonf/m (15,01kN/m) olarak bulunur. Bu değer elastik teori yardımıyla hesaplanan 1,533tonf/m (15,01kN/m) değerine oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Şekil 2.13’de kritik burkulma yükünün oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.12 : Mod 1 kritik burkulma yükü



Şekil 2.13 : Mod 1 kritik burkulma şekli

Hesaplanan kritik burkulma yüklerinin yanısıra diğer burkulma yüklerinin de hesaplanması, bu aşamadan sonra sap2000 programıyla oldukça kolaylaşmıştır. Analizi yapılmış model üzerinden; “Display > Show Tables” tıklanıp, “Structure Output > Other Output Items > Buckling Factors” sekmesinden aşağıdaki tablo yazdırılabilir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Tekil ve yayılı yükler altında ilk 6 sistem burkulma mod faktörü

Tablo: Burkulma Katsayısı			
Yükleme	Yük Türü	StepNum	Katsayı
-	-	Birimsiz	Birimsiz
Buck	Mod	1	7,240
Buck	Mod	2	-7,881
Buck	Mod	3	18,857
Buck	Mod	4	-19,943
Buck	Mod	5	31,210
Buck	Mod	6	-32,698
Burkulma(Yayılı)	Mod	1	1,530
Burkulma(Yayılı)	Mod	2	-1,776
Burkulma(Yayılı)	Mod	3	3,921
Burkulma(Yayılı)	Mod	4	-4,297
Burkulma(Yayılı)	Mod	5	6,538
Burkulma(Yayılı)	Mod	6	-7,032

2.2 Dikdörtgen Kesitli Basit Mesnetli Kirişlerin Yanal Burkulması

Dikdörtgen kesitli basit mesnetli kirişlerin yanal burkulma analizi tekil ve yayılı yükleme olmak üzere iki durum için tekrarlanacaktır.

2.2.1 Kesit merkezine tekil yük etkimesi hali

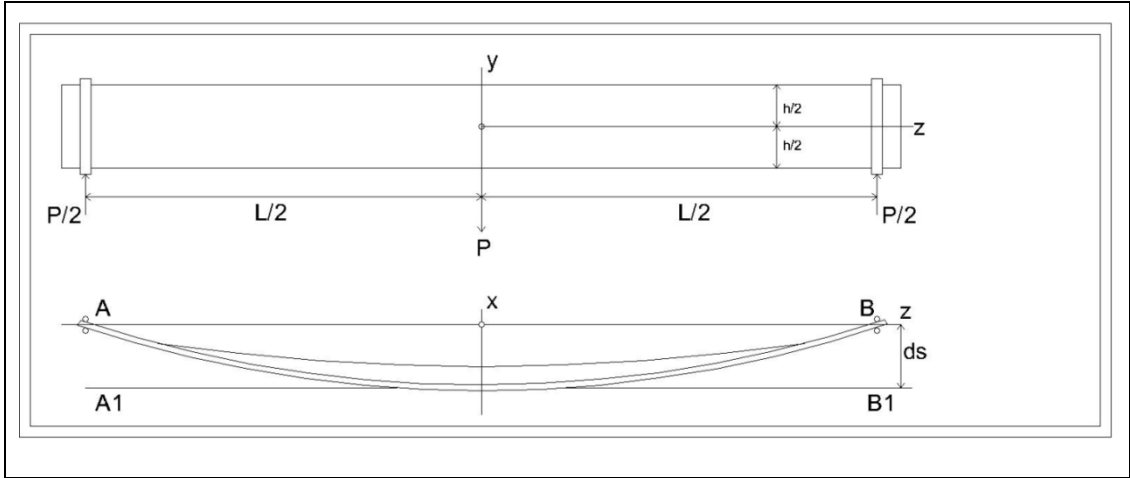
Dikdörtgen kesitli basit mesnetli kirişin tekil yük altındaki yanal burkulma analizi elastik stabilite teorisi ve Sap2000 kullanılarak yapılacaktır.

2.2.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

İnce dikdörtgen kesitli bir konsol kiriş orta kesidinin ağırlık merkezine etkitilen bir P yükü sonucu eğilirse, bu yükün belli bir değerinde Şekil 2.14 de görülen yanal burkulma meydana gelir.

Kirişin uçlarının şekil değiştirme esnasında x ve y eksenlerine paralel asal eksenleri etrafında serbestçe dönebileceği kabul edilmiştir. Z ekseni etrafındaki dönmesi engellenmiştir. Buna göre yanal burkulma kirişin burulmasıyla beraber oluşmuştur.

Yükün kritik değerinin hesabında, konsol kirişteki gibi küçük bir yanal burkulmanın meydana geldiği kabul edilip, denge denklemleri denge differansiyel denklemlerini kullanarak kirişin hafifçe burkulmuş durumunu oluşturan kritik yük hesaplanacaktır.



Şekil 2.14 : İnce dikdörtgen kesitli basit mesnetli kirişin yanal burkulması.

Kirişin herhangi bir kesidinin sağındaki kısmı gözönüne alalım. Bu kısma tesir eden dış kuvvetler B_1 noktasına tesir eden bir $P/2$ düşey kuvvetidir. Bu kuvvetin kesitin D ağırlık merkezinden geçen ve x , y , z eksenlerine paralel olan eksenlere göre momenti;

$$M_x = \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (a)$$

$$M_y = 0 \quad (b) \quad (2.7)$$

$$M_z = -\frac{P}{2} (ds - u) \quad (c)$$

olur. Burada ds kirişin ortasının yanal sehimi ve u herhangi bir kesitin sehimidir. Bu büyüklüklerin ikisi de x ekseninin pozitif yönünde oldukları zaman pozitif alınmışlardır. ξ , η ve ζ eksen sistemi kullanılarak bu momentler;

$$M_\xi = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (a)$$

$$M_\eta = \beta \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (b) \quad (2.8)$$

$$M_\zeta = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \frac{du}{dz} + \frac{P}{2} (ds - u) \quad (c)$$

olarak elde edilir. Bu ifadeleri denge diferansiyel denklemlerine yerleştirirsek, aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilmiş olur.

$$B_1 \frac{d^2u}{dz^2} = \beta \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (a)$$

$$B_2 \frac{d^2v}{dz^2} = \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (b) \quad (2.9)$$

$$C \frac{d\beta}{dz} = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \frac{du}{dz} + \frac{P}{2} (ds - u) \quad (c)$$

d^2u/dz^2 'yi (a) ve (c) denklemleri arasında yok edersek;

$$\frac{d^2\beta}{dz^2} + \frac{P^2}{4B_1C} \left(\frac{L}{2} - z \right)^2 \beta = 0 \quad (2.10)$$

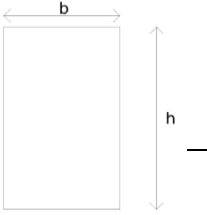
elde edilir. Bu diferansiyel konsol kirişlerdeki denklemin aynısı olduğundan sonsuz seriler metoduyla integre edilebilir. Kirişin uç şartlarını kullanarak;

$$P_{cr} = \frac{16,93\sqrt{B_1C}}{L^2} \quad (2.11)$$

elde edilir.

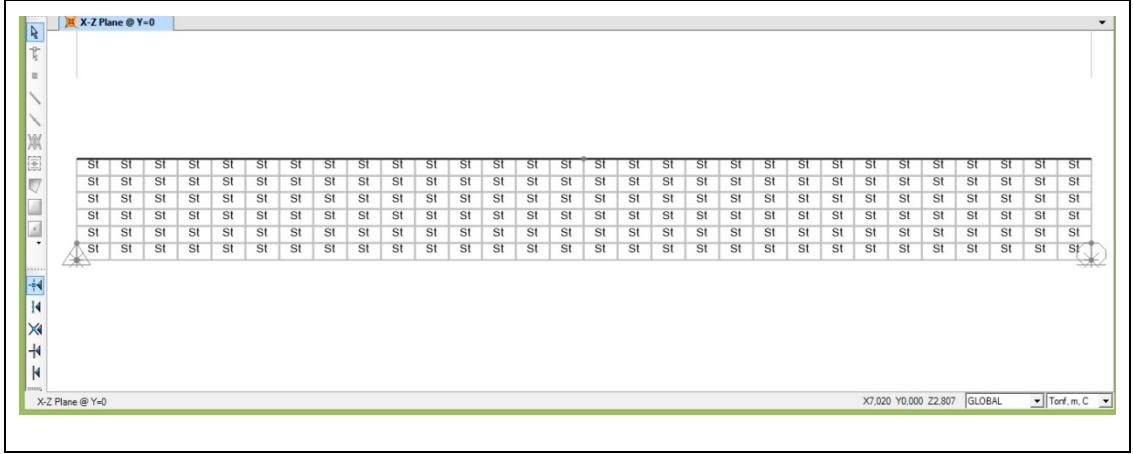
Kesit ve malzeme özellikleri olarak, dikdörtgen kesitli konsol kiriş ile aynı veriler kullanılarak yapılan hesap sonucu;

Çizelge 2.4 : Tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişin malzeme-kesit özellikleri ve kritik yanal burkulma yükü

İnce Kesitli Dikdörtgen Kiriş						
Akma Gerilmesi kN/m ²	E kN/m ²	l m	h m	b m	μ -	
240000	210000000	15	1,5	0,05	0,3	
Dikdörtgen Kiriş Basit Mesnetli(Tekil Yük Ortada)						P _{cr} kN 297,24

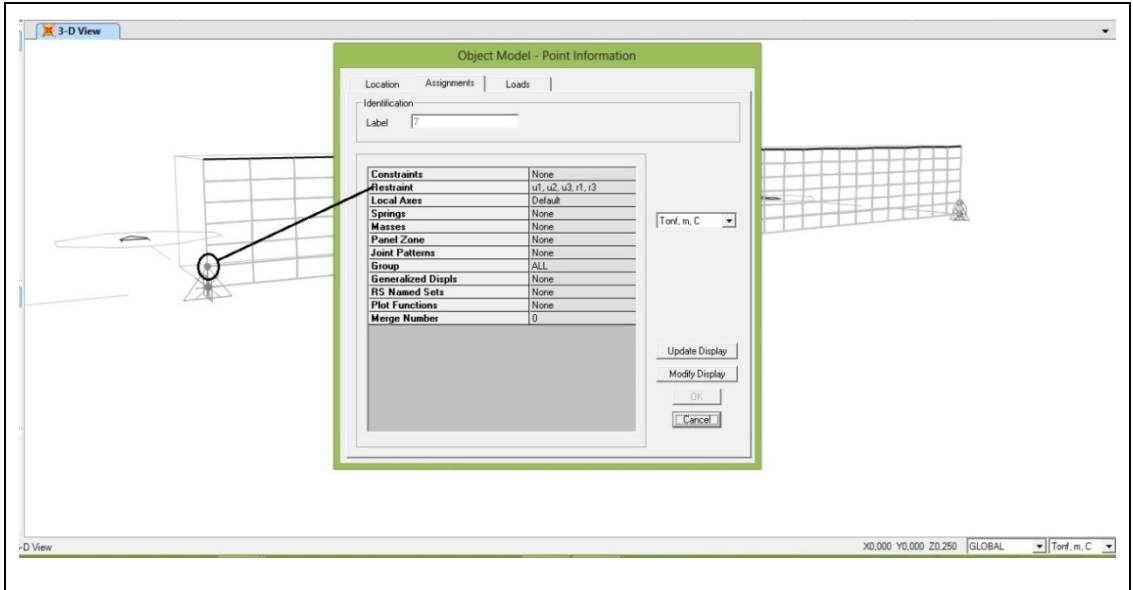
2.2.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında kullanılacak basit mesnetli kiriş modeli için önceden tanımlanmış model üzerinde mesnetlenme koşulları değiştirilerek analiz yapılacaktır. Kesit ve malzeme özellikleri konsol kirişteki modelle aynı olup yükleme orta noktadan yapılacaktır (Şekil 2.15).



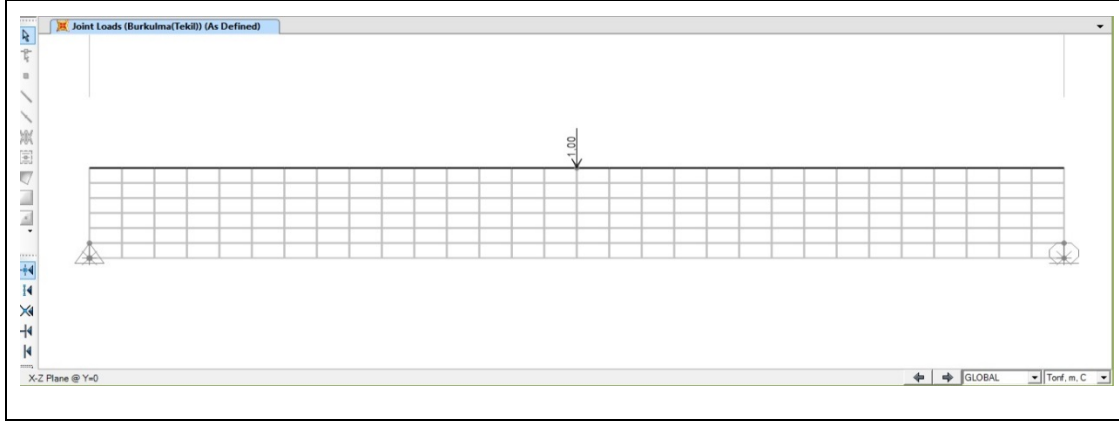
Şekil 2.15 : Basit mesnetli kiriş modeli.

Basit kiriş modelinde mesnet koşulları olarak, devrilmenin engellenmesini sağlamak için, her iki tarafta da iki noktadan mesnetlenip, bunlardan ilki esas mesnet şartını (x, y, z yönündeki deplasman x ve z etrafındaki dönme) diğeri devrilmeyi engelleyici (y deplasman) mesnet şartını oluşturacaktır. Diğerk tarafta aynı şekilde birincisi esas mesnet şartı (x ve z yönündeki deplasman) diğeri devrilmeyi engelleyerek (y deplasmanı) tutulmuştur (Şekil-2.16).



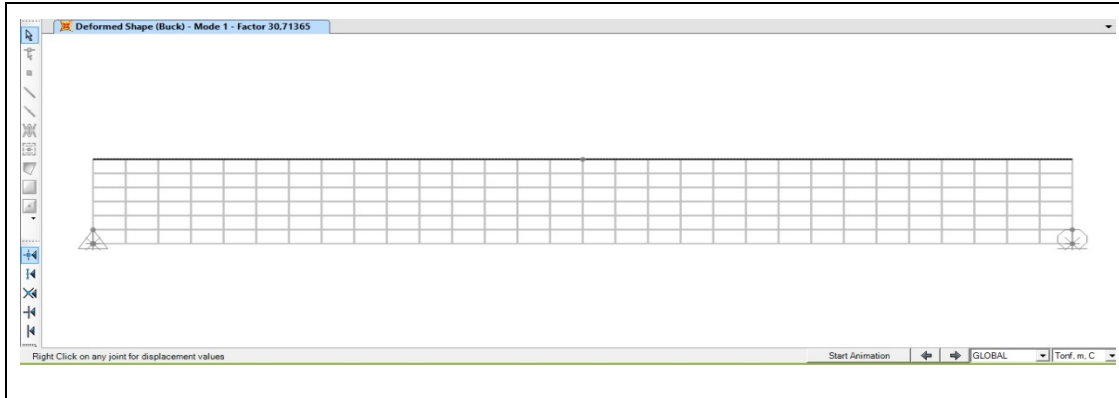
Şekil 2.16 : Mesnet koşullarının tanımlanması.

Yükün etkileceği nokta seçilerek: “Assign > Joint Loads > Forces” seçeneğine tıklanıp; oluşturulmuş olan yük adıyla (Burkulma(Tekil)) birlikte birim yükleme yapılır. Yapılan birim yükleme, analiz sonucu bulunan mod faktörüyle çarpılarak burkulma yükü hesaplanır (Şekil 2.17).

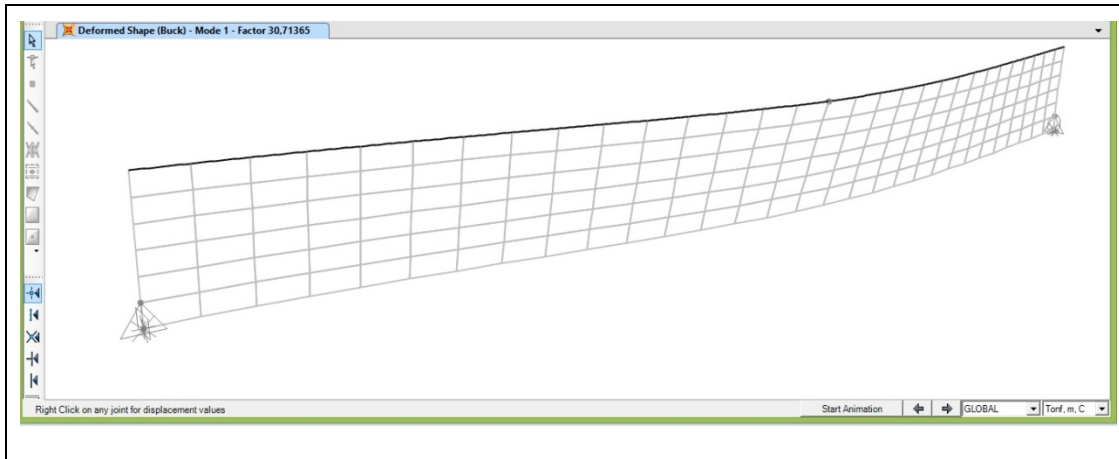


Şekil 2.17 : Burkulma(Tekil) yükünün etkililmesi.

Analizin başlatılabilmesi için son olarak: “Analyze > Run Analysis yada F5” seçeneğine tıklanarak analiz başlatılır. Analiz sonucu Şekil-2.18’den de anlaşılacağı gibi mod-1 faktörü 30,71 olarak bulunmuştur. Bu değer 1tonf birim yük değeriyle çarparak, kritik yükü değeri 30.71tonf (301,27kN) olarak bulunur. Bu değer elastik teori yardımıyla hesaplanan 30,30tonf (297,24kN) değerine oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Şekil-2.19’de kritik burkulma yükünün oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.18 : Mod 1 kritik burkulma yükü.



Şekil 2.19 : Mod 1 kritik burkulma şekli

2.2.2 Kiriş ağırlık merkezi boyunca yayılı yük etkimesi hali

Dikdörtgen kesitli basit mesnetli kirişin yayılı yük altındaki yanal burkulma analizi elastik stabilite teorisi ve Sap2000 kullanılarak yapılacaktır.

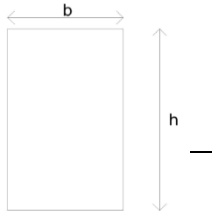
2.2.2.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

Aynı kesit için ; kiriş ortasına kuvvet yüklemek yerine üzerine yayılı yük yüklenirse, aynı yanal burkulma yükün kritik değere ulaşmasıyla oluşur. Kirişin ekseni boyunca yayılmış q şiddetinde üniform bir yük yükleyelim. Bu yükün kritik değeri burkulmuş kirişin denge denklemleri yardımıyla hesaplanır.

$$(ql)_{cr} = \frac{28,3\sqrt{B_1C}}{L^2} \quad (2.12)$$

Çizelge 2.5 : İnce dikdörtgen kesitli basit kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.

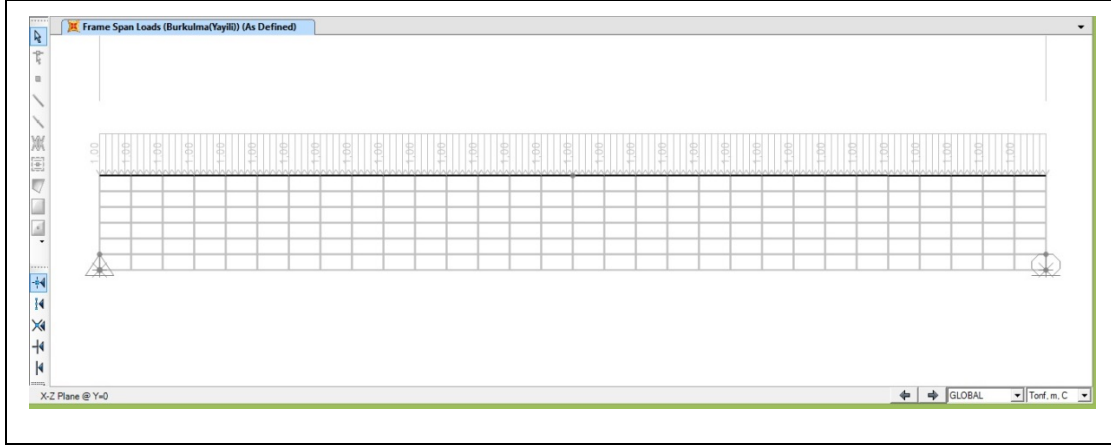
İnce Kesitli Dikdörtgen Kiriş						
Akma Gerilmesi kN/m ²	E kN/m ²	l m	h m	b m	μ -	
240000	210000000	15	1,5	0,05	0,3	



q_{cr}
kN/m
33,16

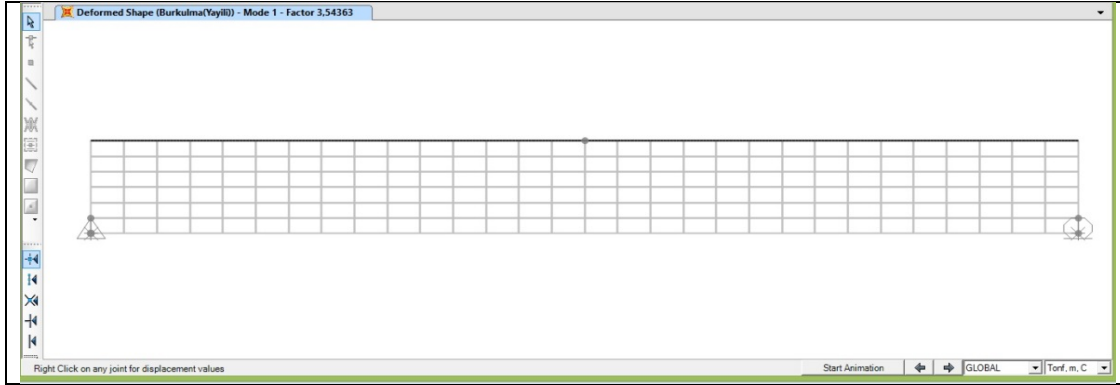
2.2.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Aynı model üzerinde, yayılı yükün modele etkilmesine yardımcı olması için oluşturulmuş fiktif çubuk, shell kesitin üst kısmına eklenmiştir. Shell modelle uyumlu sonlu sayıda elemana bölünen çubuk seçilip: “Assign > Frame Loads > Distributed” seçeneğine tıklanıp; oluşturulmuş olan yük adıyla (Burkulma(Yayılı)) uniform load kısmından birim yükleme yapılır. Yapılan birim yükleme, analiz sonucu bulunan mod faktörüyle çarpılarak kritik yayılı burkulma yükü hesaplanır (Şekil-2.20).

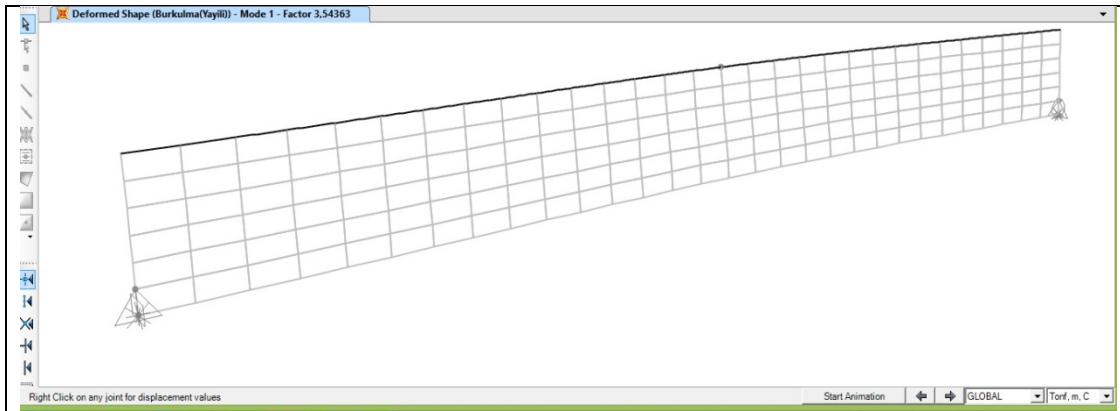


Şekil 2.20 : Burkulma(yayılı) yükünün etkilmesi

Analizin başlatılarak Şekil-2.21’de görülen mod-1 faktörü 3,54 olarak bulunur. Bu değer 1tonf/m birim yük değeriyle çarparak, kritik yükü değeri 3,54tonf/m (34,72kN/m) olarak bulunur. Bu değer elastik teori yardımıyla hesaplanan 3,38tonf/m (33,16kN/m) değerine oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Şekil-2.22’de kritik burkulma yükünün oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.21 : Mod 1 kritik burkulma yükü



Şekil 2.22 : Mod 1 Kritik Burkulma Yükü

Genişlikleri, kalınlıklarına göre küçük olan dikdörtgen kesitli elik kirişlerde elastik stabilite teorisi ve Sap2000 program ıktıları oldukça yakın değerler vermektedir.

3. SABİT I ENKESİTLİ ÇELİK KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI

Bu bölümde, I enkesitli çelik kirişlerin yanal burkulma hesapları Elastik Stabilité Teorisi ve Sap2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programı yardımıyla incelenecektir. Kirişlerin konsol veya basit mesnetli olması ve sisteme tekil yük veya düzgün yayılı yük etkimesi seçenekleri için karşılaştırma yapılacaktır.

3.1 I Konsol Kirişlerin Yanal Burkulması

İnce dikdörtgen kesitli bir kirişler yükün kritik değerini veren formüller I enkesitli kirişler için uygulanamaz. Bir I kirişi için kritin yükün gerçek değeri önceki formüller yardımıyla hesaplanan değerlerden daima daha büyüktür. Bu durum burulma momenti ile birim burulma açısı arasındaki bağıntıyı veren (2.3) denklemlerinden “(c)” nin I kirişlere uygulanmasının yanlış olmasından kaynaklanmaktadır. (2.3-c) Bağıntısı kesitleri serbestçe çarpılabilen prizmatik çubuklar için elde edilmiştir. Bu çarpılmaya engel olunursa (Başlıklar yardımıyla) burulma şekildeğiştirmesine ek olarak çarpılma şekildeğiştirmesi daha meydana gelir. Bu ilave şekildeğiştirmenin ince dikdörtgen kesitli çubuklarda pratik önemi yoktur. Fakat I kirişleri için çarpılma şekildeğiştirmenin burulma açısı üzerinde büyük tesirleri olur ve yanal burkulmanın incelenmesinde gözönüne alınmaları gerekir.

Burulma esnasında kesitlerin serbestçe çarpılmasına kirişin bir ucu ankastre bağlanarak engel olunursa kirişin burkulması başlıkların eğilmesiyle beraber oluşur. Herhangi bir mn kesidinde M_z dış momenti, kısmen burulma gerilmeleri ve kısmen de başlıkların eğilmesinden oluşan T kesme kuvvetleriyle dengelenir. Kirişin uzunluğu boyunca değişen burulma açısını β ile gösterirsek momentin burulma gerilmeleriyle karşılanan kısmı; $C \frac{d\beta}{dz}$ olur. Momentin ikinci kısmını hesaplamak için başlıkların eğilmesi gözönüne alınmalıdır. Kiriş yüksekliğini h olarak alırsak üst başlığın sehimi; $u = \beta \frac{h}{2}$ olur. Bir başlığın başlık düzlemindeki eğilme rijidliğini D ile gösterelim (D yaklaşık eşit $B I / 2$ alınabilir). T kesme kuvveti için;

$T = D \frac{d^3 u}{dz^3} = -\frac{Dh}{2} \frac{d^3 \beta}{dz^3}$ olur. Ters yönde T kuvveti alt başlıkta da oluşarak kuvvet çiftini meydana getirir; $T_h = -\frac{Dh}{2} \frac{d^3 \beta}{dz^3}$. Sonuç olarak oluşan M_z dış momenti ;

$$C \frac{d\beta}{dz} - \frac{Dh}{2} \frac{d^3 \beta}{dz^3} = M_z \quad (3.1)$$

, olur. I kirişlerin yanal burkulmasında (2.3) nolu denklemlerinden “(c)” nin yerine bu denklem kullanılacaktır.

3.1.1 Konsol ucuna tekil yük etkimesi hali

Konsol ucuna tekil yük etkimesi halinde yanal burkulma yükü, sırasıyla elastik stabilite teorisi ve SAP2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programı yardımıyla incelenecektir.

3.1.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

Konsol kiriş serbest ucunun ağırlık merkezine etkililen bir P yükünün burkulmuş formdaki diferansiyel denklemini, ince dikdörtgen kesitli konsoldaki gibi bulunabilir. Levha için çıkartılmış olan (2.4) denklemlerini kullanarak ve bu denklemlerden “(c)” nin sol tarafı yerine (3.1) nolu denklemin sol tarafını koyarsak u ve β 'yı belirleyen aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilir.

$$B_1 \frac{d^2 u}{dz^2} = -\beta P (L - z) \quad (a)$$

$$C \frac{d\beta}{dz} - \frac{Dh^2}{2} \frac{d^3 \beta}{dz^3} = P (L - z) \frac{du}{dz} - P (ds - u) \quad (b) \quad (3.2)$$

Bu denklemlerden ikincisini z ye göre türetip, birinci denklemden faydalanarak, $\frac{d^2 u}{dz^2}$ 'yi yok edersek;

$$\frac{d^4 \beta}{dz^4} - \frac{1}{a^2} \frac{d^2 \beta}{dz^2} - \frac{2P^2}{B_1 Dh^2} (1 - z)^2 \beta = 0 \quad (3.3)$$

elde edilir. Bu denklem sonsuz seriler metoduyla integre edilip, uç şartları da kullanılarak P yükünün kritik değerini veren denklem;

$$P_{cr} = \frac{m\sqrt{B_1 C}}{L^2} \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. Burada m bir sayısal çarpan olup, $a^2 = \frac{Dh^2}{2C}$ için L^2/a^2 oranının değerine bağlı olarak değişir. m'in bazı değerleri için Çizelge 3.1 de verilen (Çizelge S.Timoshenko, Elastik Stabilite Teorisi kitabından alınmıştır) değerler

kullanılacaktır. Buradan L^2/a^2 oranı arttıkça, m çarpanı değerinin küçüldüğünü ve ince dikdörtgen kesitli çubuklarda bulunmuş olan 4,013 değerine yaklaştığı görülmektedir. L^2/a^2 oranının 40 tan büyük olması halinde;

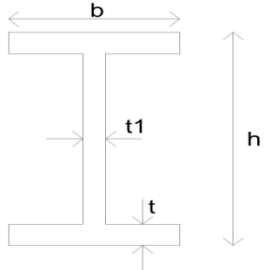
$$m = \frac{4,01}{\left(1 - \frac{a}{L}\right)^2} \text{ olarak kullanılır.}$$

Çizelge 3.1 : (3.4) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.

l^2/a^2	0,1	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	24	32	40
m	44,3	15,7	12,2	10,7	9,76	8,69	8,03	7,58	7,2	6,96	6,73	6,19	5,87	5,64

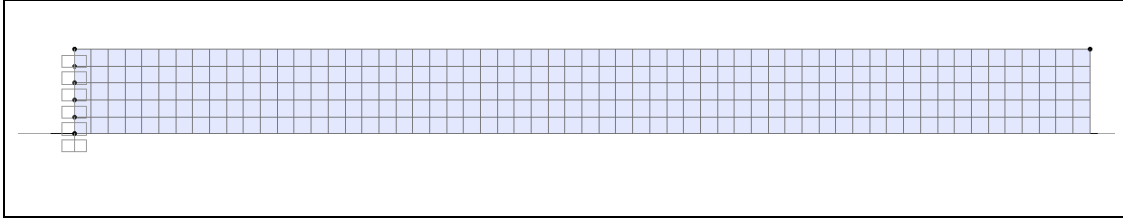
Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında karşılaştırmalı burkulama analizini yapacağımız kesitin boyutları, elastik stabilite teorisine göre bulunan kritik yük ve gerilme değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : I kesitli konsol kriş için malzeme, kesit, kritik yük ve gerilme değerleri

I Kiriş									
l	h	b	t	t1	E	G	μ		
m	m	m	m	m	kN/m ²	kN/m ²	-		
12	1	0,3	0,019	0,011	210000000	80769231	0,3		
I Kiriş Ankastre(Tekil Yük Sonda)						l^2/a^2	l/a	σ_{cr}	P_{cr}
						--	--	kN/m ²	kN
						4,70	2,17	178412,2	103,79

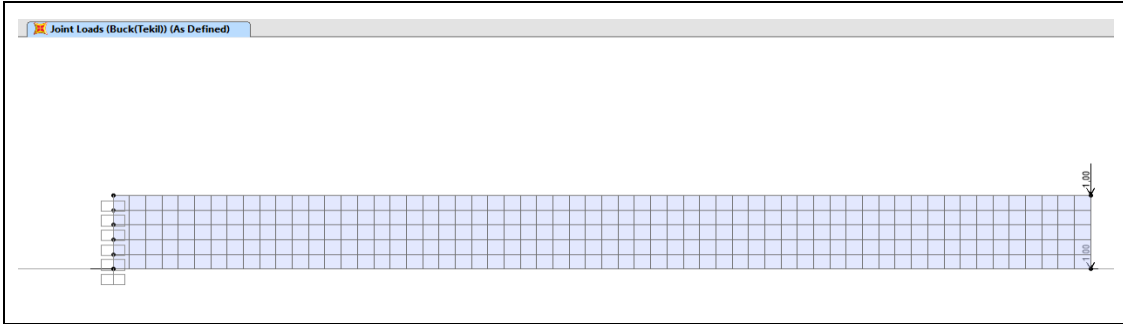
3.1.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Hem gövde hem başlıkları kabuk(shell) eleman olarak düzenlenen sistemin, kesit özelliklerini tanımlamak için: “Define > Section Properties > Area Sections” seçeneğine tıklanıp, “Add New Section” sekmesinden; başlık ve gövde kesitleri için ayrı ayrı kesitler tanımlanır. I kesitli konsol kriş için: kriş boyu 12m, kriş yüksekliği 1m, üst ve alt levhaların genişlikleri 30cm, et kalınlıkları 1,9cm ve kesit gövde et kalınlığı 1,1 cm olarak modellenmiştir. Şekil 3.1 de verilen mesnetlenme koşulu için: kesit bir taraftan bütün doğrultu deplasmanları ve dönmeleri tutularak konsol sistem oluşturulmuştur.



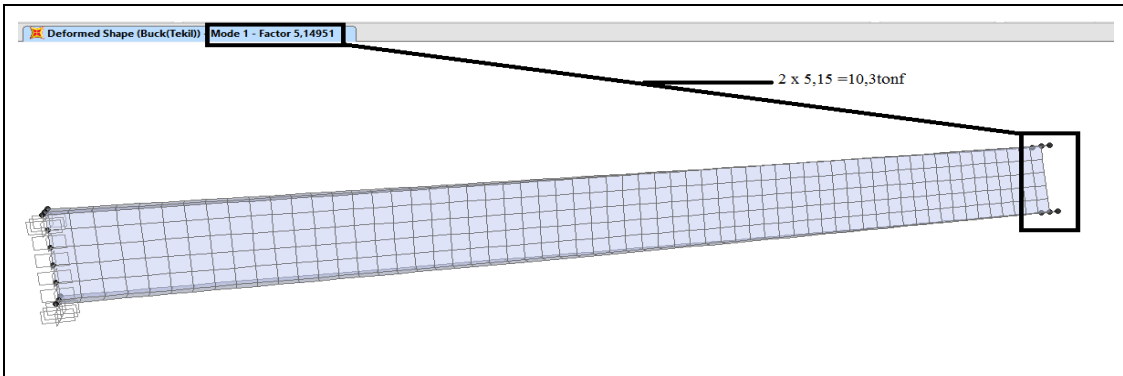
Şekil 3.1 : I kiriş genel görünüm.

Burkulma yükü sadece bir noktadan girilebileceği gibi, kesitte simetrisinin sağlanabilmesi için üst ve alt noktalardan girilip, bulunan sonuç mod faktörü 2 ile çarpılarak burkulma kritik yüküne erişilebilir.



Şekil 3.2 : Buck(Tekil) burkulma yüklemesi.

Analiz sonucu bulunan 5,15 mod faktör değeri 2tonf birim yükü ile çarpılarak 10,3tonf (101,04kN) kritik yük değeri elde edilir. Bu kritik yük değeri lineer elastik teoriye göre hesaplanan 10,58tonf (103,79kN) değeriyle karşılaştırıldığında, çok yakın bir değer olarak elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 3.3 : Burkulma modu ve kritik yük.

3.2 Basit Mesnetli I Kirişlerin Yanal Burkulması

Basit mesnetli sistemlerde yanal burkulma analizi tekil ve yayılı yükler altında yapılacaktır.

3.2.1 Kesit merkezine tekil yük etkimesi hali

Elastik stabilite teorisi ve Sap2000 kullanılarak yapılacak hesaplamalarda, sistemin kararsız duruma geçtiği en küçük yanal burkulma yükü araştırılacaktır.

3.2.1.1 Elastik stabilite teorisi kullanılarak yapılan hesap

Öncelikli olarak, orta kesidin ağırlık merkezine bir P kuvveti etkilmesini ele alıp, uç kesitlerin simetri eksenlerine göre serbestçe dönebileceğini kabul edersek; (3.1) nolu denklemi ve burulma denklemlerini kullanarak;

$$B_1 \frac{d^2 u}{dz^2} = \beta \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \quad (a)$$

$$C \frac{d\beta}{dz} - \frac{Dh^2}{2} \frac{d^3 \beta}{dz^3} = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \frac{du}{dz} - \frac{P}{2} (ds - u) \quad (b) \quad (3.5)$$

Bu iki denklem arasında u yok edilerek dördüncü mertebeden denklem elde edilir. Bu denklemi sonsuz seriler yardımıyla integre edip uç şartlarını kullanarak yükün kritik değeri;

$$P_{cr} = \frac{m\sqrt{B_1 C}}{L^2} \quad (3.6)$$

olarak hesap edilerek m sayısal çarpanının değerleri L^2/a^2 değerine bağlı olarak Çizelge-3.3 den (Çizelge S.Timoshenko, Elastik Stabilite Teorisi kitabından alınmıştır) elde edilebilir.

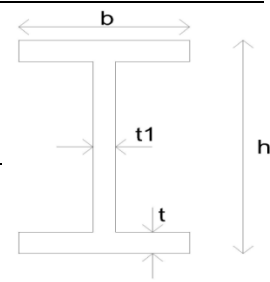
Çizelge 3.3 : (3.6) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.

L^2/a^2	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
m	86,4	31,9	25,6	21,8	20,3	19,6	18,8	18,3	18,1	17,9	17,5	17,4	17,2	17,2

Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında karşılaştırmalı burkulma analizini yapacağımız kesitin boyutları, elastik stabilite teorisine göre bulunan kritik yük ve gerilme değerleri Tablo-4.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Basit mesnetli I kesitli kiriş için malzeme, kesit, kritik yük ve gerilme değerleri

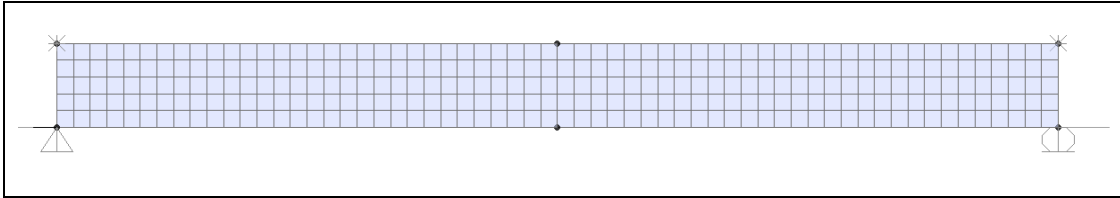
I Kiriş								
l	h	b	t	t1	E	G	μ	
m	m	m	m	m	kN/m ²	kN/m ²	-	
12	1	0,3	0,019	0,011	210000000	80769231	0,3	



I Kiriş Basit Mesnetli(Tekil Yük Ortada)	l^2/a^2	l/a	σ_{cr}	P_{cr}
	--	--	kN/m ²	kN
	4,70	2,17	585433,9	340,70

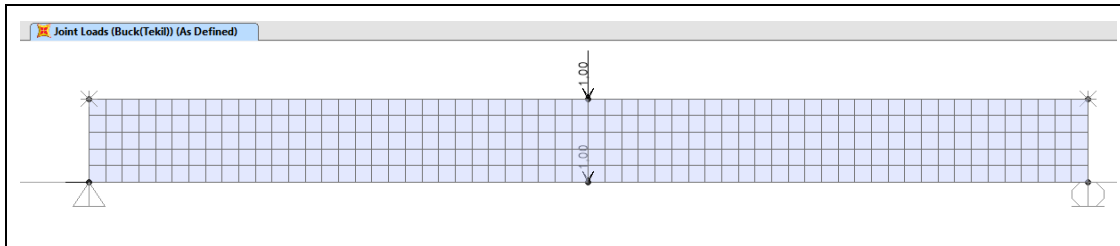
3.2.1.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Kullanılacak I kesidin bir önceki konuda verilen konsol kirişten farkı, üst ve alt başlıklarının çubuk elemandan oluşmasıdır. Oluşturulan çubuk elemanlar kesim noktalarında parçalara ayrılmıştır. Mesnet koşulları olarak ise kesit alt noktalarından ana mesnet koşulları ve üst noktalardan devrilmeyi engelleyici mesnet koşulları belirlenmiştir (Şekil 3.4).



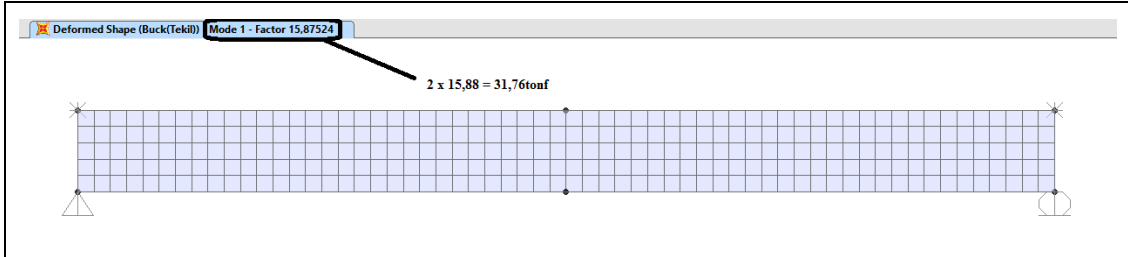
Şekil 3.4 : I kiriş mesnet koşulları.

Şekil-3.5’de görülen burkulma yüklemesi hem üst hemde alt kesitten yapıлып bulunan sonuç burkulma mod değeri toplam birim yük ile çarpılarak kritik yük değeri elde edilecektir.

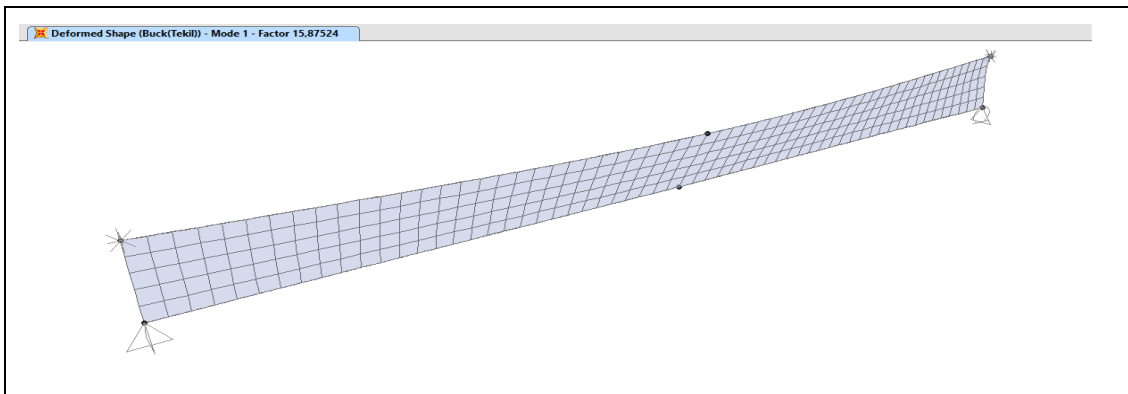


Şekil 3.5 : Buck(Tekil) burkulma yüklemesi.

Şekil-3.6'den görülen burkulma yüklemesi değeri 31,76tonf (311,57kN) olarak hesaplanmıştır. Elastik stabilite teorisine göre yapılan çözümde bu değer 34,73 tonf (340,70kN)olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6 : Burkulma modu ve kritik yük



Şekil 3.7 : Burkulma modu şekli

3.2.2 Kiriş ağırlık merkezi boyunca yayılı yük etkimesi hali

Ortada tekil yük için kullanılan kullanılan yöntem, kirişin ekseni boyunca yayılmış uniform yük halinde de kullanılabilir. Bu yükün kritik değeri;

3.2.2.1 Elastik stabilite teorisini kullanılarak yapılan hesap

I kiriş ortasına kuvvet yüklemek yerine üzerine yayılı yük yüklenirse, aynı yanal burkulma yükün kritiğe değere ulaşmasıyla oluşur. Kirişin ekseni boyunca yayılmış q şiddetinde üniform bir yük yükleyelim. Bu yükün kritik değeri burkulmuş kirişin denge denklemleri yardımıyla hesaplanır.

$$(q)_{cr} = \frac{m\sqrt{B_1C}}{L^2} \quad (3.7)$$

Bu kısımda da öncekiler gibi m çarpanının değeri L^2/a^2 değerine bağlıdır. Bu oran, kirişin boyutlarından hesap edilebilir. Tablo-3.5 (Tablo S.Timoshenko, Elastik Stabilite Teorisi kitabından alınmıştır)

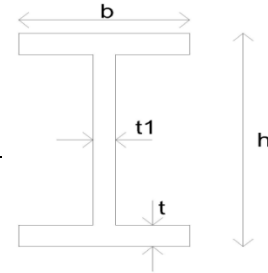
Çizelge 3.5 : (3.7) denklemindeki kritik m çarpanı değerleri.

l^2/a^2	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
m	143	53	42,6	36,3	33,8	32,6	31,5	30,5	30,1	29,4	29	28,8	28,6	28,6

Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında karşılaştırmalı burkulma analizini yapacağımız kesitin boyutları, elastik stabilite teorisine göre bulunan kritik yük ve gerilme değerleri Çizelge 3.6'de verilmiştir.

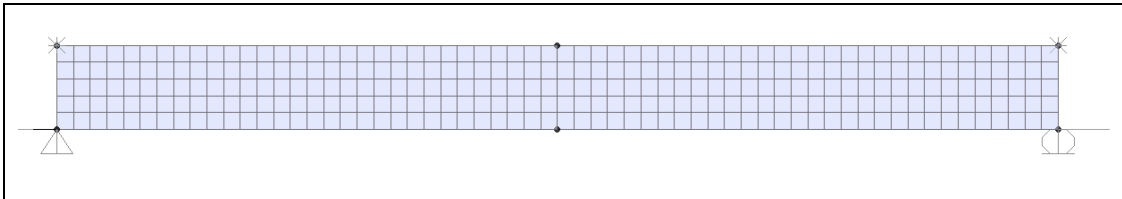
Çizelge 3.6 : I kesitli basit kiriş yayılı yük için kritik yük ve gerilme değerleri.

I Kiriş									I Kesit Boyutları	
l	h	b	t	t1	E	G	μ			
m	m	m	m	m	kN/m ²	kN/m ²	-			
12	1	0,3	0,019	0,011	210000000	80769231	0,3			
						l^2/a^2	l/a	σ_{cr}	q_{cr}	
I Kiriş Basit Mesnetli(Yayılı Yük)						--	--	kN/m ²	kN/m	
						4,70	2,17	972887,1	47,19	

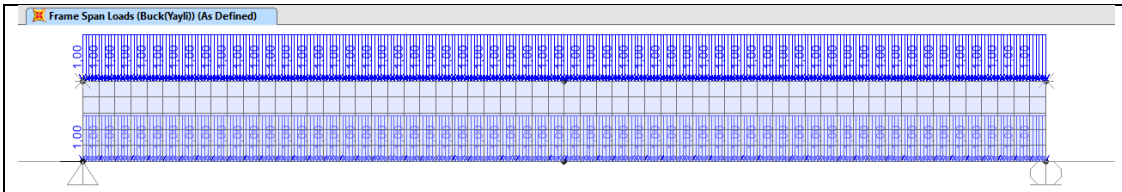


3.2.2.2 Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan hesap

Bir önceki model üzerinden devam edilerek Burkulma(yayılı) yüklemesi kesidin üst ve alt kısmına simetrik olarak yüklenmiştir (Şekil 3.8) . Mesnet koşulları olarak ise kesit alt noktalarından ana mesnet koşulları ve üst noktalardan devrilmeyi engelleyici mesnet koşulları belirlenmiştir. Şekil-3.9 da mesnet koşulları görünmektedir.

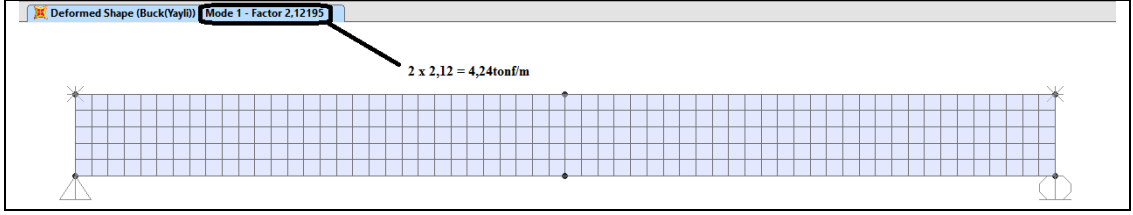


Şekil 3.8 : I kiriş mesnetlenme görünümü

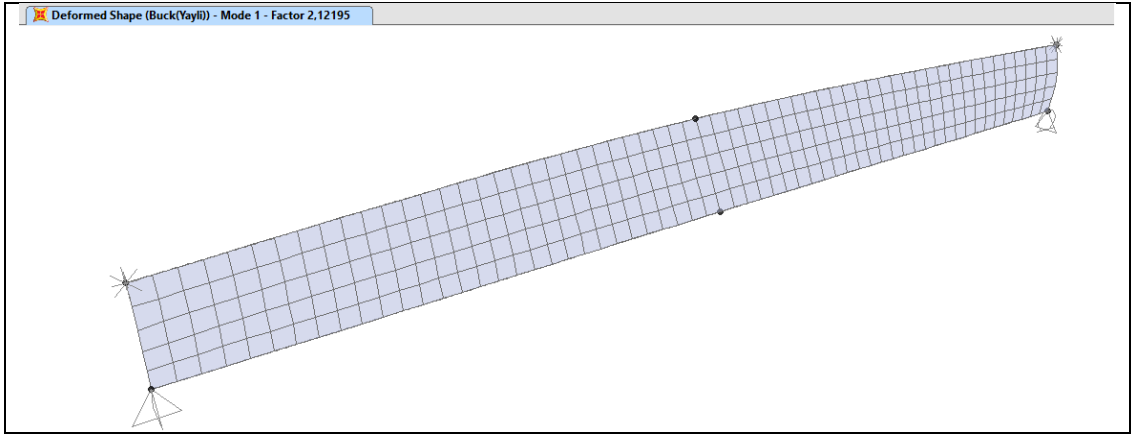


Şekil 3.9 : Burkulma Yüklemesi

Şekil-3.10'dan görülen burkulma yüklemesi değeri 4,24tonf/m (41,59kN/m) olarak hesaplanmıştır. Lineer elastik teori yardımıyla yapılan çözümde bu değer 4,81tonf/m (47,19kN/m) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.10 : Mod 1 kritik burkulma yükü



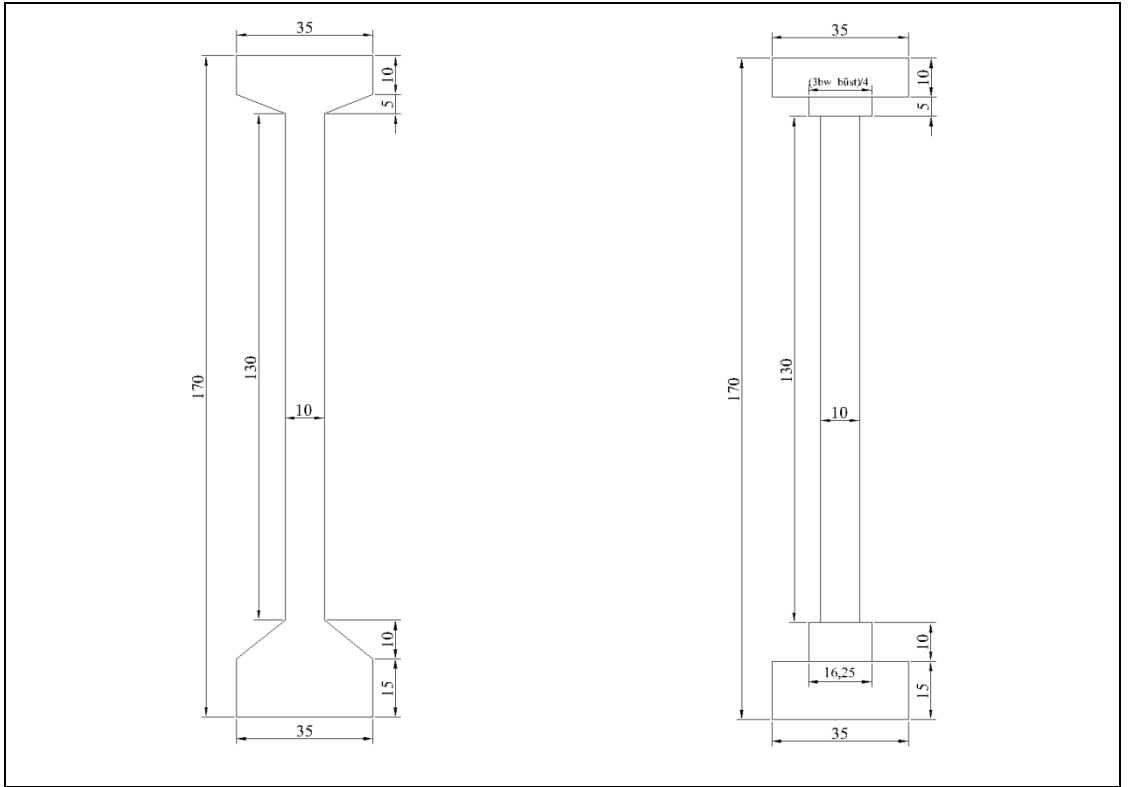
Şekil 3.11 : Mod 1 kritik burkulma şekli

4. SABİT I ENKESİTLİ BASİT MESNETLİ BETONARME KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI

Bu bölümde, sabit I enkesitli; basit mesnetli betonarme kirişlerin, elastik stabilite teorisi ve sap2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programı yardımıyla incelemeleri yapılacaktır. Hesaplama yapılacak modeller 25m açıklıklı, $h=1,7m$ yükseklikli kirişler olup, beton sınıfı olarak C40 kullanılacaktır.

4.1 Elastik Stabilite Teorisi Kullanılarak Yapılan Hesap

Sistem hesabında kullanılacak betonarme kesidin; eğilme rijitlikleri (B_1 ve B_2), burulma rijitliği (C) ve başlık eğilme rijitliği (D) hesaplanacaktır. Hesap adımlarında, B_1 ve B_2 için Şekil 4.1'in sol taraftaki kesidi ve C için sağ taraftaki eşdeğer kesidi kullanılacaktır. D yaklaşık bir hesapla B_1 'in yarısı olarak alınacaktır.



Şekil 4.1 : Hesaba esas betonarme I kesit ve eşdeğer kesit.

4.1.1 Sistem, orta üst kesidinden tekil yükleme yapılması

Tekil yükleme altında hesap yapılacak olan basit kirişte, yükleme sistem merkezinin üst noktasında varsayılacaktır. Hesap kolaylığı açısından tüm kesit sabit olarak düşünülecektir.

Beton sınıfı C40 olan sistemde;

$$E = 3400 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}; G = 1416,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ 'dir.}$$

$$B_1 = \left[\frac{35^3 \times 10}{12} + \frac{12,5^3 \times 5}{36} \times 2 + \frac{12,5 \times 5}{2} \times \left(5 + \frac{12,5}{3}\right)^2 \times 2 + \frac{35^3 \times 15}{12} + \frac{12,5^3 \times 10}{36} \times 2 + \frac{12,5 \times 10}{2} \times \left(5 + \frac{12,5}{3}\right)^2 + \frac{10^3 \times 145}{12} \right] \times E$$

$$B_1 = 118789,07 \times E$$

$$B_2 = \left[\frac{10^3 \times 35}{12} + 35 \times 10 \times \left(\frac{170}{2} - \frac{10}{2}\right)^2 + \frac{5^3 \times 12,5}{36} \times 2 + \frac{5 \times 12,5}{2} \times \left(\frac{170}{2} - 10 - \frac{5}{3}\right)^2 \times 2 + \frac{15^3 \times 35}{12} + 35 \times 15 \times \left(\frac{170}{2} - \frac{15}{2}\right)^2 + \frac{10^3 \times 12,5}{36} \times 2 + \frac{10 \times 12,5}{2} \times \left(\frac{170}{2} - 15 - \frac{10}{3}\right)^2 \times 2 + \frac{145^3 \times 10}{12} \right] \times E$$

$$B_2 = 8839010,45 \times E$$

$$C = \frac{1}{3} [10^3 \times 35 + 5^3 \times 16,25 + 10^3 \times 130 + 10^3 \times 16,25 + 15^3 \times 35] \times G$$

$$C = 100468,75 \times G$$

$$D = \frac{B_1}{2} = 59394,53 \times E$$

Çizelge 4.1 : Basit mesnetli, tekil yükle yüklenmiş I kesitli kiriş için kritik m değerleri.

l^2/a^2	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
m	86,4	31,9	25,6	21,8	20,3	19,6	18,8	18,3	18,1	17,9	17,5	17,4	17,2	17,2

25m açıklıklı I enkesitli kirişin yanal burkulma yüküne esas m değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir. L^2/a^2 değerine bağlı olarak m değeri hesaplanabilir.

$$\frac{L^2}{a^2} = \frac{2xCxL^2}{Dxh^2} = 304,85 \rightarrow m = 17,3$$

$$P_{cr} = \frac{m_1\sqrt{B_1xC}}{L^2} = 663,66\text{kN} = 67,65\text{tonf}$$

Sistem orta noktasının üst kesidinden yapılan tekil yükleme sonucu oluşan kritik burkulma yükü 67,65 tonf (663,66kN) olarak hesaplanmıştır. Bu yük ileride sap2000 ile hesaplanacak burkulma yükü ile karşılaştırılacaktır.

4.1.2 Sistem üst başlık ekseninden düzgün yayılı yükleme yapılması

Tekil yükleme yapılan kesidin eşdeğeri olan sistemin; B₁, B₂, C ve D değerleri önceki sistemle aynı olup, değişiklik sadece sistemin L²/a² değerine bağlı olan m değerinde olacaktır.

Çizelge 4.2 : Basit mesnetli yayılı yükle yüklenmiş I kesitli kiriş için kritik m değerleri.

L ² /a ²	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
m	143	53	42,6	36,3	33,8	32,6	31,5	30,5	30,1	29,4	29	28,8	28,6	28,6

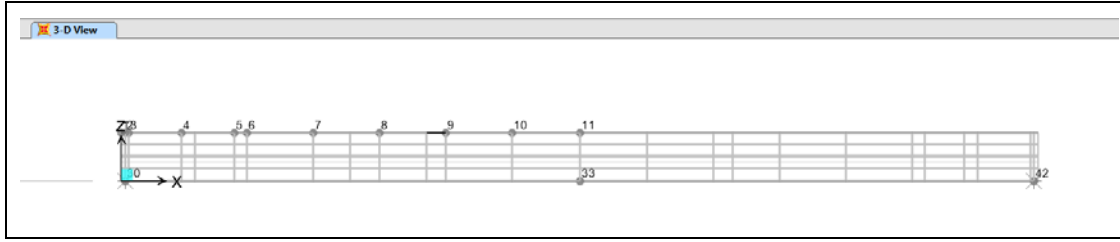
25m açıklıklı I enkesitli kirişin yanal burkulma yüküne esas m değerleri Çizelge 4.2 de verilmiştir. L²/a² değerine bağlı olarak m değeri hesaplanabilir.

$$\frac{L^2}{a^2} = \frac{2CL^2}{Dh^2} = 304,85 \rightarrow m = 28,7$$

$$Q_{cr} = \frac{m_1\sqrt{B_1C}}{L^3} \times 100 = 44,04\text{kN/m} = 4,49\text{tonf/m}$$

Sistem üst kesidinden yayılı yükleme sonucu oluşan kritik burkulma yükü 4,49tonf/m olarak hesaplanmıştır. Bu yük ileride sap2000 ile hesaplanacak burkulma yükü ile karşılaştırılacaktır.

4.2 Sap2000 Sonlu Elemanlar Analiz Programı Kullanılarak Yapılan Hesap

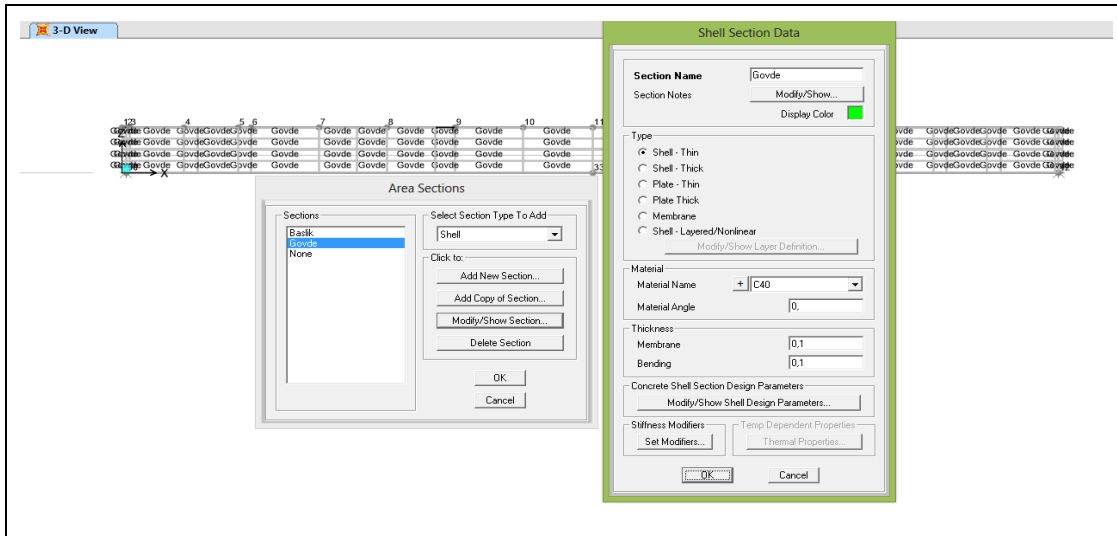


Şekil 4.2 : Sistem genel görünüşü.

Sap 2000 sonlu elemanlar hesap ve analiz programında kullanılacak sistemler, ikiye ayrılacaktır. Bunlardan birincisinde başlık kesitsiz sabit enkesitli sistemler kullanılacak olup ardından mesnet bölgelerinden başlayarak 2 metrelik kısımda 35cmx170cm dolu kesit kullanılacaktır. Şekil 4.2’de görülen sistem 25 m olarak modellenecek, gövde elemanları plak ve başlık elemanlar çubuk olarak modellenecektir. Kabuk elemanlar yatayda 26 parçaya ve düşeyde 4 parçaya ayrılacaktır. Tüm modeller beton sınıfı olarak C40 kullanılacaktır. Sistem üst başlık kesitlerinden 1 den 11 e kadar sıralanmış takip noktaları belirlenecektir. Çizelge 4.3 de takip noktalarının başlangıç noktasına olan yatay mesafeleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Düğüm noktaları yatay mesafeleri.

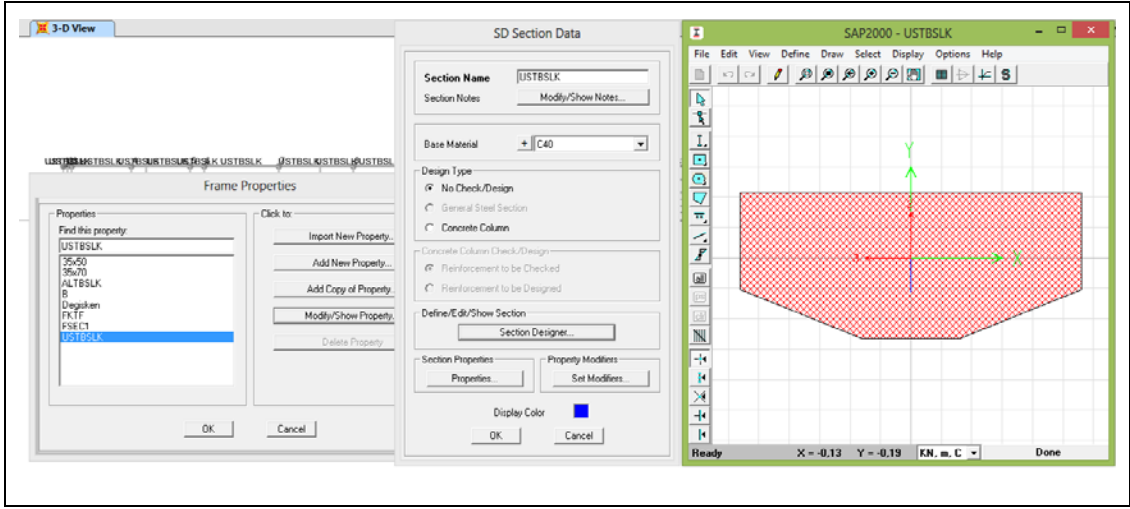
Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yatay Mesafe(m)	0,000	0,100	0,200	1,648	3,075	3,425	5,235	7,045	8,855	10,665	12,500



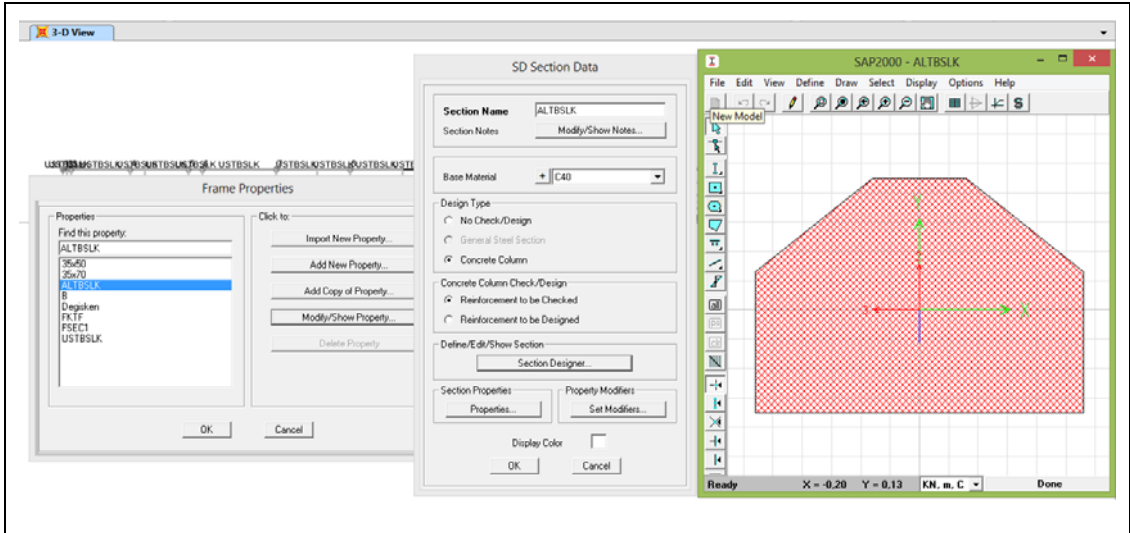
Şekil 4.3 : Sistem gövde kesidi plak eleman tanımlanması.

Şekil 4.3’de görülen gövde kesitini tanımlanmasında, 10 cm kalınlığında kabuk eleman kullanılmıştır. Çubuk eleman olarak tanımlanan üst ve alt başlıklar sırasıyla

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Sistem üst başlığı için genişlik 35cm, pah kısmına kadar olan yükseklik 10cm ve pah yüksekliği 5cm’dir. Alt başlık içinse, genişlik 35cm, pah kısmına kadar olan yükseklik 15cm ve pah yüksekliği 10cm’dir.

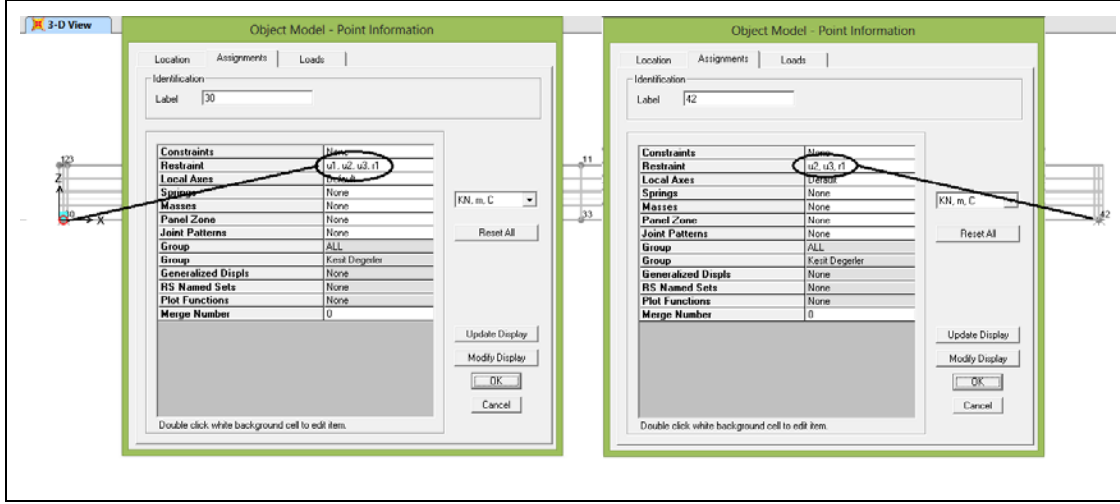


Şekil 4.4 : Sistem üst başlık çubuk eleman tanımlanması.



Şekil 4.5 : Sistem alt başlık çubuk eleman tanımlanması.

Sistem mesnet koşulları olarak; Şekil 4.6da görüldüğü üzere, 0,1m alt başlık noktasında x, y ve z doğrultularında (u1, u2 ve u3) deplasmanları ve x etrafındaki dönmesi (r1) tutuludur. 24,9m’de bulunan mesnet noktasında ise y ve z doğrultusundaki deplasmanlar ile x etrafındaki dönmeye karşı sistem tutulmuştur.

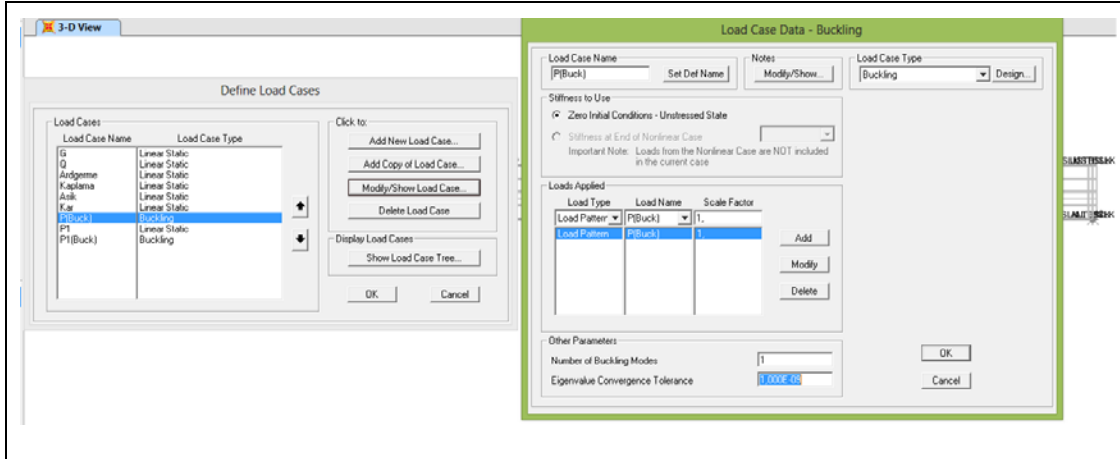


Şekil 4.6 : Mesnet koşullarının tanımlanması.

4.2.1 Sistem, orta üst kesidinden tekil yükleme yapılması

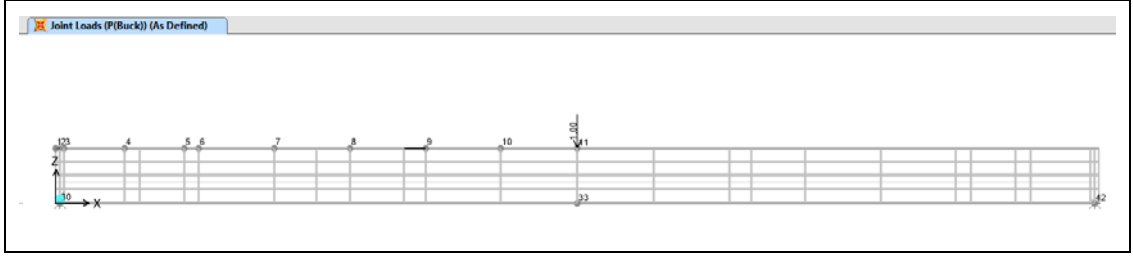
4.2.1.1 Teorik hesap modeli

Bu yükleme altında sistem hesapları teorik hesapla karşılaştırılabilmesi için öncelikle mesnet bölgesi dolu olmayan model için yapılacak olup ardından başlıklı model olarak düzenlenecektir. Tekil yükleme altında yapılacak hesap için yük tanımlamaları Şekil 4.7 de görüldüğü üzere P(buck) burkulma yükü olarak sisteme tanıtılmıştır.



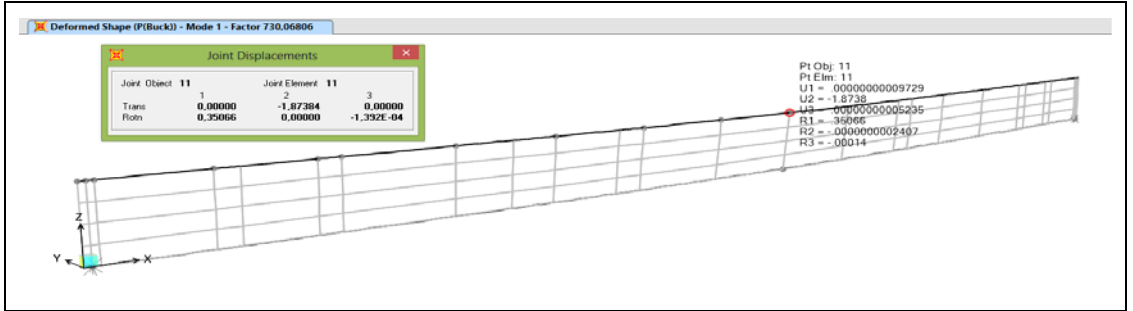
Şekil 4.7 : P(Buck) burkulma yükünün tanımlanması.

Sistem üzerine Şekil 4.8 de görülen, tek bir noktadan yapılacak birim yükleme sonucu bulunan burkulma oranı, birim yüklemeyle çarpılarak sistem kritik yanal burkulma yükü elde edilecektir.



Şekil 4.8 : P(Buck) burkulma yükünün yüklenmesi.

Sistem üzerine Şekil 4.8 de görülen, tek bir noktadan yapılacak birim yükleme sonucu 730.07kN (74,4tonf) değeri elde edilmiştir. Elastik teoriye göre yapılan hesapta bu değer 67,65tonf (663,66kN) olarak bulunmuştu. Oluşan fark, alt başlık etrafındaki dönmelerin tutulu olaması sebebiyle bu fark oluşmuştur. Teorik modelin tam temsili bu dönmelerin bırakılıp, alt noktanın çok küçük bir üst noktasından y doğrultusundaki deplasmanın (u2) tutulmasıyla elde edilebilir.

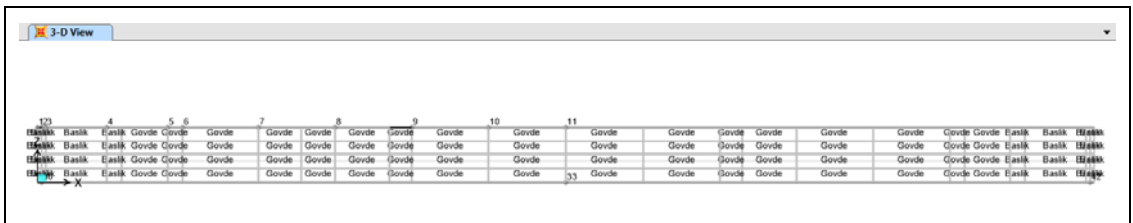


Şekil 4.9 : P(Buck) yüklemesi altındaki şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

11nolu düğüm noktası üzerindeki deplasman değerleri incelendiğinde sistemin bu noktada -1,87m y doğrultusundaki deplasmanla stabilitesini kaybettiği gözlemlenmektedir.

4.2.1.2 Uygulamalarda kullanılan sistem modeli

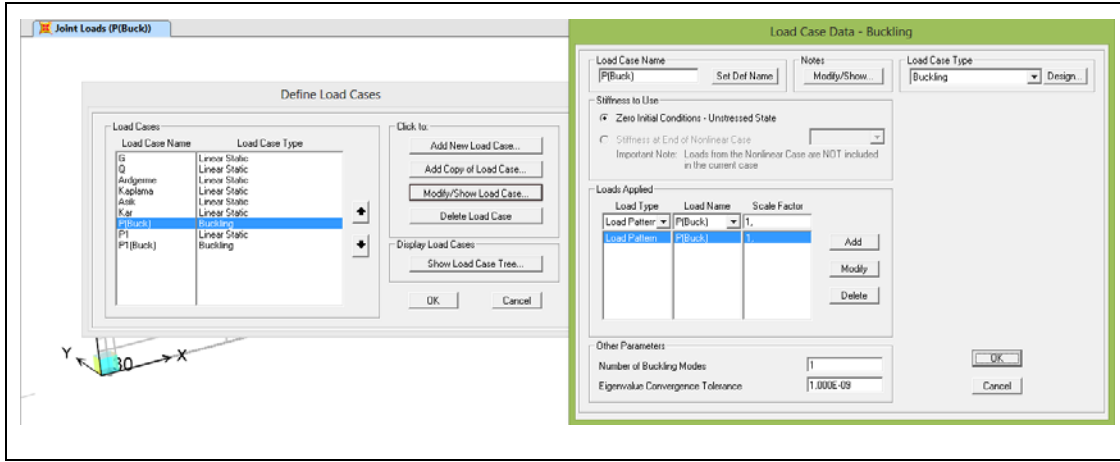
Sabit enkesitli sistemlerin mesnet bölgelerindeki yüksek kesme kuvvetlerinin karşılanabilmesi için bu bölgeler dolu kesitle geçilir. 25m açıklıklı kirişimiz esas modelden farklı olarak, Şekil 4.9 da görüldüğü gibi başta ve sondaki 2m'lik kısımları 35cmx170cm dolu kesit tanımlanmıştır.



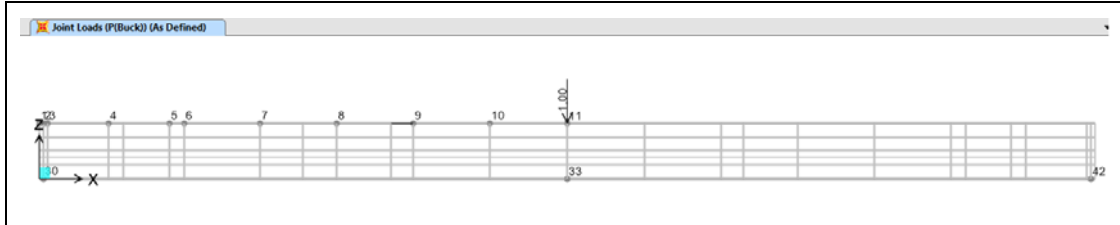
Şekil 4.10 : Kabuk eleman kesitleri.

3 çeşit yükleme türüyle tanımlanacak modelin, esas burkulma yükünün hesaplanması için P(Buck) yüklemesi kesit üst başlık ortasından yapılacaktır. Aynı nokta üzerine burkulma yükünün %80'i mertebesindeki P1 düşey yüklemesi altında düşey deplasmanlar ve P(Buck) yüklemesinin %80'i oranındaki P1(buck) burkulma yüklemesiyle birlikte de yanal deplasmanlar elde edilecektir.

Şekil 4.11 da görülen yük tanımları ve ardından 11 nolu düğüm noktasına yapılan P(buck) yüklemesi Şekil 4.12 de gösterilmiştir.

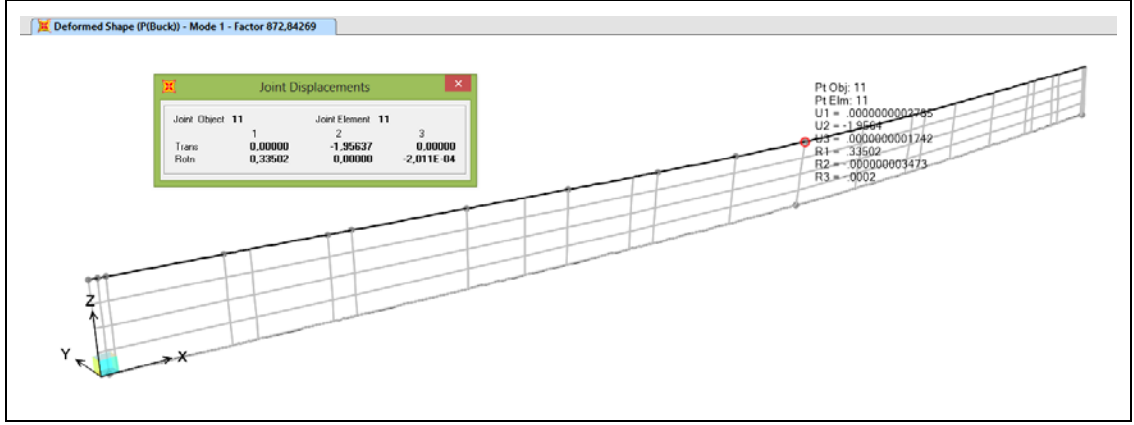


Şekil 4.11 : P(Buck), P1 ve P1(Buck) yük tanımları.



Şekil 4.12 : P(Buck) yüklemesi.

P(buck) burkulma yüklemesi sonucu tanımlanan sistemin taşıyabileceği kritik burkulma yükü 872,84kN (88,97tonf) olarak hesaplanmıştır. 11 nolu düğüm noktasındaki yanal deplasman, sistem stabilitesini kaybettiğinden -1,97m (y doğrultusunda) olmuştur.



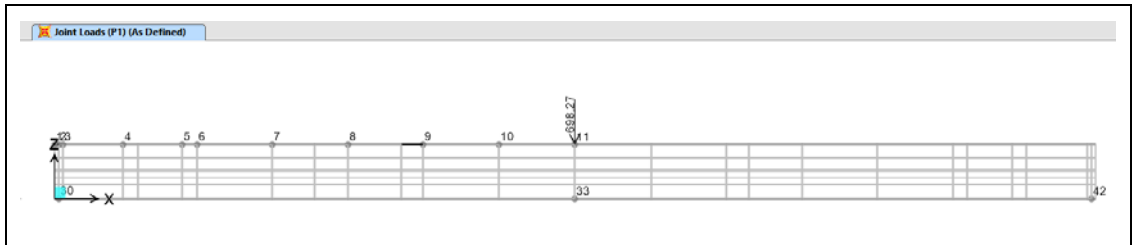
Şekil 4.13 : P(Buck) yüklemesi altında şekilleştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman ve dönme değerleri Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

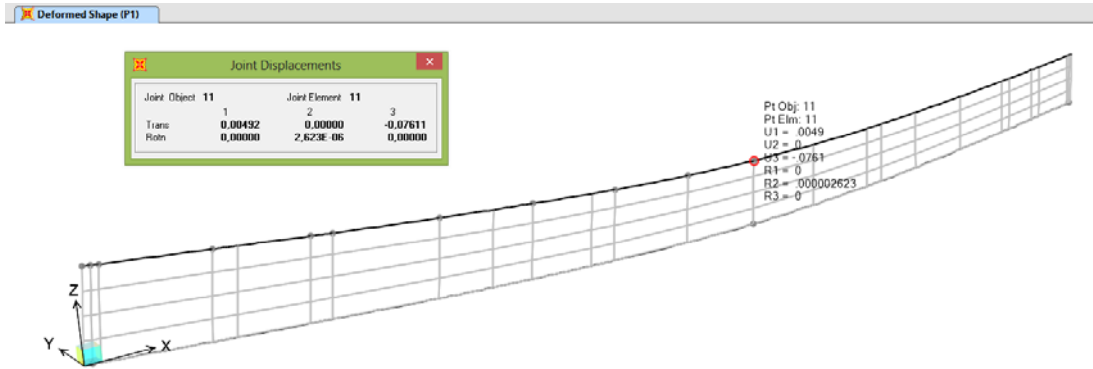
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	0,00592	0,00000	-0,17917
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,006	0,000	0,00595	0,00000	-0,17919
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00603	0,00000	-0,17925
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,284	0,000	0,00874	0,00000	-0,18126
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,556	0,000	0,03392	0,00000	-0,20273
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,627	0,000	0,04418	0,00000	-0,20534
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,997	0,000	0,11281	0,00000	-0,20543
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,349	0,000	0,18680	0,00000	-0,18750
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,653	0,000	0,25581	0,00000	-0,15089
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,871	0,000	0,31126	0,00000	-0,09011
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,956	0,000	0,33502	0,00000	-0,00020

Bu yükün %80'i mertebesinde olan 698,27kN, Şekil 4.13 de görüldüğü gibi P1 yüklemesi olarak yapılmıştır. Bu yüklemenin amacı sistemin kararsız duruma geçmeden önceki düşey deplasmanlarını ve üst-alt başlıklardaki aksenal basınç-çekme kuvvetlerini elde etmektir.



Şekil 4.14 : P1 yüklemesi.

P1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 7,61cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 4.15 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 4.5 de verilmiştir.



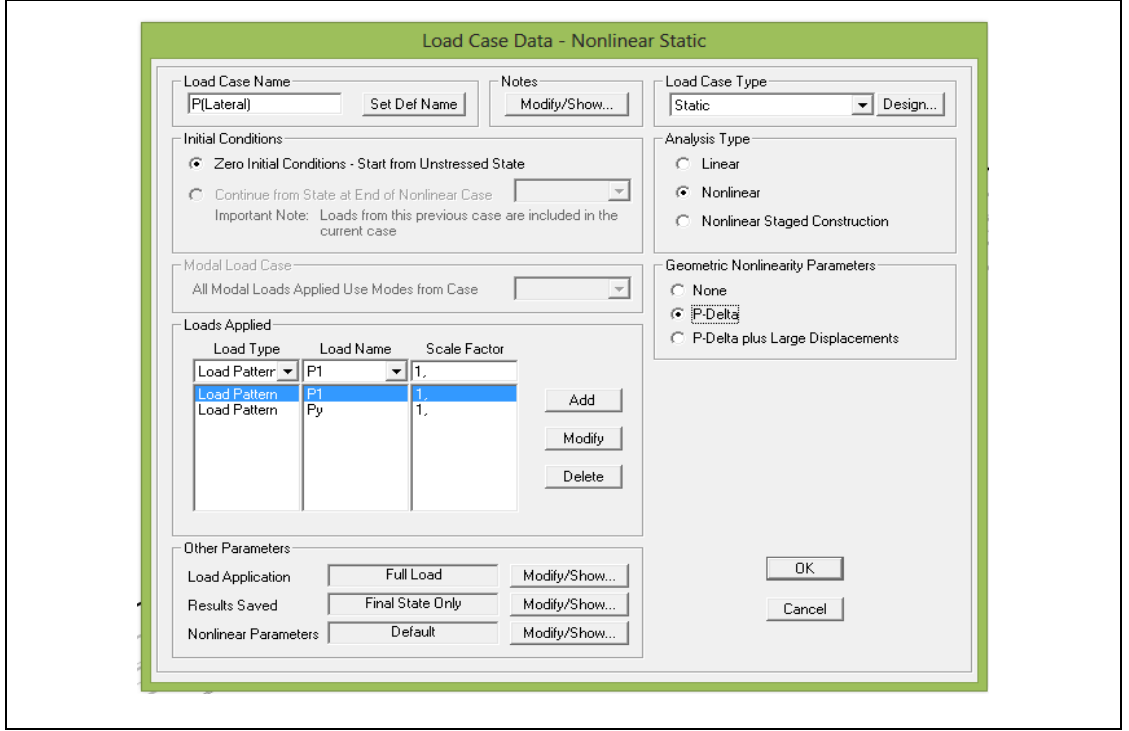
Şekil 4.15 : P1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 4.5 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

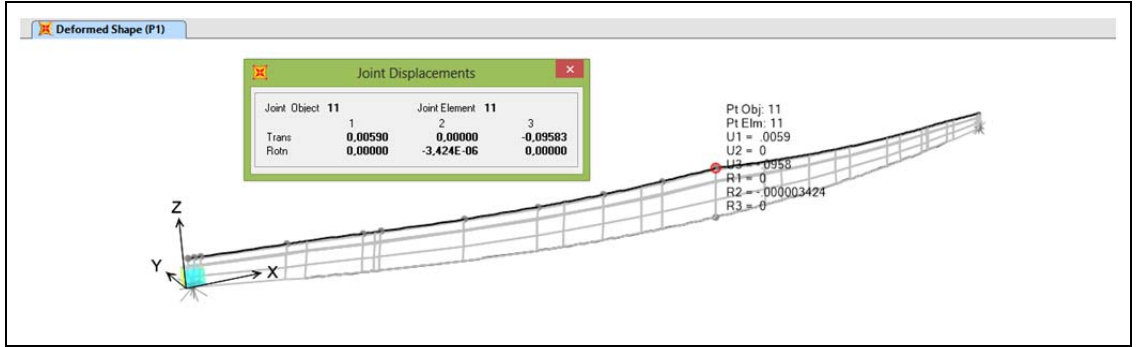
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,012	0,000	0,001	0,00000	0,00891	0,00000
2	P1	LinStatic	0,012	0,000	0,000	0,00000	0,00891	0,00000
3	P1	LinStatic	0,012	0,000	-0,001	0,00000	0,00888	0,00000
4	P1	LinStatic	0,012	0,000	-0,014	0,00000	0,00881	0,00000
5	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,026	0,00000	0,00848	0,00000
6	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,029	0,00000	0,00829	0,00000
7	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,044	0,00000	0,00716	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,057	0,00000	0,00604	0,00000
9	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,067	0,00000	0,00448	0,00000
10	P1	LinStatic	0,007	0,000	-0,073	0,00000	0,00196	0,00000
11	P1	LinStatic	0,005	0,000	-0,076	0,00000	0,00000	0,00000

Karasız durum öncesi yanal deplasmanların bulunabilmesi için, P(Buck) yüklemesinin %80 i mertebesindeki P1(Buck) yüklemesi, burkulma yüklemesi olarak Şekil 4.15 de görüldüğü gibi 698,27kN olarak uygulanmıştır.

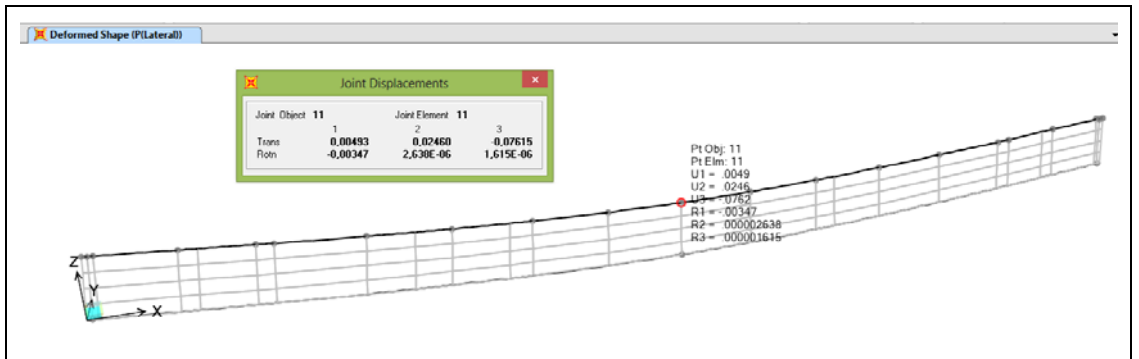
İkinci mertbe etkilerinin dikkate alındığı P(lateral) yüklemesi sisteme uygulanarak düşey ve yatay deplasmanların değişimi incelenmiştir. P-delta yükü olarak tanımlanan P(lateral) yüklemesi, P1 düşey ve Py (1kN) yanal yükünün kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.16 : P(lateral) yük tanımı.



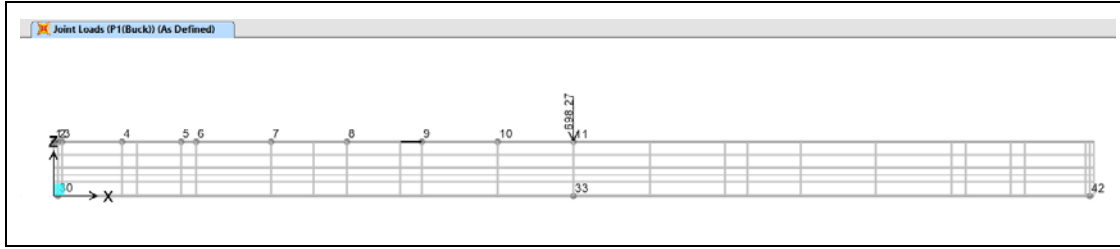
Şekil 4.17 : Py yüklemesi.



Şekil 4.18 : P(lateral) yüklemesi sonucu oluşan yatay ve düşey deplasmanlar.

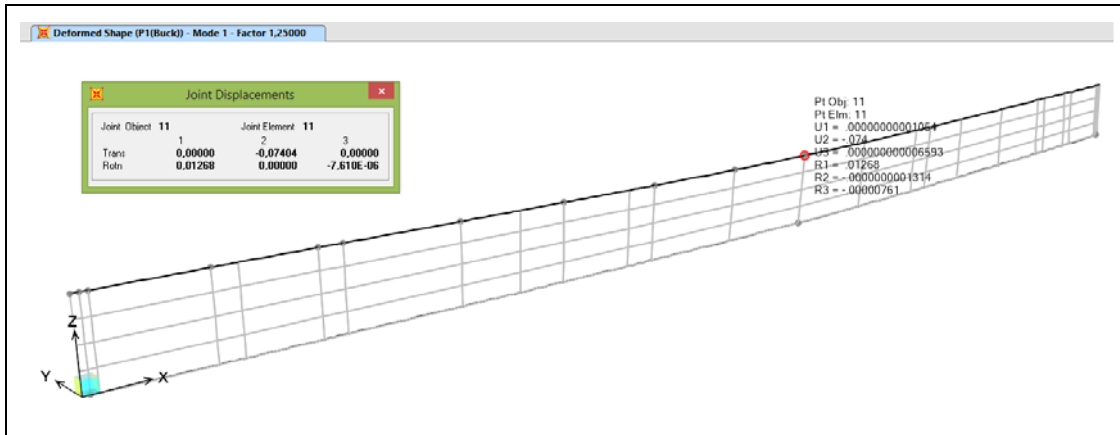
İkinci mertbe etkilerinin dikkate alındığı P(lateral) yüklemesi sonucu düşey sistem orta noktasındaki düşey deplasman -7,615cm'dir. İkinci mertbelerin dikkate

alınmadığı P1 yüklemesi ile oluşan düşey deplasman (-7,6cm), ikinci mertebe etkilerin dikkate alındığı P(lateral) yüklemesi ile oluşan deplasmanla aynıdır. Bu bölümden sonra yapılacak yüklemeler linear statik yük olarak uygulanacaktır.



Şekil 4.19 : P1(Buck) yüklemesi.

P1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanal deplasman, 11 nolu düğüm noktasında -7,4cm (y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 4.17 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 4.6 de verilmiştir.



Şekil 4.20 : P1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

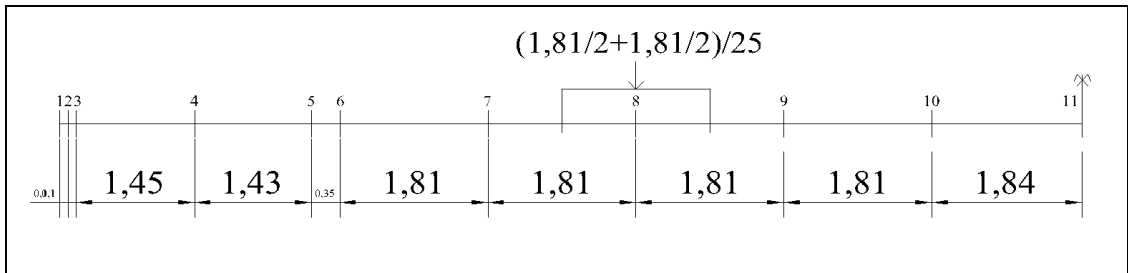
Çizelge 4.6 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00022	0,00000	0,00678
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00023	0,00000	0,00678
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00023	0,00000	0,00678
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00033	0,00000	0,00686
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,021	0,000	-0,00128	0,00000	0,00767
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,024	0,000	-0,00167	0,00000	0,00777
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,038	0,000	-0,00427	0,00000	0,00777
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,051	0,000	-0,00707	0,00000	0,00710
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,063	0,000	-0,00968	0,00000	0,00571
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,071	0,000	-0,01178	0,00000	0,00341
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,074	0,000	-0,01268	0,00000	0,00001

4.2.2 Sistem üst başlık ekseninden düzgün yayılı yükleme yapılması

4.2.2.1 Teorik hesap modeli

Başlıksız model için düzenlenecek sistemde yüklemeler belirlenen 1-11 nolu düğüm noktalarından ve simetrilerinden yapılacaktır. Şekil 4.18 de görüldüğü gibi düğüm noktalarının, kendisinden önceki ve sonraki düğüm noktalarıyla arasındaki mesafelerin yarısından yük alacak şekilde hesaplanıp tüm boya bölünerek birim yük değeri hesaplanacaktır. Birim Yük değerleri Çizelge 4.7 de verilmiştir.

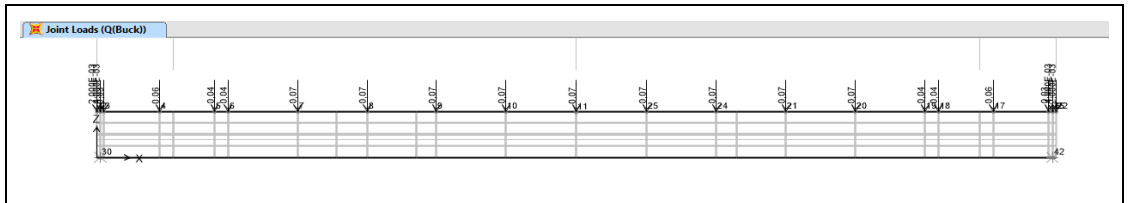


Şekil 4.21 : Birim yük değerleri hesaplanması.

Çizelge 4.7 : Düğüm noktası birim yük değerleri.

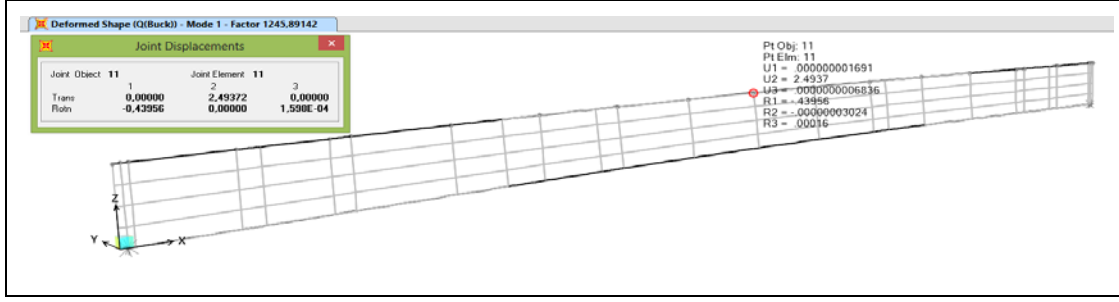
Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yüklemesi (kN)	0,002	0,004	0,031	0,058	0,036	0,043	0,072	0,072	0,072	0,073	0,073

Sistem düğüm noktalarından yapılan Q(Buck) yüklemeleri Şekil 4.19 da gösterilmiştir. Bu yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma yük katsayısı, düğüm noktası birim yük değeriyle çarpılıp, aynı düğüm noktasının yük alanına bölünecektir.



Şekil 4.22 : Q(Buck) yüklemesi.

Yapılan birim yüklemeler sonucu Şekil 4.20 da görülen kritik burkulma katsayısı 1245,89 olarak bulunmuştur. Burkulma katsayısı 11 nolu düğüm noktasının birim yüklemesi değeri olan 0,0734kN ile çarpılıp yine 11 nolu düğüm noktasının yük alanı olan 1,835m değerine bölünerek 49,84kN/m (5,08tonf/m) değeri elde edilmiştir.



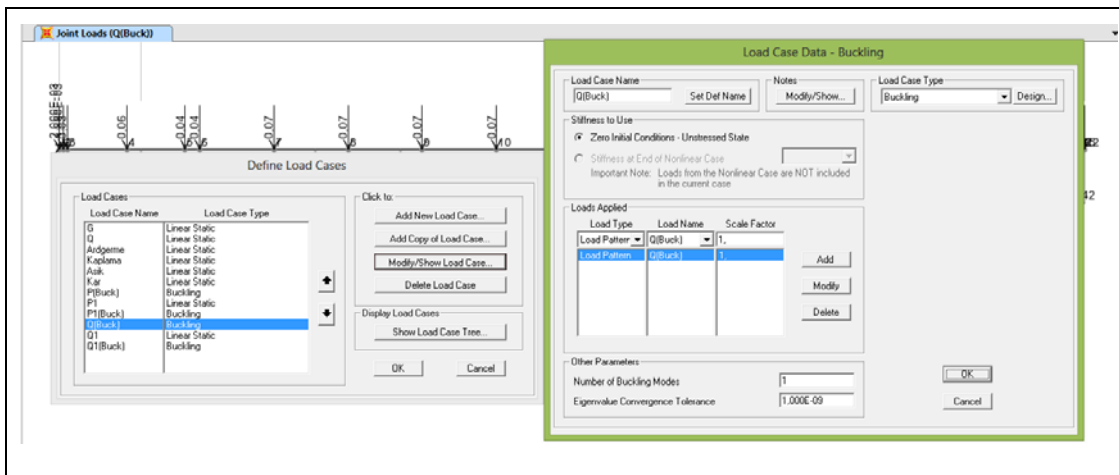
Şekil 4.23 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Elde edilen 5,08tonf/m kritik burkulma yükü, elastik stabilite teorisinde 4,49tonf/m olarak hesaplanmıştı. Aradaki fark sap2000 modelinde alt başlık mesnet noktalarının x eksenine etrafındaki dönmelerinin tutulu olmasından kaynaklanmaktadır.

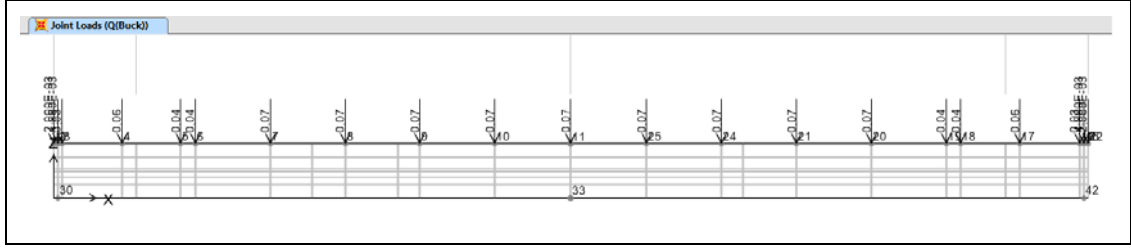
4.2.2.2 Uygulamada kullanılan hesap modeli

Hesap modeli, tekil yüklü sistemdeki modelle aynı olup yalnızca yüklemeleri değiştirilecektir. 3 çeşit yükleme türüyle tanımlanacak modelin, esas burkulma yükünün hesaplanması için Q(Buck) yüklemesi kesit üst düğüm noktaları ve simetrilerine uygulanacaktır. Aynı noktalar üzerine burkulma yükünün %80'i mertebesindeki Q1 düşey yüklemesi altında düşey deplasmanlar ve Q(Buck) yüklemesinin %80'i oranındaki Q1(buck) burkulma yüklemesiyle birlikte de yanal deplasmanlar elde edilecektir.

Şekil 4.20 da görülen yük tanımları ve ardından düğüm noktaları ve simetrilerine yapılan Q(buck) yüklemesi Şekil 4.21 de gösterilmiştir.

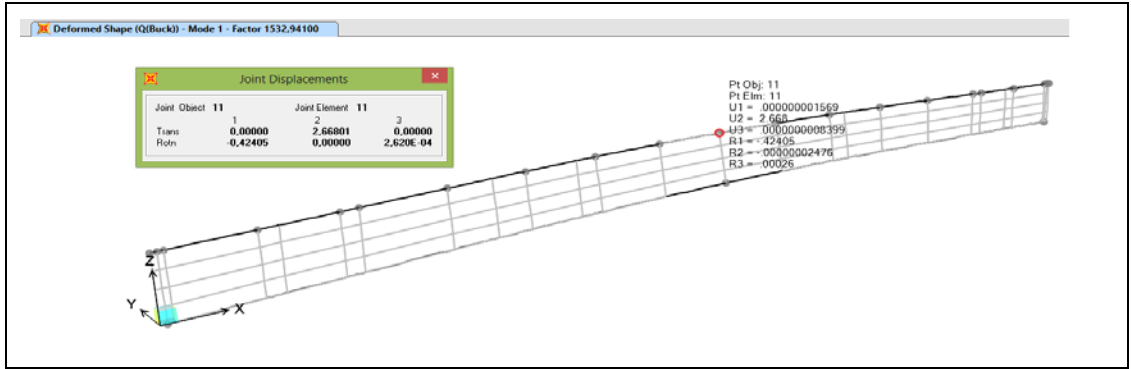


Şekil 4.24 : Q(Buck), Q1 ve Q1(Buck) yük tanımları.



Şekil 4.25 : Q(Buck) yüklemesi.

Q(buck) burkulma yüklemesi sonucu tanımlanan sistemin taşıyabileceği kritik burkulma yük katsayısı Şekil 4.23 de görüldüğü gibi 1532,94 olmuştur. Bu değerle birlikte hesaplanan kritik yayılı burkulma yükü 61,32kN/m (6,25tonf/m) olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.26 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman ve dönme değerleri Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

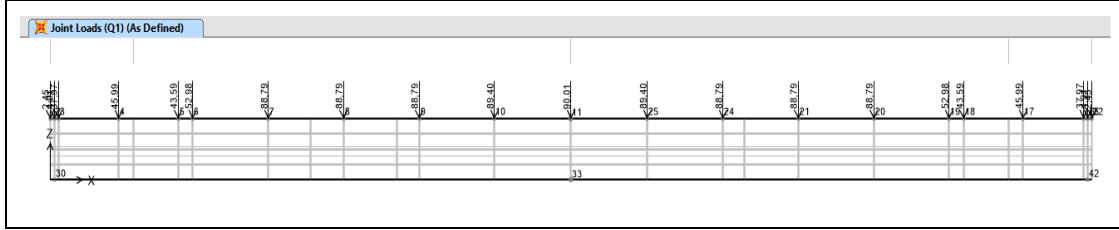
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,017	0,000	-0,00834	0,00000	0,25726
2	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,008	0,000	-0,00840	0,00000	0,25729
3	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,034	0,000	-0,00850	0,00000	0,25737
4	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,408	0,000	-0,01236	0,00000	0,26023
5	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,798	0,000	-0,04864	0,00000	0,29040
6	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,900	0,000	-0,06341	0,00000	0,29374
7	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,424	0,000	-0,16045	0,00000	0,28863
8	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,911	0,000	-0,26037	0,00000	0,25306
9	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,310	0,000	-0,34514	0,00000	0,19032
10	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,574	0,000	-0,40309	0,00000	0,10305
11	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,668	0,000	-0,42405	0,00000	0,00026

Burkulma yükünün %80'i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etkitilen Q1 yüklemeleri Çizelge 4.9 da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

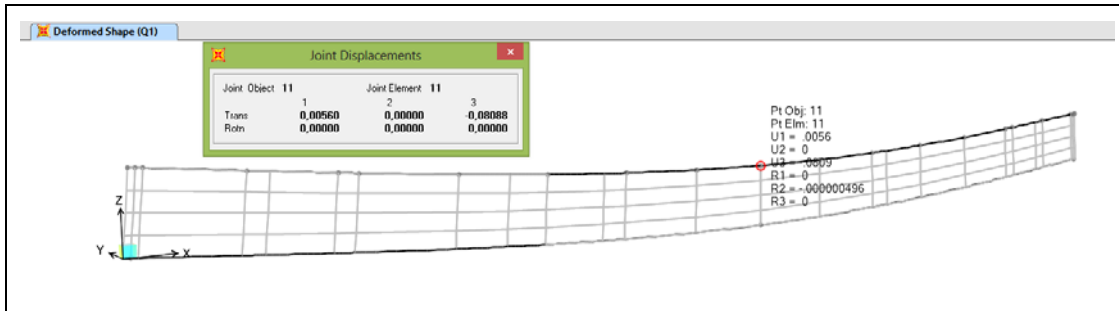
Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,45	4,91	37,97	70,52	43,58	52,98	88,79	88,79	88,79	89,40	90,01

Düğüm noktalarına etkitilen yükler şekil 4.27' gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 8,09cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 4.25 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 4.10 de verilmiştir.

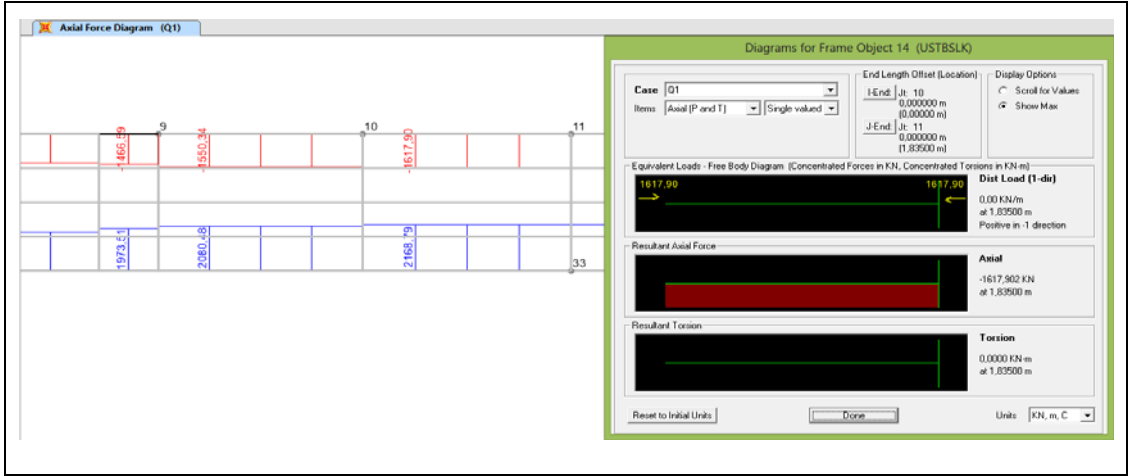


Şekil 4.28 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 4.10 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

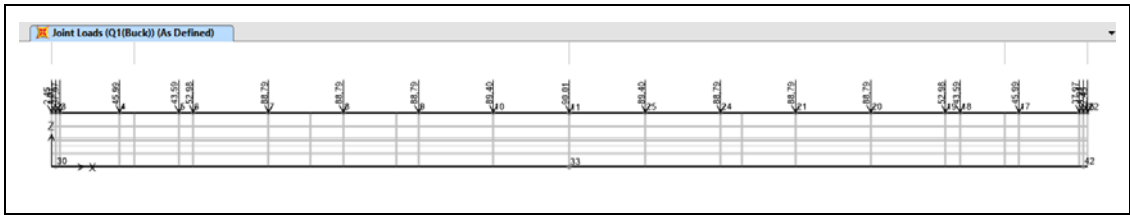
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,013	0,000	0,001	0,00000	0,01012	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,013	0,000	0,000	0,00000	0,01011	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,013	0,000	-0,001	0,00000	0,01008	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,013	0,000	-0,016	0,00000	0,00996	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,013	0,000	-0,030	0,00000	0,00945	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,013	0,000	-0,033	0,00000	0,00921	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,049	0,00000	0,00768	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,063	0,00000	0,00625	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,073	0,00000	0,00439	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,007	0,000	-0,079	0,00000	0,00214	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,006	0,000	-0,081	0,00000	0,00000	0,00000

Q1 yüklemesiyle birlikte üst ve alt başlıklarda oluşan aksel yük değerleri Şekil 4.26 de verilmiştir. Maksimum basınç yükü orta kesit üst başlıktaki 1617,90kN olarak bulunmuştur.



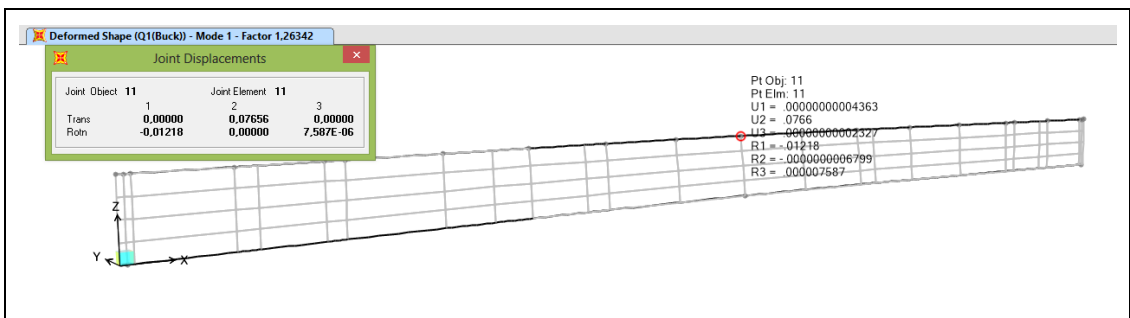
Şekil 4.29 : Q1 yüklemesi sonucu alt- üst başlık aksel yükler.

Karasız durum öncesi yanal deplasmanların bulunabilmesi için, Q(Buck) yüklemesinin %80 i mertebesindeki Q1(Buck) yüklemeleri Şekil 4.27 de görüldüğü uygulanmıştır.



Şekil 4.30 : Q1(Buck) yüklemesi.

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanal deplasman, 11 nolu düğüm noktasında -7,66cm (y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 4.28 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 4.11 de verilmiştir.



Şekil 4.31 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

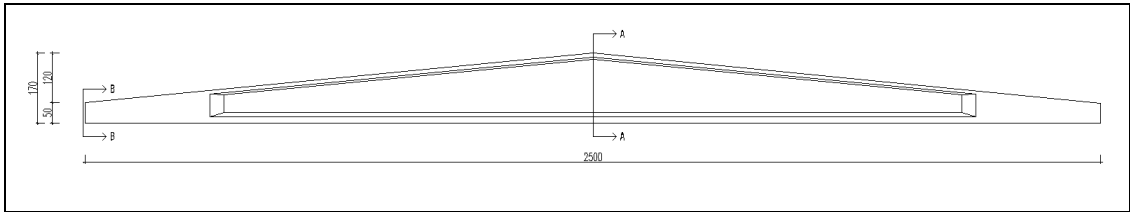
Çizelge 4.11 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00024	0,00000	0,00738
2	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00024	0,00000	0,00738
3	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00024	0,00000	0,00738
4	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00036	0,00000	0,00746
5	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,023	0,000	-0,00140	0,00000	0,00833
6	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,026	0,000	-0,00182	0,00000	0,00843
7	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,041	0,000	-0,00461	0,00000	0,00828
8	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,055	0,000	-0,00747	0,00000	0,00727
9	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,066	0,000	-0,00991	0,00000	0,00547
10	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,074	0,000	-0,01158	0,00000	0,00296
11	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,077	0,000	-0,01218	0,00000	0,00001

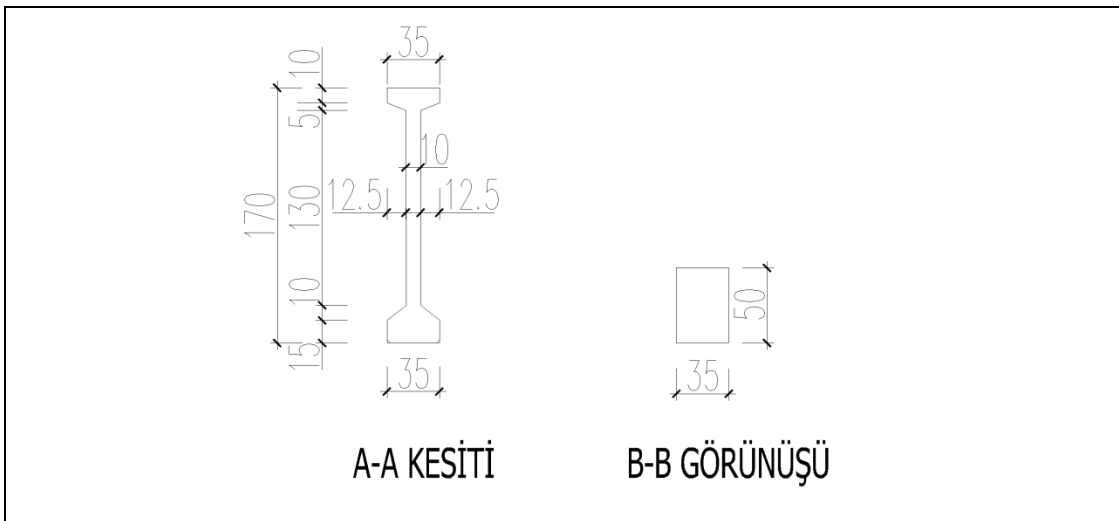
5. DEĞİŞKEN GEOMETRİ VE DEĞİŞKEN İ ENKESİTLİ BASİT MESNETLİ BETONARME KİRİŞLERİN YANAL BURKULMASI

Günümüz şartlarında, çatı kirişleri genel olarak üstü örtü cinsine uygun çatı eğiminde, altı düz olarak kullanılmaktadır. Kullanılan kesitlerin yüksekliği, alt ve üst başlık kesitleri güvenliğe, ihtiyaca ve tasarıma göre değişiklikler göstermektedir. Klasik betonarme sistemlere nazaran daha narin olan bu kirişlerin tasarımında kullanılan kesitlerin tam verimle ihtiyacı karşılayabilmeleri, bir stabilite problemi olan yanıl burkulma kritik yüklerinin de irdelenmesi gerekmektedir.

Hesaplamalarda kullanılacak olan modeller yüklemenin yapıldığı yere göre 4, mesnetlenme şekillerine göre 2 gruba ayrılmıştır. Kullanılacak modellerin beton sınıfları C40 dır. Açıklık kesidindeki maksimum kiriş yüksekliği 1,7m'dir. Mesnet bölgelerinin 2m'lik kısımları 35cm kalınlığında dolu gövdeli olarak modellenmiştir. Başlangıç kesiti 35cmx50cm olarak düzenlenmiştir. Şekil 5.1 ve 5.2 de sistem kesitleri gösterilmiştir.



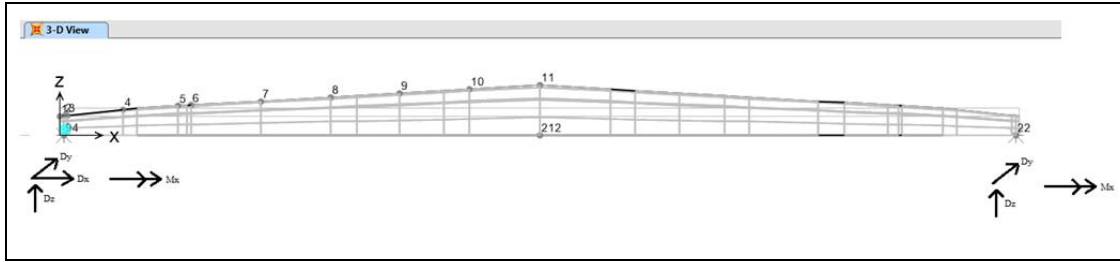
Şekil 5.1 : Çatı kiriş modeli kesit görünüşü-1.



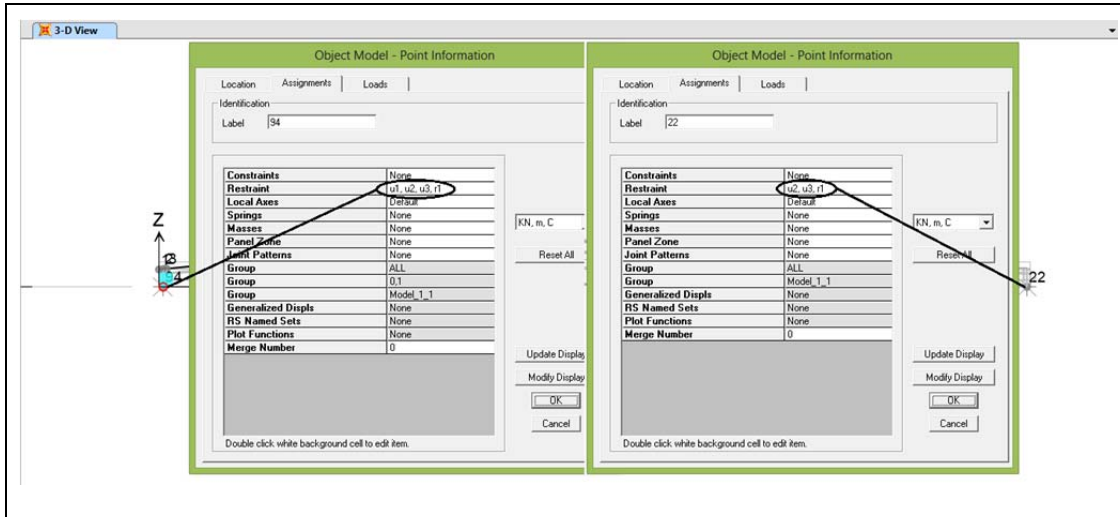
Şekil 5.2 : Çatı kiriş modeli kesit görünüşü-2.

5.1 Tekil Yük Etkisinde Alt Başlıklarından Tutulu Sistemler

Tekil yük etkisinde alt başlıklarından tutulu, genel görünüşü Şekil 5.3 de gösterilen sistemlerin mesnetlenme şekilleri (Şekil 5.4) aynı olan, 4 farklı yükleme için modeller yapılmıştır. Ayrıca üstten yüklü modelde berkitmeli kiriş durumları da irdelenmiştir.

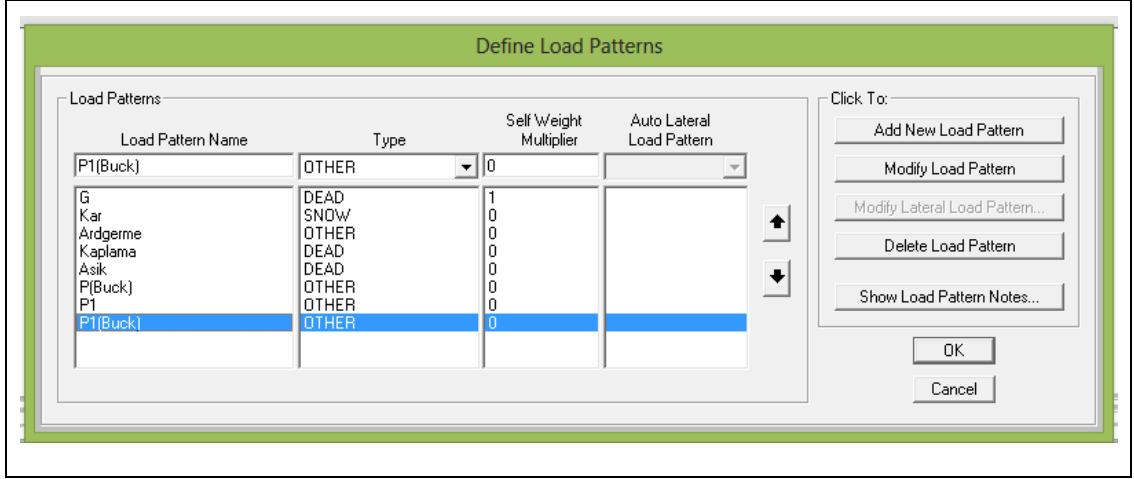


Şekil 5.3 : Model1, 2, 3 ve 4 genel görünüş.

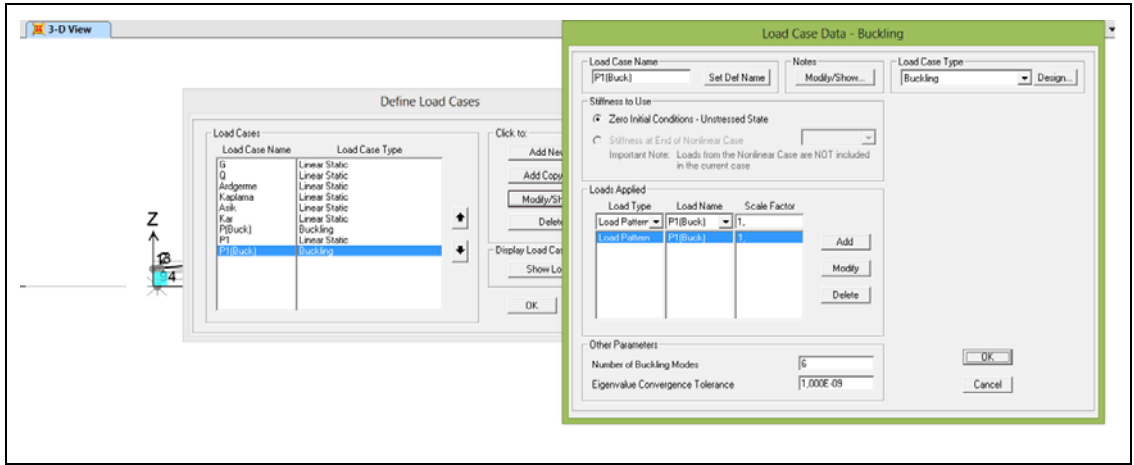


Şekil 5.4 : Model1, 2, 3 ve 4 mesnetlenme şekilleri.

3 ayrı türde yükleme yapılacak sistemlerde, yüklemelerden birincisi olarak P(Buck), klasik burkulma yükünün tayini olacaktır. P(Buck) burkulma yükünün %80 i olan ve ikinci derece etkisi dikkate alınmadan P1 düşey yüklemesi yapılarak bu yük altındaki düşey deplasmanlar ve üst-alt başlıklardaki aksenal yükler bulunacaktır. Burkulma yükünün %80'i alınıp P1(Buck) burkulma yükü olarak etkilmesi sonucu yanal deplasmanlar (Şekil 5.5-5.6).



Şekil 5.5 : P(Buck), P1 ve P1(Buck) yüklemelerinin tanımlanması.



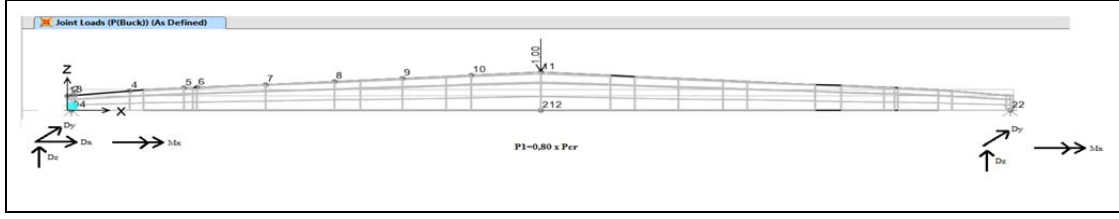
Şekil 5.6 : Yük tiplerinin tanımlanması.

5.1.1 Model 1

Sistemlerde berkitme kullanılmasının faydalarını irdelemek adına; berkitmesiz, tek, çift ve üç berkitmeli sistemler olmak üzere dört ayrı sistem aynı tekil yüklemeye altında incelenecektir.

5.1.1.1 Berkitmesiz sistem

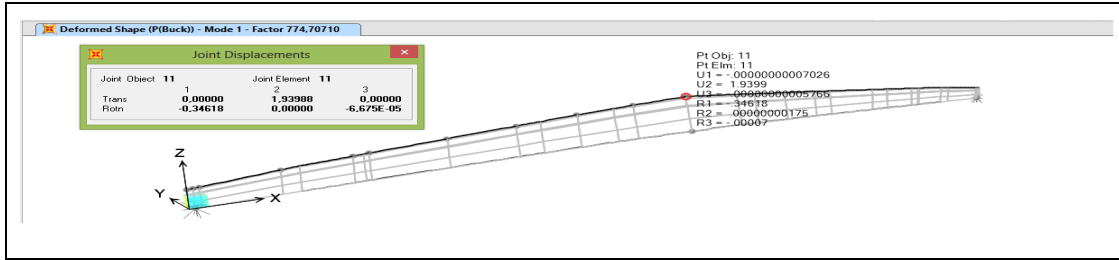
Sisteme yapılacak olan P(Buck) burkulma yüklemesi Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi 11 nolu düğüm noktası olan kesit merkez üst noktasından etkilmiştir. Önceki sistemlerde kullanılan aynı metotla 1 birimlik yüklemeye sonucu oluşan burkulma katsayısı sistemin burkulma yükünü verecektir.



Şekil 5.7 : P(buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik burkulma yükü 774,71kN olarak elde edilmiştir. Sabit enkesitli sistemde bu değer 872,84kN olarak bulunmuştu. Sistemin kesitindeki değişkenlik, burkulma yükünü 98,13kN(10tonf) azaltmıştır. Sabit enkesit ve değişken enkesitlerdeki kritik burkulma yükleri arasında %8.9'luk bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Sistem bu yükleme altında kararsız duruma geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 1,94m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,35 radyan olmaktadır. Şekildeğiştirmiş sistem ve burkulma yük katsayısı Şekil 5.8'de görülmektedir.



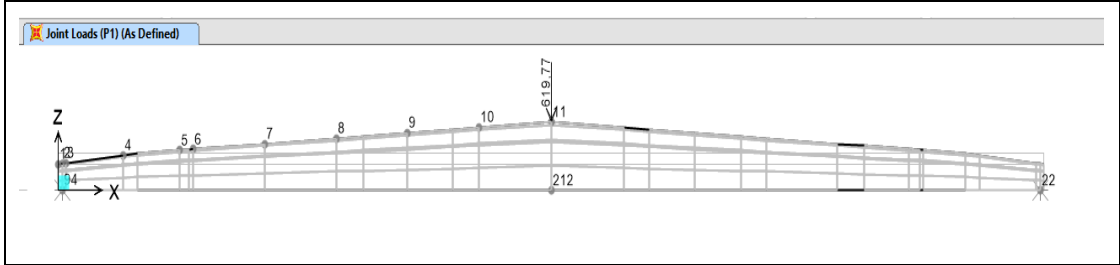
Şekil 5.8 : P(buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

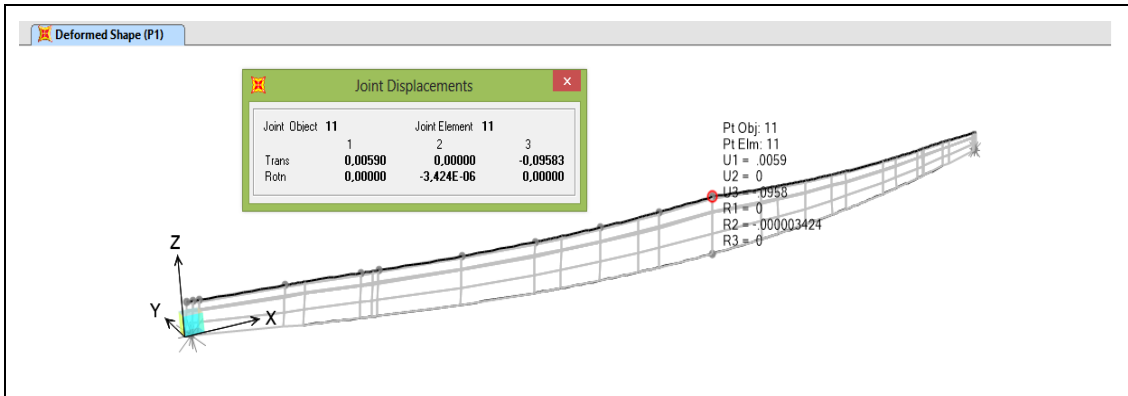
Çizelge 5.1 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,014	0,000	-0,00681	0,00000	0,17371
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,003	0,000	-0,00691	0,00000	0,17388
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,020	0,000	-0,00734	0,00000	0,17527
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,273	0,000	-0,01448	0,00000	0,17623
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,540	0,000	-0,04989	0,00000	0,19315
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,608	0,000	-0,06295	0,00000	0,19381
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,961	0,000	-0,13569	0,00000	0,18901
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,300	0,000	-0,20650	0,00000	0,17060
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,600	0,000	-0,27050	0,00000	0,13635
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,828	0,000	-0,32067	0,00000	0,08177
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,940	0,000	-0,34618	0,00000	-0,00007

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80'i olan 619,77kN sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.9). Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -9,58cm z doğrultusunda ve 0,59cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.10).

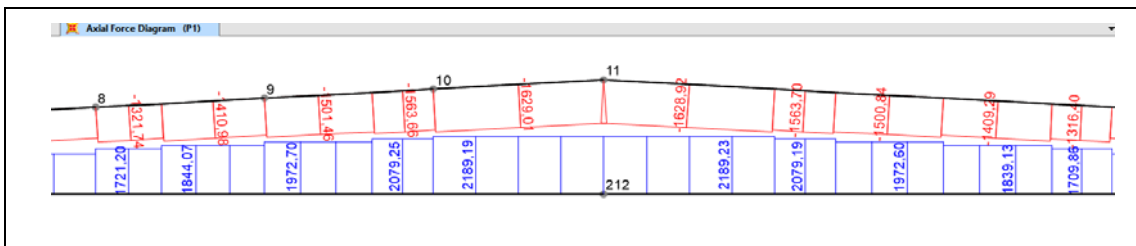


Şekil 5.9 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.10 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidinin üst başlığı -1628,92kN basınç, alt başlığı 2189,19kN çekme eksenel yüküne maruz kaldığı hesaplanmıştır (Şekil 5.11).



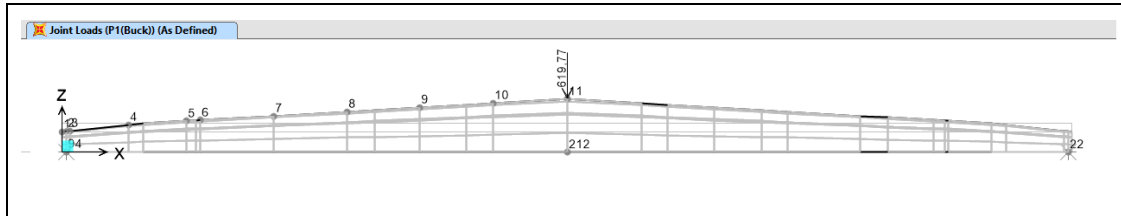
Şekil 5.11 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

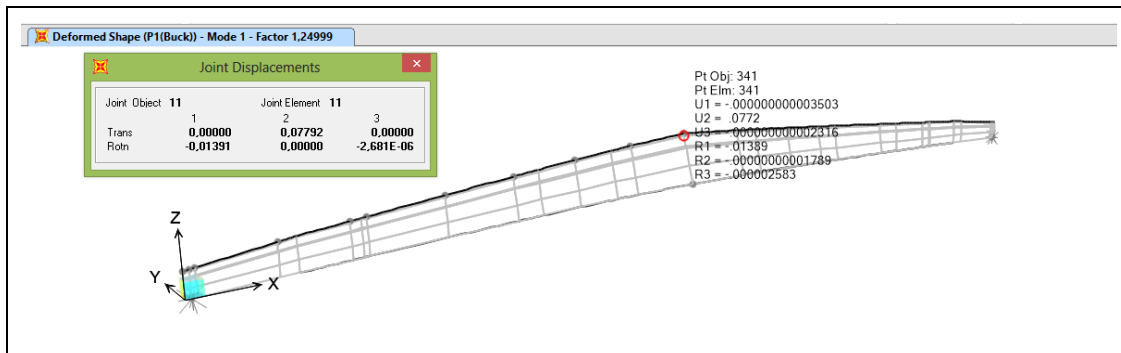
Çizelge 5.2 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,007	0,000	0,001	0,00000	0,01484	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01486	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01474	0,00000
4	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,022	0,00000	0,01407	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,039	0,00000	0,01129	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,043	0,00000	0,01062	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,061	0,00000	0,00801	0,00000
8	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,076	0,00000	0,00666	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,087	0,00000	0,00446	0,00000
10	P1	LinStatic	0,007	0,000	-0,093	0,00000	0,00225	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,096	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanlarını hesaplayabilmek için Şekil 5.12’de görülen P1(Buck) yüklemesi adı altında P1 ile aynı büyüklükteki bir yük burkulma yükü olarak etkilmiştir. Bu yükleme sonucu P1 yükü ile elde edemediğimiz yanal deplasmanları elde edebilmekteyiz. Sistemin P1(Buck) yüklemesi sonucu 11 nolu düğüm noktasında 7,79cm y doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0139radyan döndüğü gözlenmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.13 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

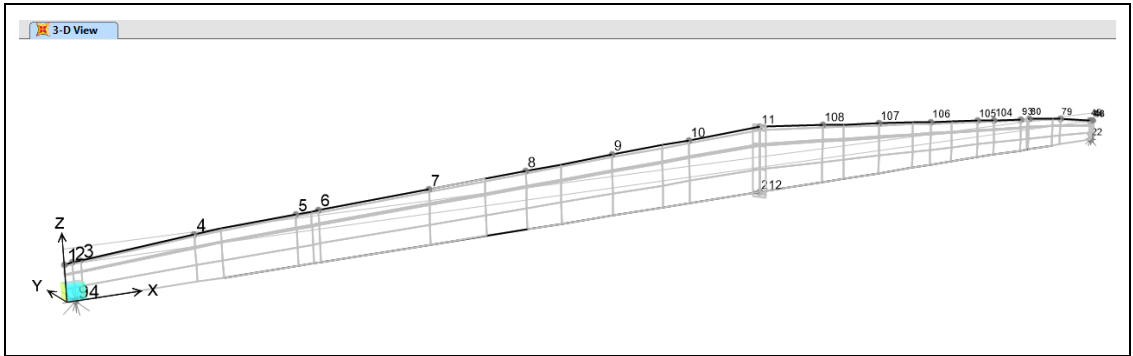
P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	0,00027	0,00000	-0,00698
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00028	0,00000	-0,00698
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00030	0,00000	-0,00704
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00058	0,00000	-0,00708
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,022	0,000	0,00200	0,00000	-0,00776
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00253	0,00000	-0,00779
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,039	0,000	0,00545	0,00000	-0,00759
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,052	0,000	0,00830	0,00000	-0,00685
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,064	0,000	0,01087	0,00000	-0,00548
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,073	0,000	0,01288	0,00000	-0,00329
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,078	0,000	0,01391	0,00000	0,00000

5.1.1.2 Tek berkitmeli sistem

Aynı modele ek olarak sistem merkez noktasından(12,5m), 20cm kalınlıklı bir berkitme plak eleman olarak tanımlanacaktır. Sistem genel görünüşü ve berkitme Şekil 5.14’de görülmektedir.

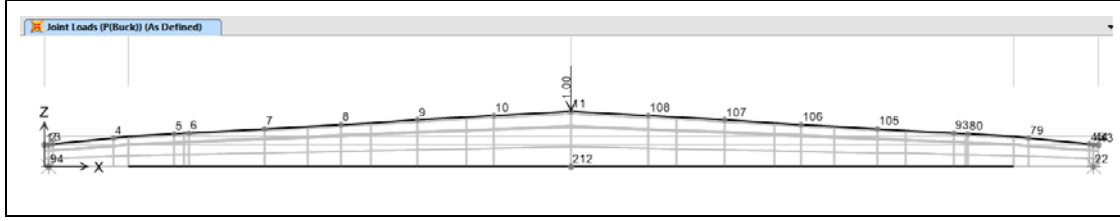


Şekil 5.14 : Tek berkitmeli sistem genel görünüşü.

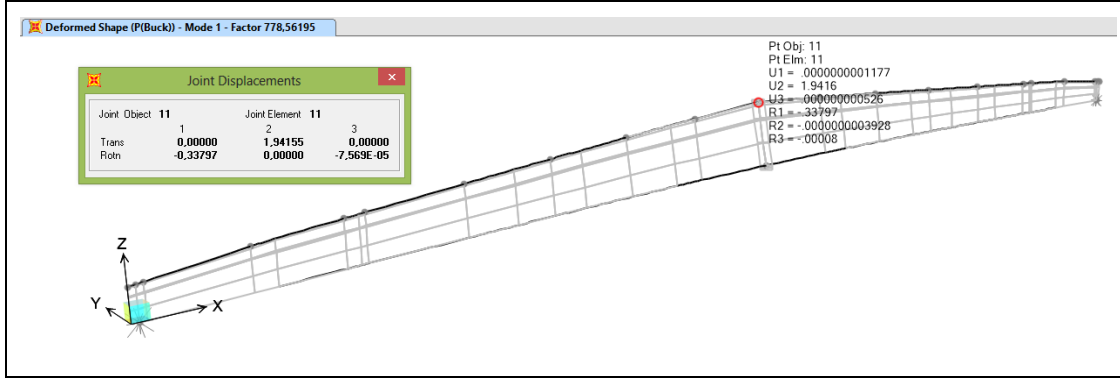
Yapılacak olan yüklemeler berkitmesiz modeldeki yüklemeler ile aynı olup, burkulma yükünün değişimi ve oluşan yan ve düşey deplasmanlar gözlemlenecektir.

1 birim olarak yapılan P(buck) burkulma yüklemesi ve yüklemesi sonucu kritik yük katsayısının değeri sırasıyla Şekil 5.15 ve 5.16’da gösterilmiştir.

Yüklemesi sonucu bulunan 778,56kN’luk burkulma yükü değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %0,5 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.15 : P(Buck) yüklemesi.



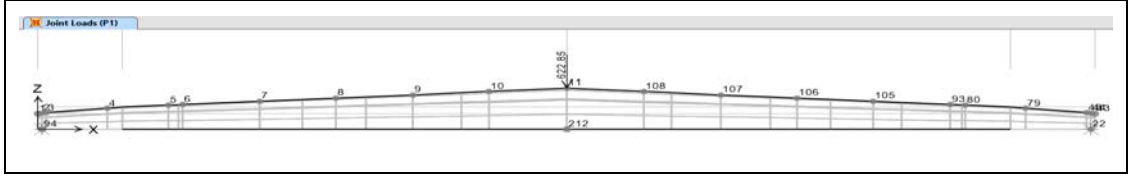
Şekil 5.16 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

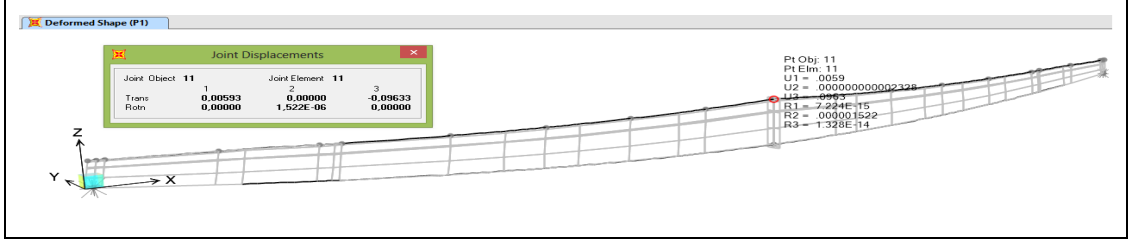
Çizelge 5.4 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,014	0,000	-0,00685	0,00000	0,17410
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,003	0,000	-0,00694	0,00000	0,17427
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,021	0,000	-0,00737	0,00000	0,17567
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,274	0,000	-0,01455	0,00000	0,17664
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,541	0,000	-0,05016	0,00000	0,19364
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,609	0,000	-0,06330	0,00000	0,19430
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,963	0,000	-0,13623	0,00000	0,18927
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,303	0,000	-0,20735	0,00000	0,17106
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,604	0,000	-0,27112	0,00000	0,13634
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,831	0,000	-0,31893	0,00000	0,08099
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,942	0,000	-0,33797	0,00000	-0,00008

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 622,85kN sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.17). Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -9,63cm z doğrultusunda ve 0,59cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.18).

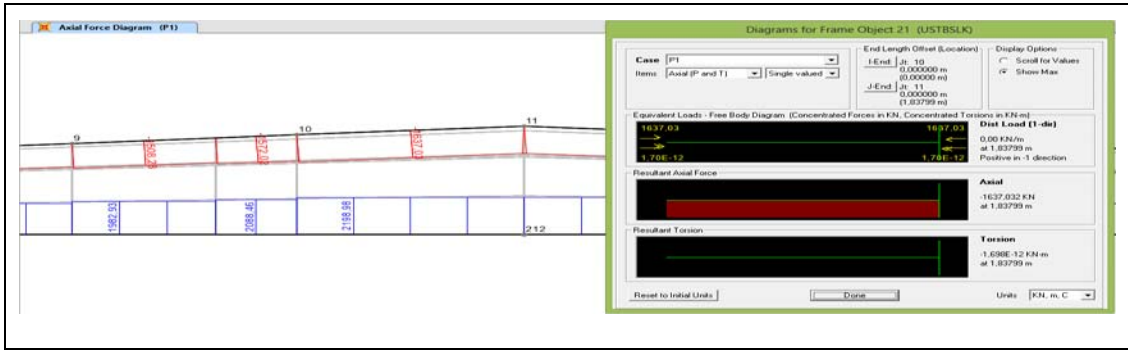


Şekil 5.17 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.18 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidinin üst başlığı -1637,03kN basınç, alt başlığı 2198,98kN çekme eksenel yüküne maruz kaldığı hesaplanmıştır (Şekil 5.19).



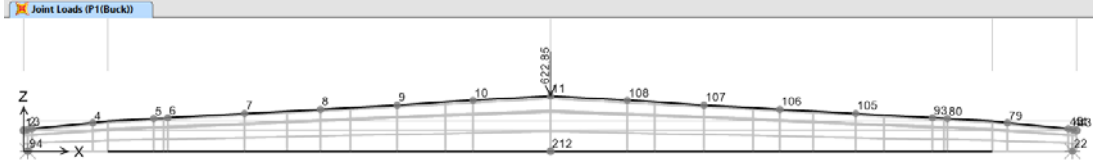
Şekil 5.19 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

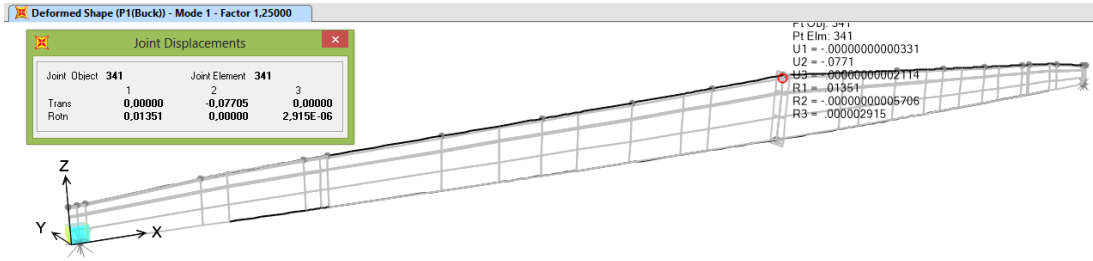
Çizelge 5.5 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,007	0,000	0,001	0,00000	0,01493	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01495	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01482	0,00000
4	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,022	0,00000	0,01415	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,039	0,00000	0,01136	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,043	0,00000	0,01068	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,062	0,00000	0,00843	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,077	0,00000	0,00690	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,087	0,00000	0,00449	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,094	0,00000	0,00228	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,096	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanlarını hesaplayabilmek için Şekil 5.20’de görülen P1(Buck) yüklemesi adı altında etkililmiştir. Sistemin P1(Buck) yüklemesi sonucu 11 nolu düğüm noktasında 7,78cm y doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0135radyan döndüğü gözlenmektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.20 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.21 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

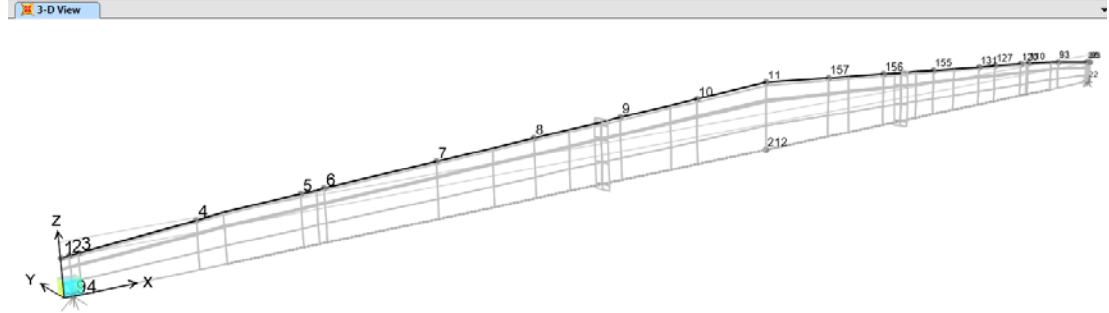
P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	0,00027	0,00000	-0,00698
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00028	0,00000	-0,00698
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00030	0,00000	-0,00704
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00058	0,00000	-0,00708
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,022	0,000	0,00201	0,00000	-0,00776
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00254	0,00000	-0,00779
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,039	0,000	0,00546	0,00000	-0,00758
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,052	0,000	0,00831	0,00000	-0,00685
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,064	0,000	0,01086	0,00000	-0,00546
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,073	0,000	0,01278	0,00000	-0,00325
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,078	0,000	0,01354	0,00000	0,00000

5.1.1.3 İki berkitmekli sistem

Sistemdeki berkitmelerin sayısı 2 ye çıkartılıp bu berkitmeler 8,33m aralıklarla modele yerleştirilecektir. Sistem genel görünüşü ve berkitme Şekil 5.22’de görülmektedir.

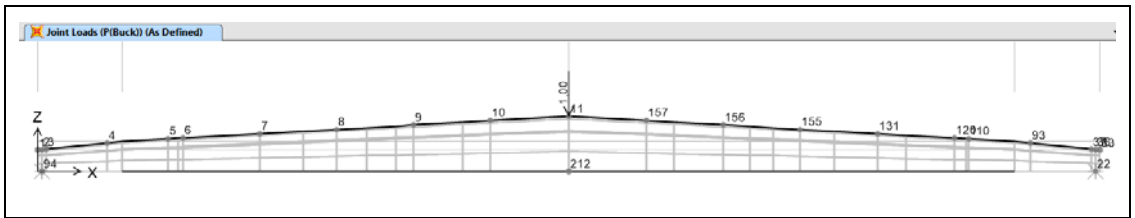


Şekil 5.22 : Çift berkitmeli sistem genel görünüş.

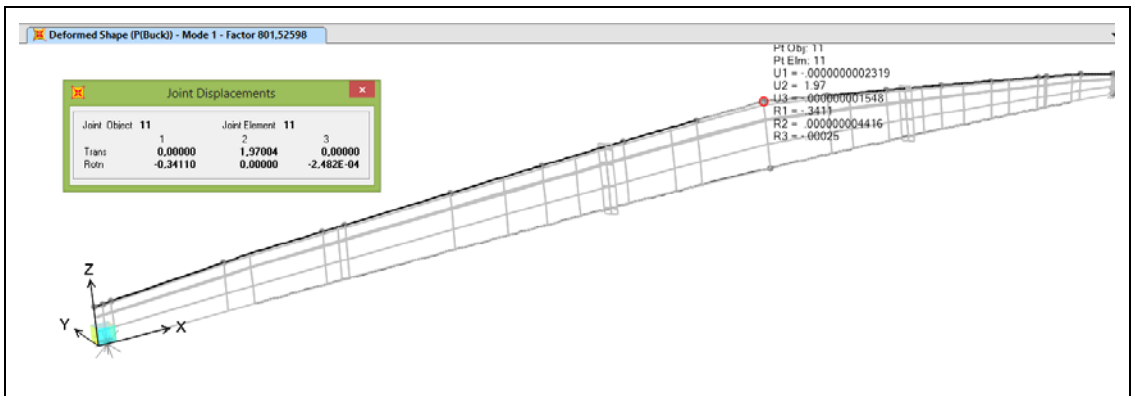
Yapılacak olan yüklemeler berkitmesiz modeldeki yüklemeler ile aynı olup, burkulma yükünün değişimi ve oluşan yanal ve düşey deplasmanlar gözlemlenecektir.

1 birim olarak yapılan P(buck) burkulma yüklemesi ve yükleme sonucu kritik yük katsayısının değeri sırasıyla Şekil 5.23 ve 5.24’de gösterilmiştir.

Yüklemeye sonucu bulunan 801,52kN’luk burkulma yükü değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %3,5 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.23 : P(Buck) yüklemesi.



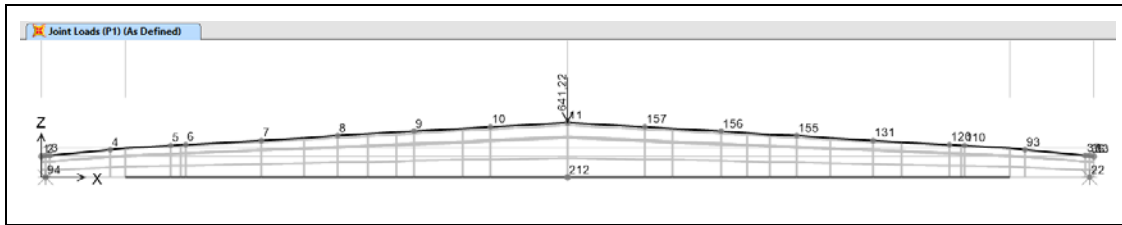
Şekil 5.24 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

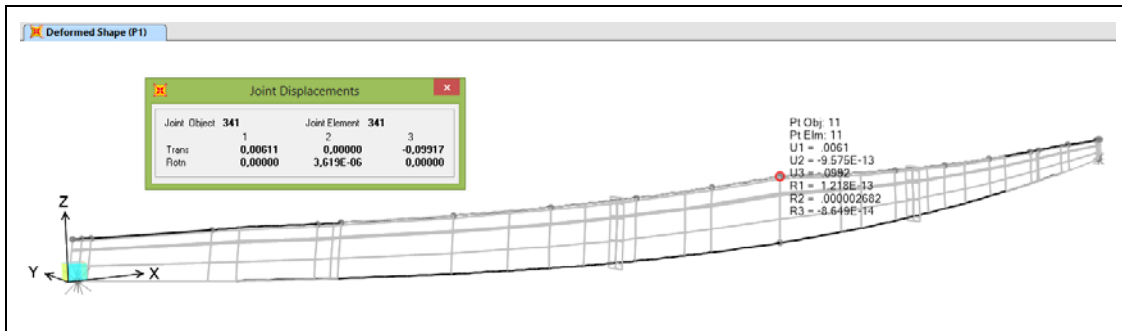
Çizelge 5.7 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,015	0,000	-0,00713	0,00000	0,17831
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,003	0,000	-0,00723	0,00000	0,17848
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,021	0,000	-0,00768	0,00000	0,17994
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,280	0,000	-0,01517	0,00000	0,18094
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,555	0,000	-0,05236	0,00000	0,19867
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,625	0,000	-0,06608	0,00000	0,19934
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,987	0,000	-0,14216	0,00000	0,19368
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,334	0,000	-0,21350	0,00000	0,17241
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,631	0,000	-0,26685	0,00000	0,13301
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,857	0,000	-0,31478	0,00000	0,08271
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,970	0,000	-0,34110	0,00000	-0,00025

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 641,22kN sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.25). Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -9,92cm z doğrultusunda ve 0,61cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.26).

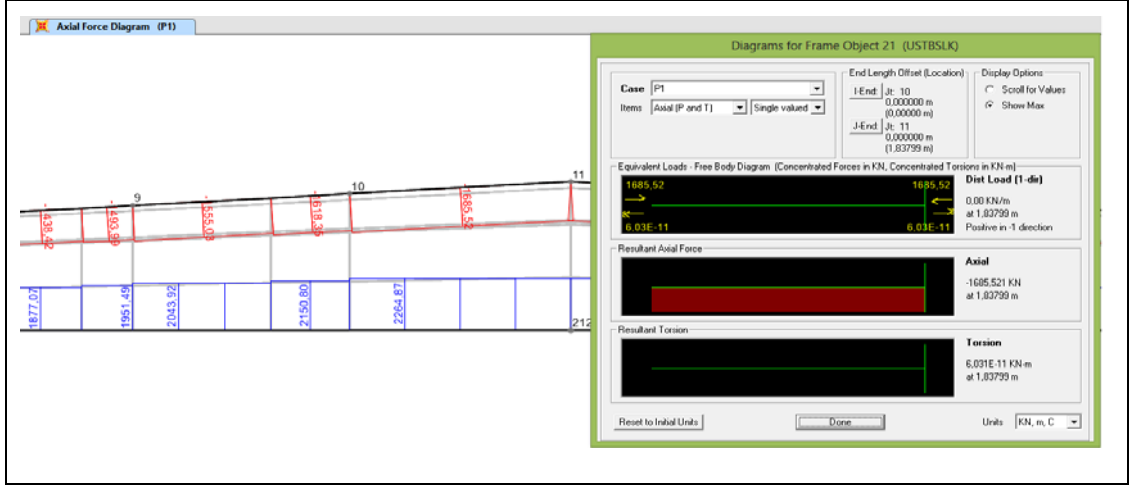


Şekil 5.25 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.26 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidinin üst başlığı -1685,52kN basınç, alt başlığı 2264,87kN çekme aksenal yüküne maruz kaldığı hesaplanmıştır (Şekil 5.27).



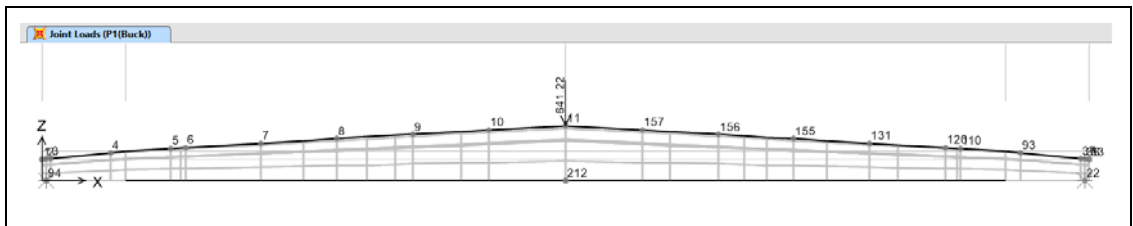
Şekil 5.27 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

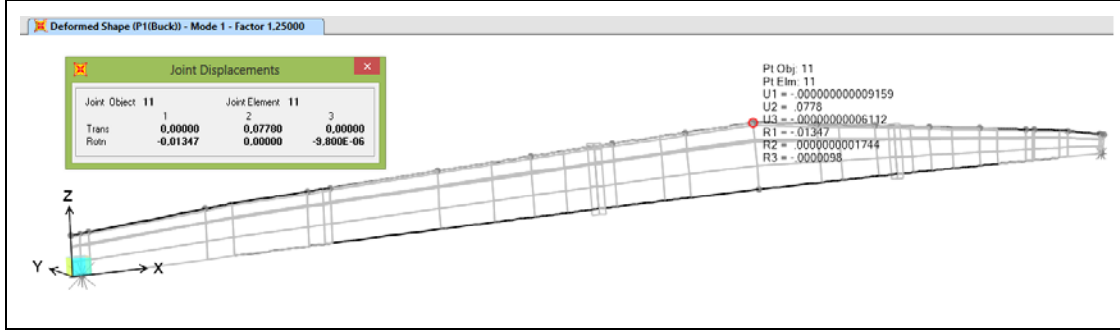
Çizelge 5.8 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,001	0,00000	0,01537	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01539	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01526	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,022	0,00000	0,01457	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,040	0,00000	0,01170	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,045	0,00000	0,01099	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,064	0,00000	0,00868	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,079	0,00000	0,00710	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,090	0,00000	0,00477	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,097	0,00000	0,00235	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,099	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanlarını hesaplayabilmek için Şekil 5.28’de görülen P1(Buck) yüklemesi adı altında etkilmiştir. Sistemin P1(Buck) yüklemesi sonucu 11 nolu düğüm noktasında 7,70cm y doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0135radyan döndüğü gözlenmektedir (Şekil 5.29).



Şekil 5.28 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.29 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

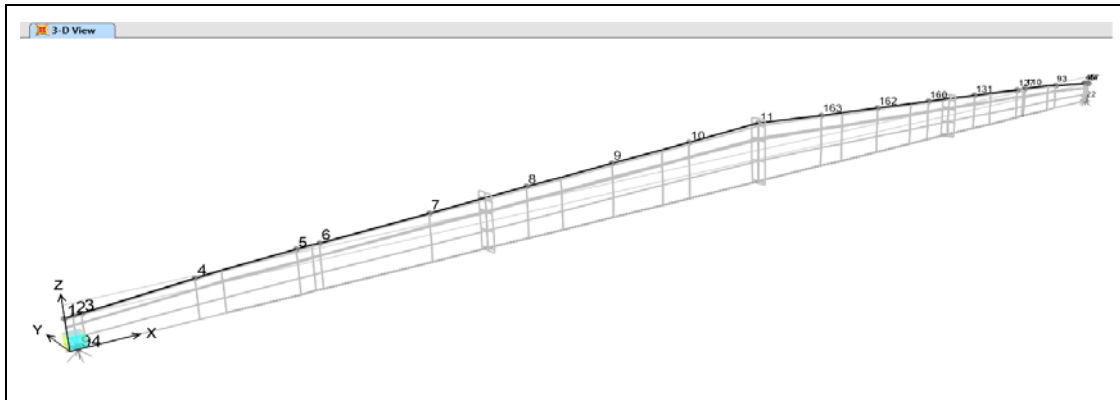
P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00028	0,00000	0,00704
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00029	0,00000	0,00705
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00030	0,00000	0,00711
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00060	0,00000	0,00715
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,022	0,000	-0,00207	0,00000	0,00785
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,025	0,000	-0,00261	0,00000	0,00787
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,039	0,000	-0,00561	0,00000	0,00765
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,053	0,000	-0,00843	0,00000	0,00681
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,064	0,000	-0,01054	0,00000	0,00525
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,073	0,000	-0,01243	0,00000	0,00327
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,078	0,000	-0,01347	0,00000	-0,00001

5.1.1.4 Üç berkitmeli sistem

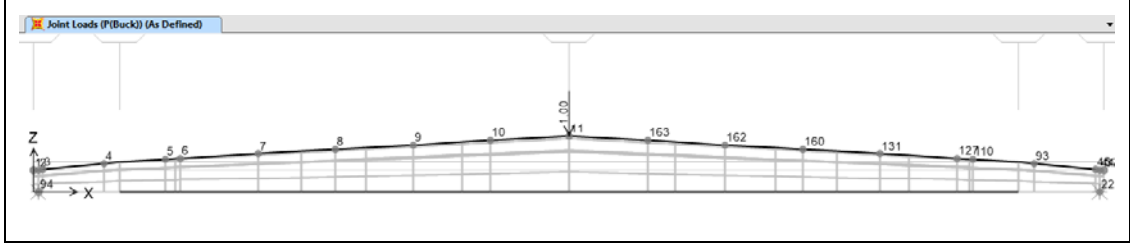
Sistemdeki berkitmelerin sayısı 3’e çıkartılıp bu berkitmeler 6,25m aralıklarla modele yerleştirilecektir. Sistem genel görünüşü ve berkitme Şekil 5.30’da görülmektedir.



Şekil 5.30 : Üç berkitmeli sistem genel görünüşü.

1 birim olarak yapılan P(buck) burkulma yüklemesi ve yükleme sonucu kritik yük katsayısının değeri sırasıyla Şekil 5.31 ve 5.32’de gösterilmiştir.

Yükleme sonucu bulunan 808,04kN’luk burkulma yükü değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %4,3 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.31 : P(Buck) yüklemesi.



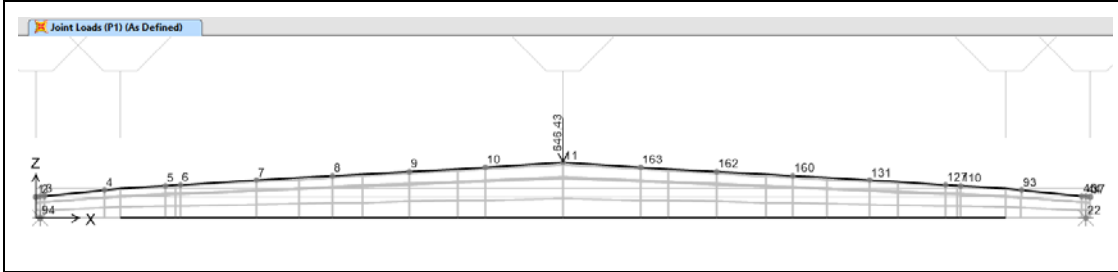
Şekil 5.32 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.10’de gösterilmiştir.

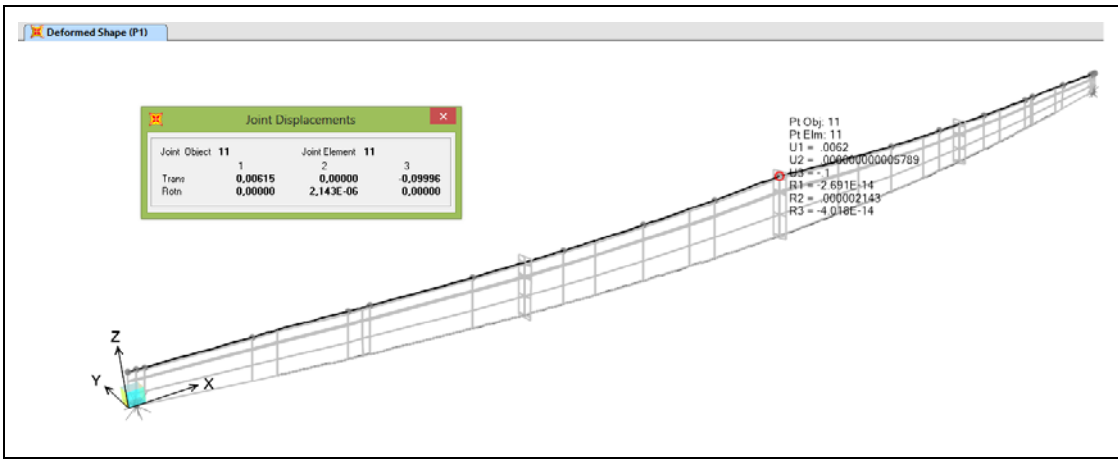
Çizelge 5.10 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,015	0,000	-0,00720	0,00000	0,17771
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,003	0,000	-0,00730	0,00000	0,17789
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,021	0,000	-0,00775	0,00000	0,17936
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,279	0,000	-0,01530	0,00000	0,18038
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,553	0,000	-0,05316	0,00000	0,19830
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,623	0,000	-0,06714	0,00000	0,19896
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,983	0,000	-0,14048	0,00000	0,19047
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,321	0,000	-0,20003	0,00000	0,17118
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,625	0,000	-0,26399	0,00000	0,13992
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,857	0,000	-0,31475	0,00000	0,08361
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,970	0,000	-0,33491	0,00000	-0,00007

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80'i olan 641,22kN sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.33). Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -10,00cm z doğrultusunda ve 0,62cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.34).

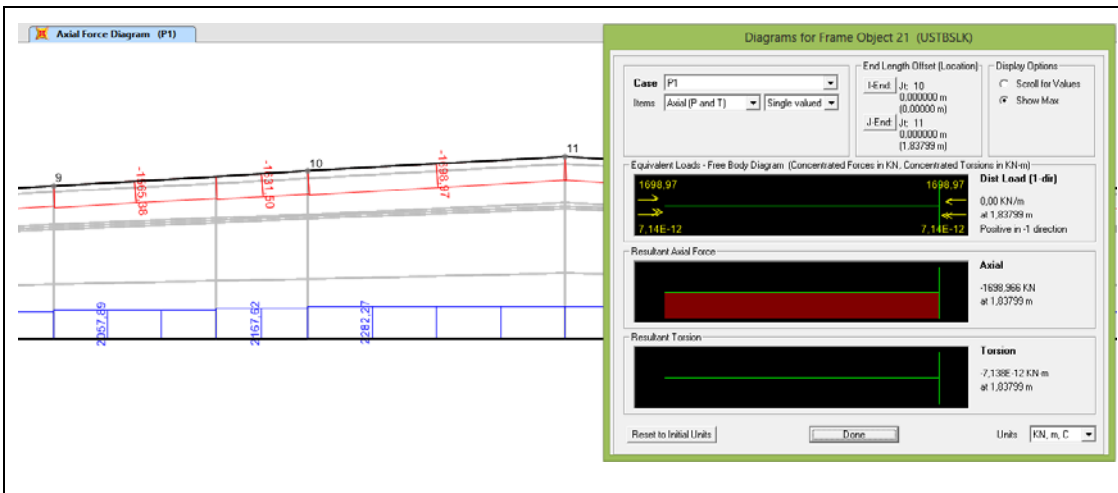


Şekil 5.33 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.34 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidinin üst başlığı -1698,97kN basınç, alt başlığı 2282,87kN çekme eksenel yüküne maruz kaldığı hesaplanmıştır (Şekil 5.35).



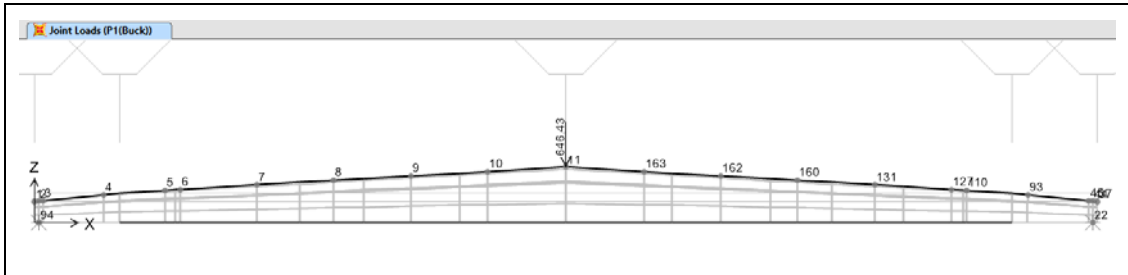
Şekil 5.35 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

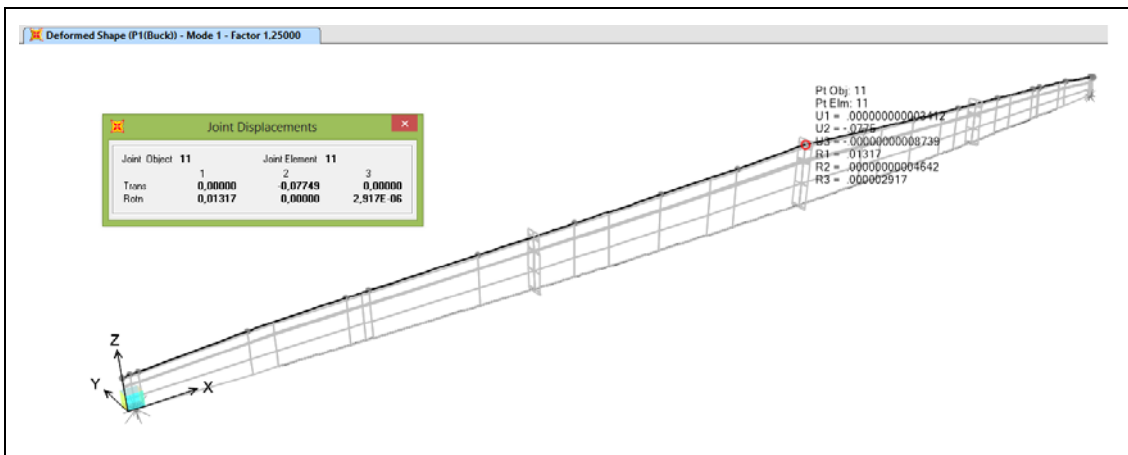
Çizelge 5.11 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,001	0,00000	0,01549	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01551	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01538	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,023	0,00000	0,01469	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,041	0,00000	0,01179	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,045	0,00000	0,01108	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,064	0,00000	0,00877	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,079	0,00000	0,00714	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,091	0,00000	0,00466	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,098	0,00000	0,00237	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,100	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanlarını hesaplayabilmek için Şekil 5.36 de görülen P1(Buck) yüklemesi adı altında etkilmiştir. Sistemin P1(Buck) yüklemesi sonucu 11 nolu düğüm noktasında 7,75cm y doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0132radyan döndüğü gözlenmektedir (Şekil 5.37).



Şekil 5.36 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.37 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

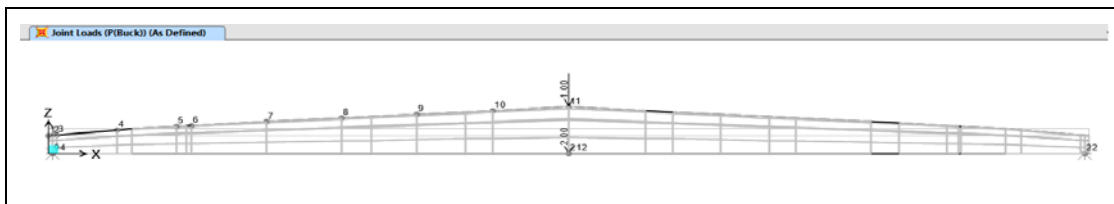
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	0,00028	0,00000	-0,00699
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00029	0,00000	-0,00700
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00031	0,00000	-0,00705
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00060	0,00000	-0,00709
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,022	0,000	0,00209	0,00000	-0,00780
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00264	0,00000	-0,00783
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,039	0,000	0,00553	0,00000	-0,00749
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,052	0,000	0,00787	0,00000	-0,00673
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,064	0,000	0,01038	0,00000	-0,00550
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,073	0,000	0,01238	0,00000	-0,00329
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,077	0,000	0,01317	0,00000	0,00000

Yapılan analiz sonucu sisteme eklenen berkitmelerin burkulma yükünü arttırıcı yönde etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Burkulma yükünü tek berkitme %0.5, çift berkitme %3.5 ve üç berkitme %4.3 arttırmıştır. Yanal deplasmanlarda en düşük değeri çift berkitme vermektedir.

5.1.2 Model 2

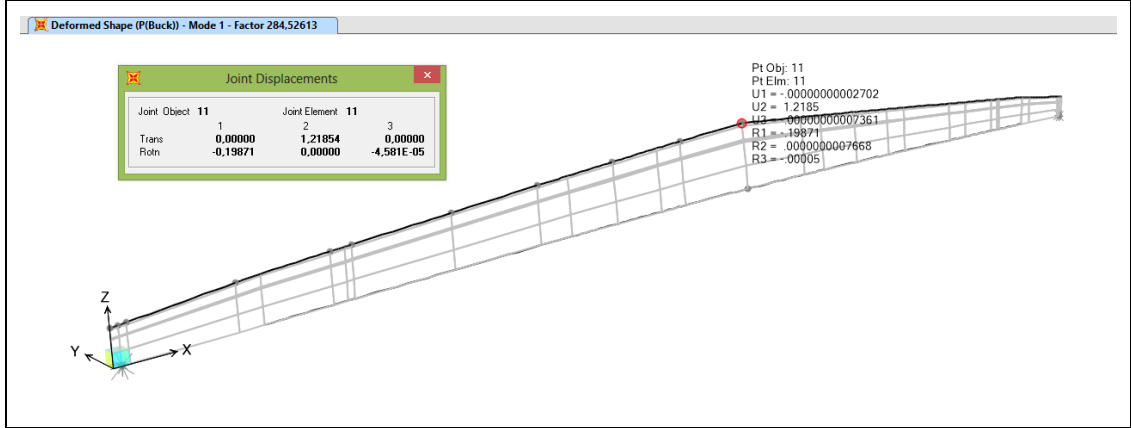
İkinci modelde sistem yine sadece alt başlıklarından tutulu (Bir kenarda x,y,z eksenleri etrafında deplasmanı, x eksenini etrafındaki dönmesi ; diğer kenarda z ve ye eksenlerindeki deplasmanı ile x eksenini etrafındaki dönmesi tutulu), yüklemeye ise sistemin merkez üst noktasından 1/3 alt noktasından 2/3 oranında olarak uygulanacaktır.

Uygulanacak olan burkulma yüklemeleri Şekil 5.38’den görüldüğü gibi, 11 nolu düğüm noktasında 1 birim ve 212 nolu düğüm noktasında 2 birim olacaktır. Yapılan yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma birim yükü, uygulanan birimlerle çarpılarak sistem burkulma yükü bulunacaktır. Toplam burkulma yükünü bulmak için toplam birim kritik burkulma yükü ile çarpılabilir.



Şekil 5.38 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 284,53kN olarak elde edilmiştir. Toplam burkulma yükü 853,59kN olmuştur. Sistem bu yükleme altında kararsız durumu geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 1,21m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,20 radyan olmaktadır (Şekil 5.39).



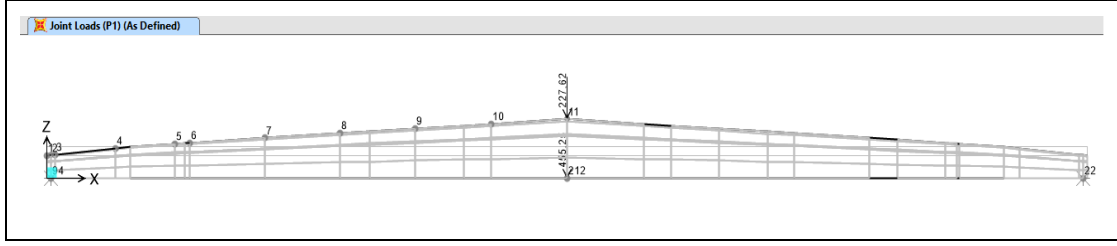
Şekil 5.39 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.13’de gösterilmiştir.

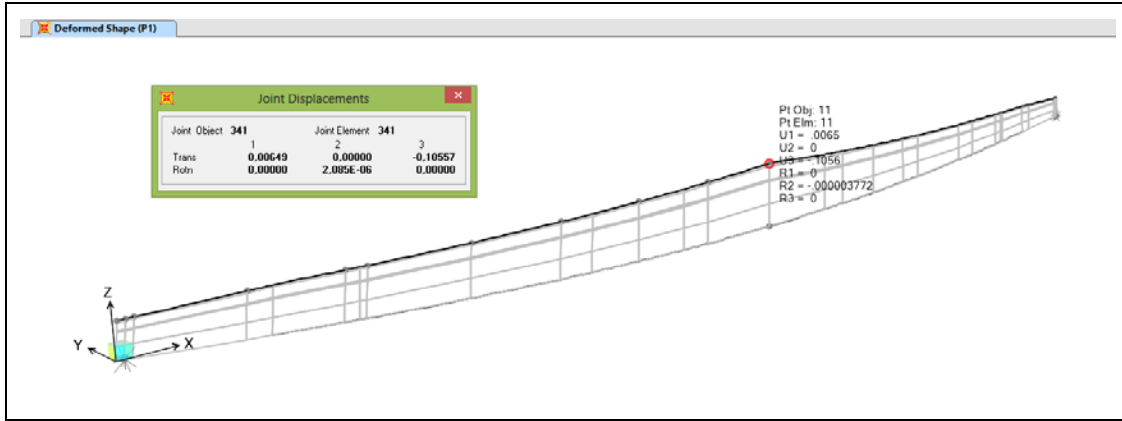
Çizelge 5.13 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,009	0,000	-0,00398	0,00000	0,11116
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,002	0,000	-0,00404	0,00000	0,11126
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,013	0,000	-0,00429	0,00000	0,11208
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,174	0,000	-0,00847	0,00000	0,11264
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,344	0,000	-0,02939	0,00000	0,12261
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,387	0,000	-0,03713	0,00000	0,12298
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,611	0,000	-0,08030	0,00000	0,11970
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,825	0,000	-0,12211	0,00000	0,10755
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,013	0,000	-0,15898	0,00000	0,08499
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,152	0,000	-0,18592	0,00000	0,04954
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,219	0,000	-0,19871	0,00000	-0,00005

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 227,62kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.40). Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -10,56cm z doğrultusunda ve 0,65cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.41).

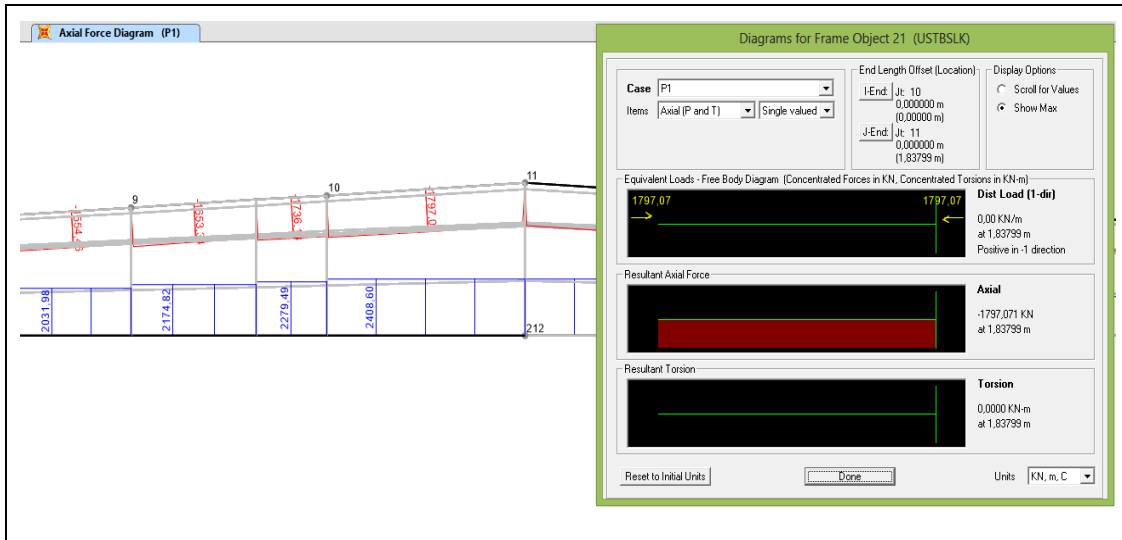


Şekil 5.40 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.41 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Şekil 5.42'den de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1797,07kN basınç, alt başlık ise 2408,60kN'luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır.



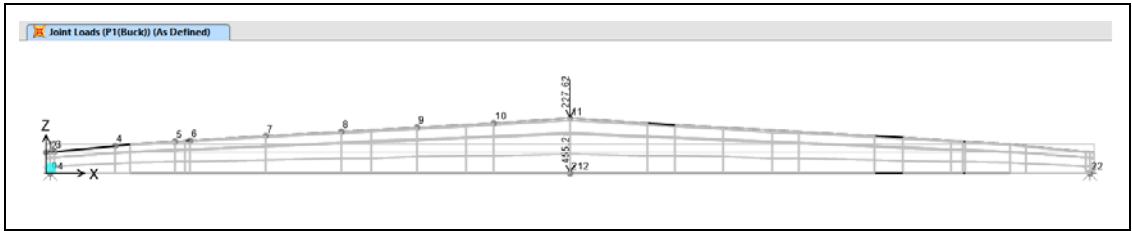
Şekil 5.42 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.14'de gösterilmiştir.

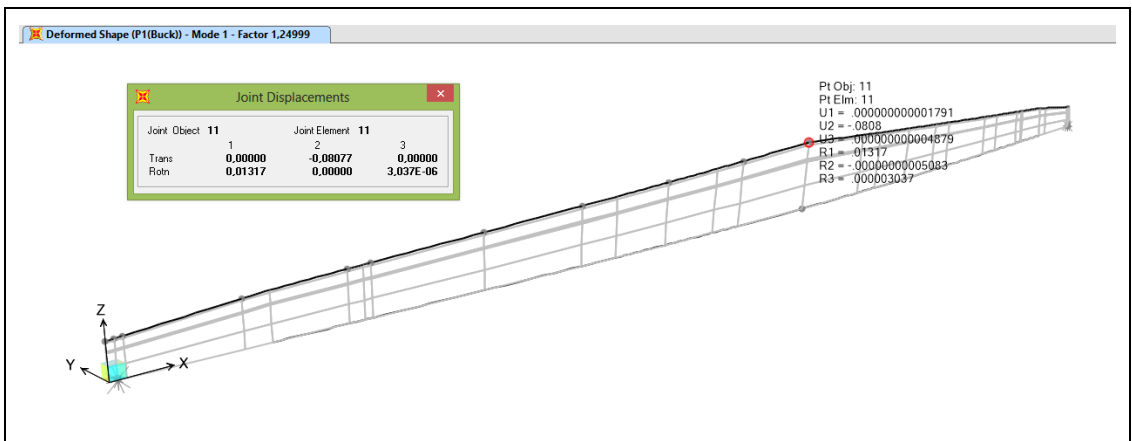
Çizelge 5.14 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,002	0,00000	0,01636	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01638	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01624	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,024	0,00000	0,01551	0,00000
5	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,043	0,00000	0,01245	0,00000
6	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,047	0,00000	0,01170	0,00000
7	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,068	0,00000	0,00883	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,084	0,00000	0,00734	0,00000
9	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,096	0,00000	0,00492	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,103	0,00000	0,00247	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,106	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir (Şekil 5.43). Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası -8,08cm y eksenini doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0132 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.44).



Şekil 5.43 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.44 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

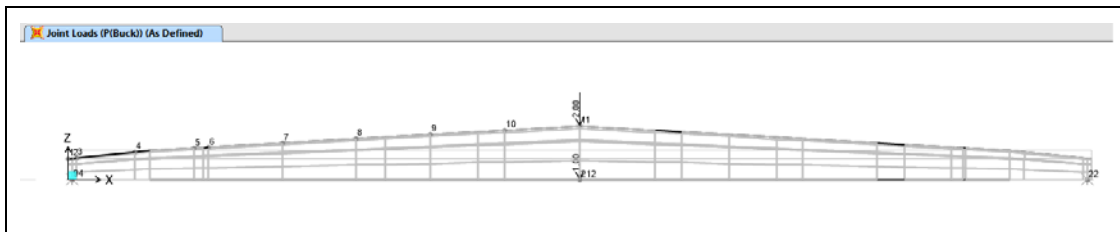
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00026	0,00000	0,00737
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00027	0,00000	0,00738
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00028	0,00000	0,00743
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00056	0,00000	0,00747
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,023	0,000	-0,00195	0,00000	0,00813
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,026	0,000	-0,00246	0,00000	0,00815
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,040	0,000	-0,00532	0,00000	0,00793
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,055	0,000	-0,00809	0,00000	0,00713
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,067	0,000	-0,01054	0,00000	0,00563
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,076	0,000	-0,01232	0,00000	0,00328
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,081	0,000	-0,01317	0,00000	0,00000

Yapılan yüklemenin 2/3'ünün merkez alt noktasından 1/3'ünün sistem üst noktasından yapılması kritik yanal burkulma yükünü, yüklemenin sistem üst noktasından yapılmasına göre %10,19 arttırmıştır.

5.1.3 Model 3

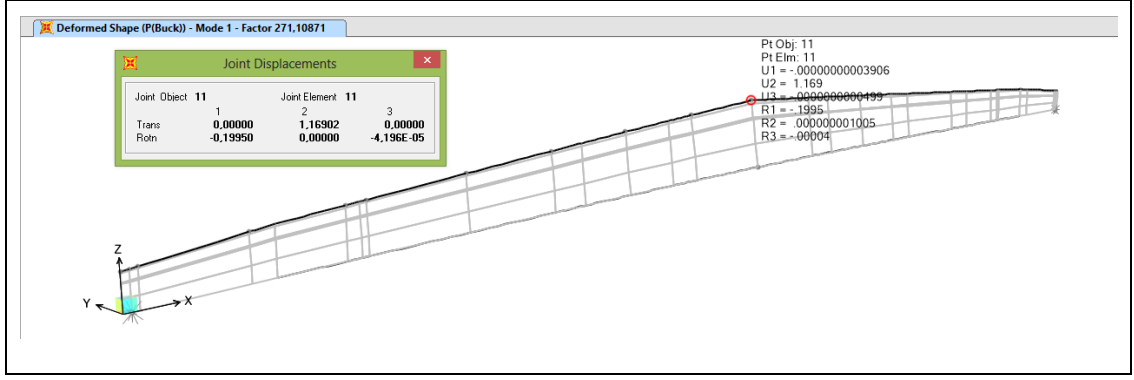
Üçüncü modelde ilk iki modelden farklı olarak, yükleme sistemin merkez üst noktasından 2/3 alt noktasından 1/3 oranında olarak uygulanacaktır.

Uygulanacak olan burkulma yüklemeleri Şekil 5.45'den görüldüğü gibi, 11 nolu düğüm noktasında 2 birim ve 212 nolu düğüm noktasında 1 birim olacaktır. Yapılan yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma birim yükü, uygulanan birimlerle çarpılarak sistem burkulma yükü bulunacaktır.



Şekil 5.45 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 271,11kN olarak elde edilmiştir. Toplam burkulma yükü 813,33kN olmuştur. Sistem bu yüklemeye altında kararsız durumu geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 1,17m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,20 radyan olmaktadır (Şekil 5.46).



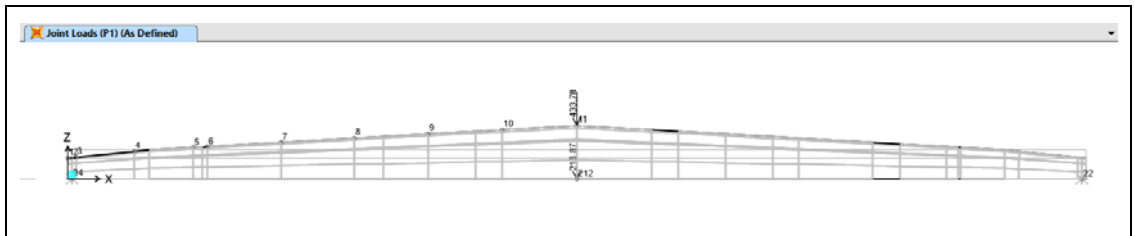
Şekil 5.46 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.16’de gösterilmiştir.

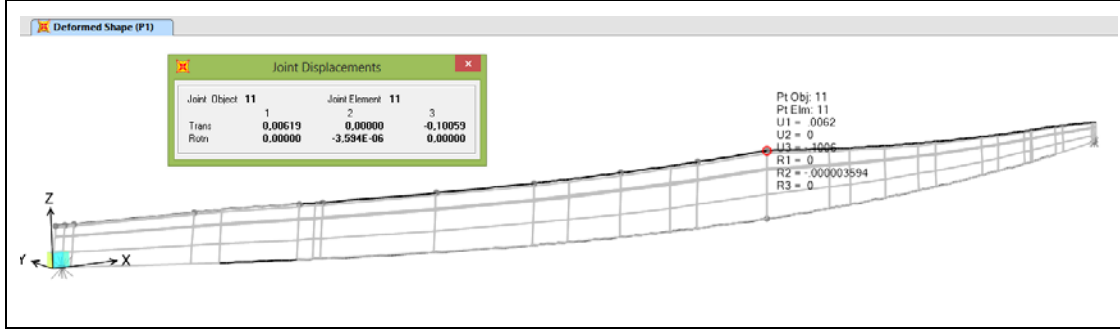
Çizelge 5.16 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,009	0,000	0,00396	0,00000	-0,10567
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,002	0,000	0,00401	0,00000	-0,10577
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,012	0,000	0,00427	0,00000	-0,10658
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,166	0,000	0,00842	0,00000	-0,10713
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,328	0,000	0,02910	0,00000	-0,11701
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,369	0,000	0,03675	0,00000	-0,11738
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,582	0,000	0,07933	0,00000	-0,11436
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,787	0,000	0,12069	0,00000	-0,10299
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,968	0,000	0,15764	0,00000	-0,08187
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,103	0,000	0,18568	0,00000	-0,04842
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,169	0,000	0,19951	0,00000	0,00004

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 216,87kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.47). Bu yüklemesi sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -10,06cm z doğrultusunda ve 0,62cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.48).

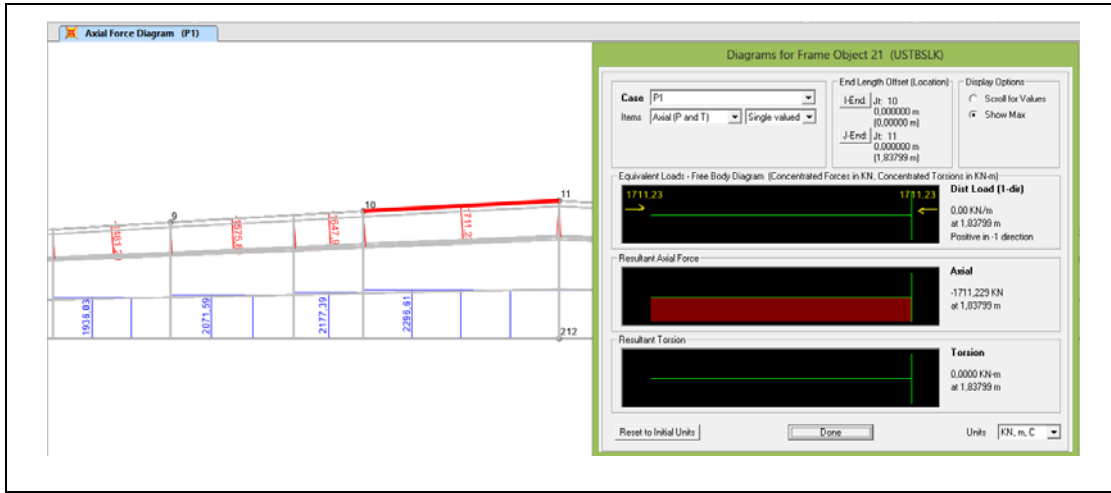


Şekil 5.47 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.48 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Şekil 5.49'den de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1711,23kN basınç, alt başlık ise 2296,61kN'luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır.



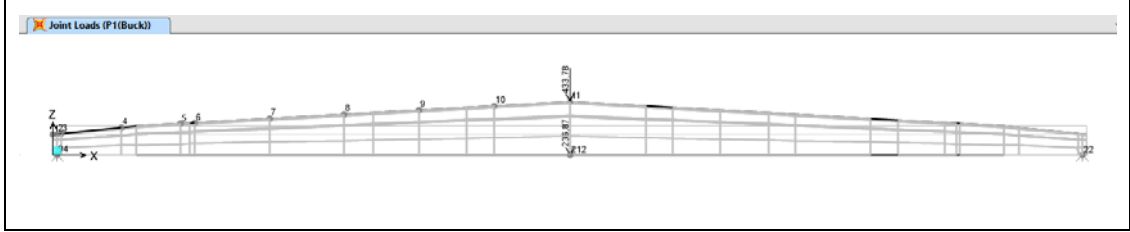
Şekil 5.49 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.17'de gösterilmiştir.

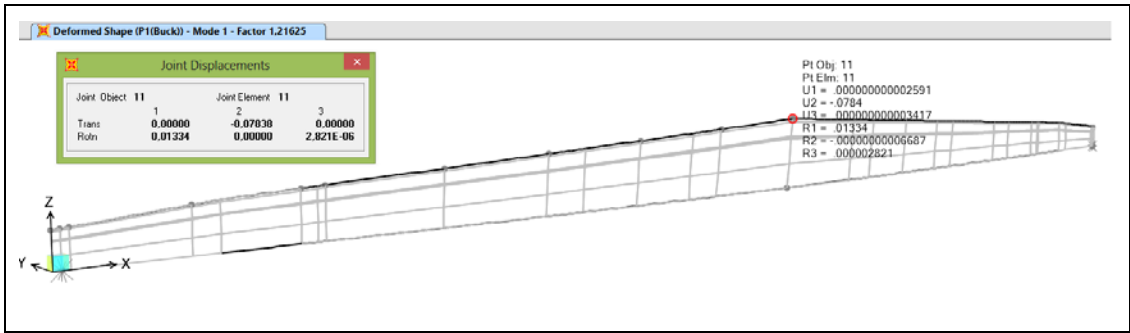
Çizelge 5.17 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,001	0,00000	0,01559	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01560	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01547	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,023	0,00000	0,01478	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,041	0,00000	0,01186	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,045	0,00000	0,01115	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,064	0,00000	0,00841	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,080	0,00000	0,00699	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,091	0,00000	0,00469	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,098	0,00000	0,00236	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,101	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir (Şekil 5.50). Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası -7,84cm y eksenini doğrultusunda deplasman yaptığı ve 0,0133 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.51).



Şekil 5.50 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.51 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.18 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00027	0,00000	0,00709
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00027	0,00000	0,00710
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00029	0,00000	0,00715
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00056	0,00000	0,00719
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,022	0,000	-0,00195	0,00000	0,00785
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,025	0,000	-0,00246	0,00000	0,00787
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,039	0,000	-0,00531	0,00000	0,00767
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,053	0,000	-0,00808	0,00000	0,00691
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,065	0,000	-0,01055	0,00000	0,00549
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,074	0,000	-0,01242	0,00000	0,00324
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,078	0,000	-0,01334	0,00000	0,00000

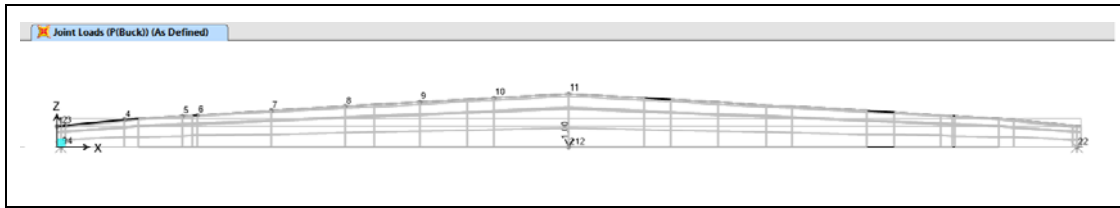
Yapılan yüklemenin 1/3'ünün merkez alt noktasından 2/3'ünün sistem üst noktasından yapılması kritik yanal burkulma yükünü, yüklemenin sistem üst noktasından yapılmasına göre %5,0 arttırmıştır.

5.1.4 Model 4

Dördüncü modelde yükleme sistemin merkez alt noktasındaki 212 nolu noktadan tekil yük olarak uygulanacaktır.

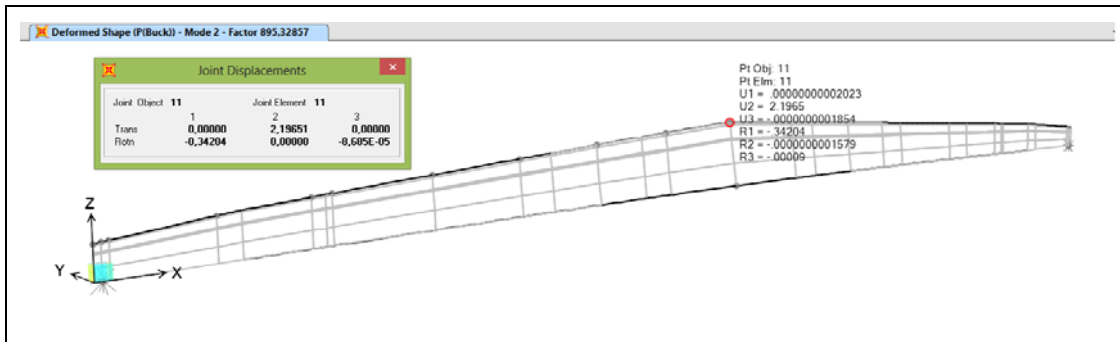
Sistem üzerine uygulanacak yüklemeler türleri birinci modeldeki yüklemeler ile aynı yüklemeler (P(Buck), sistem burkulma; P1, sistem burkulma yükünün %80 oranında lineer statik yükleme; P1(Buck), sistem burkulma yükünün %80 oranında burkulma yüklemesi olacaktır.

Uygulanacak olan burkulma yüklemesi 212 nolu noktasından 1 birim olarak uygulanacaktır (Şekil 5.52). Yapılan yükleme sonucu bulunacak olan burkulma birim yükü sistemin burkulma yükünü verecektir.



Şekil 5.52 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 2. modda elde edilen 895,33kN olarak elde edilmiştir. Sistem mod 1 de negatif burkulma yükü verdiği için 2. mod yükü kritik yük olarak alınmıştır. Sistem bu yükleme altında kararsız durumu geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 2,20m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,34 radyan olmaktadır (Şekil 5.53).



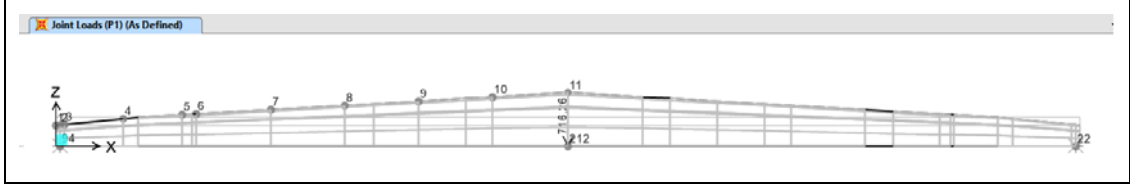
Şekil 5.53 : P(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.19’de gösterilmiştir.

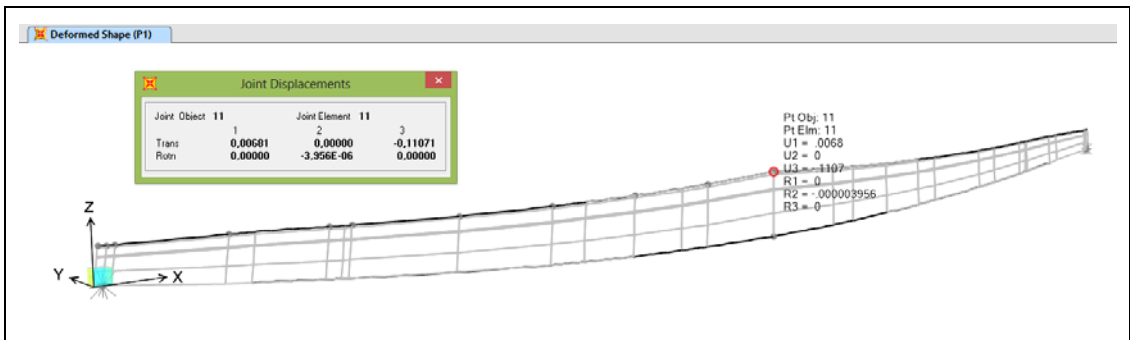
Çizelge 5.19 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,017	0,000	0,00693	0,00000	-0,20220
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,003	0,000	0,00703	0,00000	-0,20237
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,023	0,000	0,00747	0,00000	-0,20380
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,317	0,000	0,01473	0,00000	-0,20478
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,625	0,000	0,05136	0,00000	-0,22220
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,703	0,000	0,06494	0,00000	-0,22282
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,108	0,000	0,14071	0,00000	-0,21668
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,495	0,000	0,21386	0,00000	-0,19420
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,832	0,000	0,27746	0,00000	-0,15255
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-2,081	0,000	0,32193	0,00000	-0,08756
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-2,197	0,000	0,34205	0,00000	0,00009

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 716,26kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir (Şekil 5.54). Bu yüklemeye sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -11,07cm z doğrultusunda ve 0,68cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur (Şekil 5.55).

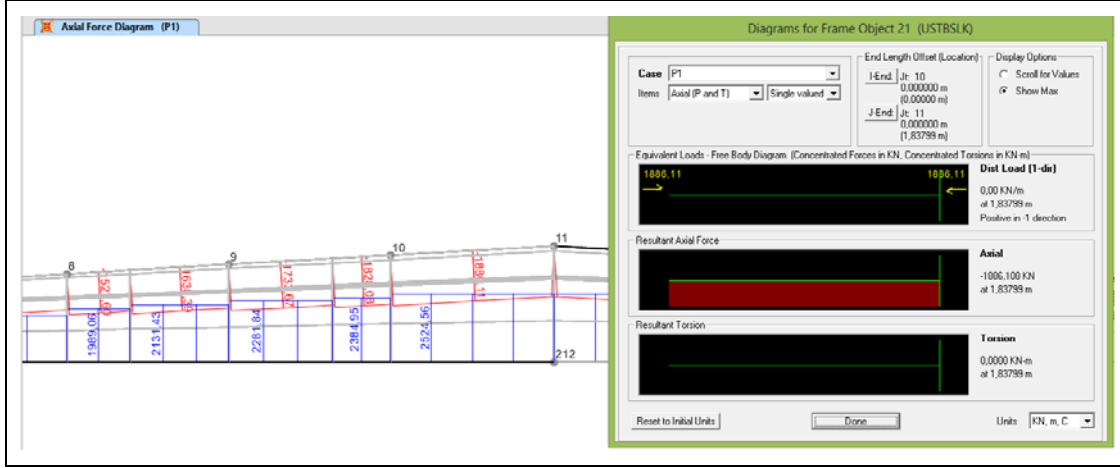


Şekil 5.54 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.55 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Şekil 5.56’den da görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1886,11kN basınç, alt başlık ise 2524,56kN’luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır.



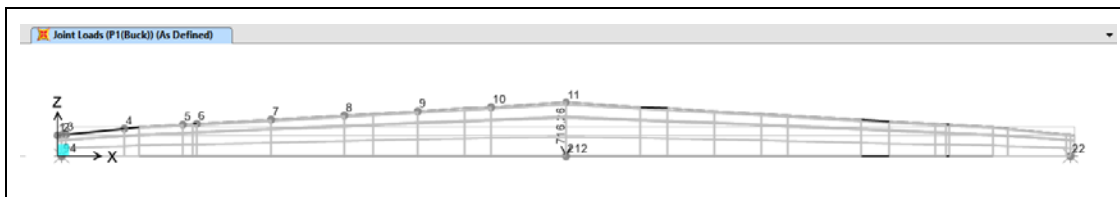
Şekil 5.56 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

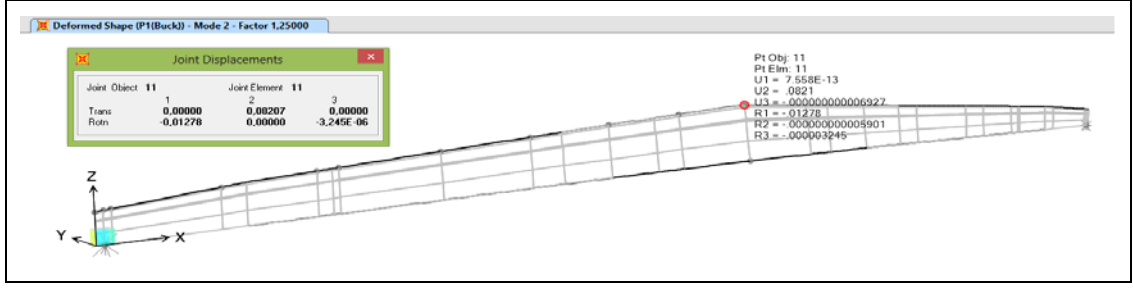
Çizelge 5.20 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,009	0,000	0,002	0,00000	0,01716	0,00000
2	P1	LinStatic	0,009	0,000	0,000	0,00000	0,01718	0,00000
3	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,002	0,00000	0,01704	0,00000
4	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,025	0,00000	0,01627	0,00000
5	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,045	0,00000	0,01306	0,00000
6	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,050	0,00000	0,01228	0,00000
7	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,071	0,00000	0,00926	0,00000
8	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,088	0,00000	0,00770	0,00000
9	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,101	0,00000	0,00517	0,00000
10	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,108	0,00000	0,00258	0,00000
11	P1	LinStatic	0,007	0,000	-0,111	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir (Şekil 5.57). Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası 8,21cm y eksenine doğrultusunda deplasman yaptığı ve -0,0128 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.58).



Şekil 5.57 : P1(Buck) yüklemesi.



Şekil 5.58 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	0,00026	0,00000	-0,00756
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00026	0,00000	-0,00756
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00028	0,00000	-0,00762
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,012	0,000	0,00055	0,00000	-0,00765
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,023	0,000	0,00192	0,00000	-0,00830
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,026	0,000	0,00243	0,00000	-0,00833
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,041	0,000	0,00526	0,00000	-0,00810
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,056	0,000	0,00799	0,00000	-0,00726
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,068	0,000	0,01037	0,00000	-0,00570
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,078	0,000	0,01203	0,00000	-0,00327
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,082	0,000	0,01278	0,00000	0,00000

5.2 Yayılı Yük Etkisinde Alt Başlıklarından Tutulu Sistemler

Sistem modeli olarak tekil yük etkisindeki sistemlerle eş modeller kullanılacak olup, dördüncü bölümdeki sabit enkesitli sistemlerde uygulanan metod ile yüklemeler yapılacaktır.

Berkitmesiz, 20cm kalınlıklı tek berkitmeli, çift berkitmeli ve üç berkitmeli olarak oluşturularak yayılı yük altında berkitmenin etkisi incelenecektir.

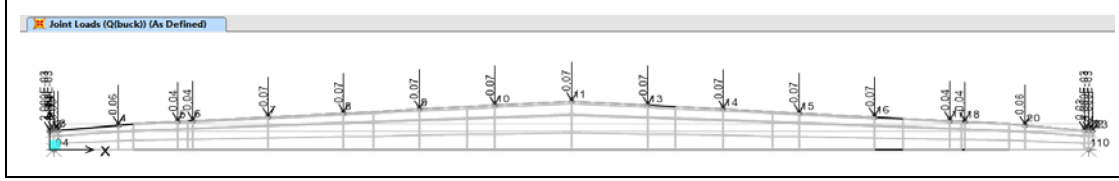
5.2.1 Model 1

Oluşturulacak modellerin hepsinde Çizelge 5.22’de görünen P(Buck) yükleri düğüm noktalarına etkitilecektir.

Çizelge 5.22 : Düğüm noktası P(Buck) birim burkulma yükleri.

Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yüklemesi (kN)	0,002	0,004	0,031	0,058	0,036	0,043	0,072	0,072	0,072	0,073	0,073

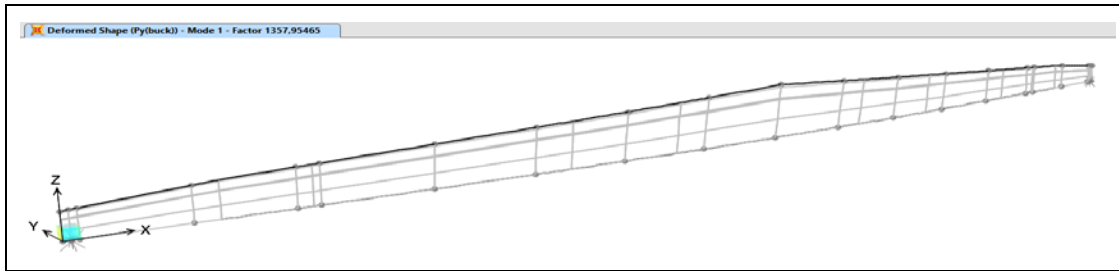
Sistem düğüm noktalarından yapılan Q(Buck) yüklemeleri Şekil 5.59'da gösterilmiştir. Bu yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma yük katsayısı, düğüm noktası birim yük değeriyle çarpılıp, aynı düğüm noktasının yük alanına bölünecektir.



Şekil 5.59 : Q(Buck) yüklemesi.

5.2.1.1 Berkitmesiz sistem

Yapılan birim yüklemeler sonucu Şekil 5.60 da görülen kritik burkulma katsayısı 1357,95 olarak bulunmuştur. Burkulma katsayısı 11 nolu düğüm noktasının birim yükleme değeri olan 0,0734kN ile çarpılıp yine 11 nolu düğüm noktasının yük alanı olan 1,835m değerine bölünerek 54,32kN/m(5,54tonf/m) değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.60 : Q(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman ve dönme değerleri Çizelge 5.23 de verilmiştir.

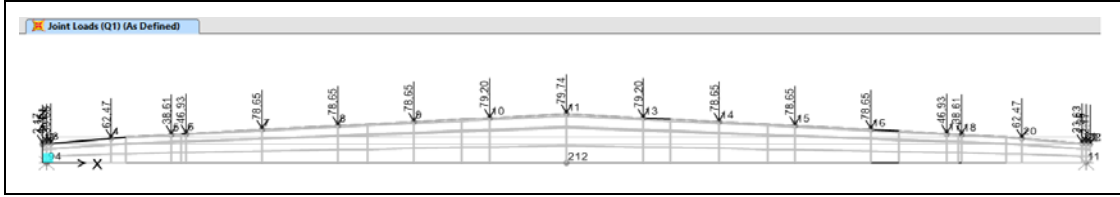
Çizelge 5.23 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(buck)	LinBuckling	0,000	-0,021	0,000	-0,00931	0,00000	0,25001
2	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,004	0,000	-0,00944	0,00000	0,25025
3	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,029	0,000	-0,01004	0,00000	0,25218
4	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,392	0,000	-0,01980	0,00000	0,25344
5	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,776	0,000	-0,06975	0,00000	0,27665
6	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,873	0,000	-0,08827	0,00000	0,27716
7	Q(buck)	LinBuckling	0,000	1,373	0,000	-0,19000	0,00000	0,26523
8	Q(buck)	LinBuckling	0,000	1,842	0,000	-0,28420	0,00000	0,22981
9	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,236	0,000	-0,36116	0,00000	0,17209
10	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,516	0,000	-0,41261	0,00000	0,09393
11	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,645	0,000	-0,43585	0,00000	-0,00011

Burkulma yükünün %80'i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etkitilen Q1 yüklemeleri Çizelge 5.24 da verilmiştir.

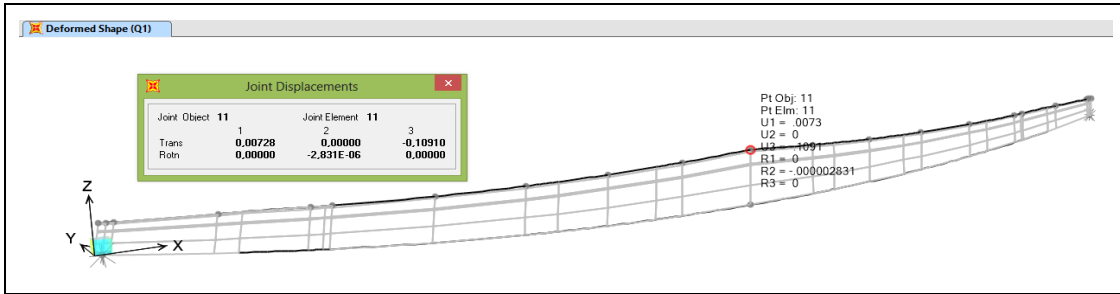
Çizelge 5.24 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,17	4,35	33,63	62,47	38,61	46,93	78,65	78,65	78,65	79,20	79,74



Şekil 5.61 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 10,9cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.62 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.25 de verilmiştir.

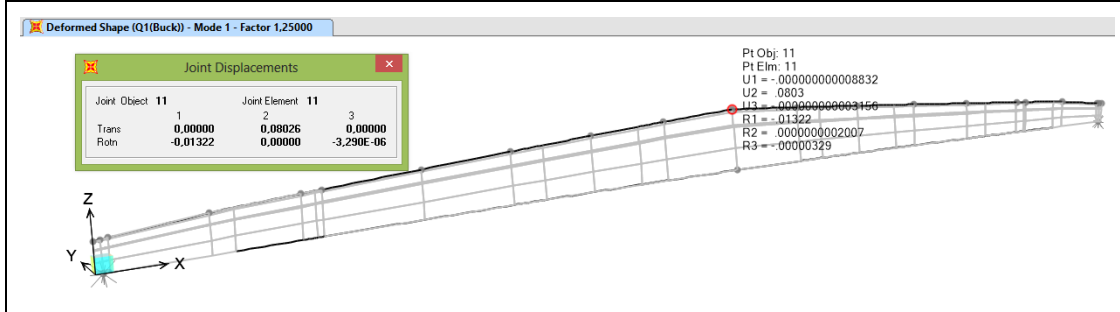


Şekil 5.62 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.25 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,009	0,000	0,002	0,00000	0,01909	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,000	0,00000	0,01911	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,002	0,00000	0,01894	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,027	0,00000	0,01773	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,049	0,00000	0,01340	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,053	0,00000	0,01247	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,074	0,00000	0,00919	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,011	0,000	-0,090	0,00000	0,00717	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,101	0,00000	0,00468	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,107	0,00000	0,00237	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,007	0,000	-0,109	0,00000	0,00000	0,00000

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanal deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 8,03cm(y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.63’de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.26’da verilmiştir.



Şekil 5.63 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.26 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

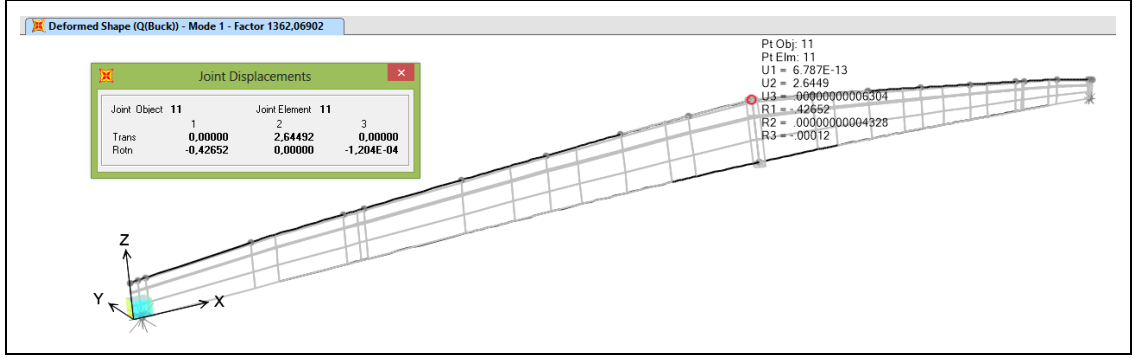
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00028	0,00000	0,00759
2	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00029	0,00000	0,00759
3	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00031	0,00000	0,00765
4	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00060	0,00000	0,00769
5	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,024	0,000	-0,00212	0,00000	0,00839
6	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,026	0,000	-0,00268	0,00000	0,00841
7	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,042	0,000	-0,00577	0,00000	0,00805
8	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,056	0,000	-0,00862	0,00000	0,00697
9	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,068	0,000	-0,01096	0,00000	0,00522
10	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,076	0,000	-0,01252	0,00000	0,00285
11	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,080	0,000	-0,01322	0,00000	0,00000

5.2.1.2 Tek berkitmeli sistem

Aynı modele ek olarak sistem merkez noktasından(12,5m), 20cm kalınlıklı bir berkitme plak eleman olarak tanımlanacaktır.

Yapılacak olan yüklemeler berkitmesiz modeldeki yüklemeler ile aynı olup, burkulma yükünün değişimi ve oluşan yanal ve düşey deplasmanlar gözlemlenecektir.

Yükleme sonucu bulunan 1362,06kN’luk burkulma katsayısı değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %0,3 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.64 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.27’de gösterilmiştir.

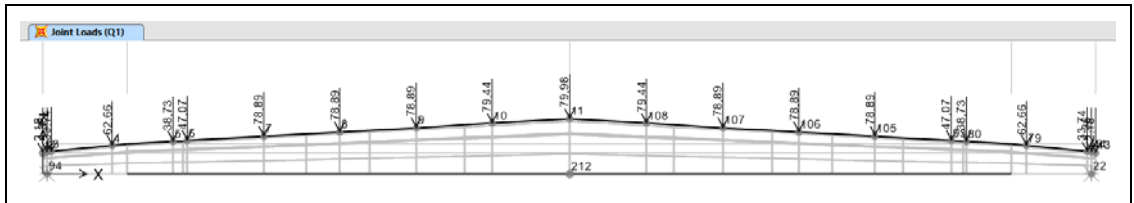
Çizelge 5.27 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,021	0,000	-0,00934	0,00000	0,25028
2	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,004	0,000	-0,00948	0,00000	0,25051
3	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,029	0,000	-0,01007	0,00000	0,25245
4	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,393	0,000	-0,01987	0,00000	0,25372
5	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,777	0,000	-0,07000	0,00000	0,27700
6	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,874	0,000	-0,08859	0,00000	0,27750
7	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,375	0,000	-0,19027	0,00000	0,26517
8	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,844	0,000	-0,28473	0,00000	0,23018
9	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,238	0,000	-0,36151	0,00000	0,17184
10	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,517	0,000	-0,41057	0,00000	0,09300
11	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,645	0,000	-0,42652	0,00000	-0,00012

Burkulma yükünün %80’i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etiketlenen Q1 yüklemeleri Çizelge 5.28 da verilmiştir.

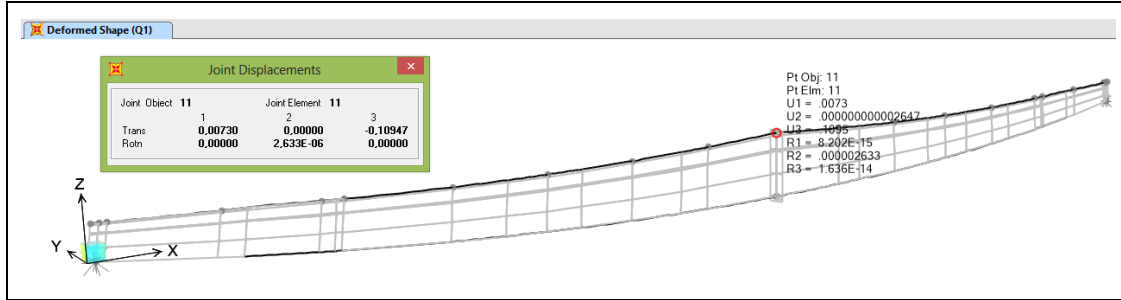
Çizelge 5.28 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,18	4,36	33,74	62,66	38,73	47,07	78,89	78,89	78,89	79,44	79,98



Şekil 5.65 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 10,95cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.66 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.29 de verilmiştir.

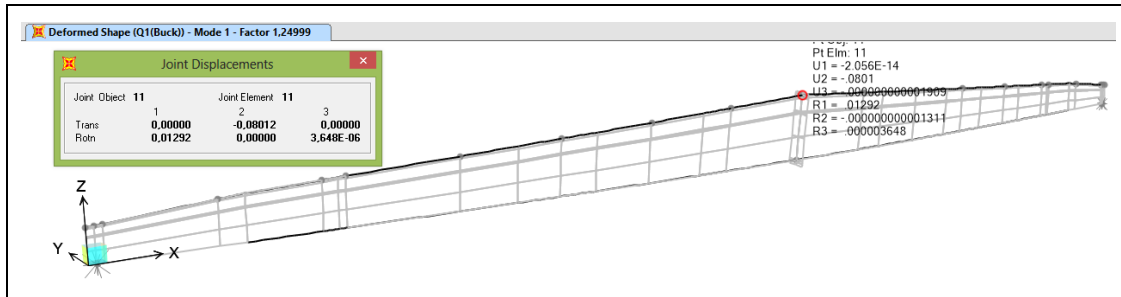


Şekil 5.66 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.29 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,009	0,000	0,002	0,00000	0,01915	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,000	0,00000	0,01917	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,002	0,00000	0,01901	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,028	0,00000	0,01779	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,049	0,00000	0,01345	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,053	0,00000	0,01250	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,074	0,00000	0,00948	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,011	0,000	-0,090	0,00000	0,00733	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,101	0,00000	0,00470	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,108	0,00000	0,00239	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,007	0,000	-0,109	0,00000	0,00000	0,00000

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanal deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 8,03cm(y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.67'de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.30'da verilmiştir.



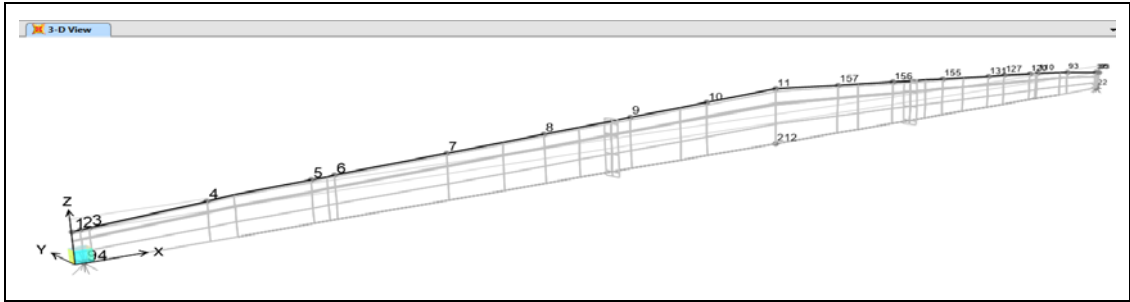
Şekil 5.67 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.30 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarındaki deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	0,00028	0,00000	-0,00758
2	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00029	0,00000	-0,00759
3	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00031	0,00000	-0,00765
4	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,012	0,000	0,00060	0,00000	-0,00769
5	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00212	0,00000	-0,00839
6	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,026	0,000	0,00268	0,00000	-0,00841
7	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,042	0,000	0,00576	0,00000	-0,00803
8	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,056	0,000	0,00863	0,00000	-0,00697
9	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,068	0,000	0,01095	0,00000	-0,00521
10	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,076	0,000	0,01244	0,00000	-0,00282
11	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,080	0,000	0,01292	0,00000	0,00000

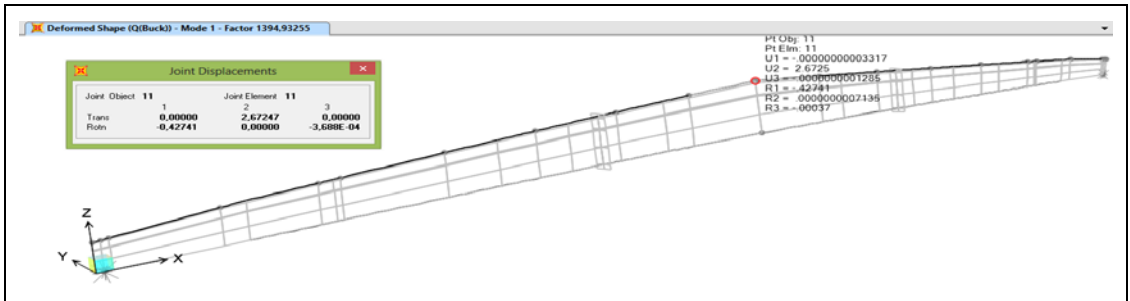
5.2.1.3 İki berkitmekli sistem

Sistemdeki berkitmelerin sayısı 2 ye çıkartılıp bu berkitmeler 8,33m aralıklarla modele yerleştirilecektir. Sistem genel görünüşü ve berkitme Şekil 5.68’de görülmektedir.



Şekil 5.68 : İki berkitmeli sistem genel görünüşü.

Yükleme sonucu bulunan 1394,93kN’luk burkulma katsayısı değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %2,7 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.69 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.31’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.31 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

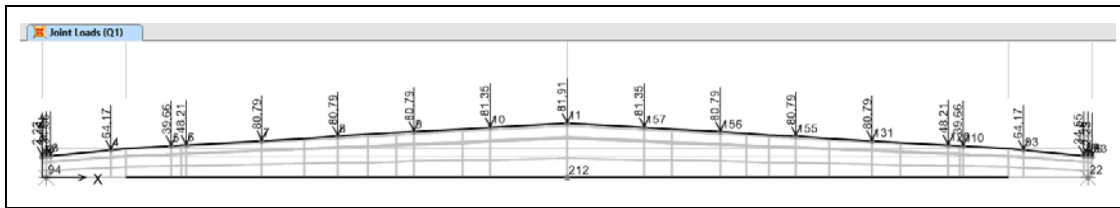
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,021	0,000	-0,00970	0,00000	0,25536
2	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,004	0,000	-0,00983	0,00000	0,25560
3	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,030	0,000	-0,01045	0,00000	0,25762
4	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,401	0,000	-0,02062	0,00000	0,25892
5	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,793	0,000	-0,07274	0,00000	0,28307
6	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,892	0,000	-0,09208	0,00000	0,28356
7	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,404	0,000	-0,19756	0,00000	0,27010
8	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,879	0,000	-0,29172	0,00000	0,23088
9	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,268	0,000	-0,35525	0,00000	0,16690
10	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,544	0,000	-0,40369	0,00000	0,09394
11	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,672	0,000	-0,42741	0,00000	-0,00037

Burkulma yükünün %80'i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etkililen Q1 yüklemeleri Çizelge 5.32 da verilmiştir.

Çizelge 5.32 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

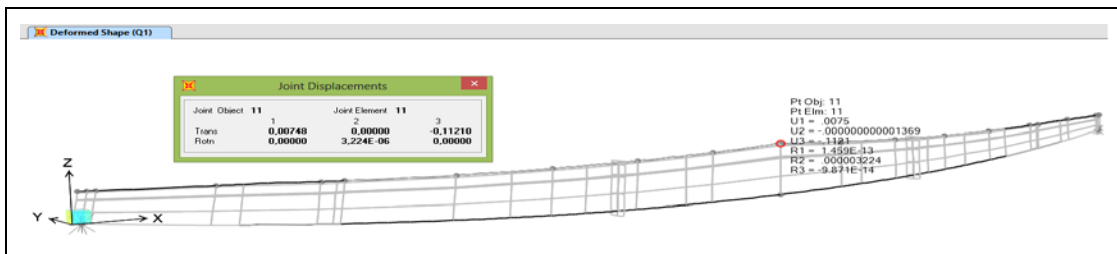
Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,23	4,46	34,55	64,17	39,66	48,21	80,80	80,80	80,80	81,35	81,91

Q1 yüklemesi Şekil 5.70'de görülmektedir.



Şekil 5.70 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 11,21cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.71 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.33 de verilmiştir.

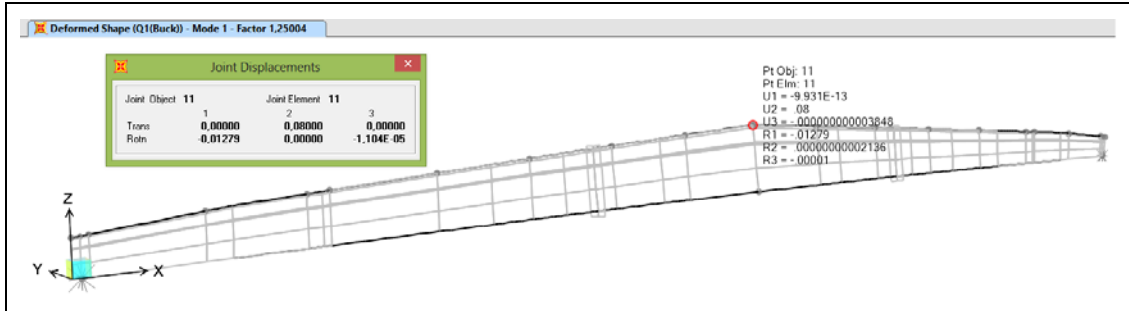


Şekil 5.71 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.33 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,002	0,00000	0,01961	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,000	0,00000	0,01963	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,002	0,00000	0,01946	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,028	0,00000	0,01822	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,050	0,00000	0,01377	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,055	0,00000	0,01281	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,076	0,00000	0,00971	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,011	0,000	-0,093	0,00000	0,00749	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,104	0,00000	0,00482	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,110	0,00000	0,00244	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,007	0,000	-0,112	0,00000	0,00000	0,00000

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanıl deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 8,00cm(y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.72’de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.34’da verilmiştir.



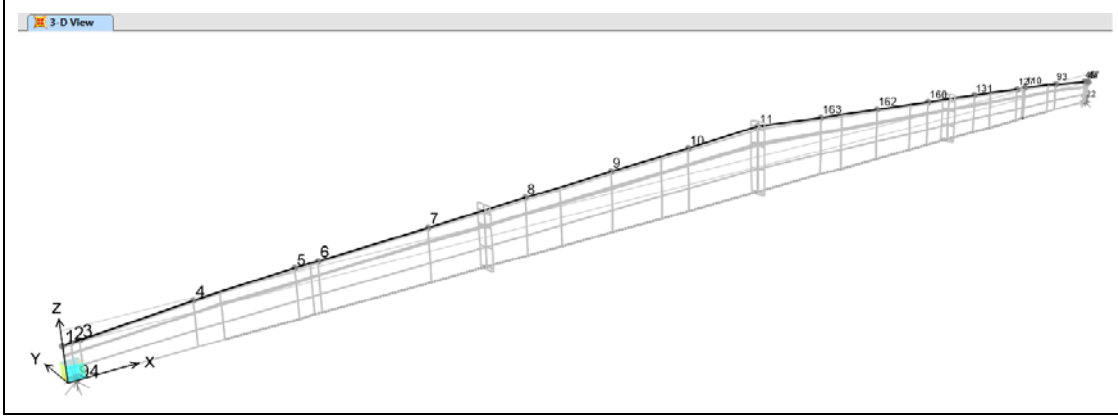
Şekil 5.72 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.34 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00029	0,00000	0,00764
2	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00029	0,00000	0,00765
3	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00031	0,00000	0,00771
4	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00062	0,00000	0,00775
5	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,024	0,000	-0,00218	0,00000	0,00847
6	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,027	0,000	-0,00276	0,00000	0,00849
7	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,042	0,000	-0,00591	0,00000	0,00809
8	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,056	0,000	-0,00873	0,00000	0,00691
9	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,068	0,000	-0,01063	0,00000	0,00500
10	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,076	0,000	-0,01209	0,00000	0,00281
11	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,080	0,000	-0,01280	0,00000	-0,00001

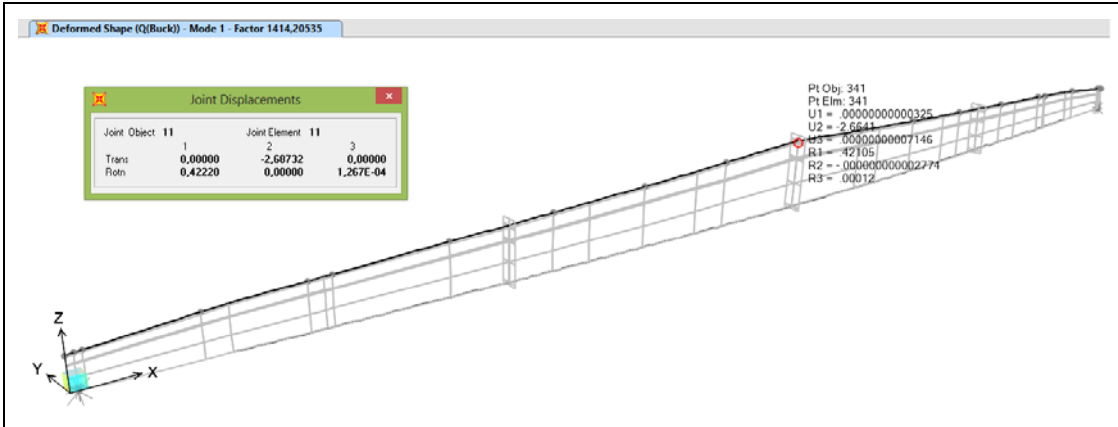
5.2.1.4 Üç berkitmeli sistem

Sistemdeki berkitmelerin sayısı 3'e çıkartılıp bu berkitmeler 6,25m aralıklarla modele yerleştirilecektir. Sistem genel görünüşü ve berkitme Şekil 5.73'da görülmektedir.



Şekil 5.73 : Üç berkitmeli sistem genel görünüş.

Yükleme sonucu bulunan 1414,21kN'luk burkulma katsayısı değeri berkitmesiz sistemle karşılaştırıldığında sistemdeki burkulma yükünü %4,14 arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.74 : Q(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.35 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

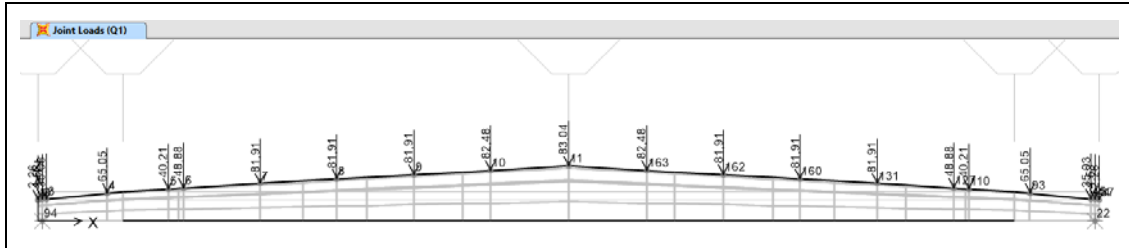
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,021	0,000	-0,00986	0,00000	0,25614
2	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,004	0,000	-0,00999	0,00000	0,25639
3	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,030	0,000	-0,01062	0,00000	0,25844
4	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,402	0,000	-0,02096	0,00000	0,25977
5	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,796	0,000	-0,07440	0,00000	0,28434
6	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	0,896	0,000	-0,09423	0,00000	0,28481
7	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,407	0,000	-0,19665	0,00000	0,26728
8	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	1,873	0,000	-0,27567	0,00000	0,23040
9	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,273	0,000	-0,35268	0,00000	0,17626
10	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,557	0,000	-0,40513	0,00000	0,09591
11	Q(Buck)	LinBuckling	0,000	2,687	0,000	-0,42220	0,00000	-0,00013

Burkulma yükünün %80'i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etkitilen Q1 yüklemeleri Çizelge 5.36 da verilmiştir.

Çizelge 5.36 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

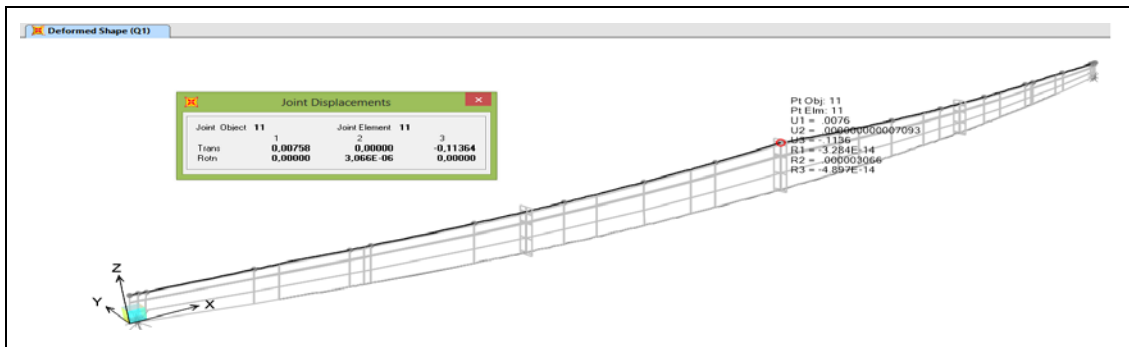
Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,26	4,53	35,03	65,05	40,21	48,88	81,91	81,91	81,91	82,48	83,04

Q1 yükleri Şekil 5.75'de görülmektedir.



Şekil 5.75 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 11,36cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.76 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.37 de verilmiştir.

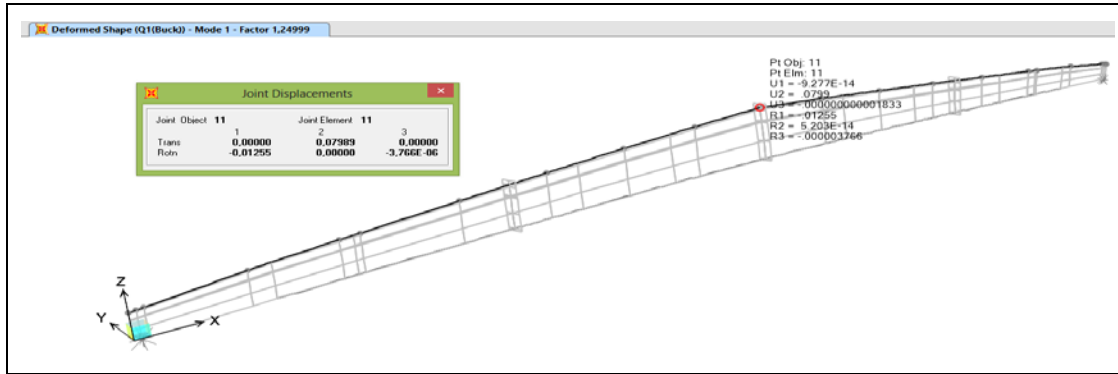


Şekil 5.76 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.37 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,002	0,00000	0,01988	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,000	0,00000	0,01990	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,002	0,00000	0,01973	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,029	0,00000	0,01847	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,051	0,00000	0,01396	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,055	0,00000	0,01298	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,077	0,00000	0,00988	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,094	0,00000	0,00760	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,105	0,00000	0,00488	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,112	0,00000	0,00248	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,008	0,000	-0,114	0,00000	0,00000	0,00000

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanıl deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 7,99cm(y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.77’de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.38’de verilmiştir.



Şekil 5.77 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

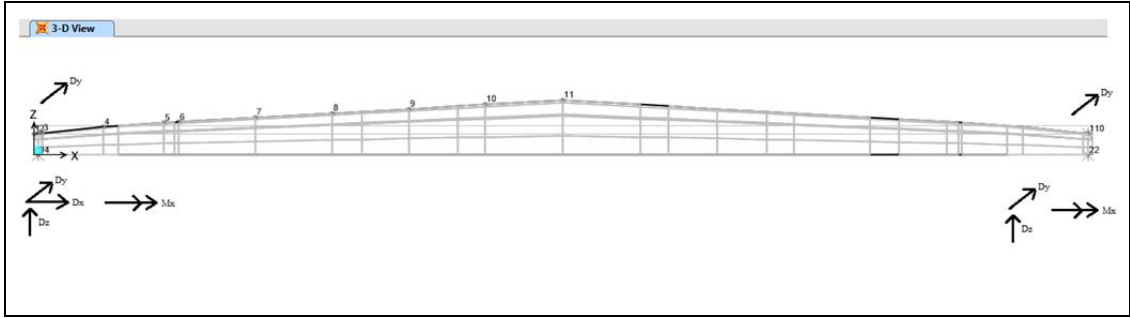
Çizelge 5.38 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	-0,00029	0,00000	0,00762
2	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00030	0,00000	0,00762
3	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00032	0,00000	0,00768
4	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00062	0,00000	0,00772
5	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,024	0,000	-0,00221	0,00000	0,00845
6	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,027	0,000	-0,00280	0,00000	0,00847
7	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,042	0,000	-0,00585	0,00000	0,00795
8	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,056	0,000	-0,00820	0,00000	0,00685
9	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,068	0,000	-0,01049	0,00000	0,00524
10	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,076	0,000	-0,01204	0,00000	0,00285
11	Q1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,080	0,000	-0,01255	0,00000	0,00000

5.3 Tekil Yük Etkisinde Alt Ve Üst Başlıklarından Tutulu Sistemler

Tekil yük etkisinde alt başlıklarından tutulu, genel görünüşü Şekil 5.78 de gösterilen sistemlerin mesnetlenme şekilleri aynı olan, 4 farklı yükleme için modellemeler yapılmıştır.

mesnetlenme şekli değiştirilen sistemlerin birincisinde üst başlıkta her iki tarafta sadece y doğrultusundaki deplasman tutulu, alt başlıkta ise bir kenarda x,y,z eksenleri etrafında deplasmanı, x eksen etrafındaki dönmesi ; diğer kenarda z ve ye eksenlerindeki deplasmanı ile x eksen etrafındaki dönmesi tutuludur.



Şekil 5.78 : Model 1a, 2a, 3a ve 4a genel görünüşü.



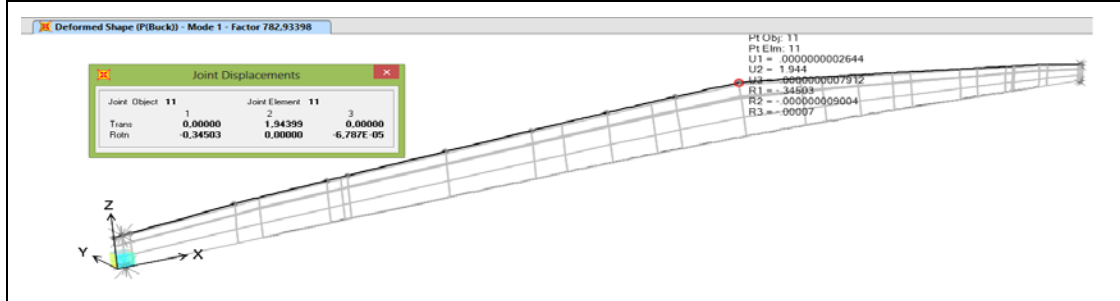
Şekil 5.79 : Model 1a, 2a, 3a ve 4a mesnetlenme şekilleri.

5.3.1 Model 1a

Yükleme model 1 de olduğu gibi sistemin merkez üst noktasından uygulanacaktır.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik burkulma yükü 782,93kN olarak elde edilmiştir. Yanlızca alttan mesnetli sistemlerde bu değer 774,71kN olarak bulunmuştu. Mesnetlenmedeki değişim sonucu burkulma yükünde %1.2'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Sistem bu yükleme altında kararsız duruma geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 1,94m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,35 radyan olmaktadır. Şekildeğiştirmiş sistem ve burkulma yük katsayısı Şekil 5.80’de görülmektedir.



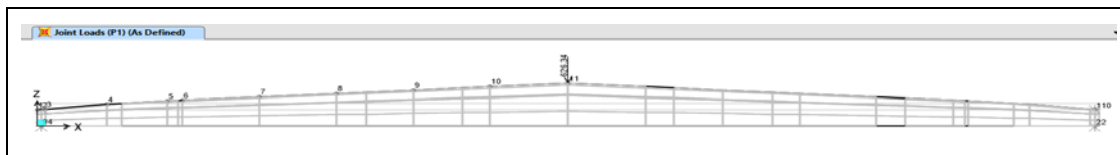
Şekil 5.80 : P(buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.39’de gösterilmiştir.

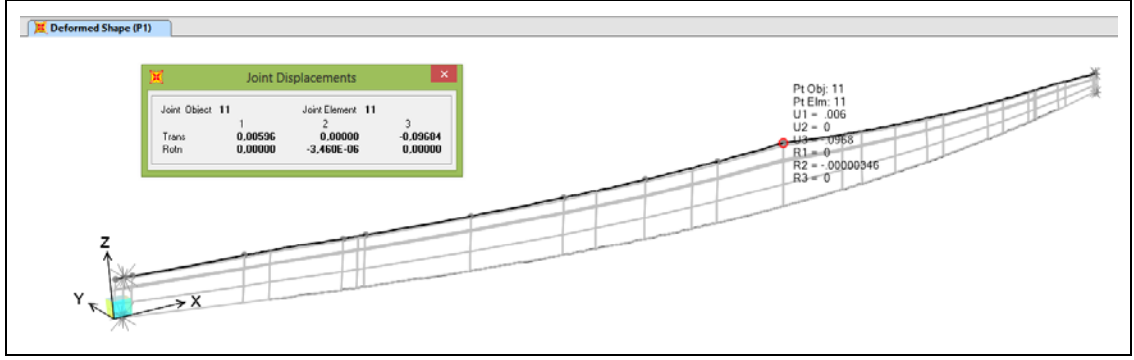
Çizelge 5.39 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,017	0,000	0,00015	0,00000	0,17372
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00003	0,00000	0,17415
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,017	0,000	-0,00076	0,00000	0,17571
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,270	0,000	-0,00877	0,00000	0,17679
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,537	0,000	-0,04448	0,00000	0,19393
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,605	0,000	-0,05770	0,00000	0,19464
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,959	0,000	-0,13141	0,00000	0,19011
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,300	0,000	-0,20325	0,00000	0,17184
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,602	0,000	-0,26823	0,00000	0,13752
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,831	0,000	-0,31917	0,00000	0,08254
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,944	0,000	-0,34503	0,00000	-0,00007

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 626,34kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir. Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -9,68cm z doğrultusunda ve 0,60cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur.

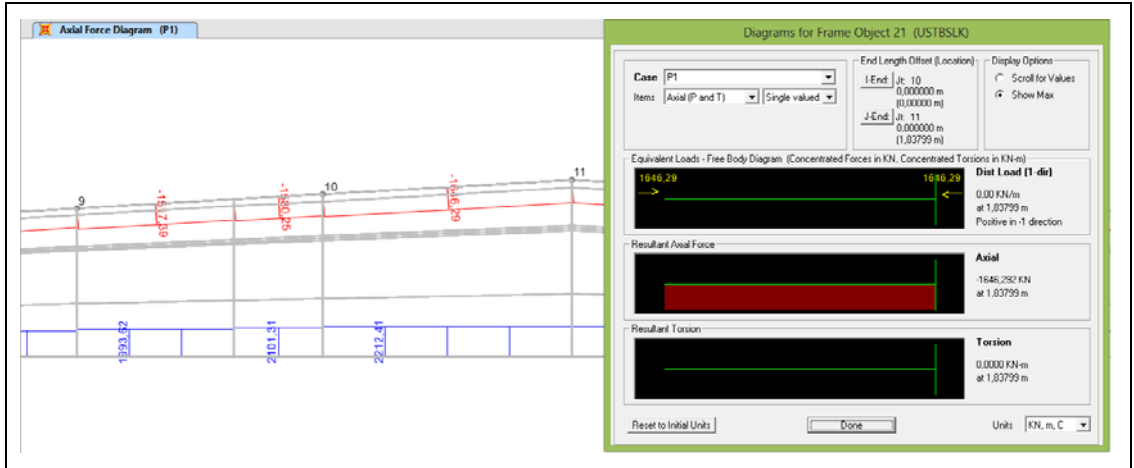


Şekil 5.81 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.82 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Şekilden de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1646,29kN basınç, alt başlık ise 2212,41kN'luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır (Şekil 5.83).



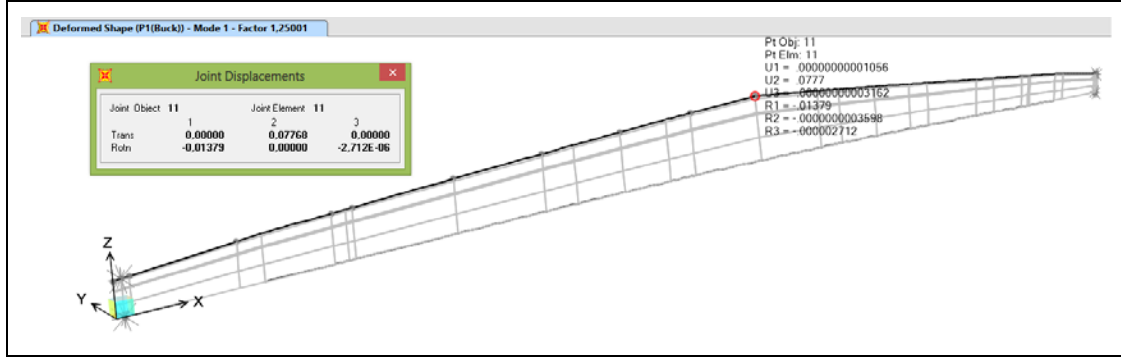
Şekil 5.83 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.40'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.40 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,007	0,000	0,001	0,00000	0,01500	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01502	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01489	0,00000
4	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,022	0,00000	0,01422	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,040	0,00000	0,01141	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,043	0,00000	0,01073	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,062	0,00000	0,00809	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,077	0,00000	0,00673	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,088	0,00000	0,00451	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,094	0,00000	0,00228	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,097	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir. Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası 7,77cm y ekseninde deplasman yaptığı ve -0,0138 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.84).



Şekil 5.84 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.41’de gösterilmiştir.

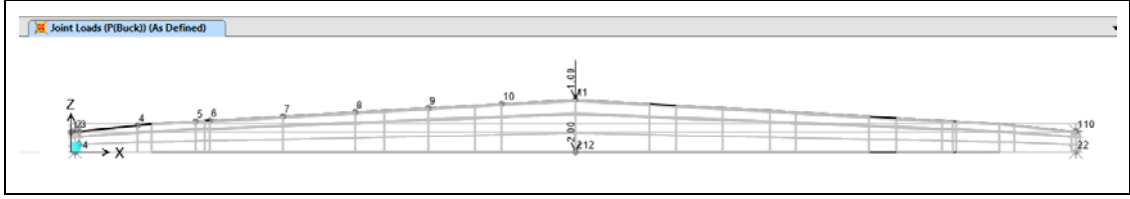
Çizelge 5.41 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00001	0,00000	-0,00694
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	-0,00696
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00003	0,00000	-0,00702
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00035	0,00000	-0,00706
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,021	0,000	0,00178	0,00000	-0,00775
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,024	0,000	0,00231	0,00000	-0,00778
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,038	0,000	0,00525	0,00000	-0,00760
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,052	0,000	0,00812	0,00000	-0,00687
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,064	0,000	0,01072	0,00000	-0,00550
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,073	0,000	0,01275	0,00000	-0,00330
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,078	0,000	0,01379	0,00000	0,00000

5.3.2 Model 2a

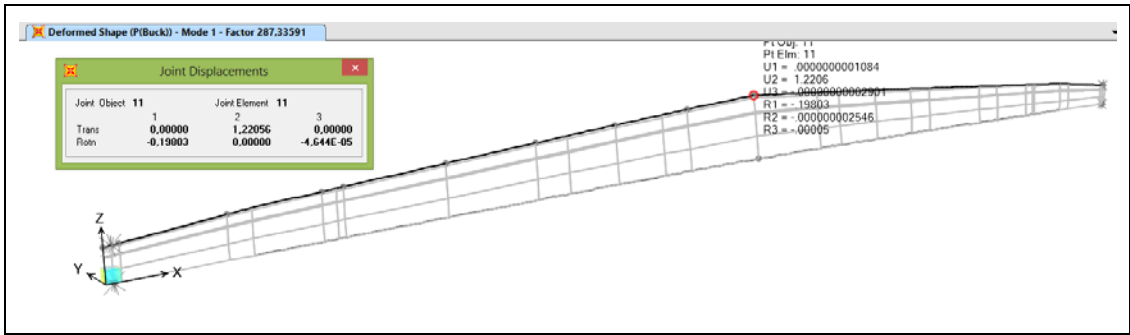
Model 2 sisteminin üst başlıkğının, her iki tarafta y ekseninde etrafındaki deplasmanı tutularak oluşturulan model 2a sisteminde, yükleme 1 birim merkez üst başlıkğından, 2 birim merkez alt başlıkğından yapılacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 5.85).

Uygulanacak olan burkulma yüklemeleri, 11 nolu düğüm noktasında 1 birim, 212 nolu düğüm noktasına 2 birim olacaktır. Yapılan yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma yükü birim yüklerle çarpılarak sistem burkulma yükü elde edilecektir.



Şekil 5.85 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 287,33kN(birim yük) olarak elde edilmiştir. Sistem bu yükleme altında kararsız durumu geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 1,22m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,20radyan olmaktadır.



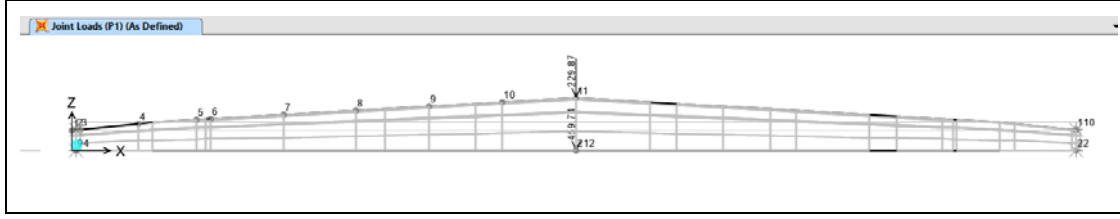
Şekil 5.86 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.42’de gösterilmiştir.

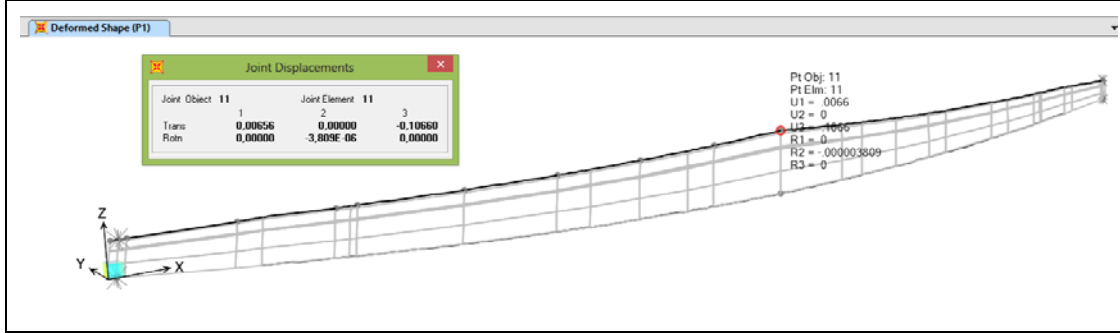
Çizelge 5.42 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00009	0,00000	-0,11111
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00002	0,00000	-0,11136
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00044	0,00000	-0,11228
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,172	0,000	0,00513	0,00000	-0,11291
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,342	0,000	0,02622	0,00000	-0,12301
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,386	0,000	0,03406	0,00000	-0,12341
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,610	0,000	0,07780	0,00000	-0,12031
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,825	0,000	0,12022	0,00000	-0,10826
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,014	0,000	0,15767	0,00000	-0,08566
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,154	0,000	0,18505	0,00000	-0,04998
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,221	0,000	0,19803	0,00000	0,00005

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 229,87kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir. Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -10,66cm z doğrultusunda ve 0,66cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur.

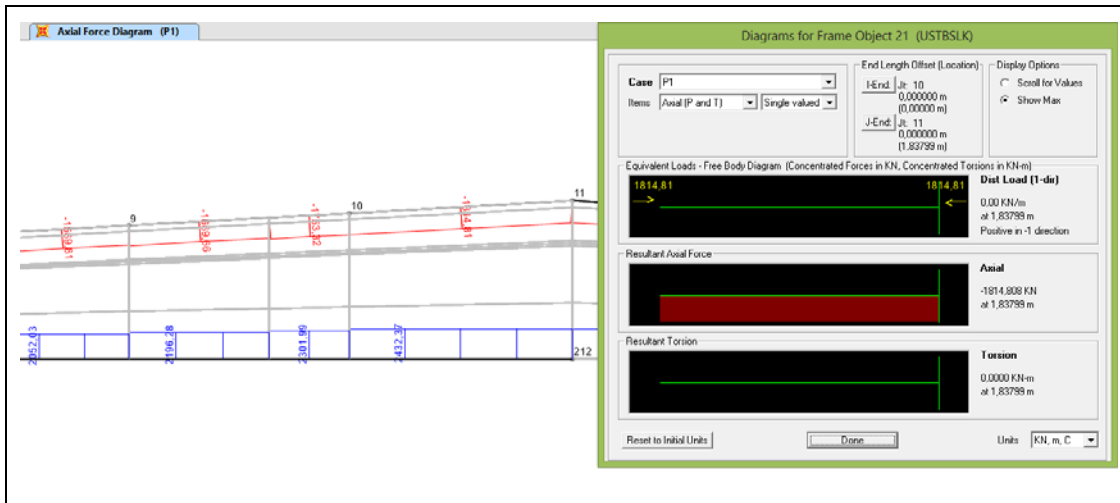


Şekil 5.87 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.88 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Şekilden de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1814,81kN basınç, alt başlık ise 2432,37kN'luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır (Şekil 5.89).



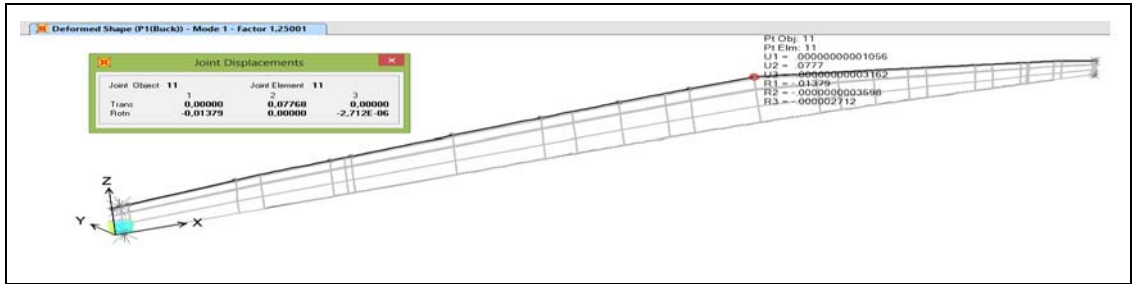
Şekil 5.89 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.43'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.43 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,002	0,00000	0,01652	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01654	0,00000
3	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,002	0,00000	0,01640	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,024	0,00000	0,01566	0,00000
5	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,044	0,00000	0,01257	0,00000
6	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,048	0,00000	0,01182	0,00000
7	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,068	0,00000	0,00892	0,00000
8	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,085	0,00000	0,00741	0,00000
9	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,097	0,00000	0,00497	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,104	0,00000	0,00250	0,00000
11	P1	LinStatic	0,007	0,000	-0,107	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir. Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası 8,05cm y eksenini doğrultusunda deplasman yaptığı ve -0,0131 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.86).



Şekil 5.90 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.44'de gösterilmiştir.

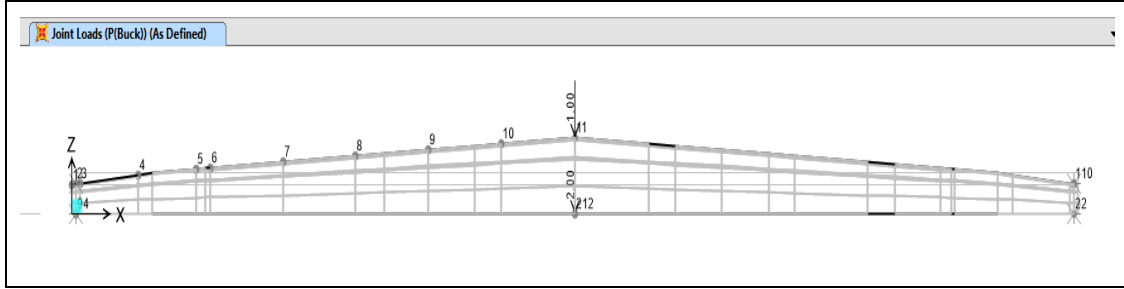
Çizelge 5.44 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00001	0,00000	-0,00733
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	-0,00735
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00003	0,00000	-0,00741
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00034	0,00000	-0,00745
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,023	0,000	0,00173	0,00000	-0,00811
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,025	0,000	0,00225	0,00000	-0,00814
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,040	0,000	0,00513	0,00000	-0,00794
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,054	0,000	0,00793	0,00000	-0,00714
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,067	0,000	0,01040	0,00000	-0,00565
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,076	0,000	0,01221	0,00000	-0,00330
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,081	0,000	0,01306	0,00000	0,00000

5.3.3 Model 3a

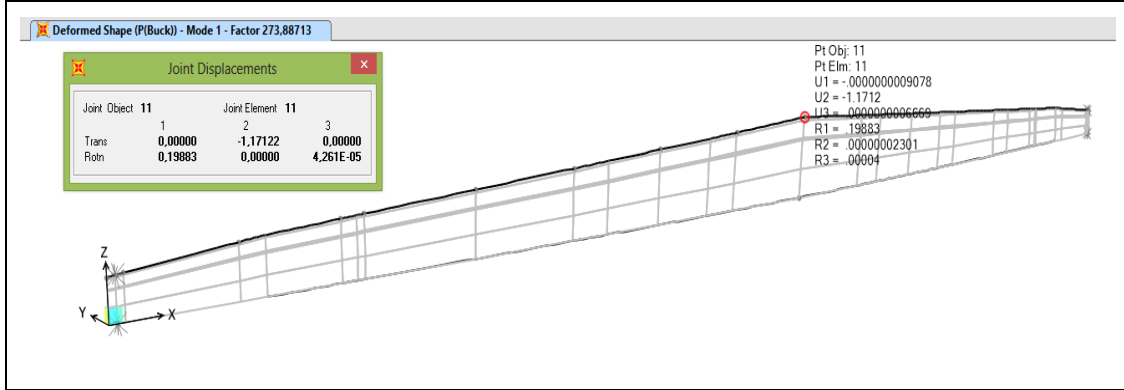
Model 3 sisteminin üst başlığının, her iki tarafta y eksenine etrafındaki deplasmanı tutularak oluşturulan model 3a sisteminde, yükleme 2 birim merkez üst başlığından, 1 birim merkez alt başlığından yapılacak şekilde oluşturulmuştur.

Uygulanacak olan burkulma yüklemeleri, 11 nolu düğüm noktasında 2 birim, 212 nolu düğüm noktasına 1 birim olacaktır. Yapılan yüklemeler sonucu bulunacak olan burkulma yükü birim yüklerle çarpılarak sistem burkulma yükü elde edilecektir.



Şekil 5.91 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 273,89kN(birim yük) olarak elde edilmiştir. Sistem bu yükleme altında kararsız duruma geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman -1,17m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,20radyan olmaktadır.



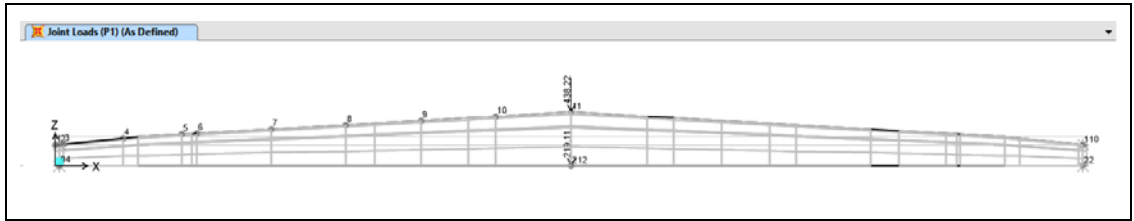
Şekil 5.92 : P(buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.45'de gösterilmiştir.

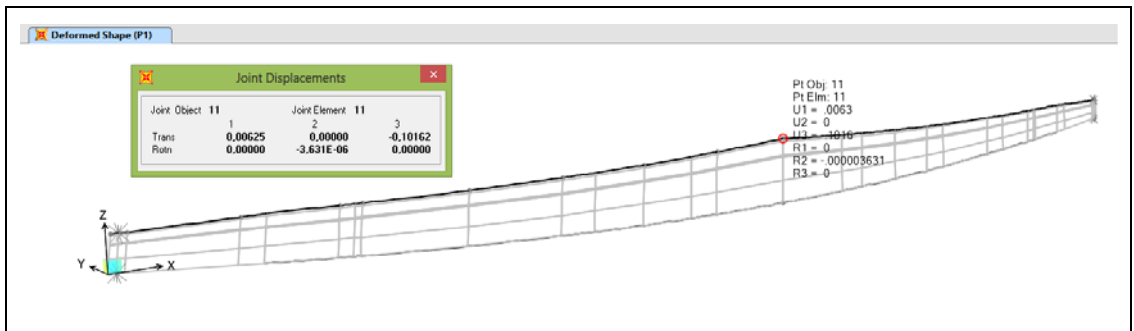
Çizelge 5.45 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,011	0,000	0,00009	0,00000	0,10564
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00002	0,00000	0,10589
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00044	0,00000	0,10681
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,164	0,000	-0,00510	0,00000	0,10743
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,326	0,000	-0,02596	0,00000	0,11743
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,367	0,000	-0,03369	0,00000	0,11784
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,581	0,000	-0,07684	0,00000	0,11499
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,787	0,000	-0,11881	0,00000	0,10371
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,969	0,000	-0,15633	0,00000	0,08254
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,105	0,000	-0,18480	0,00000	0,04886
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	1,171	0,000	-0,19883	0,00000	-0,00004

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80'i olan 219,11kN'luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir. Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -10,16cm z doğrultusunda ve 0,63cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur.

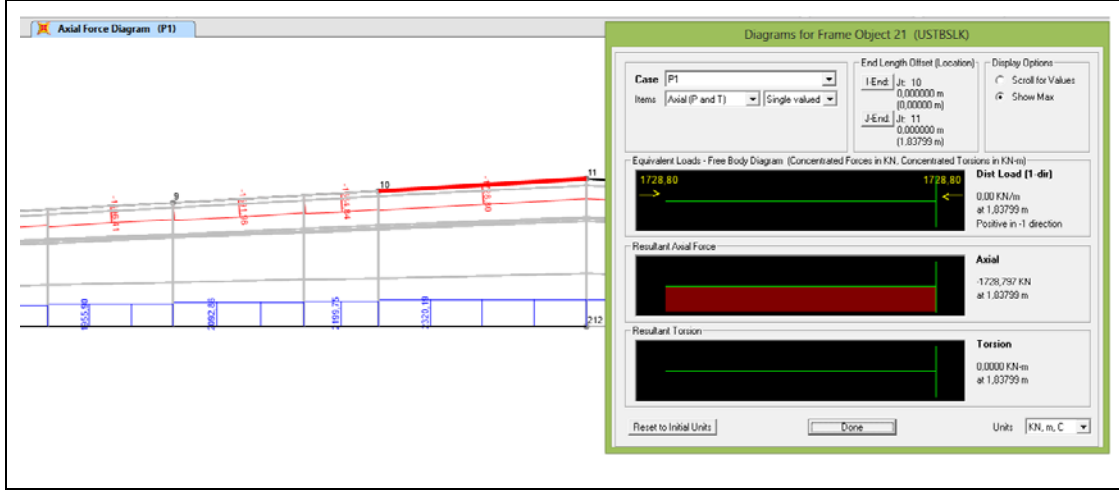


Şekil 5.93 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.94 : P1 yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Şekilden de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1728,80kN basınç, alt başlık ise 2320,19kN'luk çekme aksenal yüküne maruz kalmaktadır (Şekil 5.95).



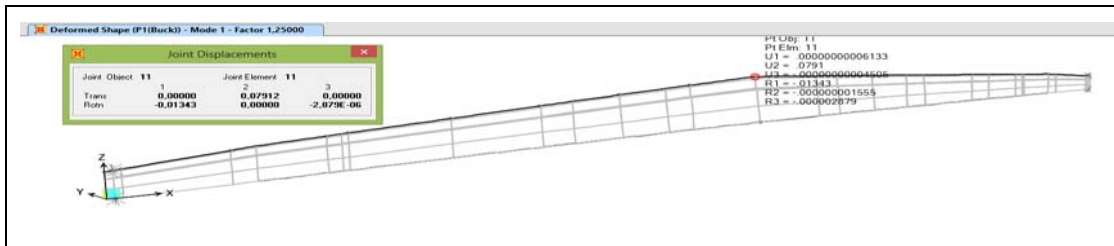
Şekil 5.95 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.46’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.46 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,002	0,00000	0,01575	0,00000
2	P1	LinStatic	0,008	0,000	0,000	0,00000	0,01576	0,00000
3	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,002	0,00000	0,01563	0,00000
4	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,023	0,00000	0,01493	0,00000
5	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,041	0,00000	0,01198	0,00000
6	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,046	0,00000	0,01126	0,00000
7	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,065	0,00000	0,00850	0,00000
8	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,081	0,00000	0,00706	0,00000
9	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,092	0,00000	0,00473	0,00000
10	P1	LinStatic	0,008	0,000	-0,099	0,00000	0,00238	0,00000
11	P1	LinStatic	0,006	0,000	-0,102	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir. Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası 7,91cm y eksenine doğrultusunda deplasman yaptığı ve -0,0134 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.96).



Şekil 5.96 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekillenmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.47’de gösterilmiştir.

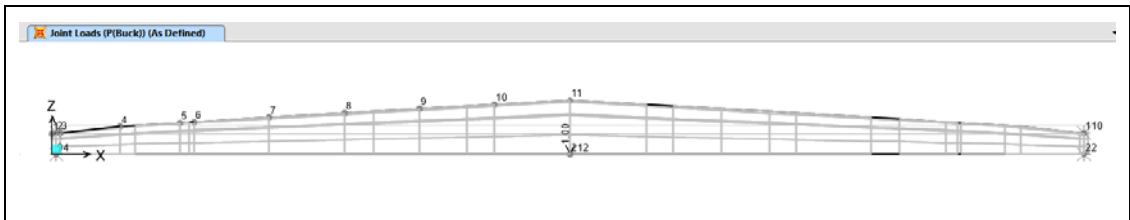
Çizelge 5.47 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00001	0,00000	0,00714
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00715
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00003	0,00000	0,00722
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,011	0,000	-0,00034	0,00000	0,00726
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,022	0,000	-0,00175	0,00000	0,00793
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,025	0,000	-0,00228	0,00000	0,00796
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,039	0,000	-0,00519	0,00000	0,00777
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,053	0,000	-0,00803	0,00000	0,00701
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,065	0,000	-0,01056	0,00000	0,00558
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,075	0,000	-0,01249	0,00000	0,00330
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,079	0,000	-0,01343	0,00000	0,00000

5.3.4 Model 4a

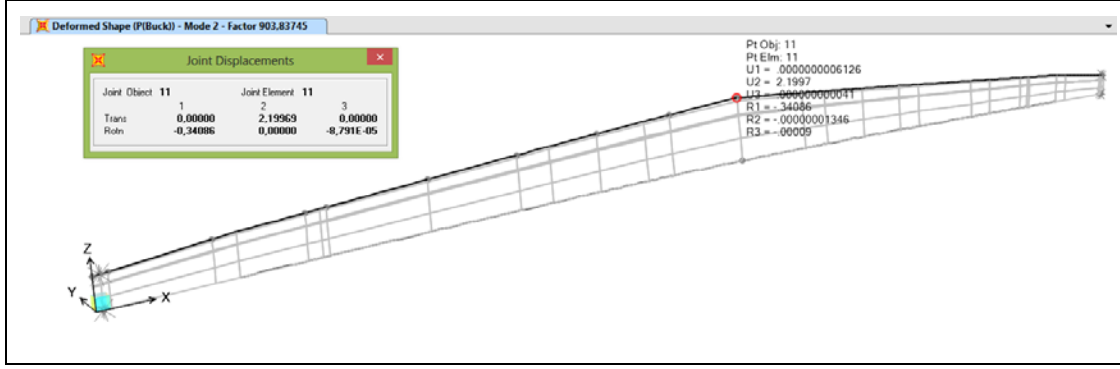
Model 4 sisteminin üst başlıkğının, her iki tarafta y eksenini etrafındaki deplasmanı tutularak oluşturulan model 4a sisteminde, 1 birim merkez alt başlığından yapılacak şekilde oluşturulmuştur.

Uygulanacak olan burkulma yüklemesi 212 nolu düğüm noktasına 1 birim olacaktır. Yapılan yükleme sonucu bulunacak olan burkulma yükü sistem burkulma yüküdür.



Şekil 5.97 : P(Buck) yüklemesi.

Burkulma yüklemesi analizi sonucu sistemin taşıyabileceği kritik birim burkulma yükü 903,84kN(birim yük) olarak elde edilmiştir. Sistem bu yüklemeye altında kararsız durumu geçtiğinden 11 nolu düğüm noktasındaki deplasman 2,20m olarak görülmekte ve bu noktadaki dönme -0,34radyan olmaktadır.



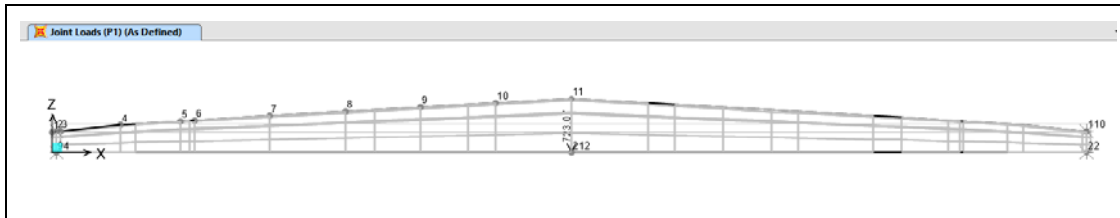
Şekil 5.98 : P(buck) yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

P(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.48’de gösterilmiştir.

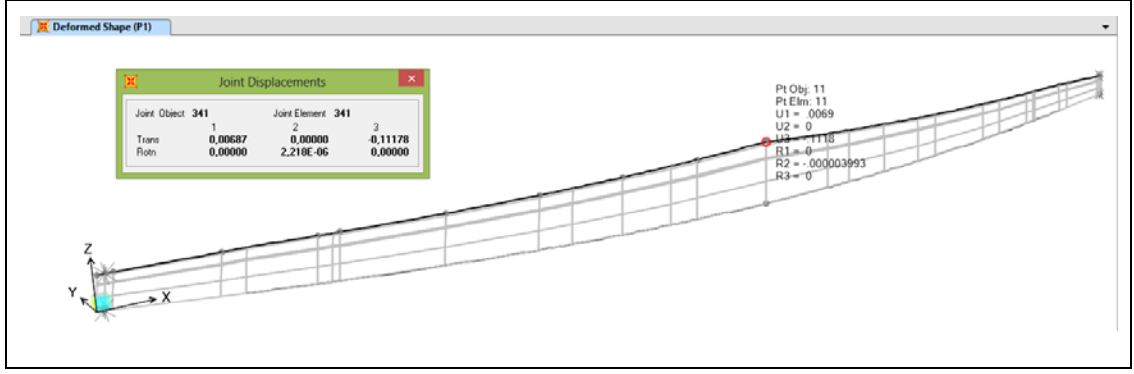
Çizelge 5.48 : P(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,020	0,000	-0,00015	0,00000	-0,20204
2	P(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	-0,00003	0,00000	-0,20248
3	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,020	0,000	0,00077	0,00000	-0,20409
4	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,313	0,000	0,00892	0,00000	-0,20518
5	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,622	0,000	0,04585	0,00000	-0,22285
6	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,700	0,000	0,05960	0,00000	-0,22354
7	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,106	0,000	0,13636	0,00000	-0,21771
8	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,494	0,000	0,21058	0,00000	-0,19542
9	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-1,834	0,000	0,27519	0,00000	-0,15370
10	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-2,083	0,000	0,32042	0,00000	-0,08831
11	P(Buck)	LinBuckling	0,000	-2,200	0,000	0,34087	0,00000	0,00009

Bulunan P(Buck) burkulma yükünün %80’i olan 723,01kN’luk birim yük, sisteme P1 lineer statik yük olarak etkilmiştir. Bu yükleme sonucu sistemin 11 nolu düğüm noktasının, -11,18cm z doğrultusunda ve 0,69cm x doğrultusunda deplasman yaptığı bulunmuştur.

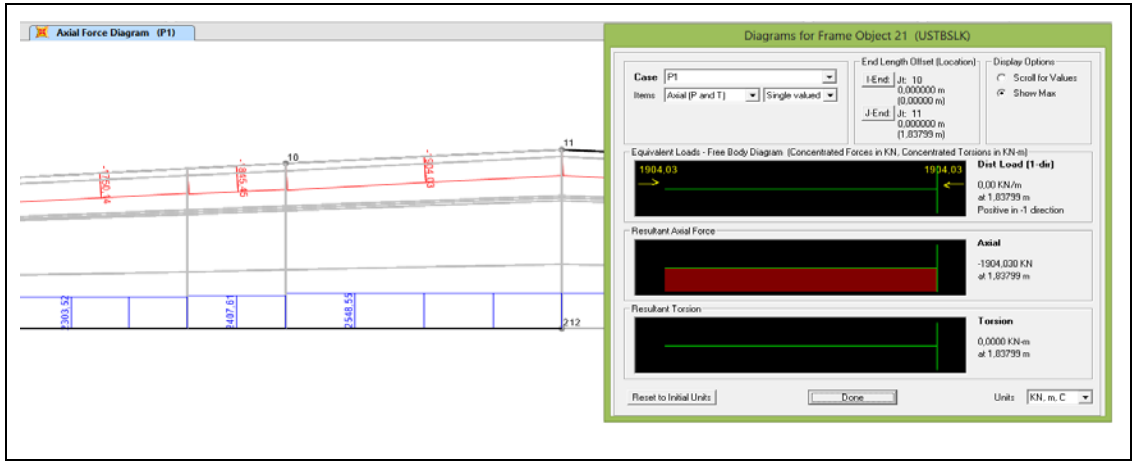


Şekil 5.99 : P1 yüklemesi.



Şekil 5.100 : P1 yüklemesi sonucu şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Şekilden de görüldüğü gibi, P1 yüklemesi sonucu sistemin orta kesidindeki üst başlık -1904,03kN basınç, alt başlık ise 2548,55kN'luk çekme eksenel yüküne maruz kalmaktadır (Şekil 5.101).



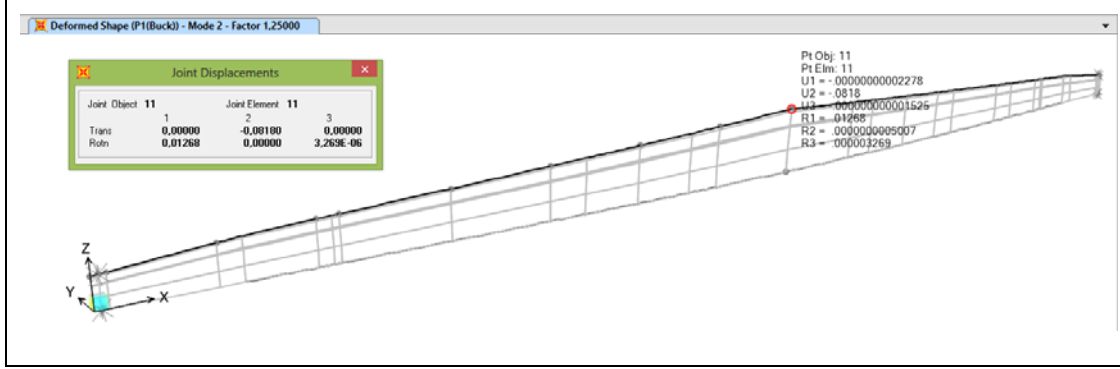
Şekil 5.101 : P1 yüklemesi sonucu alt-üst başlık eksenel yükler.

P1 yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.49'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.49 : P1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1	LinStatic	0,009	0,000	0,002	0,00000	0,01733	0,00000
2	P1	LinStatic	0,009	0,000	0,000	0,00000	0,01734	0,00000
3	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,002	0,00000	0,01720	0,00000
4	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,025	0,00000	0,01643	0,00000
5	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,046	0,00000	0,01318	0,00000
6	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,050	0,00000	0,01240	0,00000
7	P1	LinStatic	0,012	0,000	-0,072	0,00000	0,00935	0,00000
8	P1	LinStatic	0,011	0,000	-0,089	0,00000	0,00777	0,00000
9	P1	LinStatic	0,010	0,000	-0,101	0,00000	0,00522	0,00000
10	P1	LinStatic	0,009	0,000	-0,109	0,00000	0,00261	0,00000
11	P1	LinStatic	0,007	0,000	-0,112	0,00000	0,00000	0,00000

Sistemin P1 yükü altındaki yanal deplasmanları P1(Buck) yüklemesi ile elde edilmiştir. Bu yükleme sonucu 11 nolu düğüm noktası -8,18cm y ekseninde deplasman yaptığı ve -0,0127 radyanlık dönme yaptığı tesbit edilmiştir (Şekil 5.102).



Şekil 5.102 : P1(Buck) yüklemesi sonucu şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

P1(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri Çizelge 5.50’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.50 : P1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

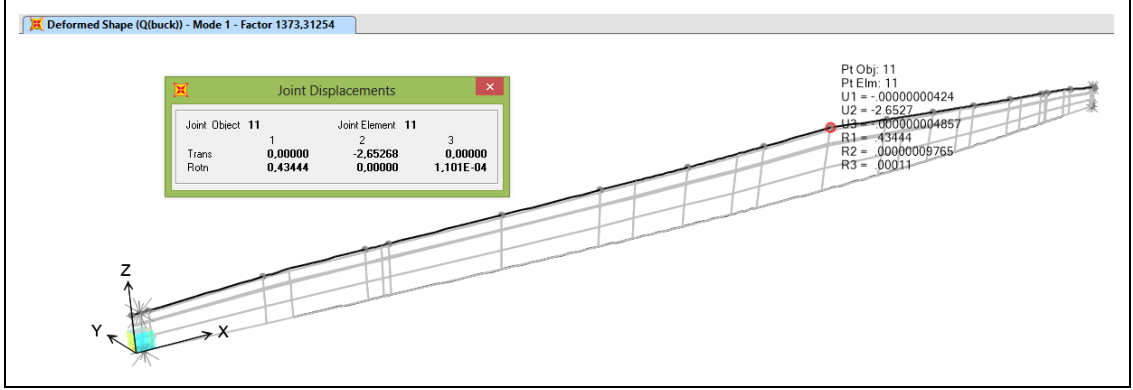
TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00001	0,00000	-0,00751
2	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	-0,00753
3	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00003	0,00000	-0,00759
4	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,012	0,000	0,00033	0,00000	-0,00763
5	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,023	0,000	0,00171	0,00000	-0,00829
6	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,026	0,000	0,00222	0,00000	-0,00831
7	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,041	0,000	0,00507	0,00000	-0,00810
8	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,056	0,000	0,00783	0,00000	-0,00727
9	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,068	0,000	0,01023	0,00000	-0,00572
10	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,077	0,000	0,01192	0,00000	-0,00328
11	P1(Buck)	LinBuckling	0,000	-0,082	0,000	0,01268	0,00000	0,00000

5.4 Yayılı Yük Etkisinde Alt Ve Üst Başlıklarından Tutulu Sistemler

Sistem modeli olarak tekil yük etkisindeki sistemlerle eş modeller kullanılacak olup, dördüncü bölümdeki sabit enkesitli sistemlerde uygulanan metod ile yüklemeler yapılacaktır.

5.4.1 Model 1a

Yapılan birim yüklemeler sonucu Şekil 5.103 da görülen kritik burkulma katsayısı 1373,31 olarak bulunmuştur. Burkulma katsayısı 11 nolu düğüm noktasının birim yükleme değeri olan 0,0734kN ile çarpılıp yine 11 nolu düğüm noktasının yük alanı olan 1,835m değerine bölünerek 54,93kN/m (5,60tonf/m) değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.103 : Q(Buck) yüklemesi altında şekil değiştirmiş sistem görünüşü.

Q(Buck) yüklemesi sonucu 1-11 nolu düğüm noktalarında oluşan deplasman ve dönme değerleri Çizelge 5.51 de verilmiştir.

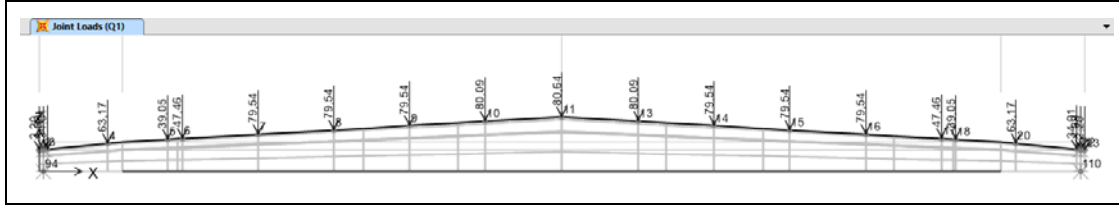
Çizelge 5.51 : Q(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q(buck)	LinBuckling	0,000	-0,025	0,000	0,00021	0,00000	0,25000
2	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00004	0,00000	0,25059
3	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,025	0,000	-0,00104	0,00000	0,25277
4	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,388	0,000	-0,01199	0,00000	0,25422
5	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,772	0,000	-0,06237	0,00000	0,27786
6	Q(buck)	LinBuckling	0,000	0,869	0,000	-0,08113	0,00000	0,27848
7	Q(buck)	LinBuckling	0,000	1,372	0,000	-0,18431	0,00000	0,26704
8	Q(buck)	LinBuckling	0,000	1,843	0,000	-0,28005	0,00000	0,23179
9	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,241	0,000	-0,35839	0,00000	0,17382
10	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,522	0,000	-0,41080	0,00000	0,09495
11	Q(buck)	LinBuckling	0,000	2,653	0,000	-0,43444	0,00000	-0,00011

Burkulma yükünün %80'i mertebesindeki yayılı yüklemeyi temsil eden ve düğüm noktalarına etkililen Q1 yüklemeleri Çizelge 5.52 da verilmiştir.

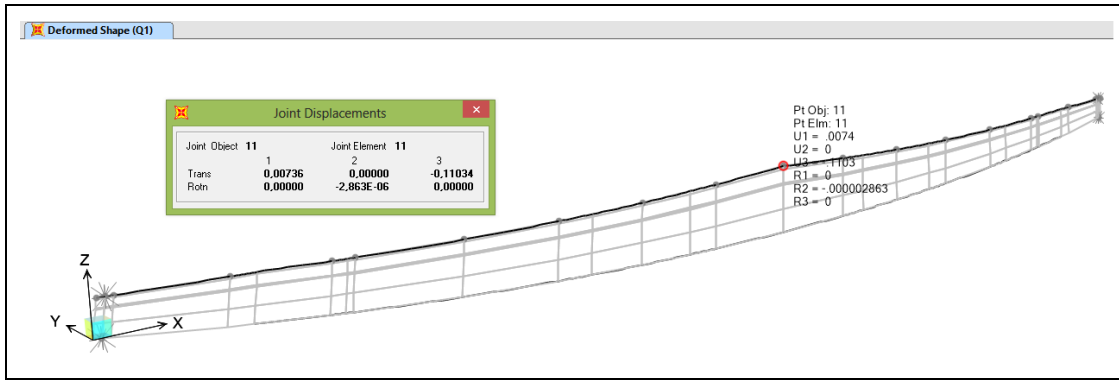
Çizelge 5.52 : Q1 ve Q1(Buck) düğüm noktaları yüklemeleri.

Düğüm Noktası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yükleme(kN)	2,20	4,39	34,01	63,17	39,05	47,46	79,54	79,54	79,54	80,09	80,64



Şekil 5.104 : Q1 yüklemesi.

Q1 yüklemesi altındaki maksimum düşey deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 11,03cm olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.105 de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.53 de verilmiştir.

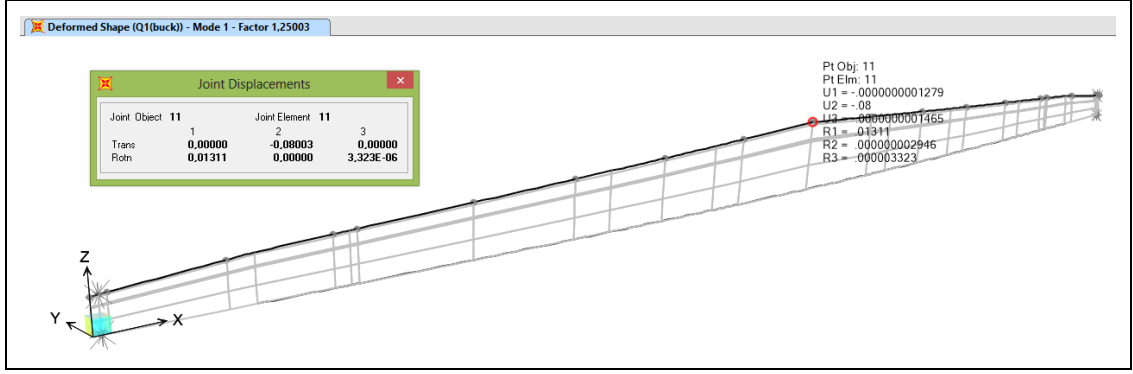


Şekil 5.105 : Q1 yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.53 : Q1 yüklemesi altında düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,002	0,00000	0,01930	0,00000
2	Q1	LinStatic	0,010	0,000	0,000	0,00000	0,01932	0,00000
3	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,002	0,00000	0,01916	0,00000
4	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,028	0,00000	0,01793	0,00000
5	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,049	0,00000	0,01355	0,00000
6	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,054	0,00000	0,01262	0,00000
7	Q1	LinStatic	0,012	0,000	-0,075	0,00000	0,00929	0,00000
8	Q1	LinStatic	0,011	0,000	-0,091	0,00000	0,00725	0,00000
9	Q1	LinStatic	0,010	0,000	-0,102	0,00000	0,00473	0,00000
10	Q1	LinStatic	0,009	0,000	-0,108	0,00000	0,00240	0,00000
11	Q1	LinStatic	0,007	0,000	-0,110	0,00000	0,00000	0,00000

Q1(Buck) yüklemesi altındaki maksimum yanal deplasman, 11 nolu düğüm noktasında 8,00cm(y doğrultusunda) olarak oluşmuştur. Şekildeğiştirmiş sistem görünüşü, Şekil 5.106'de ve düğüm noktası deplasman verileri Çizelge 5.54'da verilmiştir.



Şekil 5.106 : Q1(Buck) yüklemesi altında şekildeğiştirmiş sistem görünüşü.

Çizelge 5.54 : Q1(Buck) yüklemesi altında düğüm noktalarındaki deplasmanlar.

TABLO: Deplasmanlar								
DN	Yükleme	Yük Türü	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-	-	-	m	m	m	Radian	Radian	Radian
1	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	-0,001	0,000	0,00001	0,00000	0,00754
2	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00756
3	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,001	0,000	-0,00003	0,00000	0,00763
4	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,012	0,000	-0,00036	0,00000	0,00767
5	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,023	0,000	-0,00188	0,00000	0,00838
6	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,026	0,000	-0,00245	0,00000	0,00840
7	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,041	0,000	-0,00556	0,00000	0,00806
8	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,056	0,000	-0,00845	0,00000	0,00699
9	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,068	0,000	-0,01081	0,00000	0,00524
10	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,076	0,000	-0,01239	0,00000	0,00287
11	Q1(buck)	LinBuckling	0,000	0,080	0,000	-0,01311	0,00000	0,00000

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tezin ikinci bölümünde ince dikdörtgen kesitli çelik kirişlerin, elastik stabilite teorisi ve sap2000 bilgisayar programı yardımıyla yapılan çözümleri birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 : Dikdörtgen kesitli çelik kirişlerde yanal burkulma özet tablosu.

			Kesit Özellikleri			Kritik Yük kN-kN/m
			b m	h m	L m	
Elastik Stabilite Teorisi	Konsol	Tekil Yük	0,05	1,5	15	70,44
		Yayıllı Yük	0,05	1,5	15	15,01
	Mesnet	Tekil Yük	0,05	1,5	15	297,24
		Yayıllı Yük	0,05	1,5	15	33,16
Sap 2000	Konsol	Tekil Yük	0,05	1,5	15	71,02
		Yayıllı Yük	0,05	1,5	15	15,01
	Mesnet	Tekil Yük	0,05	1,5	15	301,27
		Yayıllı Yük	0,05	1,5	15	34,73

I enkesitli çelik kirişlerin incelendiği üçüncü bölümde hesaplamalar elastik stabilite teorisi ve sap2000 yardımıyla tekrarlanmıştır. İki yöntemle yapılan analiz sonucu burkulma yükünün değeri Çizelge 6.2'den gözlemlenebilir. Konsol halde fark %0,8 mertebesinde iken, basit mesnetli halde farkın %4-5 mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Bu fark mesnetlenme koşullarının kabulünden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.2 : I kesitli çelik kirişlerde yanal burkulma özet tablosu.

			Kesit Özellikleri				Kritik Yük kN-kN/m	
			b m	h m	t m	t1 m		L m
Elastik Stabilite Teorisi	Konsol	Tekil Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	103,79
		Tekil Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	340,70
	Mesnet	Yayıllı Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	47,19
Sap 2000	Konsol	Tekil Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	101,04
		Tekil Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	311,57
	Mesnet	Yayıllı Yük	0,3	1	0,019	0,011	12	41,59

Dördüncü bölümde sabit enkesitli betonarme kirişler için yapılan inceleme sonucu sap2000'in yanal burkulma yüklerini elde etmek için kullanılabileceğine karar verilmiştir.

Başlık kesitlerinin dolu gövdeli olarak uygulanması, mesnet bölgelerindeki yüksek kesme kuvvetlerini karşılamının yanı sıra yanal burkulma yükü üzerinde, %20'lik arttırıcı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Değişken yükseklikli kirişlerin incelendiği son bölümde üç farklı sonuca varılmıştır.

Bunlardan birincisi, sistemin hem alt hemde üst başlığından mesnetli olması, sadece alt başlığından mesnetli olması durumuna göre burkulma yükünü %1 arttırmaktadır.

İkinci olarak, sistem üzerinde burkulma yükü, yükün etkidiği noktanın kesit üst kısmından altına doğru inildikçe artış göstermektedir. Sadece alttan yüklü sistemler, sadece üstten yüklü sistemlere göre %15-16 daha yüksek bir yüke yanal burkulma yapmadan dayanabilmektedir.

Üçüncü olarak, merkezden tek berkitmeli sistemler berkitmesiz sistemlere göre %0,3-0,5; sistemi üç parçaya ayıran çift berkitmeli sistemlerde %2,5-3,5 ve sistemi dört parçaya ayıran üç berkitmeli sistemlerde %4,2-4,3 mertebesinde daha yüksek bir burkulma yüküne ulaşan bir sistem oluşturduğu görülmüştür. Bunun sonucunda berkitmelerin burkulma yükünü azaltmada fazla etkisi olmadığı sonucuna ulaşılabilir.

Sabit enkesitli ve değişken yükseklikli I kirişlerin karşılaştırılmasında, kiriş ortasındaki yükseklik esas alınarak yapılan sabit enkesitli model, değişken yükseklikli modele göre %12,7 daha yüksek bir yanal burkulma yüküne ulaşmıştır. Fakat sistemin ağırlığındaki artış, burkulma yükü açısından daha elverişsiz bir sonucu ortaya çıkartacağı görülmüştür. Buna göre kenarlarda yüksekliğin azaltılması (170cm' den 50 cm'e), kiriş öz ağırlığını ciddi oranda azaltırken, burkulma yükündeki azalmanın aynı oranda olmadığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Aka, İ ve Altan, M. (1992). Betonarme Taşıyıcı Sistemler.

Barka, G, Kulaksızoğlu, A. (2013). Prefabrik atı Kirişlerinde Üst Başlık İçin Uygulanabilir Hesap Yöntemi, Beton Prefabrikasyon Dergisi; Sayı:105; 5-9.

İrtem, E, Türker, K, Ünlüoğlu, E (1999). Factors Affecting Lateral Buckling of Precast Concrete I Beams. Proceedings of the international conference on advances in structural engineering and mechanics; 451-456.

Schueller, W. (2008). Building Support Structures Analysis and Design with SAP2000. Computer And Structures, Berkeley, USA.

SAP2000. (2011). Concrete Frame Design Manual Turkish TS 500-2000 With Turkish Seismic Code 2007, Berkeley, California, USA.

SAP2000. (2011). CSI Analysis Reference Manual, Berkeley, California, USA.

Timoshenko, P. (1961). Theory Of Elastic Stability second edition, New York, London, Toronto.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Cemal COŞKUN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul -1989

E-Posta: cemalcos.61@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- (Ocak 2012 – Nisan 2012) , Denge İnşaat Mimarlık bünyesinde SAF GYO Akasya Acıbadem AVM ve 52 katlı kule kaba inşaatında Teknik ofis mühendisi olarak çalıştım.
- (Nisan 2012 - Mayıs 2013), Tem Mühendislik bünyesinde statik dizayn mühendisi olarak çalıştım.
- (Mayıs 2013 - ...), IHI Infrastructure Systems Co., Ltd bünyesinde İstanbul – İzmir otoyolu, İzmit Körfez Geçiş Köprüsünde saha mühendisi olarak çalışmamı sürdürmekteyim.