İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK VIERENDEEL KİRİŞLERDE GÖÇME İNCELEMESİ VE GÖÇMEYE ETKİ EDEN PARAMETRELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yasin AKINCI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK VIERENDEEL KİRİŞLERDE GÖÇME İNCELEMESİ VE GÖÇMEYE ETKİ EDEN PARAMETRELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yasin AKINCI

(501071119)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL
Yrd. Doç. Dr. Canan GİRGİN

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince yapmış olduğu yardımlardan dolayı başta danışman hocam Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK olmak üzere Öğr. Gör. Dr. Haluk SESİGÜR'e ve Öğr. Gör. Dr. Cüneyt VATANSEVER'e, yüksek lisans öğrenimim boyunca bana maddi olarak destek veren TÜBİTAK'a ve hayatım boyunca bana her türlü desteği veren aileme çok teşekkür ederim.

HAZİRAN 2010

Yasin AKINCI

İnş. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
SİMGELER ... **vii**
KISALTMALAR ... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xv**
ÖZET ... **xxiii**
SUMMARY ... **xxv**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar ... 2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı ... 3
2. VIERENDEEL KİRİŞİ ... **5**
2.1 Genel Tanım ... 5
2.2 Jelus Arthur Vierendeel ... 9
2.3 Faydaları ve Sakıncaları ... 9
2.4 Hesap Yolları ... 11
2.5 Simetrik Yükleme Durumunda Genel Davranış Biçimi ... 13
2.6 Birleşimler ... 15
3. ÇUBUK SİSTEMLERİN GÖÇME İNCELEMESİ ... **17**
3.1 Plastik Analiz ... 17
3.2 Plastik Moment ... 17
3.3 Plastik Mafsal Teorisine Göre Hesap Yöntemleri ... 18
3.3.1 Yük artımı yöntemi ... 18
3.3.2 Limit yükün doğrudan hesabı ... 18
3.3.2.1 Statik yöntem ... 18
3.3.2.2 Sinematik yöntem ... 19
3.4 Mekanizma Yöntemi ... 19
3.5 Vierendeel Kirişlerinde Mekanizma Durumları ... 20
3.6 Çözülmüş Bir Örneğin SAP 2000 ile Modellenmesi ve Doğrulama ... 22
3.6.1 Limit Yük Hesabı ... 22
3.6.2 SAP 2000 ile çözüm ... 26
4. KULLANILAN YÖNETMELİKLER ... **35**
4.1 AISC-ASD89'a Göre Boyutlandırma ... 35
4.1.1 Boyutlama yük kombinezonları ... 35
4.1.2 Kesitlerin sınıflandırılması ... 36
4.1.3 Gerilmelerin hesabı ... 37
4.1.4 Emniyet gerilmelerinin hesaplanması ... 38
4.1.4.1 Çekme emniyet gerilmesi ... 38
4.1.4.2 Basınç emniyet gerilmesi ... 38
4.1.4.3 Eğilmede emniyet gerilmesi ... 40

4.2 AISC-LRFD99'a Göre Boyutlandırma 42
4.2.1 Boyutlama yük kombinezonları 42
4.2.2 Kesitlerin sınıflandırılması 43
4.2.3 Arttırılmış kuvvetlerin hesaplanması 44
4.2.4 Nominal dayanımların hesaplanması 45
4.2.4.1 Basınç kapasitesi 45
4.2.4.2 Çekme kapasitesi 46
4.2.4.3 Eğilmede nominal dayanım 46
4.2.5 Kapasite oranlarının hesaplanması 49
4.2.5.1 Eksenel ve eğilme gerilmeleri 50
4.2.5.2 Kayma gerilmeleri 50
5. ÖRNEKLER 51
5.1 Örnek 1 51
5.2 Örnek 2 58
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 77
EKLER 79
ÖZGEÇMİŞ 165

SİMGELER

A : Kesit alanı,
A_f : Başlık alanı,
A_g : Brüt kesit alanı,
C_b : Eğilme katsayısı,
C_m : Moment katsayısı,
C_w : Çarpılma sabiti,
E : Elastisite modülü,
F_a : Eksenel emniyet gerilmesi,
F_b : Eğilme emniyet gerilmesi,
F_{cr} : Kritik basınç gerilmesi,
F_d : Çekme dayanımı,
F_y : Akma gerilmesi,
G : Kayma modülü,
J : Kesit için burulma sabiti,
K : Etkili boy çarpanı,
L : Vierendeel kiriş uzunluğu,
L_b : Elemanın yanal tutulmamış boyu,
L_p : Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı yanal tutulmamış boy,
L : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınırlayıcı yanal tutulmamış boy,
M : Eğilme momenti,
M_r : Burkulma momentleri,
P : Elemandaki eksenel kuvvet,
P_e : Euler burkulma yükü,
P_{lim}, F_{lim} : Limit yük,
P_n : Nominal eksenel yük dayanımı,
P_u : Arttırılmış eksenel kuvvet,
P_y : Nominal eksenel çekme dayanımı,
S : Kesit modülü,
S_{eff} : Narin kesitler için etkili kesit modülü,
V, T : Kesme kuvvetleri,
V_{max} : Maksimum mesnet tepkisi,
V_u : Arttırılmış kesme yükleri,
Z : Plastik modül,
a : Vierendeel kiriş göz aralığı,
b : Vierendeel kiriş yüksekliği,
b_f : Başlık genişliği,
d : Elemanın tüm yüksekliği,
f_a : Hem basınçta hem de çekmede eksenel gerilme,
f_b : Eğilmede normal gerilme,
f_v : Kayma gerilmesi,
h, h_c : Başlıklar arası net mesafe,

$\mathbf{k_c}$: Kesitleri sınıflandırmak için kullanılan parametre,
$\mathbf{l_c}$: Kritik uzunluk,
$\mathbf{r}$: Atalet yarıçapı,
$\mathbf{t_f}$: Başlık kalınlığı,
$\mathbf{t_w}$: Gövde kalınlığı,
$\boldsymbol{\alpha}$: Isı genleşme katsayısı,
$\boldsymbol{\delta}$: Yer değiştirme,
$\boldsymbol{\delta_y}$: 1. plastik mafsal oluştuğundaki yer değiştirme,
$\boldsymbol{\lambda}$: Narinlik parametresi,
$\boldsymbol{\lambda_c}$, $\boldsymbol{\lambda_e}$: Kolon narinlik parametresi,
$\boldsymbol{\lambda_p}$: Kompakt elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\boldsymbol{\lambda_r}$: Kompakt olmayan elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\boldsymbol{\nu}$: Poisson oranı,
$\boldsymbol{\eta}$: Göreli yer değiştirme,
$\boldsymbol{\varphi_b}$: Eğilme için dayanım çarpanı,
$\boldsymbol{\varphi_c}$: Basınç için dayanım çarpanı,
$\boldsymbol{\varphi_t}$: Çekme için dayanım çarpanı,
$\boldsymbol{\varphi_v}$: Kayma için dayanım çarpanı,

KISALTMALAR

AISC **:** American Institute of Steel Construction
ASD **:** Allowable Stress Design
LRFD **:** Load and Resistance Factor Design
V.K. **:** Vierendeel Kirişi
d.n. **:** Düğüm noktası
y.d. **:** Yer değiştirme
G.suz **:** Grupsuz
G.lu **:** Gruplu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları 37
Çizelge 4.2 : Eğilme etkisindeki kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları 43
Çizelge 5.1 : Örnek 1 için düğüm noktaları deplasman ve dönmeleri..... 55
Çizelge 5.2 : Örnek 1'de kullanılan profiller ve ağırlıkları 56
Çizelge 5.3 : Örnek 2 için düğüm noktaları deplasmanları 59
Çizelge 5.4 : Örnek 2'de kullanılan profiller ve ağırlıkları 60
Çizelge 5.5 : Tüm örneklerin toplam ve birim ağırlıkları..... 70
Çizelge A.1 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 81
Çizelge A.2 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 81
Çizelge A.3 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 83
Çizelge A.4 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 83
Çizelge A.5 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 85
Çizelge A.6 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 85
Çizelge A.7 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 87
Çizelge A.8 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 87
Çizelge A.9 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 89
Çizelge A.10 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 89
Çizelge A.11 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 91
Çizelge A.12 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 91
Çizelge A.13 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 93
Çizelge A.14 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 93
Çizelge A.15 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri..... 95
Çizelge A.16 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 95

Çizelge A.17 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 97
Çizelge A.18 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 97
Çizelge A.19 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 99
Çizelge A.20 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 99
Çizelge A.21 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 101
Çizelge A.22 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 101
Çizelge A.23 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 103
Çizelge A.24 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 103
Çizelge A.25 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 105
Çizelge A.26 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 105
Çizelge A.27 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 107
Çizelge A.28 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 107
Çizelge A.29 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 109
Çizelge A.30 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 109
Çizelge A.31 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 111
Çizelge A.32 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 111
Çizelge A.33 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 113
Çizelge A.34 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 113
Çizelge A.35 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 115
Çizelge A.36 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 115
Çizelge A.37 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 117
Çizelge A.38 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 117
Çizelge A.39 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 119
Çizelge A.40 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 119
Çizelge A.41 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 121

Çizelge A.42 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 121
Çizelge A.43 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 123
Çizelge A.44 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 123
Çizelge A.45 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 125
Çizelge A.46 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 125
Çizelge A.47 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 127
Çizelge A.48 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 127
Çizelge A.49 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 129
Çizelge A.50 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 129
Çizelge A.51 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 131
Çizelge A.52 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 131
Çizelge A.53 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 133
Çizelge A.54 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 133
Çizelge A.55 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 135
Çizelge A.56 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 135
Çizelge A.57 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 137
Çizelge A.58 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 137
Çizelge A.59 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 139
Çizelge A.60 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 139
Çizelge A.61 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 141
Çizelge A.62 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 141
Çizelge A.63 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 143
Çizelge A.64 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 143
Çizelge A.65 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 145
Çizelge A.66 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 145

Çizelge A.67 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 147
Çizelge A.68 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 147
Çizelge A.69 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 149
Çizelge A.70 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 149
Çizelge A.71 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 151
Çizelge A.72 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 151
Çizelge A.73 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 153
Çizelge A.74 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 153
Çizelge A.75 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 155
Çizelge A.76 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 155
Çizelge A.77 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 157
Çizelge A.78 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 157
Çizelge A.79 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 159
Çizelge A.80 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 159
Çizelge A.81 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri 161
Çizelge A.82 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 161
Çizelge A.83 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri 163
Çizelge A.84 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları 163

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Vierendeel Kiriş formları: (a) ve (b) Paralel başlıklı, (c) Eğik başlıklı, (d) Poligon ya da parabolik başlıklı. 5
Şekil 2.2 : Vierendeel Kirişli köprü - Leie nehri, Avelgem [22] 6
Şekil 2.3 : Vierendeel Kirişli köprü deneyi [12] 6
Şekil 2.4 : Thunder Mountain High School – Juneau, Alaska [23] 7
Şekil 2.5 : 10. Bulvar alanı - New York, A.B.D. (a) Dıştan görünümü, (b) İçten görünümü [24] 8
Şekil 2.6 : Waterhoek köprüsü – Avelgem, Belçika [25] 8
Şekil 2.7 : Üst geçit - Garden Grove, California [26] 10
Şekil 2.8 : Salk Enstitüsü – San Diego (a) Yapılmış hali, (b) Perspektif görünümü [27] 10
Şekil 2.9 : Uluslararası tarım şirketi – Chicago Heights [11] 11
Şekil 2.10 : Vierendeel Kirişin basitleştirilmiş çözümü [13] 12
Şekil 2.11 : Başlıkların davranışı 13
Şekil 2.12 : Yükleme durumu 13
Şekil 2.13 : Normal kuvvet diyagramı 13
Şekil 2.14 : Başlık ve dikmelerde basitleştirilmiş moment diyagramı 14
Şekil 2.15 : Birleşim detayları (a) Kaynaklı birleşim, (b) Bulonlu birleşim [14] 15
Şekil 3.1 : I profilin tipik moment-eğrilik grafiği [17] 17
Şekil 3.2 : Bağımsız mekanizmalar: (a) Kiriş mekanizması, (b) Kat (Panel) mekanizması, (c) Düğüm noktası mekanizması 19
Şekil 3.3 : Vierendeel kirişi 22
Şekil 3.4 : 1.gözde mekanizma durumu 23
Şekil 3.5 : 2.gözde mekanizma durumu 23
Şekil 3.6 : 3. Gözde mekanizma durumu 24
Şekil 3.7 : 4. Gözde mekanizma durumu 24
Şekil 3.8 : 1. ve 2. gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu 25
Şekil 3.9 : Tüm gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu 25
Şekil 3.10 : Vierendeel kiriş SAP 2000 modeli 26
Şekil 3.11 : Varsayılan malzeme özellikleri 27
Şekil 3.12 : Tanımlanan kesitlerin özellikleri: (a) HE160A, (b) HE210A, (c) HE270A 28
Şekil 3.13 : Kesitlere atanan mafsalların özelliği 29
Şekil 3.14 : Sistemin plastik mafsallar atanmış durumu 29
Şekil 3.15 : "Push" yükleme durumu 30
Şekil 3.16 : Deplasman kontrol bilgileri 31
Şekil 3.17 : "Results saved" bölümü 31
Şekil 3.18 : Pushover (itme) eğrisi 32
Şekil 3.19 : Elde edilen göçme modu 32
Şekil 4.1 : I profil kesit ölçüleri 36

Şekil 4.2 : Profil eksenleri 36
Şekil 4.3 : Profil eksenleri 43
Şekil 5.1 : Seçilen Vierendeel kirişli taşıyıcı sistem 52
Şekil 5.2 : (a) P_Q yükleme durumu ve düğüm noktalarının numaraları, (b) P_G yükleme durumu ve çubuk elemanlarının numaraları 53
Şekil 5.3 : Örnek 1 için AISC-ASD89 tasarım kesitleri 54
Şekil 5.4 : Örnek 1 için AISC-ASD89 kapasite oranları 54
Şekil 5.5 : Örnek 1 için G+Q kombinasyonuna göre kirişin şekil değiştirmiş hali ... 55
Şekil 5.6 : Örnek 1 için pushover (itme) eğrisi 57
Şekil 5.7 : Örnek 1 için kirişin itme (pushover) analizinde 37. adımdaki yer değiştirilmiş durumu 57
Şekil 5.8 : Örnek 2 için AISC-LRFD99 tasarım kesitleri 58
Şekil 5.9 : Örnek 2 için AISC-LRFD99 kapasite oranları 58
Şekil 5.10 : Örnek 2 için DSTL2 kombinasyonuna göre kirişin şekil değiştirmiş hali 59
Şekil 5.11 : Örnek 2 için pushover eğrisi 60
Şekil 5.12 : Örnek 2 için kirişin 46. adımdaki yer değiştirmiş durumu 61
Şekil 5.13 : L=12 m açıklığındaki Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,50, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,50, (f) b/a=2,00 62
Şekil 5.14 : L=15 m açıklığındaki Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,60, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,40, (f) b/a=1,80 63
Şekil 5.15 : L=12 m gruplama yapılmış Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,50, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,50, (f) b/a=2,00 65
Şekil 5.16 : L=15 m gruplama yapılmış Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,60, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,40, (f) b/a=1,80 66
Şekil 5.17 : İlk ve son gözler rijit Vierendeel kirişi: (a) L=12 m, 4 gözlü, (b) L=15 m 5 gözlü 67
Şekil 5.18 : İlk ve son gözler diyagonalli Vierendeel kirişi (b/a=1,00): (a) 4 gözlü, (b) 5 gözlü 68
Şekil 5.19 : Gruplu ile gruplu diyagonalli Vierendeel kiriş değerleri (b/a=1,00): (a) 4 gözlü, (b) 5 gözlü 68
Şekil 5.20 : Tüm örnekler: (a) ve (b) 4 gözlü, (c) ve (d) 5 gözlü 69
Şekil A.1 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 80
Şekil A.2 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elasti Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 82
Şekil A.3 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan

Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elasti Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 84
Şekil A.4 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elasti Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 86
Şekil A.5 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f)Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 88
Şekil A.6 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f)Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 90
Şekil A.7 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f)Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 92
Şekil A.8 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f)Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 94
Şekil A.9 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 96
Şekil A.10 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elasti Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 98
Şekil A.11 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik

Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 100
Şekil A.12 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 102
Şekil A.13 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 104
Şekil A.14 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 106
Şekil A.15 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 108
Şekil A.16 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 110
Şekil A.17 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 112
Şekil A.18 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 114
Şekil A.19 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik

Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 116
Şekil A.20 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 118
Şekil A.21 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 120
Şekil A.22 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 122
Şekil A.23 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 124
Şekil A.24 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 126
Şekil A.25 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 128
Şekil A.26 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 130
Şekil A.27 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme

Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 132
Şekil A.28 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 134
Şekil A.29 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 136
Şekil A.30 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 138
Şekil A.31 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 140
Şekil A.32 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 142
Şekil A.33 : L=12 m, 4 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 144
Şekil A.34 : L=12 m, 4 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e)

Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 146
Şekil A.35 : Gruplamalı L=12 m, 4 eşit gözlü, b/a=1,00 kirişinde ilk ve son gözde çapraz: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 148
Şekil A.36 : L=15 m, 5 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 150
Şekil A.37 : L=15 m, 5 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 152
Şekil A.38 : Gruplamalı L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişinde ilk ve son gözde çapraz: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 154
Şekil A.39 : İlk ve son göz rijit, L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 156
Şekil A.40 : İlk ve son göz rijit, L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 158
Şekil A.41 : İlk ve son göz rijit, L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi 160

Şekil A.42 : İlk ve son göz rijit, L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi..... 162

ÇELİK VIERENDEEL KİRİŞLERDE GÖÇME İNCELEMESİ VE GÖÇMEYE ETKİ EDEN PARAMETRELER

ÖZET

Bu çalışmada çelik Vierendeel kirişlerde göçme incelemesi doğrusal olmayan itme (pushover) hesabı yapılarak, değişik parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde, ele alınan konuya genel olarak değinilmiş ve çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. Son olarak da bugüne kadar yapılmış olan deneysel ve kuramsal çalışmalara kısaca yer verilmiştir.

İkinci bölümde, Vierendeel kirişlerin tanımı yapılmış ve bu kirişlerin tarihi gelişimi kısaca açıklanmış, kullanılmaya başlanıldığı günden bugüne kadar uygulanmış örneklerden fotoğraflar sunulmuştur. Ayrıca, bu kirişlerin geliştirilmesini sağlayan ve aynı zamanda ismini veren Arthur Vierendeel'in hayatı özetlenmiştir. Tasarımda Vierendeel kirişlerin üstünlük ve sakıncalarından söz edilmiştir. Son olarak, bu tür kirişlerin hesap yollarına ve düğüm noktalarının birleşimlerine değinilmiştir. Hesapta basitleştirici varsayımlar üzerinde durulmuş ve bu varsayımlar doğrultusunda bir Vierendeel kirişin elastik çözümü açıklanmış, birleşimlerde ise düğüm noktalarında ne tür birleşim yollarının kullanılabileceği birleşim detay örnekleriyle birlikte verilmiştir.

Üçüncü bölüm, Vierendeel kirişlerin plastik hesabına ayrılmış, plastik hesapla ilgili temel kavramlara değinilmiştir. Plastik mafsal hipotezi ve plastik moment özellikleri özetlenmiş ve plastik mafsal kavramına göre hesap yöntemleri olan yük artımı yöntemi ve limit yükün doğrudan hesabı (statik ve sinematik yöntem) açıklanmıştır. Daha sonra, mekanizma yöntemi ayrıntılı olarak ele alınmış ve Vierendeel kirişlerde bu yöntem kullanılarak olası mekanizma durumları tartışılmıştır. Son olarak literatürde yer alan bir kiriş, kontrol amaçlı olarak analitik yolla ve SAP 2000 programıyla çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada SAP 2000 kullanılarak yapılan boyutlandırmalar AISC-ASD89 ve AISC-LRFD99 yönetmeliklerine göre olduğundan, dördüncü bölüm bu iki yönetmelikte verilen tasarım bağıntılarına ayrılmıştır.

Beşinci bölümde, açıklığı L=12 m ve L=15 m olan sırasıyla 4 (çift) ve 5 (tek) gözlü Vierendeel kirişlerin 10 metre aralıklarla yerleştiği bir yapı düşünülmüş ve SAP 2000 yardımıyla parametrik bir çalışma yürütülmüştür. Yapılan çalışma, konstrüksiyon yüksekliği (b)/göz açıklığı (a) oranını, gözleri çevreleyen elemanların rijitliklerindeki farklılıkları, sistemde tek ya da çift sayıda göz olmasını ve ilk ve son gözlere diyagonal eleman konulması gibi çeşitli durumları içermektedir. Her bir sistemin ASD89 ve LRFD99 yönetmeliklerine göre tasarımı yapılmıştır. Toplamda 42 değişik sistem hesabı yapılmış olup bunlardan ikisi ayrıntılı olarak açıklanmış, tüm sistem çözümleri ve sonuçları Ek-A'da verilmiştir. Ele alınan tüm sistemlere ilişkin toplam düşey yük-düşey yerdeğiştirme eğrileri karşılaştırmalı diyagramlarla sunulmuştur.

Altıncı bölümde, çalışma ana hatlarıyla özetlenmiş, ulaşılan sonuçlara yer verilmiş ve çelik Vierendeel kirişlerin tasarımına yönelik çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

COLLAPSE INVESTIGATION IN STEEL VIERENDEEL BEAMS AND PARAMETERS AFFECTING COLLAPSE

SUMMARY

This study describes a parametric investigation into the collapse analysis and design of steel Vierendeel beams using nonlinear pushover analysis. The study consists of six main chapters:

In the first section, general issues are presented and the purpose and scope of this study are explained. In this respect, a literature review has been conducted and the recent experimental and theoretical works are briefly addressed.

In the second section, the Vierendeeel beam is introduced and historical evolution of these beams is briefly given. Images from well known existing buildings are enclosed. Furthermore, life of Arthur Vierendeel, who has improved and developed the Vierendeel beams and named them after himself, is summarized. Advantages and possible disadvantages (structural and architectural) of the Vierendeel beams are discussed. Detailing issues of member connections and calculation methods of these beams are mentioned. Simplifying assumptions and the elastic design of a Vierendeel beam are explained on a simple example. Regarding the connections, potential techniques which could be used such as welded or bolted connections are given with detailed examples.

The third section covers the plastic limit analysis of the Vierendeel beams and devoted to related studies of basic design. Some concepts are summarized such as plastic moment and plastic hinge hypothesis. Moreover, load increment method and direct calculation of the maximum load based on the plastic hinge theory are given. After that, the mechanism method is discussed in detail and the application of this method and possible mechanisms expected on the Vierendeel beams are illustrated. Finally, a beam example, which is available in literature, is analytically solved and the results are verified using SAP2000.

The fourth section is about the design equations presented in AISC-ASD89 and AISC-LRFD99 specifications that have been used in SAP2000 design charts.

In the fifth section, structures having four (even) and five (odd) bays of Vierendeel beams which are spaced at 10-meter intervals and spanning L=12 m and L=15 m are investigated. And then, an intense parametric study has been conducted using SAP2000. In that particular study, some facts are analyzed, such as construction height (b)/bay opening (a) ratio, differences at rigidities of the elements, the number of the bays in the system (odd or even number), and placed diagonal elements (for retrofitting purposes for example) at the first and last bays. And then, each system is designed following the design criteria given in ASD89 and LRFD99. In total, 42 different systems are analyzed and two of them are described in detail. The whole system solutions and results are well documented in Appendix-A. Total vertical load-

vertical displacement pushover curves are presented. Several systems are compared to each other to possibly reach some design recommendations.

In the last section, the study is substantially summarized, and the results from this parametric study are given. Various suggestions are made about the design of steel Vierendeel beams.

1. GİRİŞ

Uygun bir yapı tasarımının sağlaması gereken başlıca üç koşul vardır:

1) Güvenlik koşulu,

2) Estetik koşul,

3) Ekonomik koşul.

Bu üç koşuldan güvenlik koşulu esas olmakla birlikte tek başına düşünüldüğünde anlamlı bir yapı tasarımı ortaya çıkmaz. Diğer iki koşul çeşitli durumlarda karşılaştırılır ve maliyet-fayda analizi sonucuna dayanarak, biri diğerine göre daha önemli olabilir. Günümüze kadar gerek yapıların yapılış amacından, gerekse farklı arayışlardan çeşitli değişik gereksinimler ortaya çıkmıştır. Bu gereksinimlerden en yaygın olanı ise geniş açıklıkları güvenle geçebilmek ve esnek mekanlar oluşturmaktır. Bunun için çeşitli uygulamalar vardır. Dikme ve başlık elemanların eğilmeye dayanıklı bir şekilde birbirlerine bağlanmasıyla oluşan Vierendeel kirişleri de geniş açıklıkları geçmek için kullanılan sistemlerden biridir. Vierendeel kirişleri geniş açıklıkları geçmeye ek olarak gövdede diyagonal elemanların olmayışı nedeniyle geniş boşluklara sahiptir ve mimari bakımdan tercih edilebilir. Bu boşluklar kapı ve pencere açılması gereken ya da buna benzer boşluk olması istenen durumlarda (örneğin mekanlar arası kesintisiz geçişin istendiği durumlarda) büyük üstünlük ve kolaylık sağlarlar. Ayrıca toplantı salonları, köprü ve sinema gibi çeşitli kullanım alanları olan bu kirişlerle kolonsuz çok geniş alanlar elde edilebilir. Bu üstünlüklerine karşın Vierendeel kirişlerin uygulama olanakları değişik nedenlerle çok hızlı gelişmemektedir. Vierendeel kirişlerin elastik yöntemlere göre tasarımı üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, göçme incelemesine yönelik çalışmalar sınırlı kalmıştır. Dahası, göçme mekanizmaları ve bunlara karşı gelen göçme yüklerine etki eden faktörlerin belirlenmesi üzerine çalışmalar yok gibidir. Bu çalışmanın bu açığı kapatması amaçlanmıştır.

1.1 Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar

Vierendeel Kirişleri ilk olarak 1896 yılında Jelus Arthur Vierendeel tarafından geliştirilmiştir; bu kirişlerin deney amaçlı ilk kullanımı 1897 yılında gerçekleşmiştir. Daha sonra Arthur Vierendeel ve öğrencileri bu kirişler ile ilgili bir çok çalışma ve Belçika'nın bir çok yerinde uygulama yapmıştır. Örneğin bu kirişlerin köprülerdeki ilk uygulaması 1901 yılında gerçekleşmiştir. Yakın geçmişimizde bu konuyla ilgili fazla yayın olmamasına karşın 1950'li yıllarda bu kirişleri inceleyen çeşitli yayınlara rastlanmaktadır. Aşağıda konuya ilişkin bazı önemli yayınların içeriklerine yer verilmiştir.

Hodge, Vierendeel kirişlerin göçme mekanizmalarını tekil yükler altında üst sınır teoremi yardımıyla incelemiştir [1].

Hendry, Vierendeel kirişlerin plastik analizini incelemiştir. Bu amaçla, üç göçme modu tanımlanmış ve değişik tipteki Vierendeel kirişlerin bu üç moddaki göçme yükünün hesaplanabilmesi için bağıntılar elde etmiştir. Ayrıca bu çalışmalarını deneysel örnekler ile desteklemiştir [2].

Gray, Vierendeel kirişler hakkında genel bilgiler verip, bu kirişlerin hesap yöntemleri üzerinde durmuştur. Bir Vierendeel kirişin hesabını analitik yolla ve bilgisayarla yapıp sonuçlarını karşılaştırmıştır. Ayrıca kirişin boyutlandırılmasını ve bir düğüm noktasının tasarımını yapmıştır [3].

Farkas ve Jarmai, kare kutu kesitli elemanlardan oluşan Vierendeel kirişlerin minimum maliyet tasarımından söz etmiştir [4].

Needham ve Beaufoy, Vierendeel kirişlerin moment dağıtma (Cross) ve deformasyon (Açı) yöntemleriyle hesap yollarını açıklamış ve bunlarla ilgili sayısal çalışma yapmıştır [5].

Del Savio, Martha, Andrade, Vellaco ve Lima, Vierendeel kirişlerde düğüm noktalarını yarı rijit oluşturarak, düğüm noktalarındaki rijitlik değişiminin bu kirişlerin davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir [6].

Karaduman ve Çenesiz, dikme aralıkları ve başlık eğimleri gibi parametrelerin değişik değerleri için Vierendeel kirişlerin statik bakımından optimum tasarımıyla ilgili çalışmışlardır [7].

White, Gergely ve Sexsmith, Cornell Üniversitesinde inşa edilmiş bir binada kullanılan Vierendeel kirişin yaklaşık hesabını vermişlerdir [8].

Smolira, statikçe belirsiz yapıların açı yöntemiyle analizi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmasında iki gözlü, dört gözlü, simetrik olmayan ya da eğik başlıklı ve sürekli Vierendeel kirişler için çözümler yapmış ve ilgili bağıntılar elde etmiştir [9].

Lightfoot, sürekli Vierendeel kirişlerin hesabı için bir yöntem geliştirmiştir [10].

Wickersheimer, Vierendeel kirişlerin tercih nedenleri ve gelişim süreci üzerinde bir çalışma yapmıştır [11].

Verswijver, De Meyer, Denys ve De Kooning, Arthur Vierendeel'in çağdaş propagandacı mı yoksa belirli konularda uzmanlaşmış bir insan mı olduğunu araştırmışlardır. Bu amaçla Arthur Vierendeel'in hayatından ve yaptığı çalışmalardan bahsetmişlerdir [12].

Leet ve Uang, Vierendeel kirişin basit lineer analizinin nasıl yapıldığını açıklamışlar ve bununla ilgili ayrıntılı bir sayısal örnek vermişlerdir [13].

Davison, Vierendeel kirişlerin kullanım alanlarından söz etmiştir. Ayrıca bu kirişlerin hesap yöntemlerine ve düğüm noktası birleşim türlerine değinmiştir [14].

Sabis, Vierendeel kirişlerin hesabında kullanılabilecek bağıntıları çıkarmıştır [15].

Günsoy, yaklaşık hesap yöntemlerinden birini kullanarak bir Vierendeel kirişin hesabını ayrıntılı bir şekilde yapmıştır [16].

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı, genel olarak düşey yükler altındaki çelik Vierendeel kirişlerinin doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizlerinin yapılarak göçme modlarının ve bu modlara ilişkin limit yük (göçme yükü) değerlerinin bulunmasıdır. Ayrıca, değişik kiriş geometrileri ve tasarım yöntemi (AISC-ASD89 ve AISC-LRFD99) seçiminin göçme davranışı üzerine etkisi de incelenecektir. Bu ise gerçek göçme güvenliklerinin belirlenmesiyle mümkündür. Parametrik çalışmada, yapısal düzenleme olarak öngörülenler aşağıda verilmiştir:

1) Göz sayısının çift ya da tek (4 ya da 5) olması,

2) Konstrüksiyon yüksekliği (b)/göz açıklığı (a) oranlarının farklı olması (b değeri kat yüksekliği olduğundan sabit kalmak koşuluyla),

3) İlk ve son gözlerdeki elemanların rijitliklerinin diğerlerine oranla daha büyük olması,

4) Davranışı iyileştirmek adına ve gerekiyorsa mevcut Vierendeel kirişlerin güçlendirilmesi için ilk ve son gözlere çekme kuvveti alacak şekilde birer adet diyagonal eleman konulmasıdır.

Bu yapısal düzenlemelerden b/a oranı olarak her bir kiriş için 4 değişik oran seçilmiştir. Tüm hesaplarda SAP 2000v14 programı kullanılmıştır. Örnek olması açısından SAP 2000'de yapılan adımlar ayrıntılı bir şekilde ilk problemde verilmiştir.

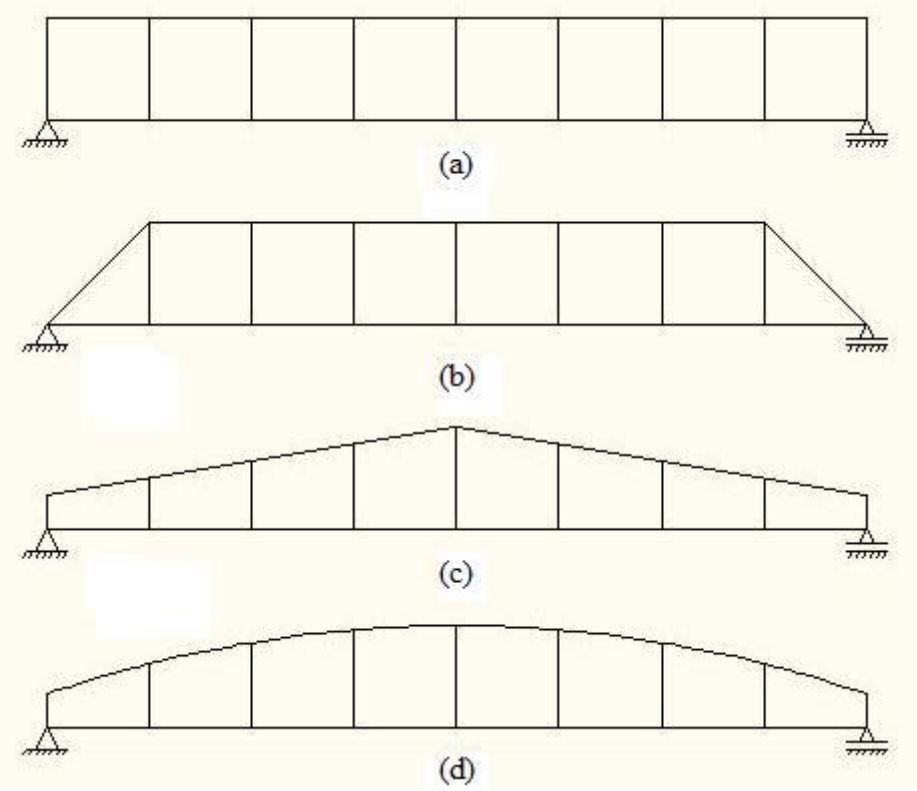
Bu amaç doğrultusunda ilk önce Vierendeel kirişler genel olarak araştırılmış ve bu kirişler hakkında kısa tarihi bilgi verilmiştir. Çalışmada, Vierendeel kirişlerin sağlamış olduğu faydalardan, kullanım alanlarından, hesap yollarından ve birleşim detaylarından söz edilmiştir. Ayrıca, hesap yolları bölümünde bu kirişlerin elastik hesabının nasıl yapıldığına ilişkin bir örnek verilmiş ve genel olarak plastik göçme hesabı yolları açıklanmıştır. Kesitlere ilişkin plastik moment, plastik mukavemet momenti gibi değerlerin bulunmasından kısaca söz edilmiş, örneklerin çözümünde kullanılan yönetmeliklere göre hesaplamaların nasıl yapıldığına değinilmiş ve çeşitli durumlara göre sayısal örnekler çözümlenerek sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. VIERENDEEL KİRİŞİ

2.1 Genel Tanım

Vierendeel kirişi, dikmelerin ve başlıkların eğilmeye dayanıklı bir şekilde birbirlerine bağlanmaları ile meydana gelen kiriştir. Ayrıca bu kirişe, dikdörtgen çerçevelerin yan yana gelmesiyle oluşmasından dolayı, çerçeve kirişi adı da verilir [15]. Bu kirişler özellikle garaj, sinema, toplantı salonları, montaj halleri, köprü ve benzeri yapılarda büyük açıklıkları geçmek için kullanılırlar.

En yaygın olarak, birbirine paralel başlıklı oluşturulan Vierendeel kirişlerinin değişik biçimleri bulunmaktadır. Örneğin başlıklardan biri poligon diğeri düz ya da her ikisi de poligon olarak oluşturulabilir. Vierendeel kiriş formlarının bir kaçı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

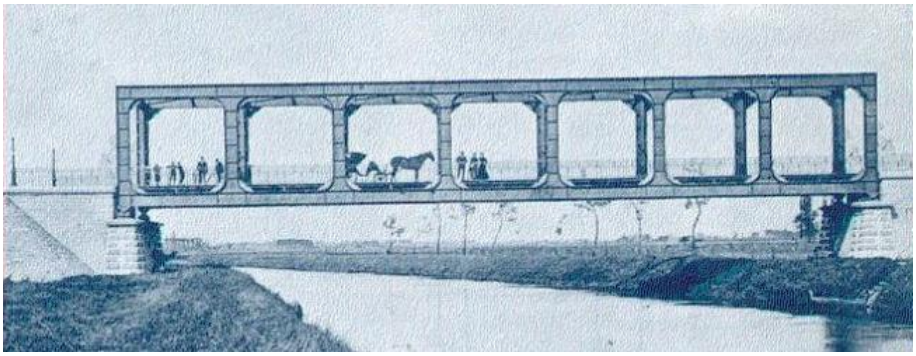


Şekil 2.1 : Vierendeel Kiriş formları: (a) ve (b) Paralel başlıklı, (c) Eğik başlıklı, (d) Poligon ya da parabolik başlıklı

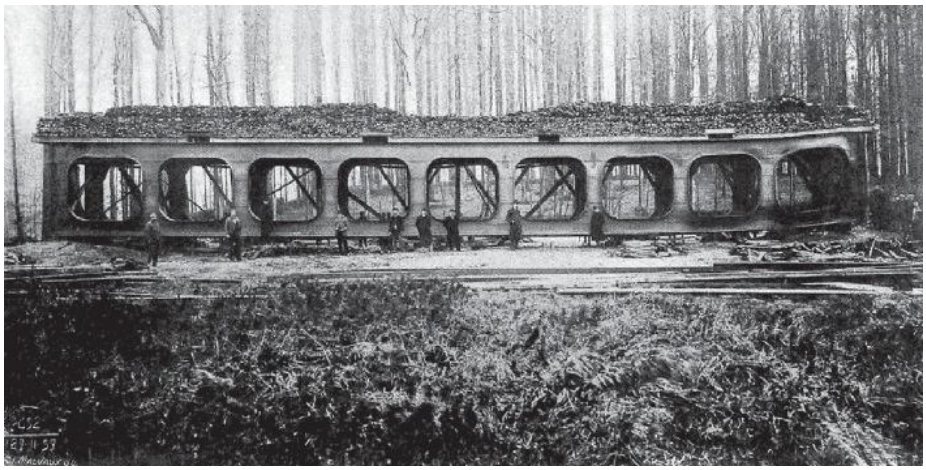
Vierendeel kirişi kafes kirişten ayıran özelliği diyagonal elemanların olmamasıdır. Bundan ötürü başlıklardaki kesme kuvvetleri diyagonallerden eksenel yük olarak aktarılan ideal durumda kafes kirişlerin örgü çubuklarında eğilme momenti oluşmazken, Vierendeel kirişlerde tüm elemanlar en genel durumda eğilme momenti (M), kesme kuvveti (T) ve eksenel kuvvet (N) etkisinde kalırlar.

Şekil 2.1 (b)'de verilen sistem özellikle ilk ve son gözlerde ortaya çıkan aşırı kesme kuvvetlerinin yol açabileceği sorunları çözebilmektedir. Bu durum ilk ve son gözlerdeki daha uygun iç kuvvet dağılımıyla açıklanabilir.

Diyagonalsiz kafes kiriş fikri ilk kez bu kirişlere adını veren Jelus Arthur VIERENDEEL tarafından Belçika'da 1896 yılında geliştirilmiştir. Belçika'da birçok alanda uygulamaları olan bu kirişler öncelikle ve çoğunlukla köprü yapımında kullanılmıştır. Bu kirişlerin köprülerdeki ilk kullanımı 1901 yılında Belçika'nın Avelgem şehrinde Leie(Scheldt) nehri üzerinde yapılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Vierendeel Kirişli köprü - Leie nehri, Avelgem [22]



Şekil 2.3 : Vierendeel Kirişli köprü deneyi [12]

İlk deney amaçlı Vierendeel kirişli köprü 29,26 m (96 feet) açıklığında Tervueren'de 1897 yılında yapılmıştır. Şekil 2.3'de bir Vierendeel kirişli köprünün dayanımının belirlenmesi için yapılan deneysel çalışma görülmektedir [12].

Vierendeel kirişlerinin köprülerde, sinemalarda ve benzeri büyük açıklıklı yerlerde kullanımının yanında binalarda da uygulamaları zamanla gelişmiştir. Bu kirişlerin uygulandığı birkaç yer Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6' da gösterilmiştir. Vierendeel kirişleri genellikle biri sabit diğeri hareketli mesnet üzerine mesnetlendirilerek tek açıklıklı olarak düzenlenirler. Bazı durumlarda sürekli olarak da yapılabilirler.



Şekil 2.4 : Thunder Mountain High School – Juneau, Alaska [23]



(a)



(b)

Şekil 2.5 : 10. Bulvar alanı - New York, A.B.D. (a) Dıştan görünümü, (b) İçten görünümü [24]



Şekil 2.6 : Waterhoek köprüsü – Avelgem, Belçika [25]

2.2 Jelus Arthur Vierendeel

Vierendeel kirişleriyle tanınan mühendis ve yazar Jelus Arthur (Meunier) Vierendeel 10 Nisan 1852 yılında Belçika'nın Leuven kentinde doğmuştur. Brüksel'in 40 km. doğusunda olan Geraardsbergen'da büyüyen A. Vierendeel, maddi zorluklara karşın Leuven Katolik üniversitesine kaydolmuş ve 1874'de "des arts, des manufactures, du génie civil et des mines" (Sanat, Üretim ve İnşaat Mühendisliği ve Madencilik) bölümünden dereceyle mezun olmuştur.

A.Vierendeel kariyerine inşaat endüstrisiyle başlamıştır. 10 yıl çalıştığı "Ateliers de La Louvière" in müdürü olarak Belçika'nın ilk çelik yapılarından biri olan Royal Circus'un inşaatını yapmıştır. Ancak hafif yapının asla yeterince iyi olmayacağı düşüncesinden dolayı 20. yy'nin ortalarında yıktırılan bu yapı, çelik yapı üzerindeki bu düşüncelerin değişmesinden sonra yeniden inşa ettirilmiştir [11].

Vierendeel, Ateliers de La Louvière'in müdürü olarak görev yaptıktan sonra 1885 yılında Batı Flanders eyaletinin Teknik Servis Bölümünün Müdürü ve Baş Mühendisi olarak atanmıştır. Burada daha çok yol inşaatından sorumlu olan Vierendeel, 1. Dünya savaşından sonra büyük hasar görmüş yerlerin yeniden yapılandırılmasında önemli bir rol oynamıştır.

A. Vierendeel, West Flanders'da çalışmaya başladıktan 4 yıl sonra hocası Louis Cousin'nin isteği üzerine üniversitede hocalık yapmaya karar vermiştir. 1935 yılına kadar Leuven'de hocalık yapan A. Vierendeel, iki kitap yazmış ve çeliğin yapılarda kullanımıyla ilgili birçok ders vermiştir.

1896'da kendi adını verdiği, kafes kirişle benzer olan ancak diyagonal elemanı olmayan Vierendeel kirişini geliştirmiştir. Ayrıca A. Vierendeel'in 8 bölümlük "Cours de stabilité des constructions" adlı Fransızca el kitabı da vardır [11].

2.3 Faydaları ve Sakıncaları

Vierendeel kirişlerinin ilk zamanlarda yararlı görülmemesine de neden olan en önemli sakıncası, diyagonal elemanlarının olmayışı sonucu tüm elemanların etkisinde kaldığı eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentlerinden ötürü başlık ve dikme elemanlarının kesit alanlarının kafes kirişlere göre çok büyük

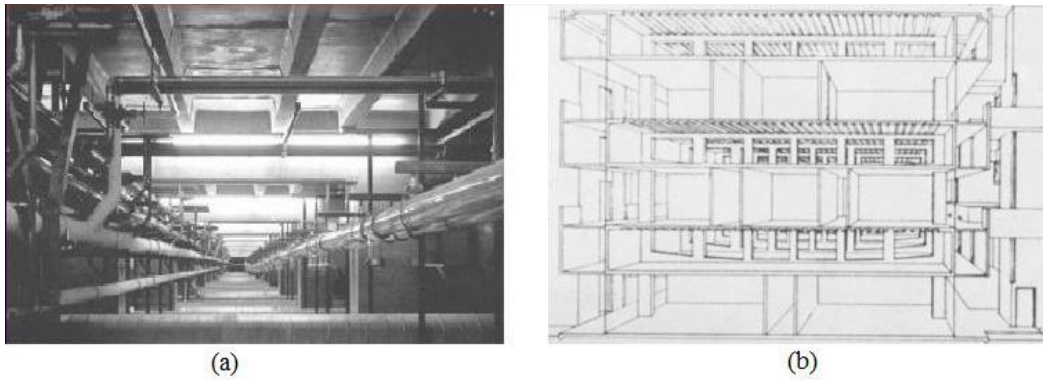
olmasıdır. Bunun sonucu olarak da kafes kirişlere oranla Vierendeel kirişler daha ağır ve daha maliyetlidir.

Vierendeel kirişler çoğunlukla mimari açıdan çok büyük faydalar sağlar. Bu kirişlerin sağladığı önemli faydalardan biri büyük açıklıkların geçilebilmesidir. Örneğin, bu kirişlerle California'da yaklaşık 31 m (102 ft) açıklığında bir üst geçit yapılmıştır (Şekil 2.7).

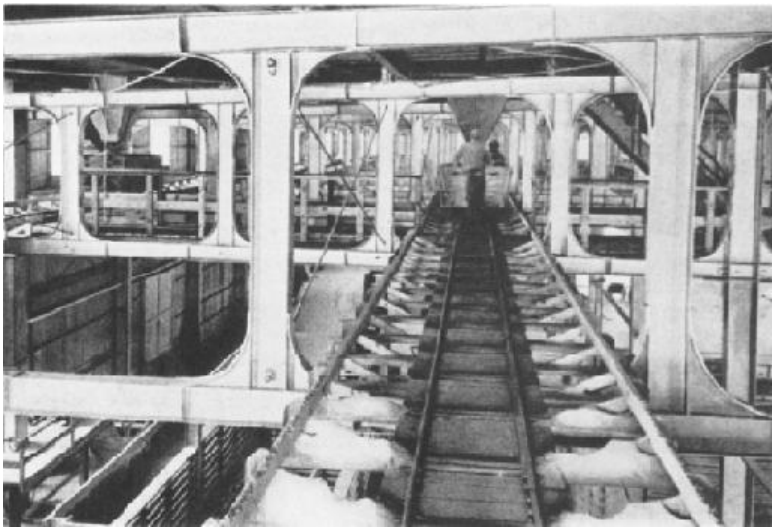


Şekil 2.7 : Üst geçit - Garden Grove, California [26]

Diyagonal elemanların olmayışı, geniş dikdörtgen boşlukların (kapılar, pencereler, koridorlar v.b.) olması istenen yerlerde Vierendeel kirişlerinin tercih edilmesini sağlar. Makinelerin yön değiştirmeleri için hareket alanı sağlamada, geniş kanal işlerinin yapılabilmesinde ve benzeri mekanik gereksinimler için de Vierendeel kirişler tercih nedenidir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9). Bu kirişlerin yükseklikleri genelde yapının kat yüksekliği kadar yapılabildiklerinden dolayı estetik bir görünüme de sahiptirler. Ayrıca Vierendeel kirişler ile kolonsuz oldukça geniş alanlar sağlanabilir. Örneğin Cornell Üniversitesi Sosyal Bilimler Binasında bu nedenle Vierendeel kiriş tercih edilmiştir [8].



Şekil 2.8 : Salk Enstitüsü – San Diego (a) Yapılmış hali, (b) Perspektif görünümü [27]



Şekil 2.9 : Uluslararası tarım şirketi – Chicago Heights [11]

2.4 Hesap Yolları

Vierendeel kiriş tek açıklıklı olarak düzenlendiğinde dıştan izostatik, ancak içten hiperstatiktir. Bu kirişlerdeki göz sayısına "n" denilirse, hiperstatiklik derecesi "3n" olur. Ayrıca bu kirişlerde yüklerin çoğunlukla düğüm noktalarına etki ettiği varsayılmasına karşın, bazen ara yüklerle de karşılaşılmaktadır [15].

Vierendeel kirişler statikçe belirsiz olmalarına karşın çözümlemede bazı basitleştirici varsayımlar kullanılabilir. Basitleştirici çözümlerin uygulanamadığı Vierendeel kiriş formları şunlardır [3]:

a) Eğik başlıklı,

b) Alt başlık ile üst başlık rijitlikleri farklı,

c) Dikmeleri farklı uzunlukta kirişler.

Bu maddeler dışında alt ve üst başlıkları birbirine paralel ve aynı kesitli olan, elemanların moment dönüm noktalarının tam ortada olduğu varsayılan Vierendeel kirişin hesabı basitçe şu şekilde yapılır:

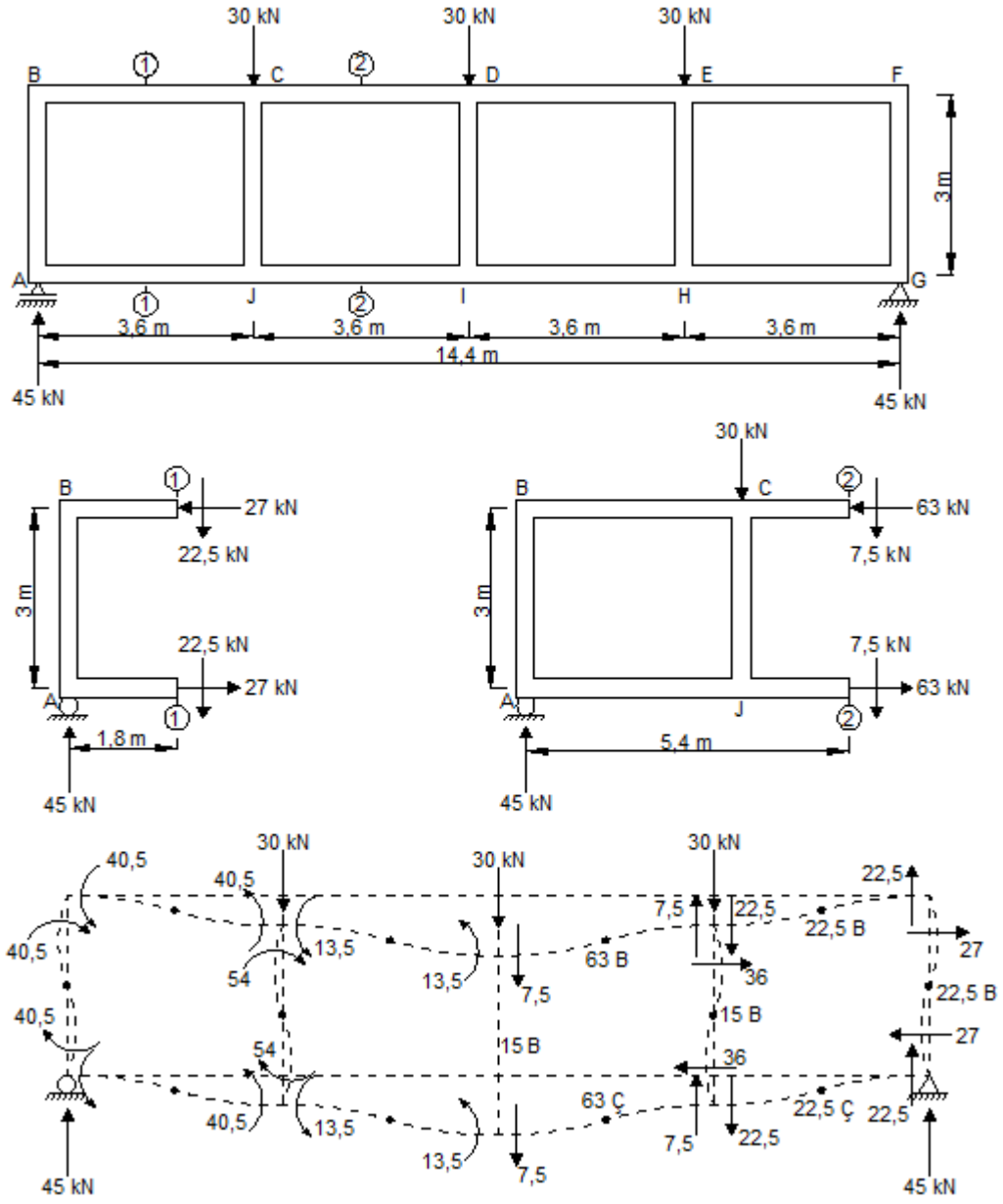
1) Dönüm noktalarının olduğu yerde moment sıfır olacağından Vierendeel kirişin her bir gözünün orta noktasından kesitler alınır.

2) İlk gözün ortasından alınan kesitte mesnet tepkisi başlıklarda eşit kesme kuvveti yaratır. Kesitin alt başlığın kesim noktasına göre moment alındığında ise başlık eksenel kuvveti bulunur.

3) Başlıklardaki kesme kuvveti yardımıyla başlıklarda, dikmelerdeki kesme kuvveti yardımıyla da dikmelerdeki momentler hesaplanır.

Örnek olarak bir Vierendeel kirişi hesaplanıp, iç kuvvet değerleri ve yaklaşık yer değiştirmiş durumu Şekil 2.10'da verilmiştir.

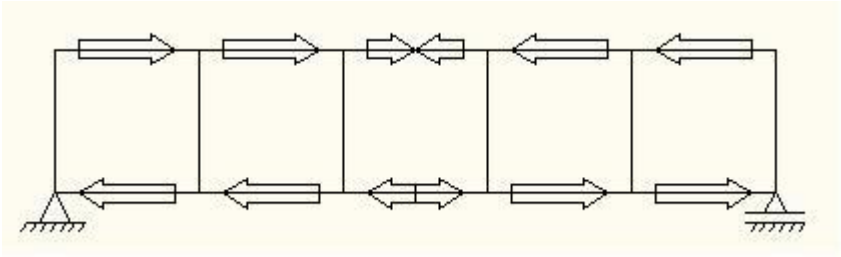
Eğer Vierendeel kiriş formu yukarıda anlatılanın dışında a,b ya da c şıklarında verilenlerden birine uyuyorsa bu durumda çözüm yine simetri özelliklerinden yararlanılarak Cross (Moment Dağıtma) yöntemi ile yapılabilir. Bunun dışında, günümüzde sıkça kullanılan yapı analizi programlarından biri ile daha kesin çözümler de elde edilmektedir [3].



Şekil 2.10 : Vierendeel Kirişin basitleştirilmiş çözümü [13]

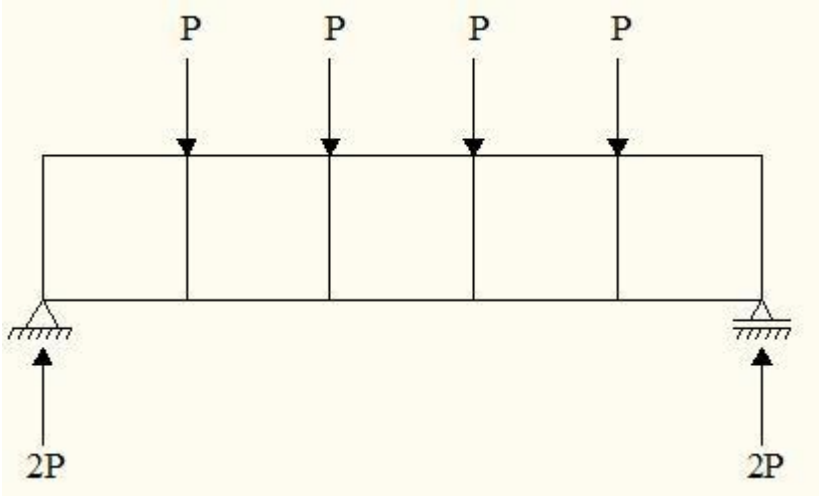
2.5 Simetrik Yükleme Durumunda Genel Davranış Biçimi

Yüklemeler sonucu Vierendeel kiriş başlıklarındaki genel durum Şekil 2.11'de verilmiştir. Beklendiği üzere, üst başlıklar basınca çalışırken alt başlıklar çekmeye çalışırlar. Dikme elemanları ise değişik büyüklüklerde basınç etkisinde kalırlar.

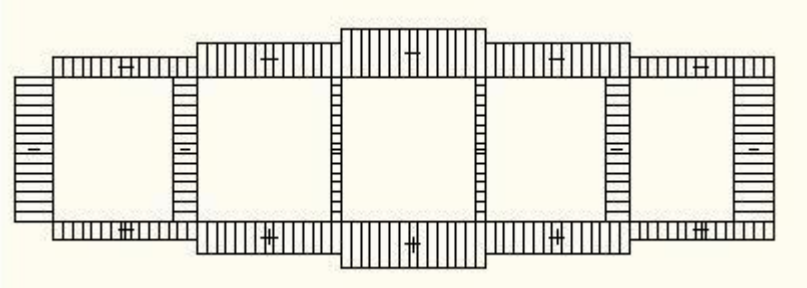


Şekil 2.11 : Başlıkların davranışı

Aynı zamanda tüm elemanlar eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindedirler. Şekil 2.12'deki yükleme durumuna göre şematik olarak bir Vierendeel kirişinin elamanlarında oluşan normal kuvvet diyagramı Şekil 2.13'de, moment diyagramı Şekil 2.14'de gösterilmiştir.

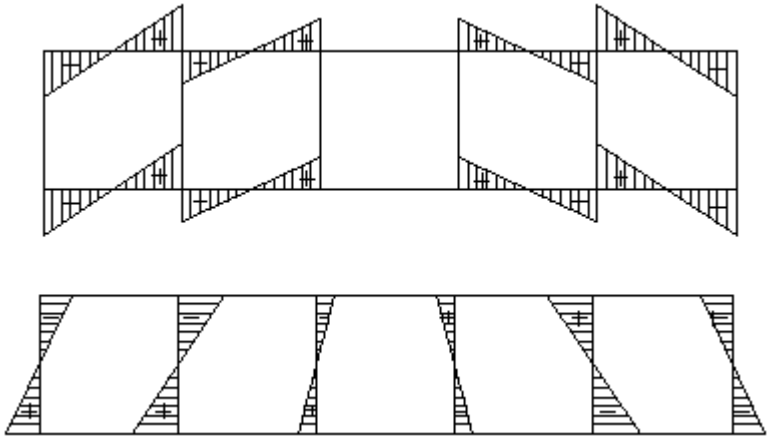


Şekil 2.12 : Yükleme durumu



Şekil 2.13 : Normal kuvvet diyagramı

Daha önceden üst başlıkların basınca, alt başlıkların çekmeye çalıştığı belirtilmiştini söylemiştik. Bu durum Şekil 2.13'de verilen normal kuvvet diyagramında da görülmektedir. Şekil 2.13'den, başlıkların orta noktalarında maksimum değerine ulaşan normal kuvvetin, mesnetlere gidildikçe azalmakta olduğu görülmektedir. Tüm dikme elemanları ise basınç etkisindedir ve dikmelerdeki normal kuvvet değeri, başlıklardakinin tersine mesnetlere yaklaştıkça artmakta ve mesnetlerdeki dikme elemanlarında maksimuma ulaşmaktadır.

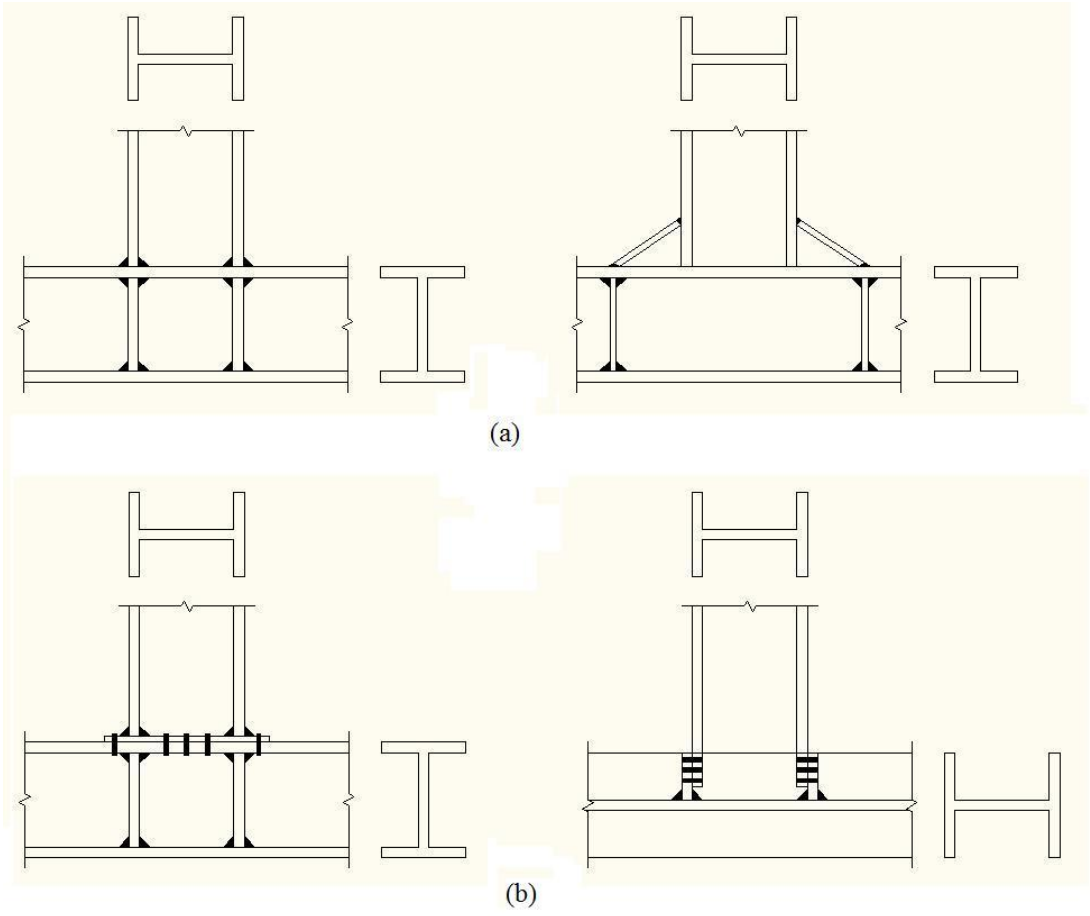


Şekil 2.14 : Başlık ve dikmelerde basitleştirilmiş moment diyagramı

Moment diyagramında bakış yönü, üst ve alt başlıklar için alttan alınırken, dikmeler içinse sağdan alınmıştır. Buna göre kirişin sol yarısındaki alt ve üst başlıkların sol tarafları negatif, sağ tarafları ise pozitif eğilme momenti etkisindedir. Bu durum kirişin sağ yarısında ise tam tersidir. Dikmelerde ise kirişin sol yarısındaki dikmelerin alt yarısı pozitif eğilme momenti etkisinde iken üst yarısı negatif eğilme momenti etkisindedir. Başlıklarda olduğu gibi bu durum dikmelerde de kirişin diğer yarısı için tam tersidir. Aynı zamanda Şekil 2.14'den de görüldüğü gibi hem alt ve üst başlıklar için eğilme momenti değerleri kirişin ortasına doğru yaklaşıldıkça azalmakta, mesnetlere gidildikçe artmaktadır. Dikmelerde ise en yüksek eğilme momenti mesnetlerden sonra gelen ilk dikmelerde oluşmaktadır. Şekil 2.14'deki gibi göz sayısı tek olan olan Vierendeel kirişlerde tam ortadaki gözün alt ve üst başlıklarında eğilme momenti oluşmaz. Çünkü bu başlıklarda kesme kuvveti değeri sıfır'dır. Göz sayısı çift olan Vierendeel kirişlerde ise tam ortadaki dikmede kesme kuvveti değeri sıfır olacağından bu dikmede de eğilme momenti oluşmaz.

2.6 Birleşimler

Vierendeel kirişlerin birleşimleri rijit ve yarı rijit olmak üzere iki türlü yapılabilir. Kirişi labil duruma getirmeyecek sayıda mafsallı birleşim yapmak da bir diğer yoldur. Ancak bu kirişlerde daha çok rijit birleşimler yapılmaktadır. Birleşimler, tam rijitliği sağlamak için dönmeyi ve kaymayı engelleyecek şekilde kaynaklı ya da bulonlu yapılabilir. Birleşimlerin yerinde yapılması gerektiği durumlarda, çok uygun olmamalarına karşın, kaynaklı birleşimler daha bir bütünlük sağlarlar ve daha etkilidirler. Çoğunlukla ekonomi için bulonlu birleşimler tercih edilir. Çok büyük açıklıklı Vierendeel kirişlerin parça parça nakliyesi ve monte edilmesi için genellikle tamamen bulonlu birleşimler kullanılır. Açıklıkların ve yüklerin fazla yüklemelerin olduğu kirişlerde yerel gerilmeleri azaltmada üstünlük sağladığı için birleşim yerlerinde düşey elemanların uç kısımları genellikle dışa doğru guselerle genişletilir. Şekil 2.15'de bazı kaynaklı ve bulonlu birleşim detayları verilmiştir [14].



Şekil 2.15 : Birleşim detayları (a) Kaynaklı birleşim, (b) Bulonlu birleşim [14]

Vierendeel kirişlerin en kritik bölgeleri düğüm noktaları olduklarından, bu bölgelerin ekonomik tasarımı tüm sistem etkinliğini arttıracaktır. Günümüze kadar yapılan örneklere bakıldığında bu tür kirişlerde genelde düğüm noktalarının, ortaya çıkan iç kuvvetleri taşıyabilmek için göstermektedir. Bu bağlamda, tam rijit birleşim yerine, sistemin stabilitesini ve güvenliğini tehlikeye atmayacak yeni nesil yarı rijit birleşimlerin geliştirilmesi, böylece üretimi de kolay Vierendeel kirişlerin tasarlanması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu başka bir çalışmayı gerektirmektedir, bu çalışmada belirli sonuçlara ulaşmak için rijit düğüm noktalı kirişler incelenecektir.

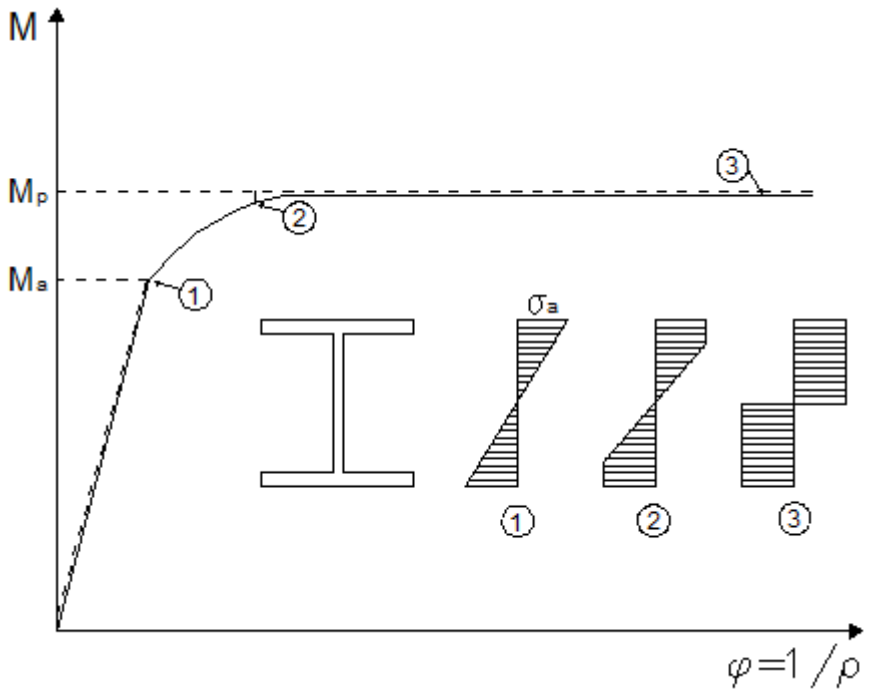
3. ÇUBUK SİSTEMLERİN GÖÇME İNCELEMESİ

3.1 Plastik Analiz

Bir malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisinde akma gerilmesine ulaştıktan sonraki akma bölgesinin de hesaba katıldığı analize plastik analiz denilir. Bu analizde "plastik mafsal hipotezi" kullanılarak sistem hesapları büyük oranda azaltılabilmektedir [18].

Süneklik oranının yüksek olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin "plastik mafsal" adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze "plastik mafsal hipotezi" denir [18].

3.2 Plastik Moment



Şekil 3.1 : I profilin tipik moment-eğrilik grafiği [17]

Şekil 3.1'de 1 noktasında gerilme akma sınırına ulaşmıştır. Bu duruma ait momente "akma momenti" (M_a) denir.

Moment bir miktar daha artarsa 2 noktasına ulaşır ve başlıkların tamamı gövdenin bir bölümü plastikleşmiştir [17].

3 noktasına gelindiğinde ise kesitin tamamı plastikleşmiştir. İşte bu duruma ait Mp kesit momentine "plastik moment" denir.

Taşıyıcı elamanın söz konusu kesitinde moment değeri Mp'ye ulaştığında o kesit sabit bir momentin etkili olduğu bir mafsal gibi hareket edecektir. İşte bu mafsala "plastik mafsal" denir [17].

Bir taşıyıcı sistemde plastik mafsalların oluşabileceği noktalar şunlardır;

1) Tekil yüklerin etkidiği noktalar,

2) Düğüm noktalarına birleşen eleman uçları,

3) Yayılı yük etkisindeki açıklıklarda momentin en büyük olduğu noktalar.

3.3 Plastik Mafsal Teorisine Göre Hesap Yöntemleri

3.3.1 Yük artımı yöntemi

Yapıya etkiyen dış yüklerin belirli oranlarla arttırılarak yapının iç kuvvet değerleri elastik olarak hesaplanır. Yük artımı devam ettikçe her plastik mafsal oluşan noktaya adi mafsal koymak ve Mp plastik momentini dış yük olarak etkitmek koşuluyla sistem doğrusal elastik olarak çözülür [18].

Yük artımı, sistemin bir bölümü ya da tamamı mekanizma durumuna gelinceye kadar devam eder. Sistemi kısmen ya da tamamen mekanizma durumuna getiren bu yüke "Limit Yük (P_L)" denir [18].

3.3.2 Limit yükün doğrudan hesabı

3.3.2.1 Statik yöntem

Bu yöntem alt sınır teoremine dayanır.

Alt sınır teoremi: Verilen dış yükler altında dengede olan bir iç kuvvet durumunda hiçbir kesitte akma momenti aşılmıyorsa, diğer bir deyişle her zaman $M \leq M_p$ ise bu iç kuvvet durumuna karşı gelen yük limit yükten küçük ya da ona eşittir [18].

3.3.2.2 Sinematik yöntem

Limit yüke ilişkin mekanizma durumu bilinirse, plastik mafsallarda M=Mp olduğu göz önünde tutularak ve virtüel iş teoreminden ya da denge denklemlerinden yararlanılarak limit yük bulunabilir. Bu yöntem üst sınır teoremine dayanır.

Üst sınır teoremi: Sisteme ait herhangi bir mekanizma durumu için virtüel iş teoremi ile bulunan yük, limit yükten büyük ya da ona eşittir. Buna göre, sistemin olası tüm mekanizmaları için bulunan yüklerin en küçüğü sistemin limit yüküne eşittir[18].

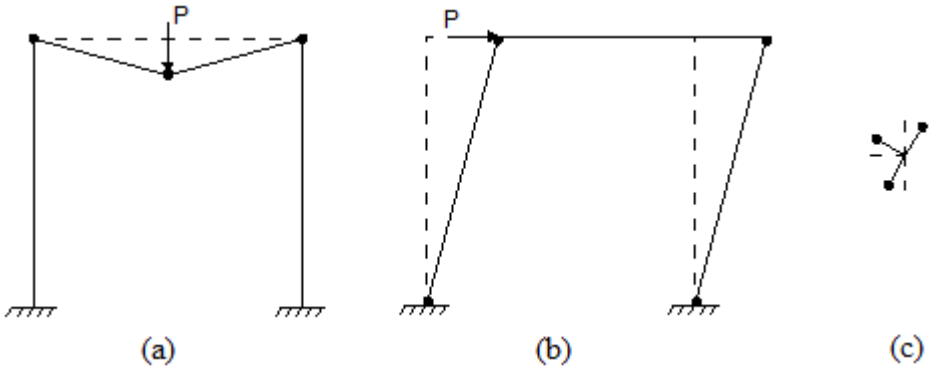
Virtüel iş teoremi: Dengede olan bir kuvvetler sistemine virtüel bir yerdeğiştirme uygulanırsa dış kuvvetlerce yapılan iş, iç kuvvetler tarafından yapılan işe eşittir.

Bu çalışmada Vierendeel kirişlerin hesabında mekanizma yöntemi kullanıcağından bu yöntemden biraz daha ayrıntılı söz edilecektir.

3.4 Mekanizma Yöntemi

İki tip mekanizma durumu söz konusudur: Bağımsız mekanizma durumu ve bu mekanizmaların birleştirilmesiyle elde edilen bileşik mekanizma durumu [17].

Gerçek bir sistemde ise genel olarak 3 tip bağımsız mekanizma durumu vardır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Bağımsız mekanizmalar: (a) Kiriş mekanizması, (b) Kat (Panel) mekanizması, (c) Düğüm noktası mekanizması

Virtüel iş teoremi uyarınca düğüm noktası mekanizmasında dış kuvvetlerin yapacağı iş sıfır olacağından bu mekanizma durumu kinematik koşulları sağlamaz. Bundan dolayı, bu mekanizma durumu göz önünde tutulmaz.

Bağımsız mekanizma sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesap edilebilir [18].

$$\begin{bmatrix}\text{Bağımsız}\\ \text{Mekanizma}\\ \text{Sayısı}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\text{Plastik Mafsal}\\ \text{Oluşabilecek}\\ \text{Nokta Sayısı}\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}\text{Siste min}\\ \text{Hiperstatiklik}\\ \text{Derecesi}\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}\text{Düğüm}\\ \text{Noktası}\\ \text{Sayısı}\end{bmatrix} \quad \textbf{(3.1)}$$

Mesnetler, Düğüm noktaları, Tekil yüklerin altları (sağ ve sol), yayılı yükün altında kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktalar plastik mafsal oluşabilecek noktalardır. Tekil yüklerin etkidiği noktalar da düğüm noktası olarak alınacaktır [18].

3.5 Vierendeel Kirişlerinde Mekanizma Durumları

Vierendeel kirişlerinde daha önceden de belirtildiği gibi yüklerin düğüm noktalarına etkidiği varsayıldığı için alt ya da üst başlıkta yerel mekanizma olarak kiriş mekanizması oluşmaz. Bu kirişlerde oluşan bağımsız mekanizma durumu yalnızca panel mekanizması durumudur. Panel mekanizmaları ise küçük farklılıklarıyla birlikte çerçevelerdeki kat mekanizmaları durumuyla benzerlik göstermektedir.

Vierendeel kirişlerde mekanizma sayısı ve plastik mafsalların oluşma yerleri ve dönme miktarları çeşitli durumlara göre değişiklik göstermektedir. Bu durumlar;

1) Yükleme Durumu,

a) Simetrik Yükleme,

b) Antimetrik (Antisimetrik) Yükleme,

2) Kirişteki Panel Sayısı,

a) Panel Sayısının Tek olması,

b) Panel Sayısının Çift olması,

3) Kirişin Geometrisi,

a) Paralel Başlıklı,

b) Eğik Başlıklı,

c) Parabolik Başlıklı,

4) Başlık ve Dikme Elemanlarının Plastik Moment Kapasiteleri

şeklinde verilebilir.

Genellikle tek açıklıklı ve simetrik olarak yapılan Vierendeel kirişlerinde olası mekanizma sayısı yukarıdaki ilk iki maddeye bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Örneğin, simetrik yükleme durumunda olası mekanizma durumlarından çoğu birbirinin tekrarı olacağından mekanizma sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. Antimetrik bir yükleme söz konusu ise birbirinin benzeri gibi gözükse de tüm mekanizma durumları ayrı ayrı ele alınmalıdır. Çünkü, benzer gibi görünen mekanizma durumlarında dış yüklerin yapacağı işler farklılık göstereceğinden hesaplanan limit yük değeri de farklı olacaktır.

Kirişte simetrik yükleme varsa, mekanizma sayısı kirişteki panel sayısının tek ya da çift olmasına bağlı olarak da farklılık gösterebilir. Panel sayısı tek olan kirişlerde panel sayısı çift olanlara göre daha az mekanizma durumu meydana gelmektedir. Çünkü, simetrik yükleme durumunda bir Vierendeel kirişinde panel sayısı tek ise ortadaki panelde alt ve üst başlıklarda moment değeri sıfır olmakta, dolayısıyla o elemanlarda plastikleşme momentine ulaşılamamasıdır.

Yukarıda verilen 3. ve 4. maddeler ise plastik mafsalların dönme miktarlarını ve oluşma yerlerini etkilemektedir.

Örneğin, paralel başlıklı bir Vierendeel kirişde herhangi bir panel mekanizması durumunda oluşan plastik mafsallardaki dönme miktarları birbirine eşitken, diğer tip kirişlerde oluşan plastik mafsallardaki dönme miktarları farklılık göstermektedir.

Plastik momentin oluşma yeri bakımından ise dikme ve başlık elemanlarının plastik moment kapasiteleri önemli rol oynamaktadır. Ancak, Vierendeel kirişlerinde genellikle başlıkların M_p'leri ilk ve son dikmeler dışında diğer dikmelerin M_p'lerinden büyük, ilk ve son dikmelerin M_p'leri başlıkların M_p'lerinden büyük veya eşit olarak yapıldığı için mekanizma durumlarında plastik mafsallar alt ve üst başlıkların uç bölgelerinde oluşmaktadır.

5. bölümde örnek olarak ele alınan 5 gözlü bir Vierendeel kirişde oluşabilecek 31 mekanizma durumunun incelenmesi sonucu olarak Vierendeel kirişlerde dikkat edilmesi gereken mekanizma durumları şunlardır:

1) Bağımsız mekanizmaların her biri,

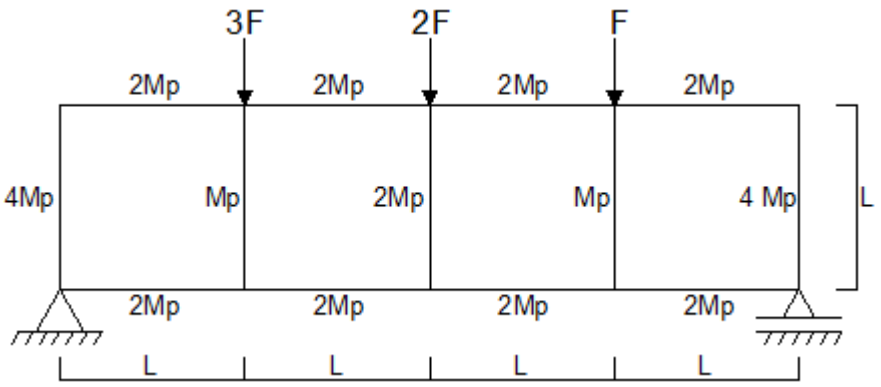
2) Bağımsız mekanizma durumlarından birbirine komşu olan mekanizmaların birleşmesiyle elde edilen bileşik mekanizma durumlarından her biri.

Bu iki durumdan farklı olan diğer mekanizmalar için hesap yapılmasına gerek yoktur. Çünkü, geriye kalan mekanizma durumları birbirine komşu olmayan

panellerin birleşmesiyle elde edilmektedir; bu tür birleşimlerde plastik mafsalların yaptığı toplam iş bağımsız mekanizma durumundakiyle aynı kalmakta, ancak, dış kuvvetlerin yaptığı iş azalmaktadır. Bu durumda limit yük değeri bu tür bileşik mekanizmalar için daima bağımsız mekanizma durumlarında elde edilen değerden fazla olacaktır. Diğer bir deyişle, bu örnek için panellere soldan sağa 1,2,3,4 ve 5 numaraları verilirse bileşik mekanizmalardan 1+3, 1+4, 1+2+4, 1+3+4, 1+2+3+5 v.b. mekanizmalara bakmanın bir faydası yoktur. Kontrol edilmesi gereken bileşik mekanizmalardan örnek olarak 1+2, 3+4, 2+3+4, 1+2+3+4 vb. mekanizmaları verilebilir.

3.6 Çözülmüş Bir Örneğin SAP 2000 ile Modellenmesi ve Doğrulama

Olası göçme mekanizmalarının gösterimi amacıyla bu bölümde [1]'de verilen Vierendeel kirişi örneği incelenecektir. Bu örnekte şekil 3.3'deki limit yük değeri (F_{lim}) hesaplanması istenmiştir.



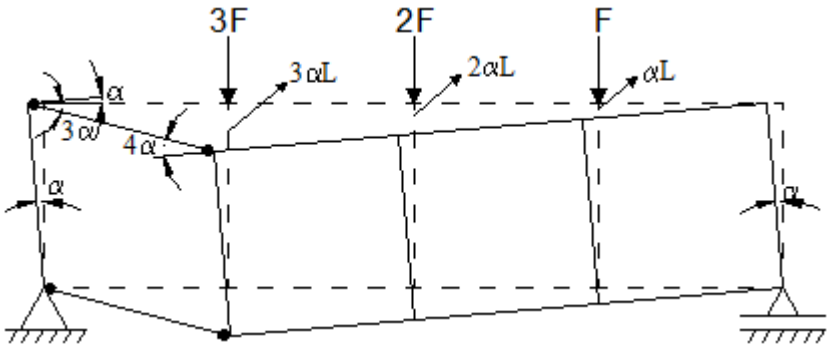
Şekil 3.3 : Vierendeel kirişi

3.6.1 Limit Yük Hesabı

Şekil 3.3'de verilen Vierendeel Kirişin 4 gözü olduğundan 4 bağımsız mekanizma durumu vardır. Çözümde ilk önce bu bağımsız mekanizma durumları ve bunlara ilişkin limit yük değerleri, daha sonra bağımsız mekanizmaların birleşmesiyle elde edilen birkaç elverişsiz bileşik mekanizma durumları ve bunlara karşı gelen limit yük değerleri hesaplanacaktır.

Örnekteki gözlere soldan sağa doğru 1,2,3 ve 4 numaraları verilmiştir. Bu durumda bağımsız mekanizma durumları ve bunlara ilişkin limit yük değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

1. gözde mekanizma durumu:



Şekil 3.4 : 1.gözde mekanizma durumu

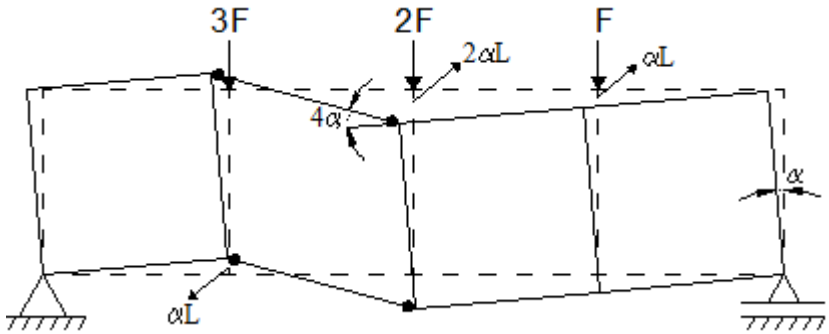
Şekil 3.4'de virtüel iş teoremi (Dış kuvvetlerin yaptığı iş = İç kuvvetlerin yaptığı iş) uygulanırsa

$$3F(3\alpha L)+2F(2\alpha L)+F(\alpha L) = 4[(2M_p)(4\alpha)] \quad \textbf{(3.2)}$$

$$14F\alpha L=32M_p\alpha \quad => \quad F_{1lim}=2{,}286M_p/L \quad \textbf{(3.3)}$$

elde edilir.

2. gözde mekanizma durumu:



Şekil 3.5 : 2.gözde mekanizma durumu

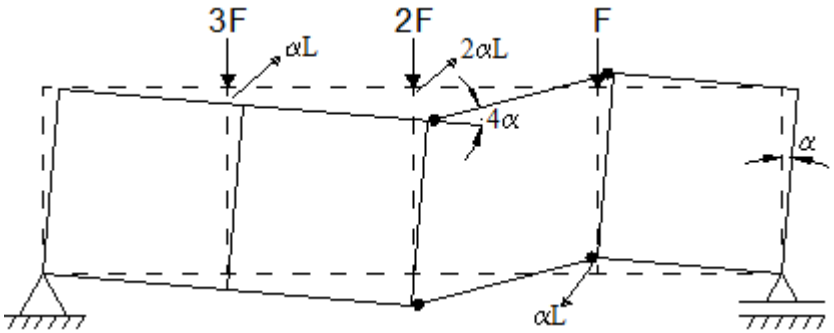
Şekil 3.5'de virtüel iş teoremi uygulanırsa

$$3F(3\alpha L)+2F(2\alpha L)+F(\alpha L) = 4[(2M_p)(4\alpha)] \quad \textbf{(3.4)}$$

$$14F\alpha L=32M_p\alpha \quad => \quad F_{1lim}=2{,}286M_p/L \quad \textbf{(3.5)}$$

değerine ulaşılır.

3. gözde mekanizma durumu:



Şekil 3.6 : 3. Gözde mekanizma durumu

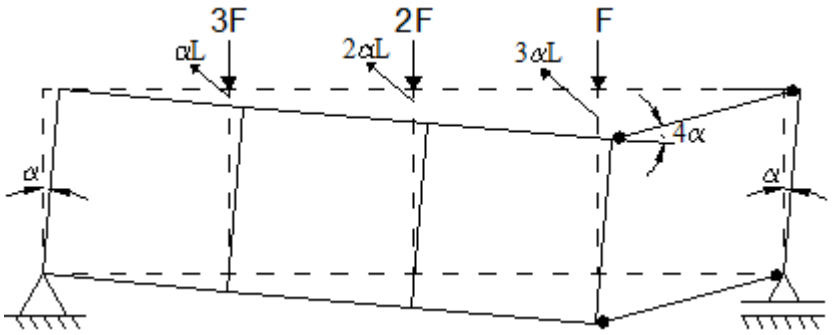
Şekil 3.6 için limit yük

$$3F(\alpha L)+2F(2\alpha L)-F(\alpha L) = 4[(2M_p)(4\alpha)] \quad \textbf{(3.6)}$$

$$6F\alpha L=32M_p\alpha \quad => \quad F_{3lim}=5,33M_p/L \quad \textbf{(3.7)}$$

olur.

4. gözde mekanizma durumu:



Şekil 3.7 : 4. Gözde mekanizma durumu

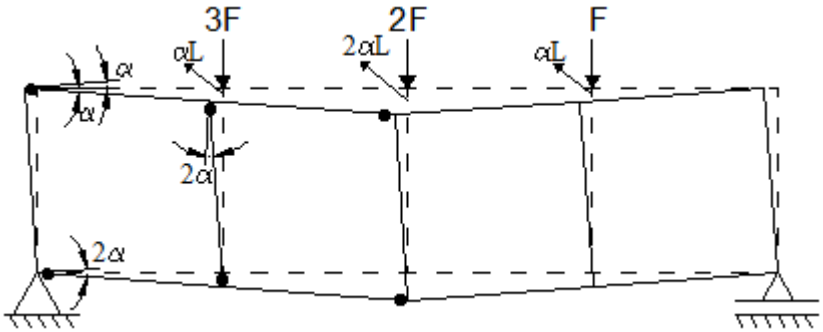
Şekil 3.7'de virtüel iş teoremi

$$3F(\alpha L)+2F(2\alpha L)+F(3\alpha L) = 4[(2M_p)(4\alpha)] \quad \textbf{(3.8)}$$

$$10F\alpha L=32M_p\alpha \quad => \quad F_{4lim}=3,2M_p/L \quad \textbf{(3.9)}$$

değerini verir. Bağımsız mekanizmaların birleşmesiyle oluşan elverişsiz bileşik mekanizma durumları ve bunlara ilişkin limit yük değerleri de aşağıda elde edilmiştir.

1. ve 2. gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu:



Şekil 3.8 : 1. ve 2. gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu

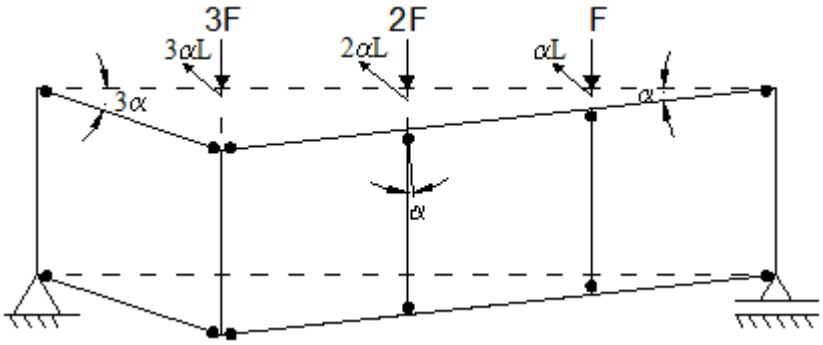
Şekil 3.8'deki göçmedurumuna karşı gelen limit yük ise

$$3F(\alpha L)+2F(2\alpha L)+F(3\alpha L) = 4[(2M_p)(2\alpha)]+ 2[(M_p)(2\alpha)] \quad \textbf{(3.10)}$$

$$8F\alpha L=20M_p\alpha \quad => \quad F_{5lim}=2,5M_p/L \quad \textbf{(3.11)}$$

olarak bulunur.

Tüm gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu:



Şekil 3.9 : Tüm gözlerin birleşmesiyle oluşan mekanizma durumu

Son olarak Şekil 3.9'da verilen durum için

$$3F(3\alpha L)+2F(2\alpha L)+F(\alpha L) = 4[(2M_p)(3\alpha)]+6[(2M_p)(\alpha)]+2[(M_p)(\alpha)] \quad \textbf{(3.12)}$$

$$14F\alpha L=38M_p\alpha \quad => \quad F_{6lim}=2,714M_p/L \quad \textbf{(3.13)}$$

limit yükü elde edilir. Buna göre sisteme ilişkin göçme mekanizması 1. gözde oluşan panel mekanizması ile oluşmakta olup, göçme yükü (limit yük)

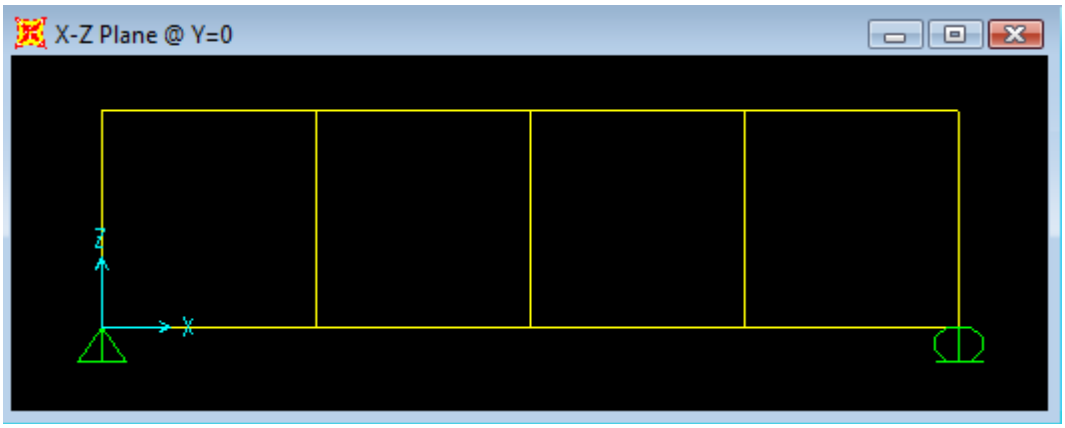
$(F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6)_{min}=F_{lim}=2{,}286M_p/L$ **(3.14)**

değerine eşittir.

Bu çözümlemede önemli olan plastik mafsal dönme açılarının ve yönlerinin doğru olarak belirlenmesidir. Dah karmaşık sistemlerde açıların belirlenmesi daha güçtür.

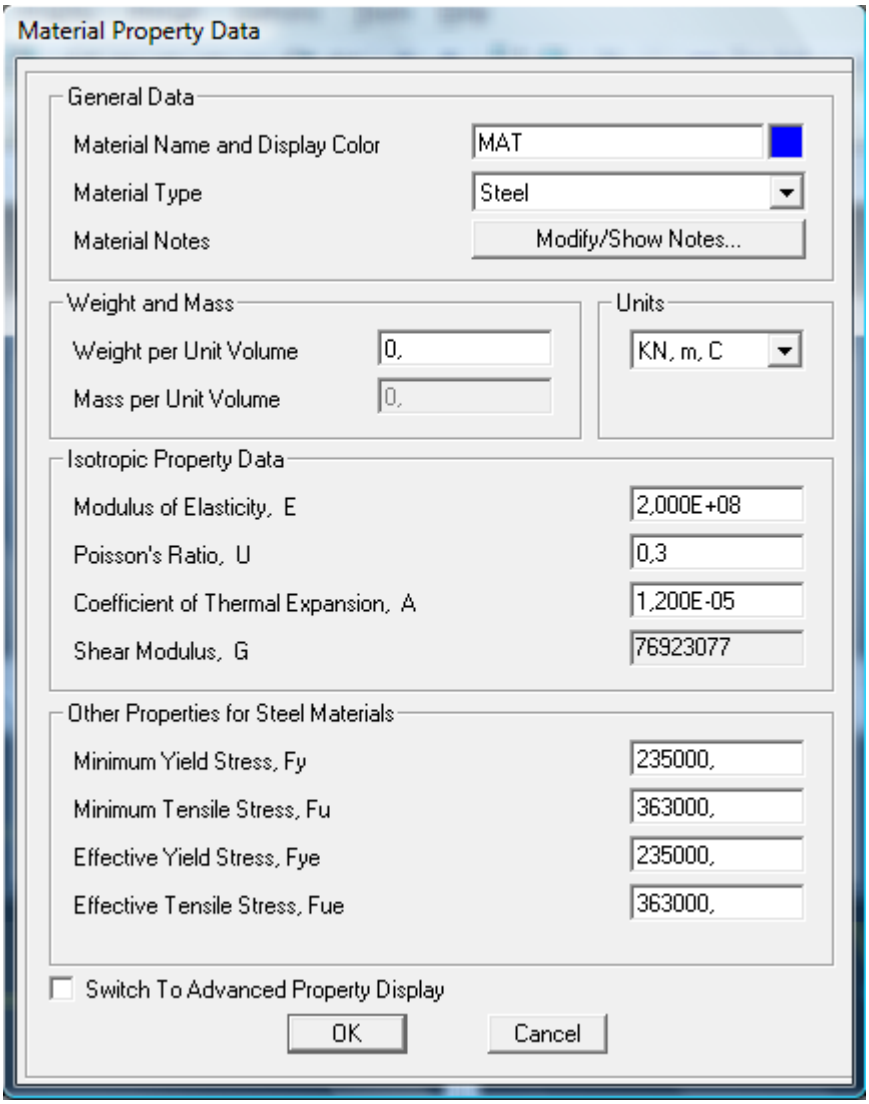
3.6.2 SAP 2000 ile çözüm

SAP 2000 programıyla çözüm örnek olması amacıyla yalnızca bu sistem için aşama aşama açıklanacaktır, diğer örneklerin ilk ikisinde genel açıklamalar yapılıp, kalan örneklerde doğrudan sonuçlar verilecektir. İlk önce şekil 3.10'da görüldüğü gibi bir model oluşturulmuş, daha sonra malzeme özellikleri belirlenmiştir. Bu örnekte malzeme özellikleri şekil 3.11'deki gibi varsayılmıştır.



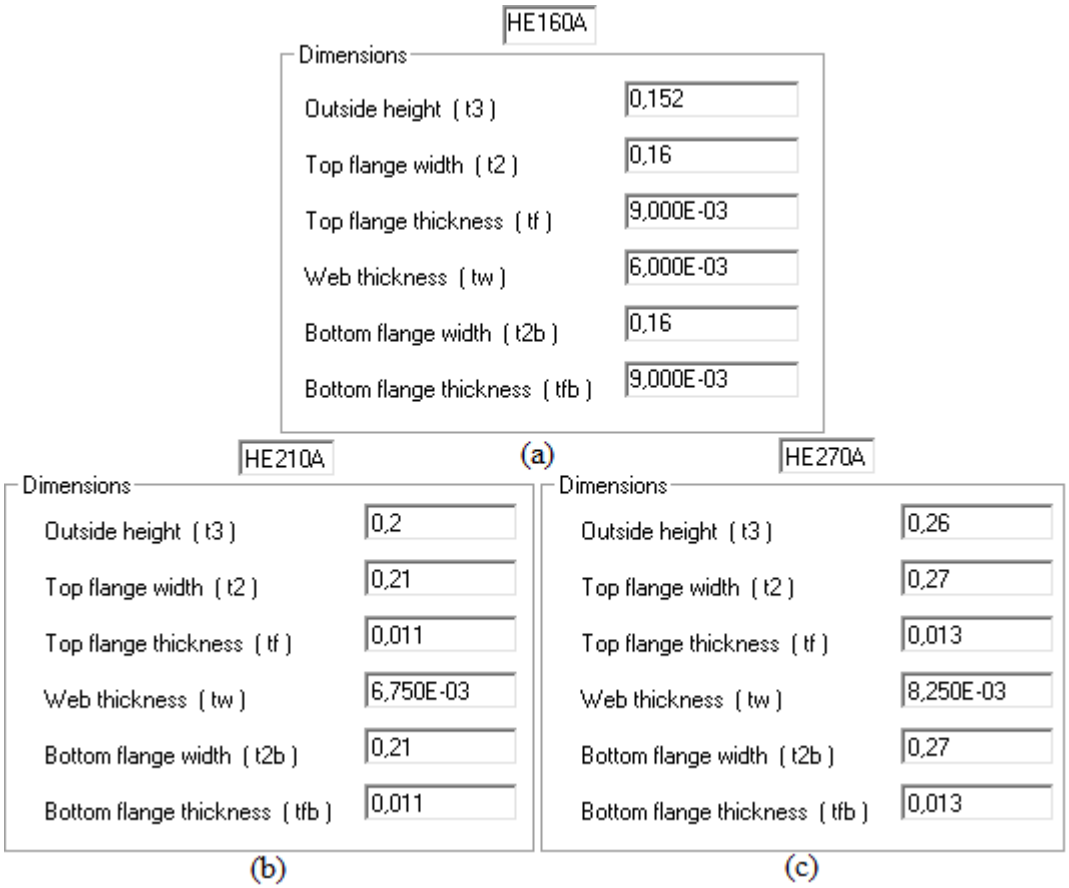
Şekil 3.10 : Vierendeel kiriş SAP 2000 modeli

Bu ve bu çalışma kapsamında ileride çözülecek tüm örneklerde, bu tür sistemlerin elemanlarında ortaya çıkan yüksek eksenel basınç kuvvetleri nedeniyle eleman kesitleri olarak çelik HEA profilleri kullanılmıştır.



Şekil 3.11 : Varsayılan malzeme özellikleri

Seçilen örnekte değişik plastik momente sahip 3 tür kesit vardır ($4M_p$, $2M_p$ ve M_p). Malzeme olarak tek çeşit malzeme kullanıldığından plastik mukavemet momentleri $4W_p$, $2W_p$ ve W_p olacak şekilde 3 adet geniş başlıklı I profil (HE160A, HE210A, HE270A) tanımlanmıştır. Bu profillerden plastik mukavemet momenti $2{,}45 \times 10^{-4}$ m^3 olan HE160A profili programın içinden alınmıştır. HE210A ve HE270A profilleri ise plastik mukavemet momentleri HE160A'nınkinin sırasıyla 2 ve 4 katı olacak şekilde, program içinde bulunan HE200A ve HE260A profillerinin birkaç değerinin değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Şekil 3.12'de profillerin özellikleri görülmektedir.



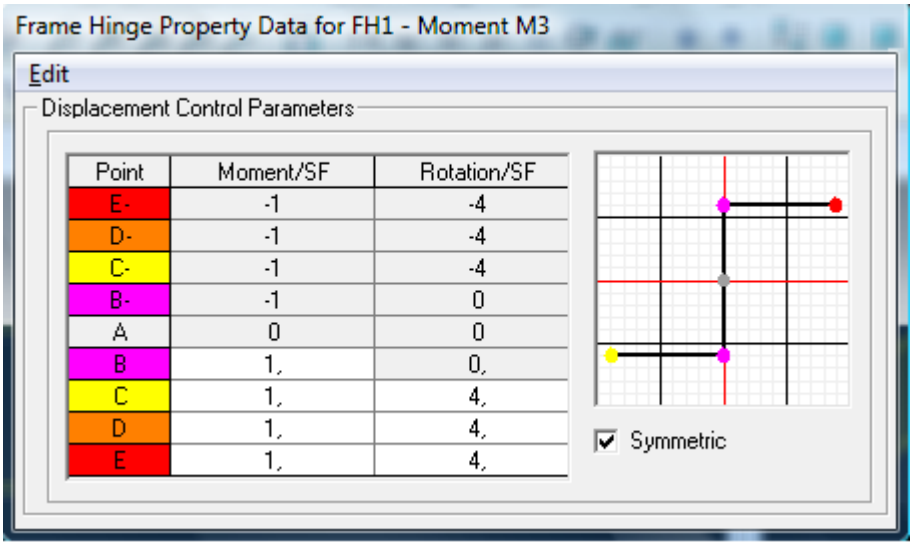
Şekil 3.12 : Tanımlanan kesitlerin özellikleri: (a) HE160A, (b) HE210A, (c) HE270A

Ayrıca SAP 2000 programı gerilme ve kayma şekil değiştirmelerini de hesaba kattığı için kesit özelliklerinde alanlar 100 kat büyütülerek onların etkisi göz ardı edilmiştir. Daha gerçekçi hesaplarda bu ikincil etkileri hesaba katmak mümkün olmakla birlikte, [1]'de verilen sistmedeki sonuçlara yakınlık sağlamak bakımından böylesi bir var sayım yapmak gerekmektedir.

Daha sonra kesitlere profiller atanmış ve sisteme 3, 2 ve 1 oranlarında örneğe uygun "DEAD" (Ölü yük) yüklemesi yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra mafsal özelliği tanımlanmıştır. Seçilen örneğe uygunluğu açısından mafsal özelliği Şekil 3.13'deki gibi simetrik öellikli rijit plastik olarak tanımlanmıştır. Hedef dönme kapasitelerinin katsayıları örnek olması bakımından 4,0 olarak tanımlanmıştır.

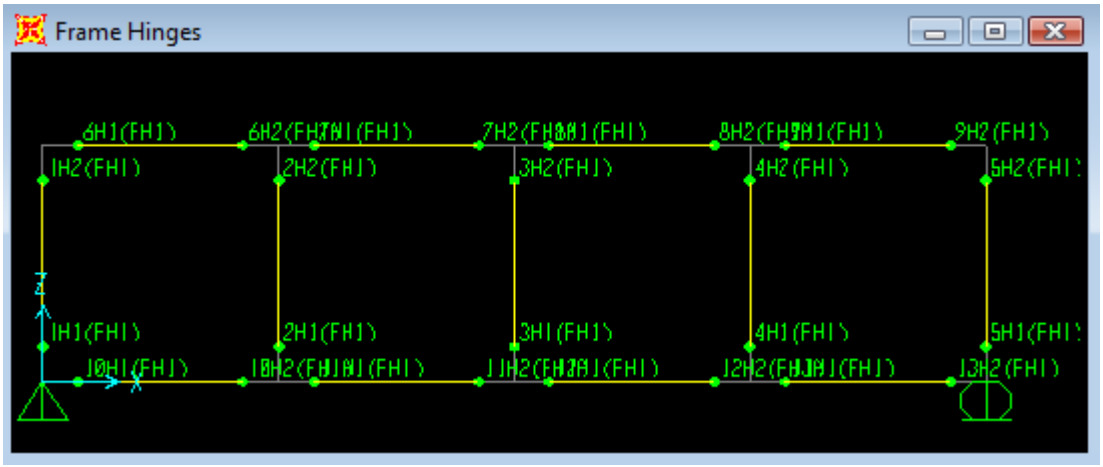
Bu tezde kullanılan plastik mafsallarda P-M etkileşimi dikkate alınmıştır. İlk ve son gözlerde kesme kuvveti kritik olduğundan ve boyutlandırmada kesme kuvvetine göre de kontrol yapıldığından plastik mafsal tanımlamalarında ayrıca kesme kuvveti

dikkate alınmamıştır. Plastik mafsal olarakda SAP 2000 programındaki default mafsal değerleri kullanılmıştır.



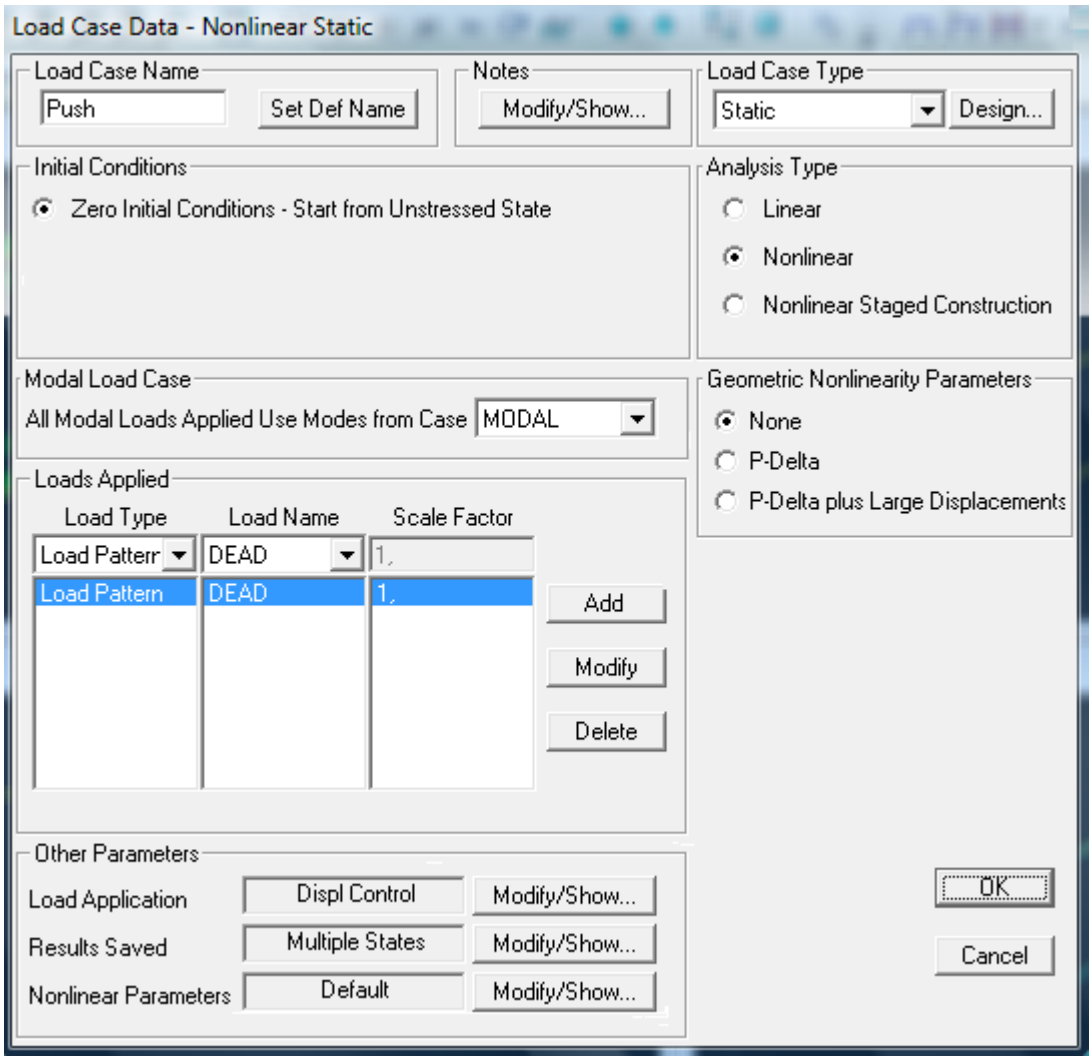
Şekil 3.13 : Kesitlere atanan mafsalların özelliği

Sonra, tanımlanan bu mafsal özelliği tüm çubuklara plastik mafsal oluşabilecek yerlere göre atanmıştır. Bu örnekte tüm elemanların her iki ucunda da plastik mafsal oluşabileceği için mafsallar Şekil 3.14'de görüldüğü gibi atanmıştır.



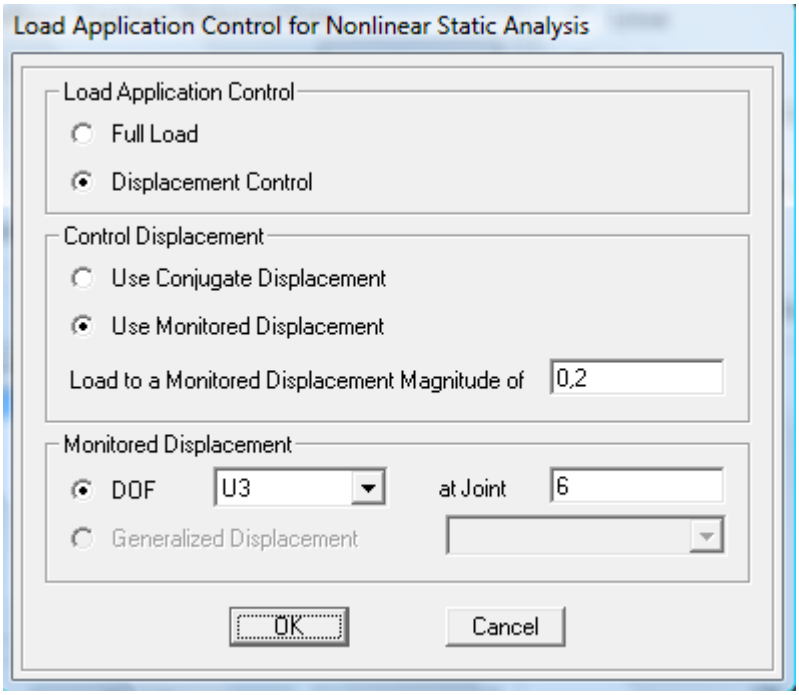
Şekil 3.14 : Sistemin plastik mafsallar atanmış durumu

Son olarak da "Define" menüsünden "Load Cases" bölümü seçilerek yeni bir yükleme durumu oluşturulmuştur. Bu yükleme durumu Şekil 3.15'da verilmiştir.



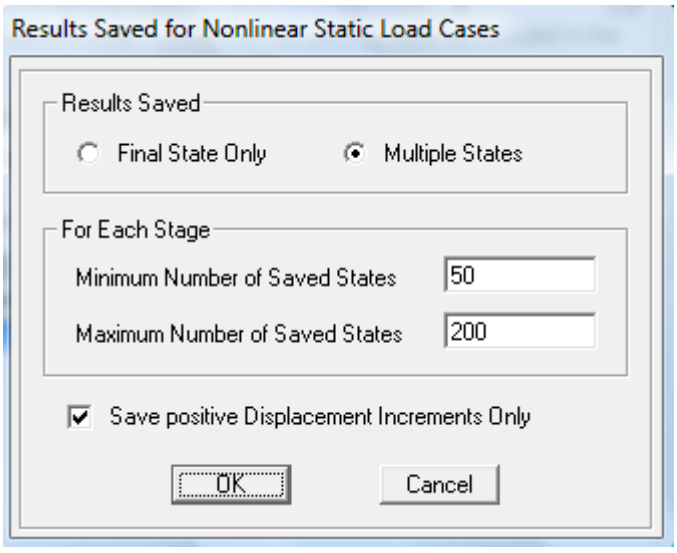
Şekil 3.15 : "Push" yükleme durumu

Burada "Load Application" bölümü işaretlenerek deplasman kontrolü seçili duruma getirilmiştir ve kiriş orta noktasının düşey yöndeki deplasman değişiminin incelenmesi için gerekli değişiklikler yapılmıştır (Şekil 3.16).



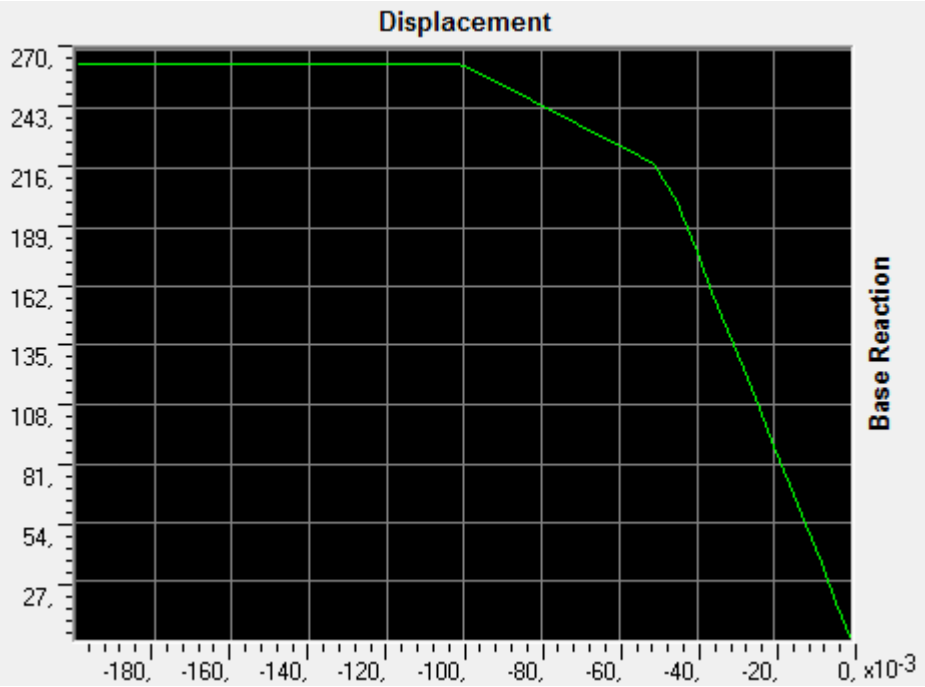
Şekil 3.16 : Deplasman kontrol bilgileri

Daha sonra yapılacak itme (pushover) analizinin adımlarının artış miktarının daha az olması, dolayısıyla daha duyarlı bir sonuç elde etmek için "Results Saved" kısmında gerekli ayarlamalar yapılmıştır (Şekil 3.17).

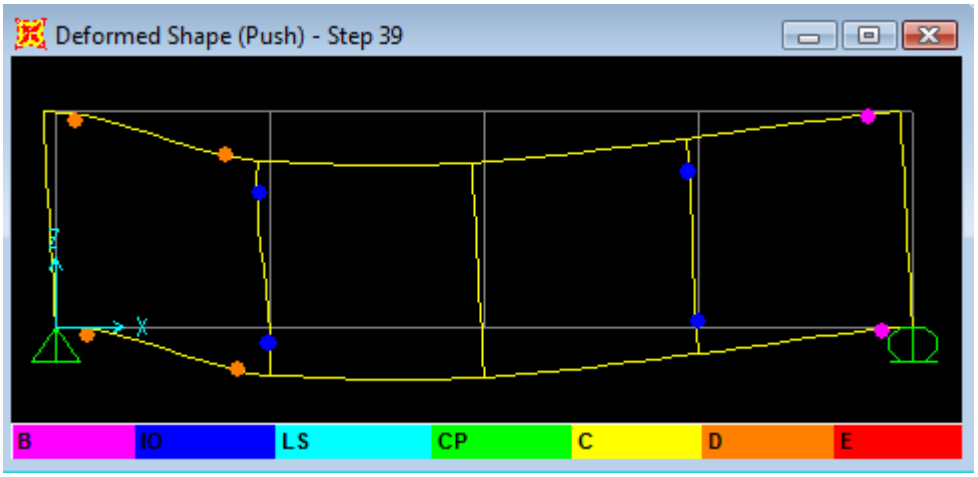


Şekil 3.17 : "Results saved" bölümü

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra hesap gerçekleştirilmiş ve pushover (itme) eğrisi (Şekil 3.18) ve göçme modu (Şekil 3.19) aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.18 : Pushover (itme) eğrisi



Şekil 3.19 : Elde edilen göçme modu

Elde edilen bu değerlere göre maksimum toplam düşey mesnet tepkisi (her iki düşey mesnet tepkilerinin toplamı) 263,23 kN bulunmuştur. Yükler 3F, 2F ve F şeklinde orantılı olduğundan elde edilen değer 6'ya bölünürse F_{lim} değeri elde edilir:

$$(F_{lim})_{sap2000}=263,23/6=43,87 \text{ kN} \quad \textbf{(3.15)}$$

Analitik yolla $F_{lim}=2,286M_p/L$ bulunmuştu. SAP 2000 programına girilen değerler bu bağıntıda yerine yazılacak olunursa:

$$M_p=W_p x \sigma_y = 235000x2,45x10^{-4}=57,575 \text{ kNm, L=3 m} \quad \textbf{(3.16)}$$

F_{lim}=2,286x57,575/3=43,87 kN **(3.17)**

değeri elde edilir.

Sonuç olarak $(F_{lim})_{SAP2000}$ değeri analitik yolla hesaplanan F_{lim} değerine eşit bulunur. Aynı zamanda SAP 2000 programından elde edilen göçme modu analitik yolla hesapnan F_{lim} değerinin elde edildiği göçme modudur. Böylece uygun varsayımlarla seçilen bir Vierendeel kirişte olan göçme modları ve bunlara karşı gelen göçme yükleri hesaplanabilmektedir. Verilen basit bir sistemin bile göçme yükünün hesabı, Vierendeel kirişlerin geometrik özellikleri ve ortaya çıkabilecek çok farklı bileşik mekanizma durumları nedeniyle yorucu olabilmektedir. Gerçek güvenliğin belirlenmesi göçme incelemesi gerektirdiğinden ve uygulamada Vierendeel kirişlerin uygun optimum tasarımına yönelik öneriler sınırlı kaldığından, değişik parametrelerin (Göz sayısı, göz yüksekliği/göz açıklığı, başlık ve dikme elemanların plastikleşme momenti değerlerinin sistem içindeki dağılımı, ilk ve son gözlerdeki elemanların daha rijit olması ile ilk ve son gözlere çekme diyagonallerinin yerleştirilmesi) göçme modu ve buna karşı gelen göçme yüküne etkisinin bu çalışmada ele alınması uygun görülmüş, sonuçta tasarıma yönelik bazı önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sözü edilen parametrik çalışmanın sonuçları 5. bölümde ana hatlarıyla verilmiş, detaylar ise EK-A'da sunulmuştur.

4. KULLANILAN YÖNETMELİKLER

Bu çalışmada boyutlandırmada kullanılan yönetmelikler ve bu yönetmeliklerde sunulan ana tasarım ilkeleri bu bölümün konusunu oluşturmaktadır.

4.1 AISC-ASD89'a Göre Boyutlandırma

AISC-ASD89'a göre boyutlandırmada kesitlerin sınıflarına ve biçimlerine (I,U ya da kutu gibi) göre izin verilen gerilmeler değişmektedir. Bu çalışma içerisinde kullanılan kesitler I kesit ve kompakt olduğu için burada kompakt I kesitlerin sınıflandırılmasına ve bunlar için izin verilen gerilmeler verilmiştir. AISC-ASD89 yönetmeliği kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar kip-inch-saniye birim sisteminde verilmiştir. Ancak, örneklerde Türkiye'de alışılagilmiş birimler kullanılmıştır [19,28].

4.1.1 Boyutlama yük kombinezonları

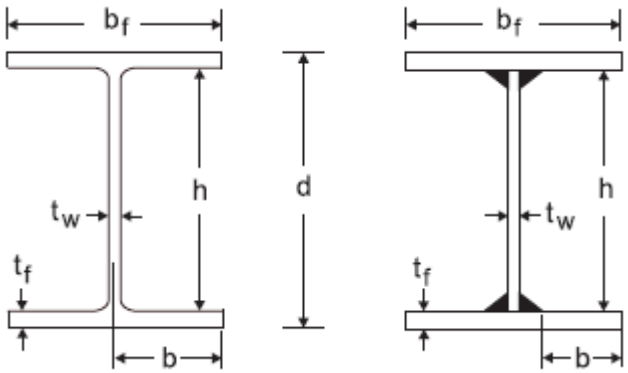
Yapının etkisi altında kaldığı yüklerin durumlarına göre çelik çerçevelerin boyutlandırılması için göz önüne alınması gereken yük kombinezonları aşağıdaki gibidir. Burada, "DL" yapı sabit yükünü (Ölü Yük), "LL" yapı hareketli yükünü, "WL" rüzgâr yükünü ve "EL" deprem yükünü temsil etmektedir. Rüzgâr ve deprem yüklerinin yön değiştiren yükler olması da göz önüne alınmıştır [19,28].

* DL
* DL+LL
* DL±WL
* DL+LL±WL
* DL±EL
* DL+LL±EL

Boyutlandırma deprem ve rüzgâr yüklerini içeren kombinasyonlarla yapılırken izin verilen gerilmeler %33 oranında arttırılır.

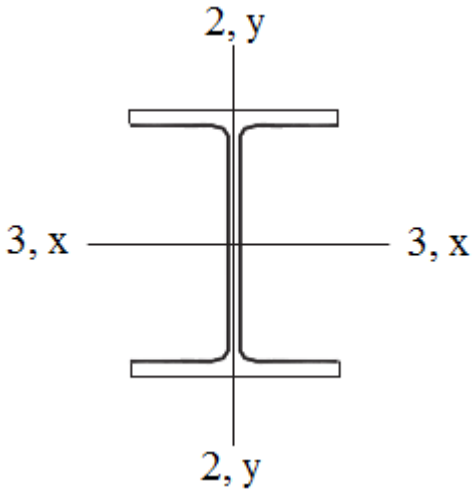
4.1.2 Kesitlerin sınıflandırılması

Eksenel basınç ve eğilme için emniyet gerilmeleri, kesitin kompakt, kompakt olmayan, narin ya da aşırı narin şeklindeki sınıflandırmaya bağlıdır. Çizelge 4.1'de genişlik/kalınlık sınırlaması oranlarına göre yapılan sınıflandırma görülmektedir. Bu tablodaki kesit değerlerinin tanımı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : I profil kesit ölçüleri

I profil üzerinde eksenler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Burada 2-2 ekseni gövdeye paralel kesit eksenidir. Bu eksen y-y ekseniyle aynıdır. 3-3 ekseni ise 2-2 eksenine dik olan eksendir. Bu eksen de x-x ekseniyle aynıdır [19,28].



Şekil 4.2 : Profil eksenleri

Çizelge 4.1 : Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
I Kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$\leq 65/\sqrt{F_y}$	$\leq 95/\sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 65/\sqrt{F_y}$	$\leq 95/\sqrt{F_y/k_c}$	Sınır Yok
	d / t_w	$\frac{f_a}{F_y} \leq 0,16$ için $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}}\left(1-3,74\frac{f_a}{F_y}\right)$	Sınır Yok	Sınır Yok
		$\frac{f_a}{F_y} > 0,16$ için $\leq 257/\sqrt{F_y}$		
	h / tw	Sınır Yok	sadece basınç için $\leq 253/\sqrt{F_y}$ Aksi durumda $\leq 760/\sqrt{F_b}$	$\leq \frac{14000}{\sqrt{F_y}\left(F_y+16,5\right)}$ ≤ 260

Kesit boyutları tabloda gösterilen sınırları aşmıyorsa kesit kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak sınıflandırılır.

Kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlıyorsa, kesit kompakt olarak sınıflandırılır [19,28].

Kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlamıyorsa, fakat kompakt olmayan kesitlerin şartlarını sağlıyorsa, kesit kompakt olmayan olarak sınıflandırılır.

Kesit her ikisinin de şartlarını sağlamıyor, ancak narin kesitler için gerekli şartları sağlıyorsa, kesit narin olarak sınıflandırılır. Narin kesit sınırlarını da aşarsa aşırı narin olarak sınıflanır.

I-kesitlerin gövde narinliği sınıflamasında, hiç bir berkitme levhasının kullanılmadığı varsayılmıştır [19,28].

4.1.3 Gerilmelerin hesabı

Narin olmayan kesitlerin her bir yük durumu için hesaplanan eleman gerilmeleri genelde tüm kesit alanı özelliklerine bağlıdır.

Kesit narin elemanlarla berkitilmiş bir elemana ilişkin narin bir kesit ise, örneğin I kesitindeki narin bir gövde gibi, bu durumda gerilmelerin hesaplanmasında kullanılacak etkin kesit modülü (ya da mukavemet momenti) azaltılmış gövde ölçülerine ve azaltılmış başlık ölçülerine bağlı olarak hesaplanır (4.1), (4.2), (4.3) [19,28].

$$f_a = P/A \quad \textbf{(4.1)}$$

$$f_b = M/S_{eff} \quad \textbf{(4.2)}$$

$$f_v = V/A_v \quad \textbf{(4.3)}$$

Eğilme normal gerilmeleri ise asal eksen özelliklerine bağlı olarak hesaplanır. I kesitlerde asal eksen geometrik eksenle çakışır.

4.1.4 Emniyet gerilmelerinin hesaplanması

4.1.4.1 Çekme emniyet gerilmesi

Emniyetli eksenel çekme gerilmesi değeri F_a, $0,6F_y$ olarak varsayılır.

$$F_a=0,6F_y \quad \textbf{(4.4)}$$

Net kesit kontrollerinin yapılmadığına dikkat edilmelidir. Çekme gerilmesi etkisindeki elemanlarda $l/r \leq 300$ olmalıdır [19,28].

4.1.4.2 Basınç emniyet gerilmesi

Eksenel basınç etkisindeki elemanlarda emniyet gerilmesi eğilmeli burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulma değerlerinden en küçüğüdür.
Basınç altında çalışan bir elemanda $Kl/r \leq 200$ olmalıdır.
Eğilmeli Burkulma

Eksenel basınç durumunda emniyet gerilmesi değeri F_a, tüm kesit özellikleri ve buna ilişkin C_c değerine bağlı olarak bulunan narinlik oranı Kl/r'ye bağlıdır. Burada, Kl/r değeri, $K_{33}l_{33}/r_{33}$ ve $K_{22}l_{22}/r_{22}$'nin büyüğüdür ve C_c değeri

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y} \quad \textbf{(4.5)}$$

ile belirlenir.

Kompakt elemanlarda F_a değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{Kl}{r} \le C_c \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{\left\{1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \tag{4.6}$$

$$\frac{Kl}{r} > C_c \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \tag{4.7}$$

Kompakt ve kompakt-olmayan kesitlerde Kl/r değerinin 200'den büyük olması durumunda, hesaplanan F_a değeri (4.7) bağıntısı kullanılarak hesaplanan F_a değerinden büyük olmayacak şekilde ayarlanır [19,28].

Eğilmeli ve Burulmalı Burkulma:

Eksenel basınç emniyet gerilmesi değeri F_a, eğilmeli-burulmalı burkulma ve burulmalı burkulma değerlerinin sınır değerlerinden aşağıdaki şekilde elde edilir (4.8, 4.9).

$$(Kl/r)_e \le C_c' \quad \text{ise,} \quad F_a = \frac{\left\{1 - \frac{(Kl/r)_e^2}{2C_c'^2}\right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)_e}{8C_c'} - \frac{(Kl/r)_e^3}{8C_c'^3}} \tag{4.8}$$

$$(Kl/r)_e > C_c' \text{ise} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \tag{4.9}$$

Burada,

$$C_c' = \sqrt{(2\pi^2 E)/QF_y} \tag{4.10}$$

$$(Kl/r)_e = \sqrt{(\pi^2 E)/F_e} \tag{4.11}$$

yazılabilir. ASD açıklamaları F_e'nin hesaplanmasında AISC-LRFD yönetmeliğinin 1986 yılındaki versiyonuna atıfta bulunmaktadır. AISC-LRFD yönetmeliğinin 1999 yılı versiyonu bu açıdan 1986 yılı versiyonu ile aynıdır.

I kesitler için:

$$F_e\left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z l_z)^2}+GJ\right]\frac{l}{I_{22}+I_{33}} \qquad \textbf{(4.12)}$$

verilmektedir.

K_z burulmalı burkulma için etkili boy çarpanıdır ve SAP2000 programında K_{22}'ye eşit alınır. l_{22} ve l_{33} zayıf ve kuvvetli yönlerdeki etkili boylardır. l_z burulmalı burkulma için etkili boydur ve l_{22}'ye eşit alınır.

4.1.4.3 Eğilmede emniyet gerilmesi

Eğilme emniyet gerilmesi kesitin geometrik şekline, eğilme eksenine, kesitin kompakt olup olmadığına ve boy parametresine bağlıdır. Bu çalışmada verilen örneklerde kompakt I kesitten başka bir kesit kullanılmadığı için burada yalnızca kompakt I kesitlerden söz edilecektir [19,28].

I-Kesitler:

Tüm I-kesitler için uzunluk parametresi, yanal doğrultuda tutulmamış uzunluk l_{22} olarak alınır ve bu değer kritik uzunluk l_c ile karşılaştırılır (4.13). Kritik uzunluk,

$$l_c=\min\left[\frac{76b_f}{\sqrt{F_y}},\frac{20000A_f}{dF_y}\right] \qquad \textbf{(4.13)}$$

olarak tanımlanır.

Kuvvetli eksende eğilme:

l_{22} değeri l_c'den küçükse kuvvetli yöndeki eğilme emniyet gerilmesi kompakt kesitlerde kesitlerin kaynaklı imalatlı mı yoksa çekme ürünü mü olduğuna bağlı olarak ve f_y'nin yaklaşık 448 MPa'dan (65 ksi) büyük olup olmadığına bağlı olarak belirlenir (4.14, 4.15) [19,28].

Kompakt kesitler için:

$$f_y \le 448\ \text{MPa}\ (65\ \text{ksi})\ \text{ise}\ F_{b33} = 0,66F_y \quad \textbf{(4.14)}$$

$$f_y > 448\ \text{MPa}\ (65\ \text{ksi})\ \text{ise}\ F_{b33} = 0,60F_y \quad \textbf{(4.15)}$$

eğer tutulmamuş uzunluk l_{22}, l_c'den büyükse o zaman kompakt I kesitler için eğilme emniyet gerilmesi l_{22}/r_T oranına bağlıdır.

$$\frac{l_{22}}{r_T} \le \sqrt{\frac{102\times10^3 C_b}{F_y}} \quad \text{için,} \quad F_{b33} = 0,60F_y \quad \textbf{(4.16)}$$

$$\sqrt{\frac{102\times10^3 C_b}{F_y}} \le \frac{l_{22}}{r_T} \le \sqrt{\frac{510\times10^3 C_b}{F_y}} \ \text{için,}$$
$$F_{b33} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y\left(l_{22}/r_T\right)}{1530\times10^3 C_b}\right]F_y \le 0,60F_y \quad \textbf{(4.17)}$$

$$\frac{l_{22}}{r_T} > \sqrt{\frac{510\times10^3 C_b}{F_y}} \ \text{için,}\ F_{b33} = \left[\frac{170\times10^3 C_b}{\left(l_{22}/r_T\right)^2}\right] \le 0,60F_y \quad \textbf{(4.18)}$$

ve F_{b33} (4.19) bağıntısından elde edilecek değerden daha küçük olmayacak şekilde alınır.

$$F_{b33} = \frac{120\times10^3 C_b}{l_{22}\left(d/A_f\right)^2} \le 0,60F_y \quad \textbf{(4.19)}$$

r_T , (Basınç başlığını ve gövde basınç alanının 1/3'ünün toplamı olan) bir kesitin gövde düzlemindeki bir eksen etrafında alınan atalet yarıçapıdır.

C_b, (4.20) ile hesaplanır.

$$C_b = 1,75 + 1,05\frac{M_a}{M_b} + 0,3\left(\frac{M_a}{M_b}\right)^2 \le 2,3 \quad \textbf{(4.20)}$$

Burada, M_a ve M_b tutulmamış parçanın uç momentleridir ve M_a sayısal olarak M_b'den daha küçüktür; M_a/M_b çift eğrilikli eğilme için pozitif ve tek eğrilikli eğilme için negatiftir. Ayrıca parça üzerindeki momentlerden herhangi biri M_b'den büyükse C_b 1.0 olarak alınır. Ayrıca düğüm noktası yer değiştirmesine karşı çaprazlanan,

diğer bir deyişle düğüm noktası sabit çerçeveler için ve konsollar için de C_b=1,0 alınır [19,28].

Zayıf eksende eğilme:

Zayıf yöndeki eğilme emniyet gerilmesi F_{b22} aşağıdaki gibi bulunur (4.21, 4.22).

Kompakt kesitler için:

$$f_y \le 448 \text{ MPa } (65 \text{ ksi}) \text{ ise } F_{b22} = 0,75F_y \quad \textbf{(4.21)}$$

$$f_y > 448 \text{ MPa } (65 \text{ ksi}) \text{ ise } F_{b22} = 0,60F_y \quad \textbf{(4.22)}$$

4.2 AISC-LRFD99'a Göre Boyutlandırma

AISC-LRFD99'a göre boyutlandırma da kesitlerin sınıflarına ve biçimlerine (I,U ya da kutu gibi) göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan kesitler I kesit ve kompakt olduğu için burada kompakt I kesitler için verilen değerler göz önüne alınacaktır. AISC-LRFD99 yönetmeliği kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe basitliği sağlamak üzere bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar kip-inch-saniye birim sisteminde verilmiştir. Ancak, ASD89'a göre yapılan örneklerde olduğu gibi, LRFD99'a göre çözülen örneklerde de Türkiye'de geçerli olan birimler kullanılacaktır [20,28].

4.2.1 Boyutlama yük kombinezonları

Boyutlama yük kombinezonları, belirtilen yükleme durumlarının, yapının kesit hesaplarında kullanılacak çeşitli birleştirme şekilleridir. AISC-LRFD99 yönetmeliğine göre eğer yapı ölü yük (DL), hareketli yük (LL), rüzgâr yükü (WL) ve deprem yükü (EL) taşıyorsa ve rüzgâr ve deprem yüklerinin yön değiştiren kuvvetler olduğu da göz önünde tutularak yük kombinezonları aşağıdaki gibidir [20,28]:

* 1,4DL

* 1,2DL+1,6LL

* 0,9DL±1,6WL

* 1.2DL+1,0LL±1,3WL

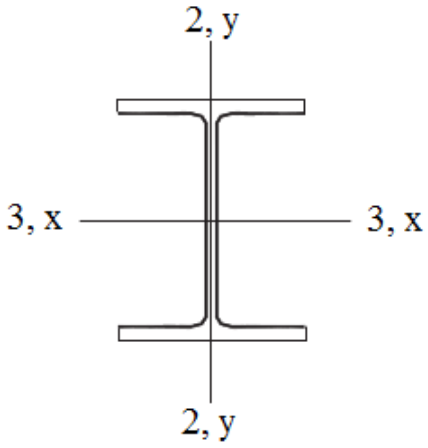
* 0,9DL±1,0 EL

* 1,2DL+1,0LL±1,0EL

4.2.2 Kesitlerin sınıflandırılması

Eksenel basınç ve eğilme için nominal dayanımlar, kesitin kompakt, kompakt olmayan, narin ya da aşırı narin olarak sınıflandırılmasına bağlıdır. Çizelge 4.2'de I profiller için yapılan sınıflandırma görülmektedir.

Benzer şekilde I profil üzerinde eksenler şekil 4.3'de gösterilmiştir. Burada 2-2 ekseni gövdeye paralel kesit eksenidir. Bu eksen y-y ekseniyle aynıdır. 3-3 ekseni ise 2-2 eksenine dik olan eksendir. Bu eksen de x-x ekseniyle aynıdır [20,28].



Şekil 4.3 : Profil eksenleri

Çizelge 4.2 : Eğilme etkisindeki kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları

Kesitin Tanımı	**Kontrol Edilen Oran (λ)**	**Kompakt Kesit (λ_p)**	**Kompakt Olmayan Kesit (λ_r)**
I Kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$0,38\sqrt{E / F_y}$	$0,83\sqrt{E / F_L}$
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$0,38\sqrt{E / F_{yf}}$	$0,95\sqrt{E / (F_L / k_c)}$
	h_c / t_w	$P_u / \varphi_b P_y \le 0,125$ $3,76\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-\frac{2,74P_u}{\varphi_b P_y}\right)$	$5,70\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-0,74\frac{P_u}{\varphi_b P_y}\right)$
		$P_u / \varphi_b P_y > 0,125$ $1,12\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(2,33-\frac{P_u}{\varphi_b P_y}\right)$ $\ge 1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

I-kesitlerin gövde narinliği sınıflamasında, hiç bir ara berkitme levhasının kullanılmadığı varsayılmıştır.

4.2.3 Arttırılmış kuvvetlerin hesaplanması

Elemanda basınca yol açan yük kombinezonları için arttırılmış moment M_u (karşı gelen yönlerdeki M_{u33} ve M_{u22}) ikinci derece etkileri hesaba katmak üzere büyütülür. Herhangi bir yöndeki büyütülmüş moment şu eşitlikle verilir.

$$M_u=B_1M_{nt}+B_2M_{lt} \quad \textbf{(4.23)}$$

Burada;

B_1 = Yanal ötelemesiz momentler için moment arttırma çarpanı

B_2 = Yanal ötemeli momentler için moment arttırma çarpanı

M_{nt} = Yanal ötelemeye yol açmayan çarpanlarla arttırılmış momentler

M_{lt} = Yanal ötelemeye yol açan çarpanlarla arttırılmış momentler

Moment arttırma çarpanları karşı gelen yönlerle ilgilidirler. Yanal ötelemeye yol açmayan momentler için moment arttırma çarpanı B_1 (4.24) ile verilir;

$$B_1 = \frac{C_m}{\left(1-P_u / P_e\right)} \geq 1,0 \quad \textbf{(4.24)}$$

Burada C_m moment dağılımını temsil eden bir katsayıdır. Enlemesine yük yoksa

$$C_m=0,6-0,4(M_1/M_2) \quad \textbf{(4.25)}$$

şeklinde hesaplanır. Enlemesine yük var ve ucu ankastre ise C_m=0,85, enlemesine yük var ve ucu ankastre değilse C_m=1,00 alınır.

Burada M_1 / M_2 oranı eleman uç momentlerinin, küçüğünün büyüğüne olan oranıdır, çift eğrilik için pozitif ve tek eğrilik içinse negatiftir [20,28].

Moment arttırma çarpanı B_1, pozitif bir sayı olmalıdır. Bu nedenle P_u, P_e'den küçük olmalıdır. Eğer P_u, P_e'ye eşit veya P_e'den büyük bulunursa, bir göçme durumunun oluştuğu ifade edilir.

SAP2000 boyutlama programı P-Δ etkilerini içeren analizin yapıldığını varsaydığından B_2 her iki yöndeki eğilme için 1.0 alınır [28].

4.2.4 Nominal dayanımların hesaplanması

Kompakt, kompakt-olmayan ve narin kesitler için basınç, çekme, eğilme ve kayma nominal dayanımları aşağıdaki alt bölümlere göre hesaplanır. I kesitler için enkesitler ile ilgili nominal dayanımlar bu kesitlerin eğilme asal eksenleri baz alınarak hesaplanır. I kesitler için asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Kayma gerilmesi ise geometrik eksenler doğrultusunda hesaplanır [20,28].

Dayanım azaltma çarpanı, φ, aşağıdakiler gibi alınır.

φ_t = Çekme için dayanım çarpanı, 0.9

φ_c = Basınç için dayanım çarpanı, 0.85

φ_b = Eğilme için dayanım çarpanı, 0.9

φ_v = Kayma için dayanım çarpanı, 0.9

4.2.4.1 Basınç kapasitesi

Nominal basınç dayanımı eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve eğilmeli burulmalı burkulmadan elde edilen minimum değerdir. Bu dayanımlar aşağıdaki alt bölümlere göre belirlenir [20,28].

Daha önce de belirtildiği gibi, basınç etkisindeki elemanlar için, Kl/r değeri 200'den büyük olamaz.

Eğilmeli Burkulma:

Nominal eksenel basınç dayanımı P_n, narinlik oranı Kl/r ve onun kritik değeri λ_c'ye bağlıdır. Burada, $Kl/r=\max(K_{33}l_{33}/r_{33}, K_{22}l_{22}/r_{22})$ olup

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \text{'dir} \qquad \textbf{(4.26)}$$

ile verilir.

Kompakt ve kompakt-olmayan kesitler için nominal eksenel basınç dayanımı değeri, Pn, eğilmeli burkulma için (4.27) ile bulunur.

$$P_n = A_g F_{cr} \qquad \textbf{(4.27)}$$

Burada,

$$\lambda \le 1,5 \text{ için } F_{cr} = \left(0,658^{\lambda_c^2}\right) F_y \quad \textbf{(4.28)}$$

$$\lambda > 1,5 \text{ için } F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right] F_y \quad \textbf{(4.29)}$$

alınmaktadır.

4.2.4.2 Çekme kapasitesi

Nominal eksenel çekme dayanımı değeri P_n brüt kesit alanına ve akma gerilmesine bağlıdır:

$$P_n = A_g F_y \quad \textbf{(4.30)}$$

Daha önce de belirtildiği gibi, çekme etkisindeki elemanlar için, l/r değeri 300'den büyük olamaz [20,28].

4.2.4.3 Eğilmede nominal dayanım

Nominal eğilme dayanımı kesitin geometrik şekline, eğilme eksenlerine, kesitin kompaktlığına ve yanal-burulmalı burkulma için narinlik parametresine bağlıdır. Enkesitler ile ilgili bütün şekiller için nominal dayanımlar onların eğilme asal eksenleri baz alınarak hesaplanır. I kesitler için asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Nominal eğilme dayanımı, aşağıdakiler gibi akmanın, enine-burulmalı burkulmanın, başlık yanal burkulmasının ve gövde buruşmasının sınır durumlarına göre elde edilen değerlerin minimumudur [20,28].

Akma:

Akma sınır durumu ile belirlenen, kirişlerin eğilmeye göre boyutlandırma dayanımı (4.31) ile verilmiştir.

$$M_p = ZF_y \le 1,5SF_y \quad \textbf{(4.31)}$$

Enine-Burulmalı Burkulma:

Kuvvetli eksen etrafında eğilen I kesitli elemanlar için moment kapasitesi (4.32), (4.33), (4.34) ile verilir:

$$L_b \le L_p \qquad \text{ise} \quad M_{n33} = M_{p33} \quad \textbf{(4.32)}$$

$$L_p < L_b < L_r \text{ ise } M_{n33} = C_b \left\{ M_{p33} - \left(M_{p33} - M_{r33} \right) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_{p33} \quad \textbf{(4.33)}$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad M_{n33} = M_{cr33} \leq M_{p33} \quad \textbf{(4.34)}$$

Burada;

M_{n33} = Kuvvetli eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımı,

M_{p33} = Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment,

M_{r33} = Kuvvetli eksen etrafındaki sınır burkulma momenti,

I-kesitler için $M_{r33} = \left(F_y - F_r \right) S_{33}$ **(4.35)**

M_{cr33} = Kritik elastik moment,

I-kesitler için $M_{cr33} = \left(C_b \pi / L_b \right) \sqrt{EI_{22} GJ + (\pi / L_b)^2 I_{22} C_w}$ **(4.36)**

L_b=Enine tutulu olmayan boy, l_{22},

L_p= Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı enine tutulu olmayan boy,

I-kesitler için $L_p = 300 r_{22} / \sqrt{F_y}$ **(4.37)**

L_r=Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınırlayıcı yanal tutulu olmayan boy,

I-kesitler için $L_r = \frac{r_{22} X_1}{F_y - F_t} \left\{ 1 + \left[1 + X_2 \left(F_y - F_t \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2}$ **(4.38)**

Denklem 4.38'deki X_1 ve X_2 değerleri (4.39) ve (4.40)'da, (4.36)'deki C_b değeri (4.41)'de verilmiştir.

$$X_1 = \frac{\pi}{S_{33}} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad \textbf{(4.39)}$$

$$X_2 = 4\frac{C_w}{I_{22}}\left(\frac{S_{33}}{GJ}\right)^2 \qquad \textbf{(4.40)}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \qquad \textbf{(4.41)}$$

M_{max}, M_A, M_B ve M_C elemanda sırasıyla maksimum momentin, açıklığın 1/4'ündeki, açıklığın ortasındaki ve açıklığın 3/4'ündeki kuvvetli eksen etrafındaki momentlerin mutlak değerleridir [20,28].

Zayıf eksen etrafında eğilen I kesitli elemanlar için moment kapasitesi (4.42) ile verilir.

$$M_{n22} = M_{p22} = Z_{22}F_y \le 1,5S_{22}F_y \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \qquad \textbf{(4.42)}$$

Başlıkların Yanal Burkulması:

Başlıkların yanal burkulma sınır durumu için kompakt-olmayan ve narin kirişlerin eğilmeli boyutlandırma dayanımı, M_n, kuvvetli eksen etrafındaki eğilme için (4.43a), (4.43b), (4.43c) ile zayıf eksen etrafındaki eğilme için (4.44a), (4.44b), (4.44c) ile hesaplanır [20,28].

$$\lambda \le \lambda_p \quad \text{ise} \quad M_{n33} = M_{p33} \qquad \textbf{(4.43a)}$$

$$\lambda_p \le \lambda \le \lambda_r \quad \text{ise} \quad M_{n33} = M_{p33} - \left(M_{p33} - M_{r33}\right)\left\{\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right\} \qquad \textbf{(4.43b)}$$

$$\lambda > \lambda_p \quad \text{ise} \quad M_{n33} = M_{cr33} \le M_{p33} \qquad \textbf{(4.43c)}$$

$$\lambda \le \lambda_p \quad \text{ise} \quad M_{n22} = M_{p22} \qquad \textbf{(4.44a)}$$

$$\lambda_p \le \lambda \le \lambda_r \quad \text{ise} \quad M_{n22} = M_{p22} - \left(M_{p22} - M_{r22}\right)\left\{\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right\} \qquad \textbf{(4.44b)}$$

$$\lambda > \lambda_p \quad \text{ise} \quad M_{n22} = M_{cr22} \le M_{p22} \qquad \textbf{(4.44c)}$$

M_{n33} = Kuvvetli eksen etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımı,

M_{n22} = Zayıf eksen etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımı,

M_{p33} = Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment, $Z_{33}F_y \leq 1.5S_{33}F_y$,

M_{p22} = Zayıf eksen etrafındaki plastik moment, $Z_{22}F_y \leq 1.5S_{22}F_y$,

M_{r33} = Kuvvetli eksen etrafında sınırlayıcı burkulma momenti

M_{r22} = Zayıf eksen etrafında sınırlayıcı burkulma momenti

M_{cr33} = Kuvvetli eksen etrafındaki burkulma momenti,

M_{cr22} = Zayıf eksen etrafındaki burkulma momenti,

λ = Kontrol eden narinlik parametresi,

$\lambda_p = M_n = M_p$ olan en büyük λ değeri,

λ_r = Burkulmanın elastik olmadığı en büyük λ değeridir.

Başlık yanal burkulması için λ, λ_p, λ_r, M_{r33}, M_{r22}, M_{cr33} ve M_{cr22} parametreleri I kesitler için (4.45)'den (4.51)'ye kadar verilmiştir.

$$\lambda = b_f / 2t_f \quad \textbf{(4.45)}$$

$$\lambda_p = 65 / \sqrt{F_y} \quad \textbf{(4.46)}$$

$$\lambda_r = 141 / \sqrt{F_y - F_r} \quad \textbf{(4.47)}$$

$$M_{r33} = \left(F_y - F_r\right) S_{33} \quad \textbf{(4.48)}$$

$$M_{r22} = F_y S_{22} \quad \textbf{(4.49)}$$

$$M_{cr33} = 20000 S_{33} / \lambda^2 \quad \textbf{(4.50)}$$

$$M_{cr22} = 20000 S_{22} / \lambda^2 \quad \textbf{(4.51)}$$

(4.47) ve (4.48)'deki F_r=69 MPa (10 ksi) alınır.

4.2.5 Kapasite oranlarının hesaplanması

Eksenel kuvvet / çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinezonunda eleman boyunca her bölüm için gerçek kuvvet / moment

bileşkeleri hesaplanır. Sonra, onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra, her bir boyutlama yük kombinezonlarının etkisi altında her elemanın her bölümündeki kapasite oranları hesaplanır. Kontrol eden basınç ve/ya da çekme kapasite oranı da ilgili bölüm ve yük kombinezonunda, elde edilir. 1.0'den büyük bir kapasite oranı bir sınır durumun aşılmış olduğunu gösterir [20,28].

4.2.5.1 Eksenel ve eğilme gerilmeleri

Etkileşim oranı, $P_u/\varphi P_n$ oranına dayanılarak hesaplanır. P_u çekme ise, P_n hesaplanan eksenel çekme dayanımı ve $\varphi=\varphi_t=0,9$'dur. P_u basınç ise, P_n hesaplanan eksenel basınç dayanımıdır ve $\varphi=\varphi_c=0,85$'dir. Ayrıca eğilme için dayanım çarpanı, $\varphi_b=0,90$'dır.

$P_u/\varphi P_n \geq 0,2$ için kapasite oranı denklem 4.52 ile, $P_u/\varphi P_n < 0,2$ için kapasite oranı (4.53) ile verilmiştir [20,28].

$$\frac{P_u}{\varphi P_n}+\frac{8}{9}\left\{\frac{M_{u33}}{\varphi M_{n33}}+\frac{M_{u22}}{\varphi M_{n22}}\right\} \qquad \textbf{(4.52)}$$

$$\frac{P_u}{2\varphi P_n}+\frac{8}{9}\left\{\frac{M_{u33}}{\varphi M_{n33}}+\frac{M_{u22}}{\varphi M_{n22}}\right\} \qquad \textbf{(4.53)}$$

4.2.5.2 Kayma gerilmeleri

Normal gerilmelere benzer şekilde her yük kombinezonu için her bölümdeki çarpanlarla arttırılmış kesme kuvveti değerleri ve hesaplanan kesme dayanımı değerlerinden kuvvetli ve zayıf eksen yönleri için kesme kapasitesi oranları $V_{u2}/\varphi_v V_{n2}$ ve $V_{u3}/\varphi_v V_{n3}$ şeklinde hesaplanır; burada $\varphi_v=0,90$'dır. I kesitler için kayma gerilmesi geometrik eksenle çakışan asal eksen doğrultusunda hesaplanır [20,28].

5. ÖRNEKLER

Vierendeel kirişlerdeki değişik yapısal düzenlemelerin sistemin doğrusal olmayan davranışı üzerine etkisini incelemek ve bu tür kirişlerin tasarımına yön verecek sonuçlara ulaşmk amacıyla sayısal örnekler üzerinde durulacaktır. Bu bölümde incelenecek parametreler arasında konstrüksiyon yüksekliği/göz açıklığı (b/a), gözleri çevreleyen elemanların rijitliklerindeki farklılıklar, sistemde tek ya da çift sayıda göz olması, ilk ve son gözlere çapraz eleman konulması gibi durumlar ele alınacaktır. İncelenen parametreler yeni Vierendeel kiriş tasarımlarında kullanılabileceği gibi, mevcut ancak bir nedenle güçlendirilmesi gereken kirişlerde de kullanılabilir (örneğin ilk ve son gözlerde çekme diyagonali eklenmesi).

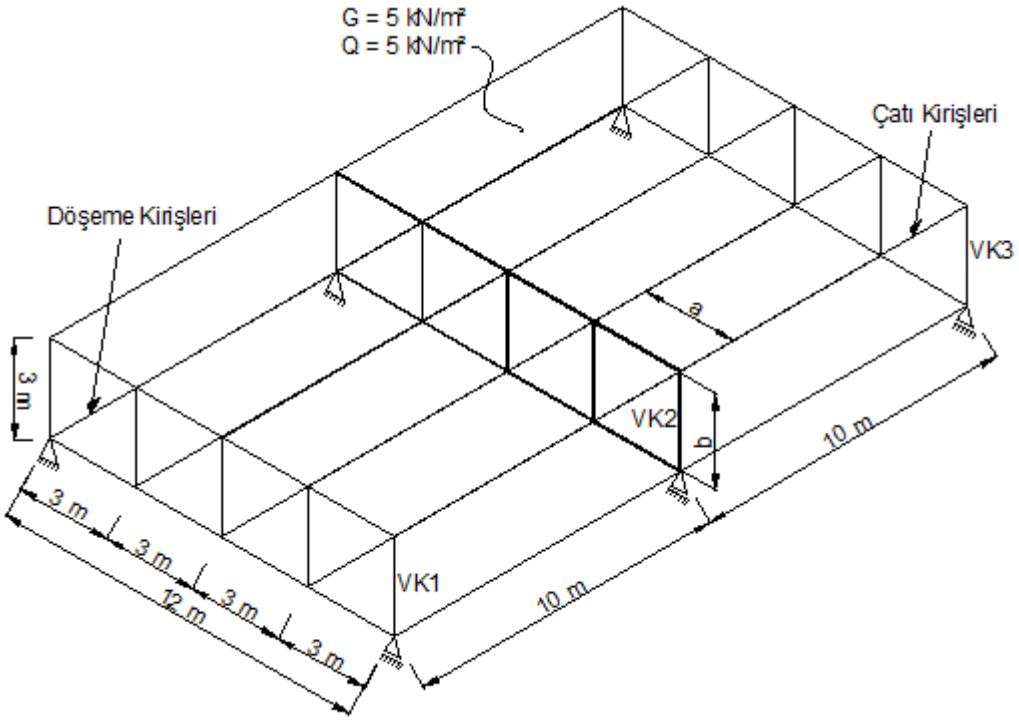
Geometrik şekilleri seçilen sistemde öncelikli olarak AISC-ASD89 [19] ve AISC-LRFD99 [20] yönetmeliklerine göre boyutlandırma yapılmış, daha sonra önceki bölümlerde açıklanan şekliyle göçme yükleri ve mekanizma durumları belirlenmiştir. Değişik biçimlerde tasarlanan sistemler göçme durumlarına göre karşılaştırılmış, bu tür kirişlerden daha iyi yararlanabilmek için tasarımda kullanılabilecek öneriler sunulmuştur.

5.1 Örnek 1

İlk olarak 12 m x 20 m plan ölçülerinde bir alanı örten, kısa doğrultuda 12 m açıklığında 10 m ara ile düzenlenmiş Vierendeel Kirişli bir taşıyıcı sistem ele alınmıştır (Şekil 5.1). Vierendeel Kirişler (V.K.) kat yüksekliği olan 3 m konstrüksiyon yüksekliğinde olup düğüm noktaları rijit olarak düşünülmüştür, gözler 3 m aralıklarla düzenlenmiştir. V.K.'lara çatıdan ve alt başlık düzeyinde oluşturulan kat döşemesinden yüklerin iletildiği düşünülmüştür. Bu ve bundan sonraki örneklerde yalnızca düşey yükler göz önüne alınmıştır; rüzgâr, deprem gibi yatay yükler incelemenin kapsamı dışında tutulmuştur. Yapılan hesaplar sonucunda çatıdan ve döşemeden düşey doğrultuda etkiyen öz ağırlıklar ve hareketli yükler sırasıyla toplam G=5 kN/m^2 ve Q=5 kN/m^2'dir. Döşeme ve çatı kirişleri ağırlıkta hesaba

katılmamıştır. Bu yüklemeler altında en elverişsiz kiriş VK2 kirişi olduğundan hesaplar bu kirişin üzerinden yürütülmüştür. Tüm düşey yüklerin düğüm noktalarına etkidiği varsayılmaktadır. Kirişi oluşturan elemanların kendi ağılıkları düğüm noktalarına etkitilerek hesaba katılmıştır, göz açıklıkları küçük olduğundan öz ağırlık nedeniyle ek momentlerin oluşmadığı düşünülmüştür.

Sistem AISC-ASD ve AISC-LRFD'ye göre ayrı ayrı SAP 2000 yardımıyla hesaplanacak, böylece farklı tasarım kriterlerinin etkisi de görülecektir. Tek örnek olması nedeniyle burada olabildiğince detay verilecek olmakla birlikte bundan sonraki parametrik çalışmada doğrudan tamamının sayısal sonuçları üzerinde durulacaktır. Kirişlerde düzlem dışı bir stabilite sorunu olmadığı ya da bir şekilde önlendiği varsayılmıştır. Diğer bir deyişle basınç başlığının burkulmasının önlendiği varsayılmıştır. Döşeme ve çatı kirişleri ağırlıkta hesaba katılmamıştır.



Şekil 5.1 : Seçilen Vierendeel kirişli taşıyıcı sistem

Fe 37 Özellikleri :

Elastisite Modülü (E)= $2x10^8$ kN/m^2

Poisson Oranı (ν)= 0,3

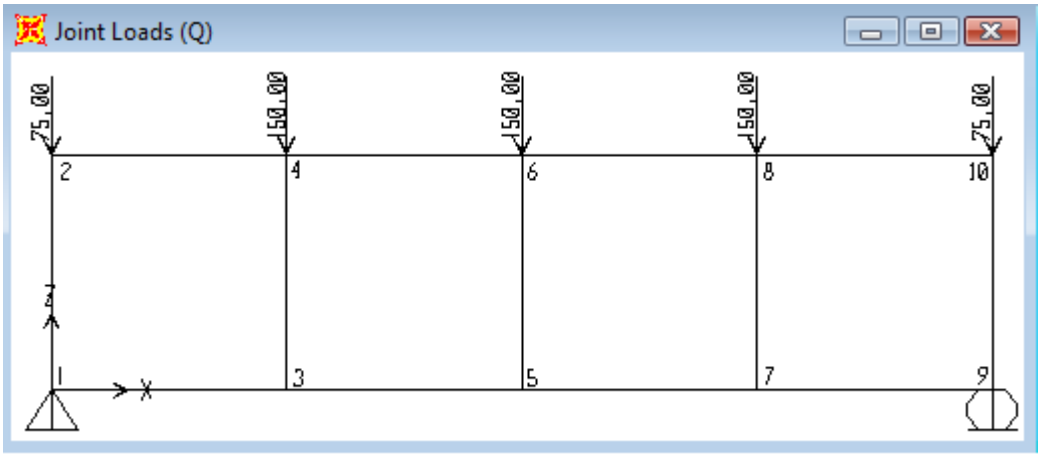
Birim Hacim Ağırlığı (γ) = 76,98 kN/m^3

Isı Genleşme Katsayısı (α) = 1,2E-5

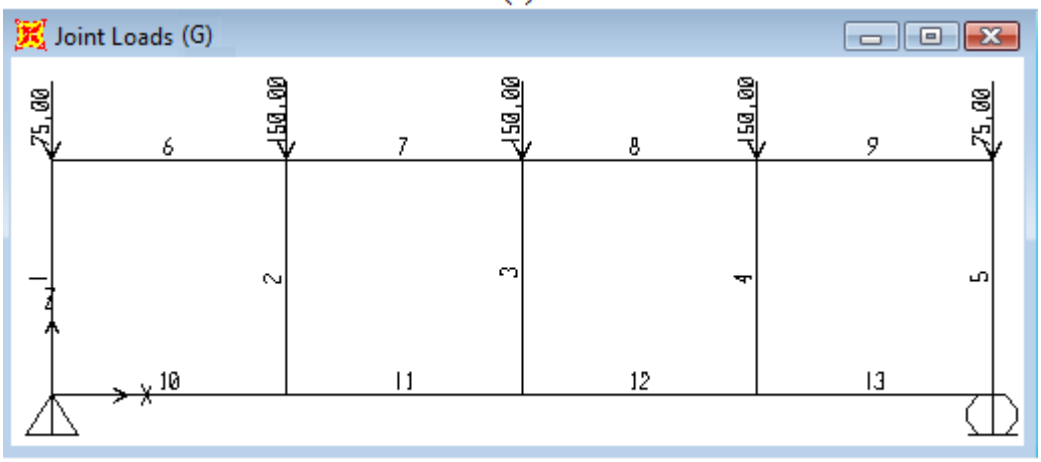
Akma Dayanımı (F_y) = 235000 kN/m^2

Çekme Dayanımı (F_d)= 363000 kN/m^2

Vierendeel Kirişi düğüm noktalarına etkiyen P_G ve P_Q tekil yükler yük alanlarından hesaplanabilir. Buna göre, ara düğüm noktalarına P_G=P_Q=5x10x3=150 kN, kenar düğüm noktalarına ise P_G/2=P_Q/2=75 kN etkimektedir (Şekil 5.2). Yüklerin üst başlıkta ya da alt başlıkta olması ana elemanlarda iç kuvvet dağılım değerlerini değiştirmeyeceğinden tüm kuvvetler üst başlığa etkitilmiştir.



(a)



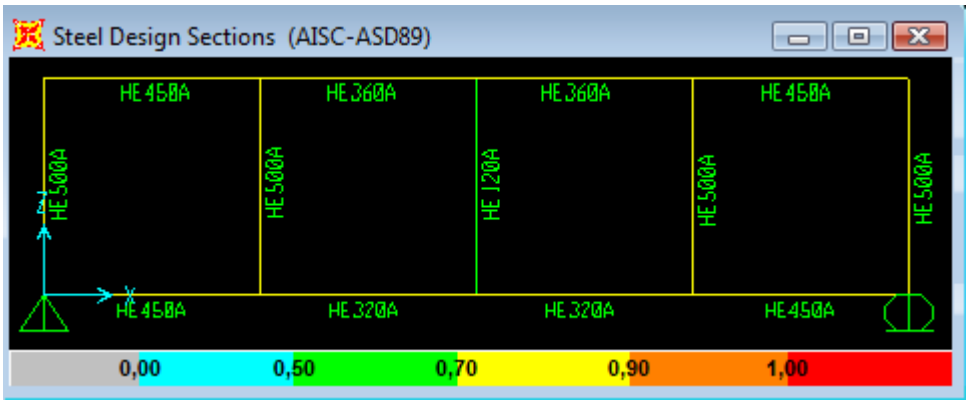
(b)

Şekil 5.2 : (a) P_Q yükleme durumu ve düğüm noktalarının numaraları, (b) P_G yükleme durumu ve çubuk elemanlarının numaraları

Hesaplar yapılırken bütün elemanlara tüm geniş başlıklı hafif I profillerinden HE100A'dan HE1000A'ya kadar oluşturulan bir grup atanmıştır. Böylelikle tasarım yapıldığında bu grup içinden uygun bir kesit program tarafından seçilmektedir. Genellikle program tarafından seçilen kesitler aynen bırakılsa da bazı elemanlara

atanan kesitler çeşitli nedenlerle birkaç profil üstü ya da birkaç profil altı atanarak değiştirilmiştir.

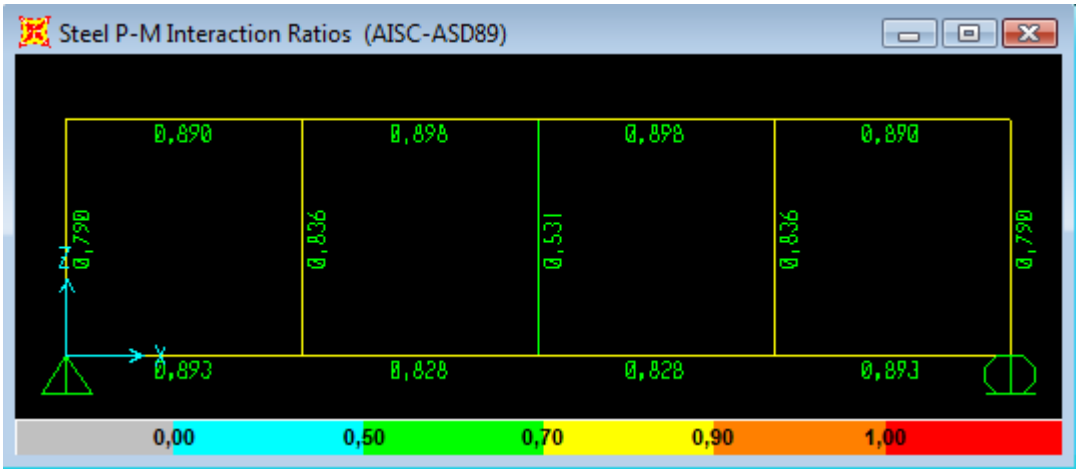
AISC-ASD89 [19]'a göre yapılan tasarım sonucu Şekil 5.3'de gösterilen kesitler elde edilmiştir. Bu hesaplar yapılırken G+Q yük kombinasyonu kullanılmıştır.



Şekil 5.3 : Örnek 1 için AISC-ASD89 tasarım kesitleri

Bu kirişte orta dikme yalnızca eksenel basınç etkisi aldığından en küçük profilin kullanılması yeterlidir. En büyük Kesme Kuvveti (T) ve Eğilme Momenti (M) mesnetlere komşu olan gözlerde oluştuğundan burada kullanılan kesitler sistemdeki en büyük kesitlerdir.

Atanan bu kesitlerdeki kapasite oranları, diğer bir deyişle verilen yükler altında kesitlerde oluşan gerilmelerin kesitlerin taşıyabileceği maksimum gerilmelere oranları ise Şekil 5.4'de verilmiştir.

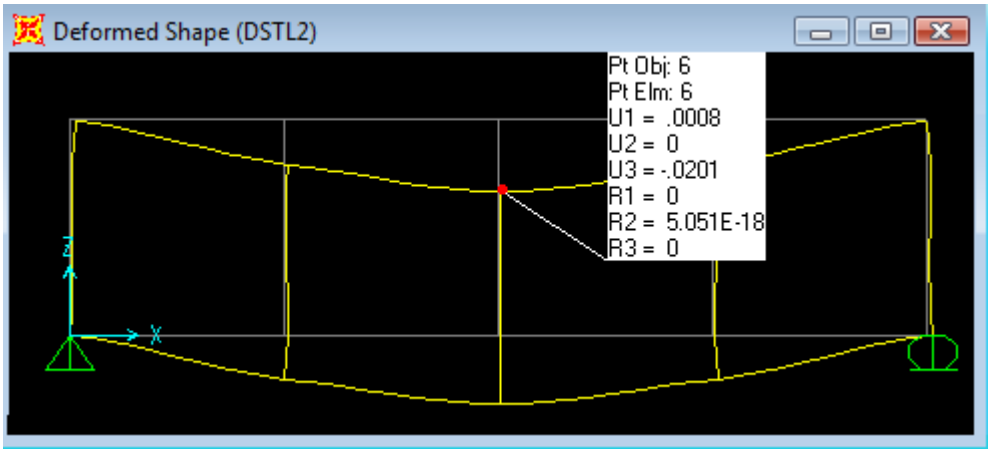


Şekil 5.4 : Örnek 1 için AISC-ASD89 kapasite oranları

Bu örnekte ve sonraki örneklerde kapasite oranları 0,75~0,95 arasında kalacak şekilde bir boyutlandırma yapılacaktır. Bundaki amaç kesitlerden olabildiğince

yararlanmaktır. Başlık kesitlerinde hesap sonucu gerekli kesitler kullanılmış, başka bir deyişle kiriş boyunca sabit kesit kullanımı yoluna gidilmiştir. Burada da orta dikme dışındaki tüm kesitlerde kapasite oranları 0,75~0,95 arasındadır; diğer taraftan ASD'ye göre önerilen maksimum kapasite oranı da 0,95'dir. Bu oranın geçildiği kesitlerde program aşırı gerilme uyarısı vermektedir.

Programın sağlamış olduğu hazır yük kombinasyonlarından DSTL2, diğer bir deyişle G+Q kombinasyonuna göre orta noktanın yer değiştirme (U1,U2 ve U3) ve dönme (R1,R2 ve R3) değerleri ve sistemin yer değiştirmiş durumu Şekil 5.5'de verilmiştir. U1,U2,U3 ve R1,R2,R3 değerlerindeki 1,2,3 numaraları sırasıyla global eksen takımları X,Y,Z'yi göstermektedir. Örneğin, U1 değeri X ekseni doğrultusundaki yer değiştirmeyi, R2 değeri de Y ekseni etrafındaki dönmeyi vermektedir.



Şekil 5.5 : Örnek 1 için G+Q kombinasyonuna göre kirişin şekil değiştirmiş hali

Çizelge 5.1 : Örnek 1 için düğüm noktaları deplasman ve dönmeleri

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1	G+Q	0,00	0,00	0,00	0	0,002096	0
2	G+Q	0,16	0,00	-0,03	0	0,002038	0
3	G+Q	0,02	0,00	-1,24	0	0,002147	0
4	G+Q	0,14	0,00	-1,25	0	0,002252	0
5	G+Q	0,08	0,00	-1,94	0	4,489E-18	0
6	G+Q	0,08	0,00	-2,01	0	5,051E-18	0
7	G+Q	0,14	0,00	-1,24	0	-0,002147	0
8	G+Q	0,03	0,00	-1,25	0	-0,002252	0
9	G+Q	0,16	0,00	0,00	0	-0,002096	0
10	G+Q	0,01	0,00	-0,03	0	-0,002038	0

Çizelge 5.1'den de görüldüğü gibi kirişin yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değeri 2,01 cm'dir. Kiriş toplam açıklığı 12 m olup, maksimum izin verilen düşey yer değiştirme değeri L/300 alınırsa

$$L/300=1200/300=4\ cm>2,01\ cm \quad \textbf{(5.1)}$$

elde edilir. Böylece yer değiştirme bakımından da sistemin güvenli olduğu görülür.

Vierendeel Kirişlerde kesme kuvvetlerinin oluşturduğu ikincil (sekonder) eğilmeler davranışı doğrudan etkilemekte, başka bir deyişle davranışı yönetmektedir; bu davranışa pek çok çalışmada "Vierendeel etkisi" de denilmektedir. Bu nedenle, ilk gözlerde oluşan yüksek kesme kuvvetleri altında mesnet (1 nolu düğüm noktası) ile ilk göz açıklığının sonu (3 nolu düğüm noktası) arasındaki göreli yer değiştirme değerleri önemli miktarlara ulaşabilir. Tüm kiriş açıklığı göz önüne alındığında açıklık ortasındaki analizinde çökmenin sınırlandırılması esas olarak amaçlanmıştır; bunun dışında ilk ve son gözlerdeki göreli y.d.'ler bazı sistemlerde göz açıklığının 1/300'ü yerine 1/125'ine kadar artmaktadır.

Rölatif yer değiştirme miktarı (η), a, göz aralığı, δ, yerdeğiştirme alınırsa

$$\eta=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,24-0)/300=4x10^{-3}<\eta_{max}=0,02 \quad \textbf{(5.2)}$$

olur. AISC-ASD89'a göre tasarım sonucu bir Vierendeel Kiriş için çelik ağırlığı toplam 47,65 kN'dur. Kullanılan profiller ve ağırlıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Örnek 1'de kullanılan profiller ve ağırlıkları

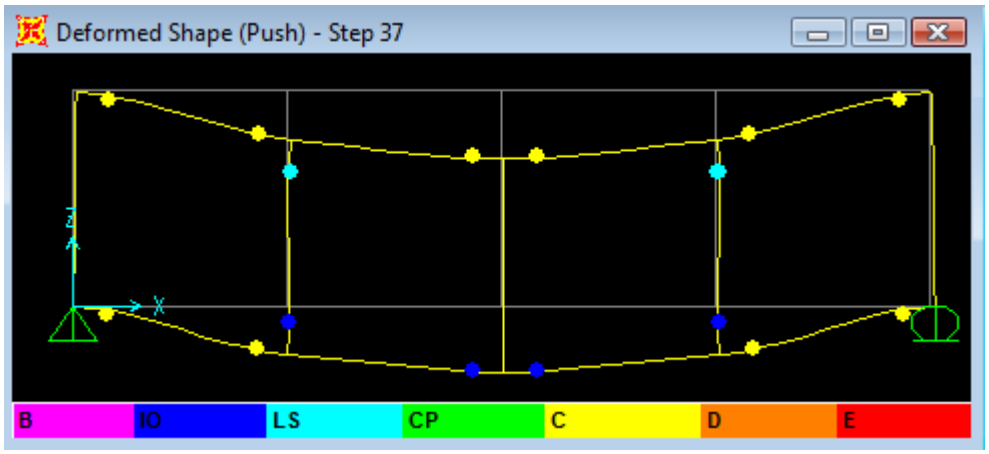
Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE360A	Fe37	0,0143	6,605
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
HE500A	Fe37	0,0198	18,29
Toplam			47,65

Elde edilen kesitlerle Vierendeel Kirişinin doğrusal olmayan statik analizi yapılacak olursa, pushover (itme) eğrisi Şekil 5.6'daki gibi elde edilir.



Şekil 5.6 : Örnek 1 için pushover (itme) eğrisi

Vierendeel Kirişi 37. adımda mekanizma durumuna gelmiştir. Bu adıma ait kirişin şekil değiştirmiş durumu ve plastik mafsalların oluşma yerleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Örnek 1 için kirişin itme (pushover) analizinde 37. adımdaki yer değiştirilmiş durumu

Sistemde maksimum mesnet tepkisi 2910,92 kN'dur. Toplamda kiriş üzerinde 4P'lik bir yük olduğu için P_{lim}=2910,92/4=727,73 kN'dur.

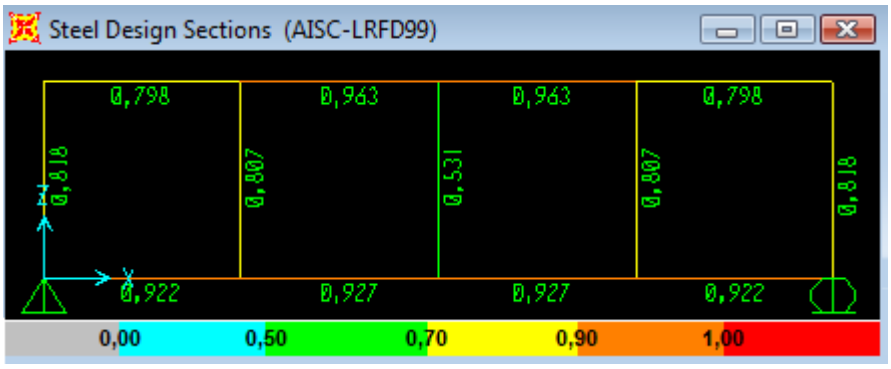
5.2 Örnek 2

Bu örnekte ise Örnek 1'deki Vierendeel kirişi AISC-LRFD99'a göre tasarlanmıştır. Tüm bilgiler Örnek 1'deki gibidir. Bu örnekte de hesaplar yapılırken bütün çubuklara tüm geniş başlıklı hafif I profillerden HE100A'dan HE1000A'ya kadar oluşturulan bir grup atanmıştır. Böylelikle çubuklara program tarafından uygun kesitler atanacaktır. Genellikle program tarafından seçilen kesitler aynen bırakılsa da bazı elemanlara atanan kesitler çeşitli nedenlerle birkaç profil üstü ya da birkaç profil altı atanarak değiştirilmiştir. AISC-LRFD99'a göre tasarım yapıldığında elde edilen kesitler Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



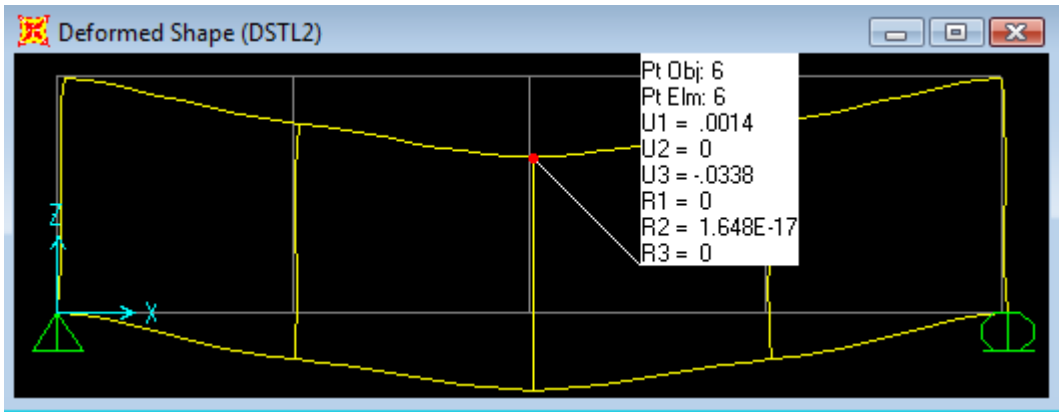
Şekil 5.8 : Örnek 2 için AISC-LRFD99 tasarım kesitleri

AISC-LRFD99'a göre tasarım yapıldığında Örnek 1'deki AISC-ASD89'a göre yapılan tasarımdan farklı olarak üst ve başlıklardan ikisinde iki alt profil, alt başlıkların ve dikmelerin ikisinde de bir alt profil seçilmiştir. Seçilen bu kesitlerin kapasite oranları ise Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 : Örnek 2 için AISC-LRFD99 kapasite oranları

Programın kendi otomatik olarak tasarımın yapıldığı yönetmeliğe göre seçtiği kombinasyonlardan DSTL2 (1,2G+1,6Q) kombinasyonuna göre şekil değiştirmiş durumu Şekil 5.10'da, yer değiştirme değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 5.10 : Örnek 2 için DSTL2 kombinasyonuna göre kirişin şekil değiştirmiş hali

Çizelge 5.3 : Örnek 2 için düğüm noktaları deplasmanları

Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1	1,2G+1,6Q	0,00	0,00	0,00	0	0,003303	0
2	1,2G+1,6Q	0,26	0,00	-0,05	0	0,0038	0
3	1,2G+1,6Q	0,03	0,00	-2,00	0	0,002991	0
4	1,2G+1,6Q	0,23	0,00	-2,02	0	0,003654	0
5	1,2G+1,6Q	0,14	0,00	-3,29	0	1,828E-17	0
6	1,2G+1,6Q	0,14	0,00	-3,38	0	1,648E-17	0
7	1,2G+1,6Q	0,25	0,00	-2,00	0	-0,002991	0
8	1,2G+1,6Q	0,05	0,00	-2,02	0	-0,003654	0
9	1,2G+1,6Q	0,28	0,00	0,00	0	-0,003303	0
10	1,2G+1,6Q	0,03	0,00	-0,05	0	-0,0038	0

Çizelge 5.3'de de görüldüğü gibi kirişin yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değeri 3,38 cm'dir. Kiriş toplam açıklığı 12 m olup maksimum izin verilen düşey yer değiştirme değeri L/300 alınırsa

$$L/300=1200/300=4\ cm>3,38\ cm \tag{5.3}$$

olur. Örnek 1'de de açıklandığı gibi 1 nolu düğüm noktası ile 3 nolu düğüm noktası arasındaki rölatif yer değiştirme miktarı hesaplanıcak olursa

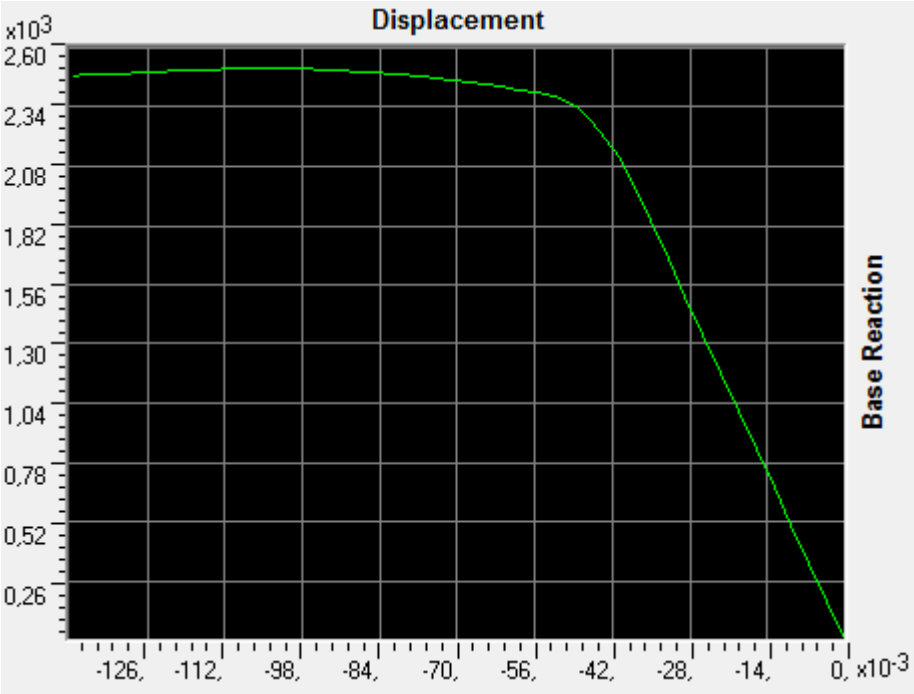
$$\eta=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,00-0)/300=0,007 \tag{5.4}$$

Olur. AISC- LRFD99'a göre tasarım sonucu bir Vierendeel Kiriş için kullanılan çelik ağırlığı toplam 43,74 kN'dur. Bu değerin ASD tasarımı sonucu elde edilen değere oranı 0,92'dir. Kullanılan profiller ve ağırlıkları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Örnek 2'de kullanılan profiller ve ağırlıkları

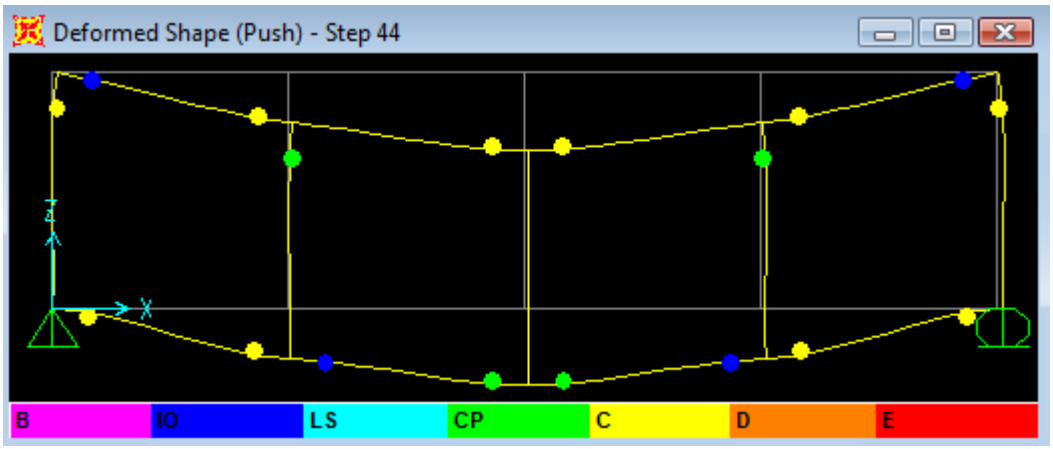
Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE280A	Fe37	0,00973	4,494
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE400A	Fe37	0,0159	7,344
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
Toplam			43,74

Elde edilen kesitlerle Vierendeel kirişinin itme (pushover) analizi yapılmış Şekil 5.11'deki gibi bir pushover eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 5.11 : Örnek 2 için pushover eğrisi

Vierendeel Kirişi 44. adımda mekanizma durumuna geçmiştir. Bu adıma ilişkin kirişin yer değiştirmiş durumu ve plastik mafsalların oluşma yerleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Örnek 2 için kirişin 46. adımdaki yer değiştirmiş durumu

Sistemde maksimum mesnet tepkisi 2514,88 kN'dur. Toplamda kiriş üzerinde 4P'lik bir yük olduğu için P_{lim}=2514,88/4=628,72 kN'dur. Bu yükün ASD ile tasarlanmış sistemde elde edilen yüke oranı 0,86'dır.

Yukarıda yapılan örnekler de dâhil olmak üzere bundan sonra yapılan tüm örneklerin sonuçları Ek-A'da verilmiştir. Ek-A'da verilen çözümler arasında tek sayıda göz olması durumunun da incelenmesi açısından 5 gözlü Vierendeel Kirişinin çözümleri de bulunmaktadır. Şekil 5.1'de verilen 4 gözlü Vierendeel Kirişli sistemden farklı olarak 5 gözlü Vierendeel Kirişin açıklığı L=15 m alınmıştır. Diğer tüm özellikler aynıdır. Örnekler sırasıyla şu ana başlıklar altında toplanmıştır:

1) Kapasite oranları 0,75~0,95 arasında olacak şekilde atanan kesitler kullanılarak ASD ve LRFD'ye göre yapılan hesaplar (4 ayrı b/a oranı için: b/a=0,50, 1,00, 1,50 ve 2,00),

2) Üst başlıklara, alt başlıklara ve dikmelere gruplama yapılarak ASD ve LRFD'ye göre yapılan hesaplar (4 ayrı b/a oranı için: b/a=0,50, 1,00, 1,50 ve 2,00),

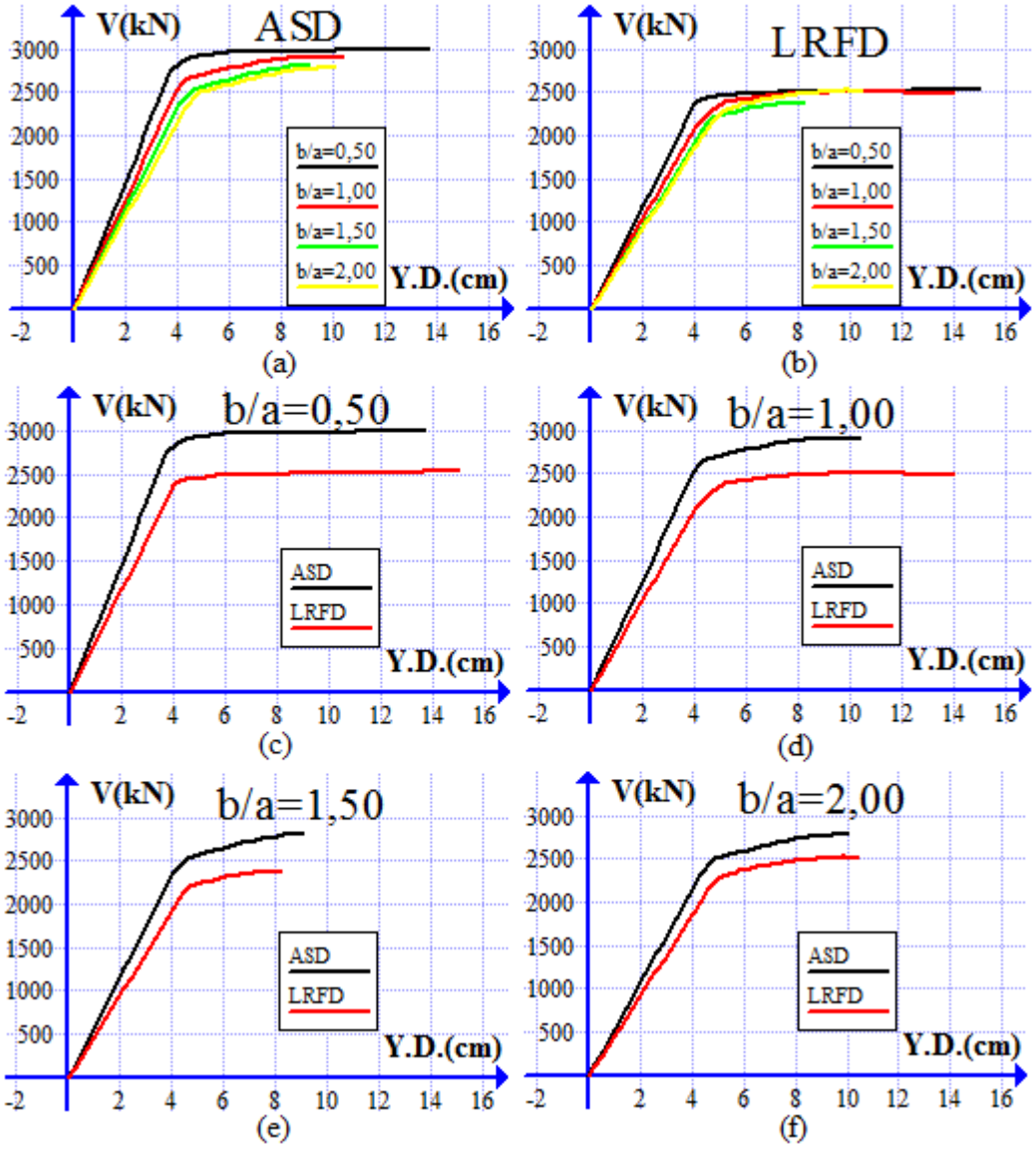
3) İlk gözdeki elemanlara profil grubundaki en rijit kesiti atayarak ASD ve LRFD'ye göre yapılan kesitler (ilk göz dışındaki elemanlar kapasite oranları 0,75~0,95 arasında olacak şekilde atanmıştır. Yalnızca b/a oranı 1,00 olan kiriş için),

4) İlk ve son gözlerde çekme kuvveti alacak şekilde diyagonal eleman yerleştirilerek ASD ve LRFD'ye göre yapılan hesaplar. Bu hesaplar 2 değişik şekilde yapılmıştır (yalnızca b/a oranı 1,00 olan kiriş için):

a) Tüm kirişi yeniden boyutlandırarak,

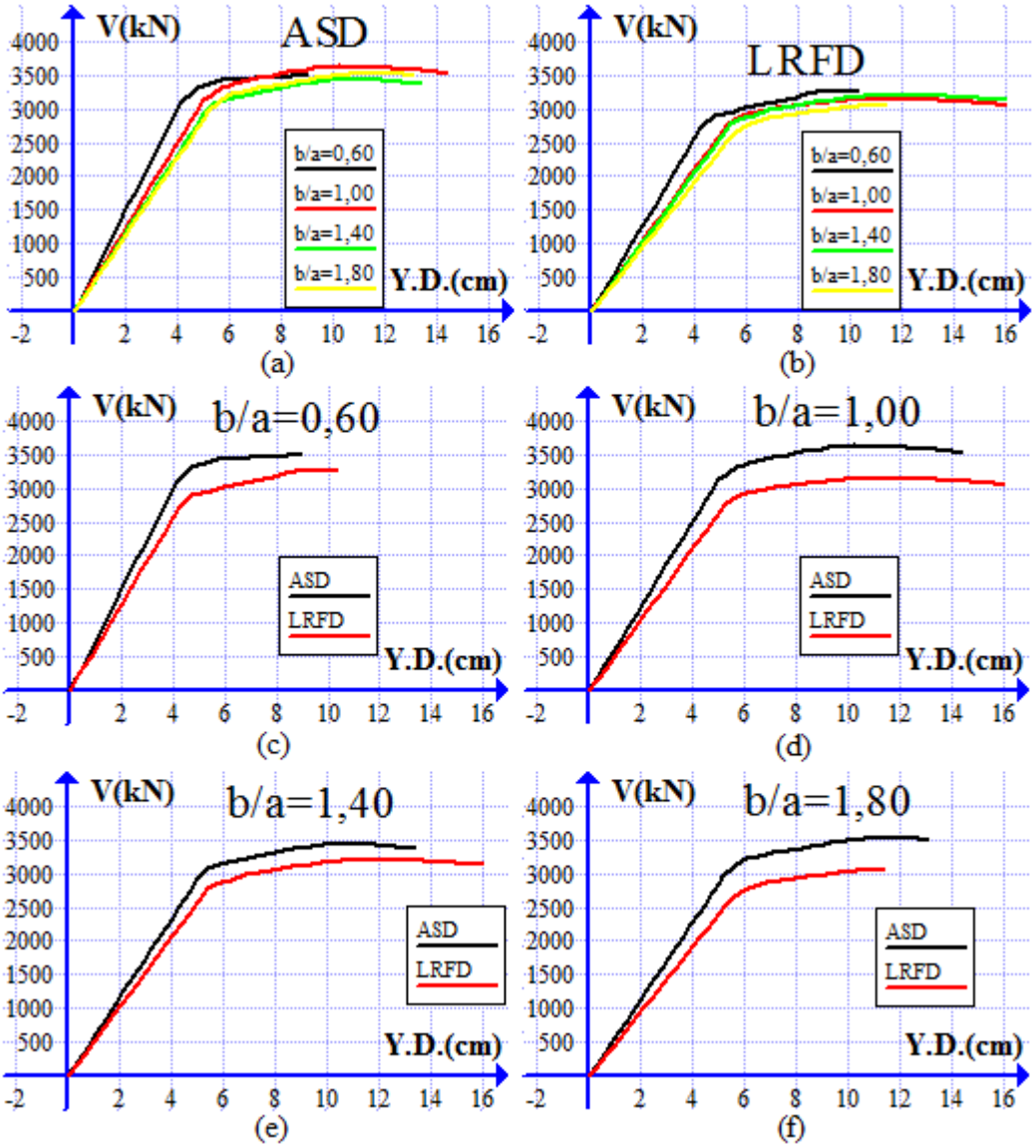
b) Gruplama yapılmış kirişlere uygulanarak.

Yukarıda sözü edilen başlıklar altında yapılan örneklere ilişkin hesap sonuçları Ek-A'da sırasıyla verilmiştir. Ayrıca tüm örneklerde kullanılan profiller ve ağırlıkları, eleman iç kuvvet değerleri ve düğüm noktası yer değiştirmeleri tablolar halinde ilgili örneğin arkasından verilmiştir.



Şekil 5.13 : L=12 m açıklığındaki Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,50, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,50, (f) b/a=2,00

Karşılaştırma yapabilmek için uygulamaların sonucundan elde edilen pushover (itme) eğrileri çeşitli parametreler sabit tutularak birlikte tek grafikte birleştirilmiştir. Bu grafikler Şekil 5.13, 5.14, 5.15 , 5.16'da verilmiştir.

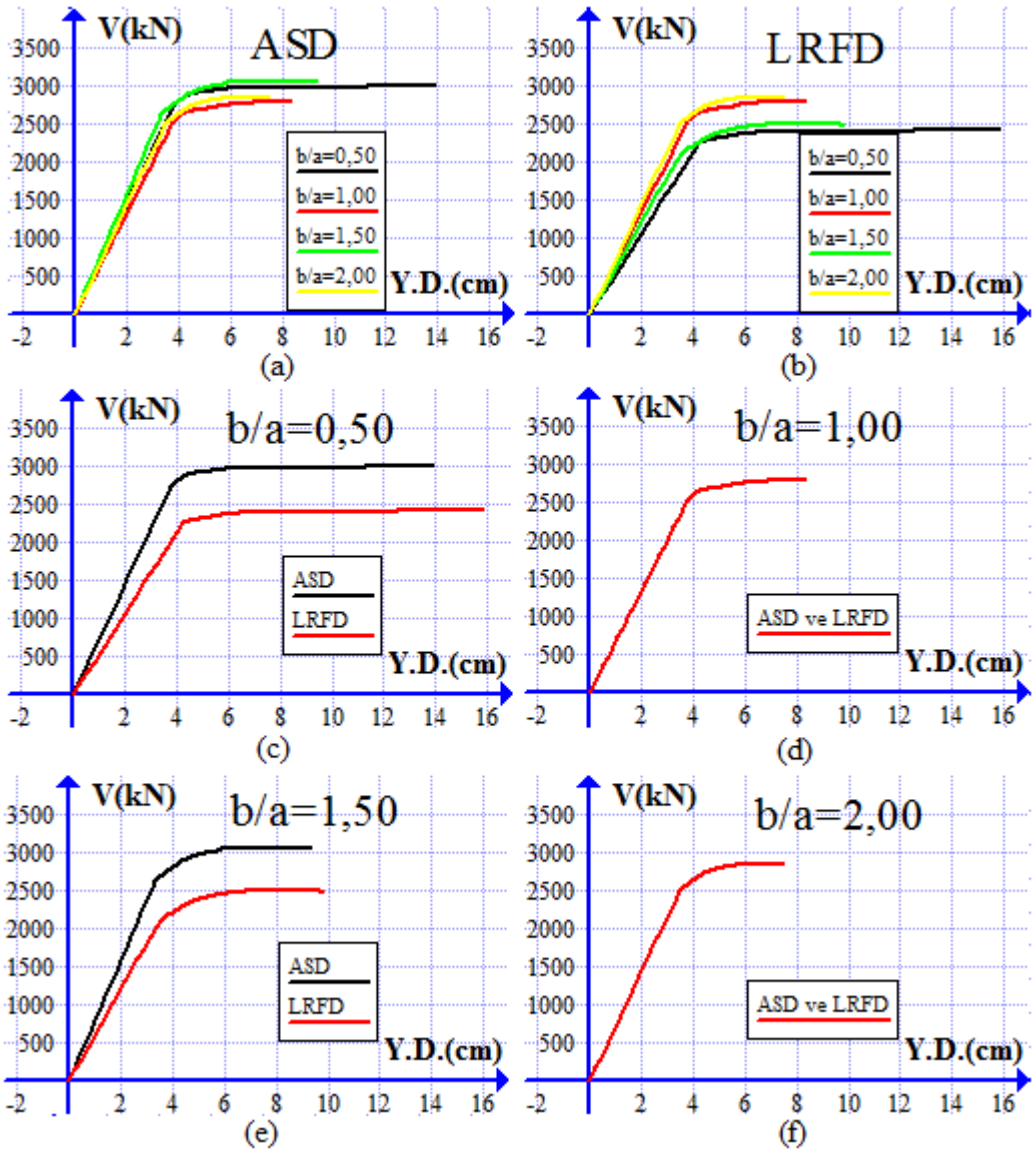


Şekil 5.14 : L=15 m açıklığındaki Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,60, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,40, (f) b/a=1,80

Şekil 5.13 ve 5.14'de (a) ve (b) şekillerinde ASD ve LRFD'ye göre tasarımların her ikisinde de tüm b/a oranları tek bir grafikte toplandığında, açıkça belli oluyor ki b/a oranı küçüldükçe pushover (itme) eğrilerinin elastik bölgesindeki eğimlerin, başka bir deyişle sistemin başlangıç rijitliğinin artmakta olduğu görülmektedir. b/a oranının küçülmesi dikme aralıklarının artması anlamına gelmektedir. Aslında dikme aralıkları arttığında kirişin rijitliğinin daha küçük çıkması beklemekle birlikte yeterli güvenlik için seçilen profillerin kesitleri büyüdüğünden, b/a oranı küçük olsa da kirişlerin başlangıç rijitliklerini artmaktadır.

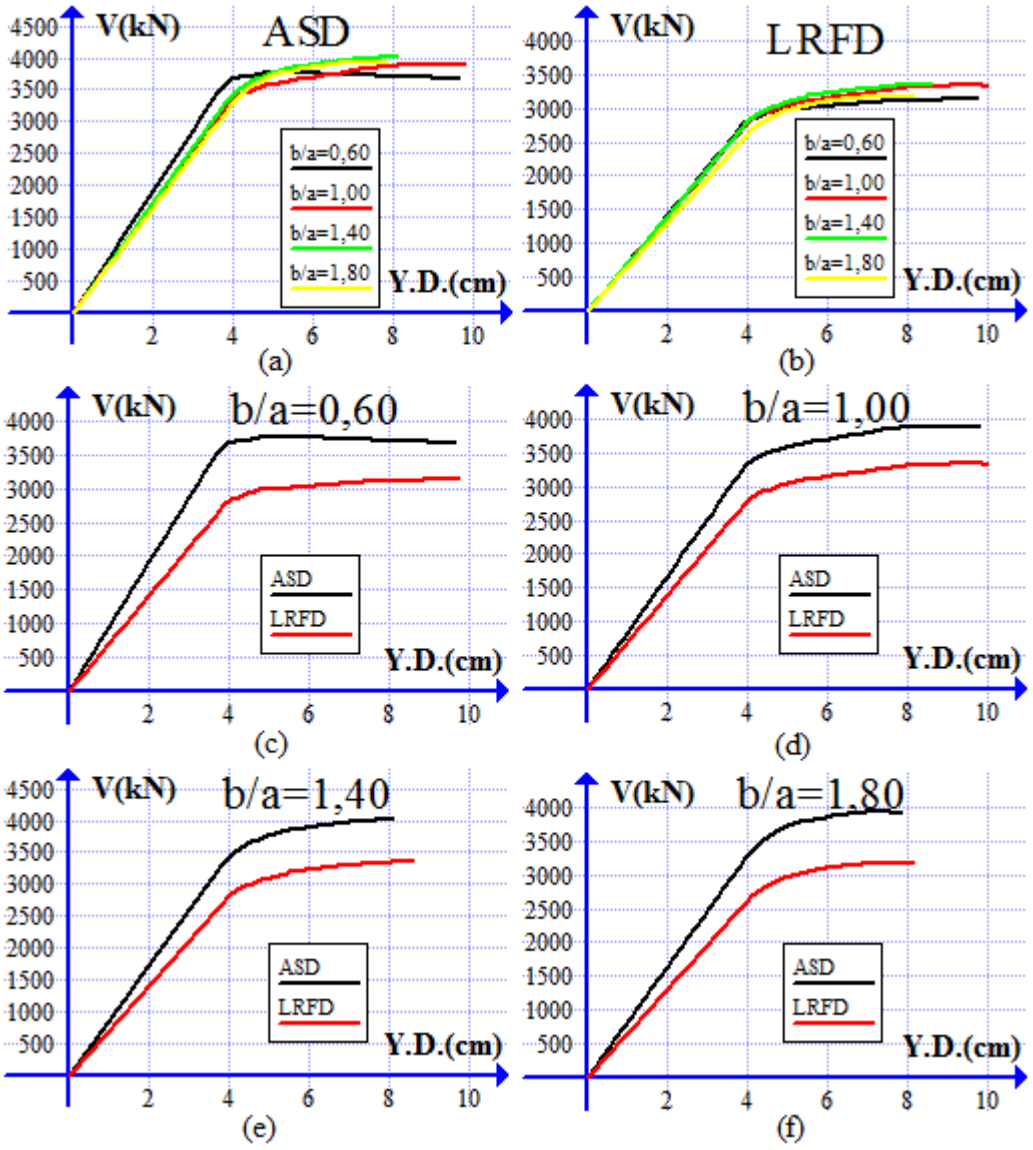
L=12 m ve L=15 m için aynı b/a oranlarının ASD ve LRFD'ye göre tasarımlarına bakılırsa, LRFD'ye göre tasarımın daha sünek olduğu, ancak ASD'ye göre kesitlerin daha küçük olmasından dolayı taşıma kapasitelerinin daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. L=12 m için yalnızca b/a=1,50 oranında LRFD'ye göre tasarım daha sünek çıkmamıştır; bu durum diğer tüm oranlarda ASD ve LRFD'ye göre tasarımda benzer göçme modları meydana gelmesine bağladır. b/a=1,50 için, ASD'ye göre tasarımda ilk ve son iki gözlerin birleşimiyle elde edilen göçme modu oluşmuşken, LRFD'ye göre yalnızca ilk ve son gözlerde göçme modu oluşmuştur. Aynı durum L=15 m olan kirişte b/a=1,80 için meydana gelmiştir.

L=12m için tüm b/a oranlarında ASD'ye göre tasarım yapıldığında LRFD'ye göre taşıma kapasitesi 1,1~1,2 katına çıkmaktadır. L=15 m içinse bu katsayı 1.05~1,15 civarındadır



Şekil 5.15 : L=12 m gruplama yapılmış Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,50, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,50, (f) b/a=2,00

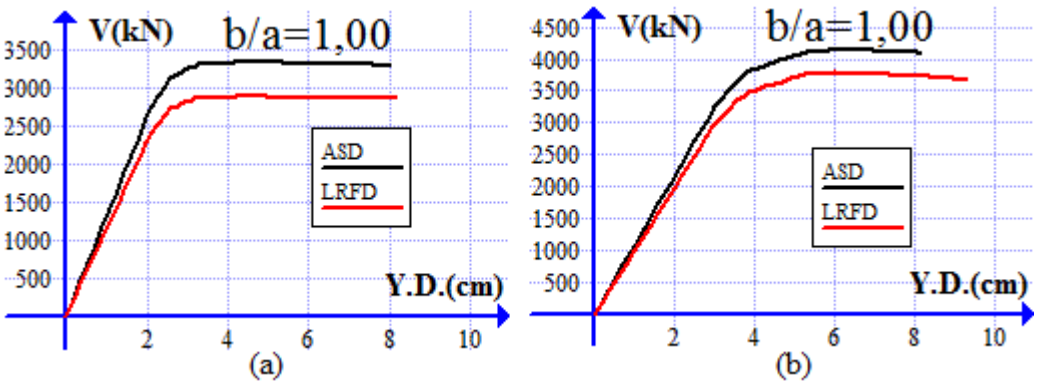
Gruplama yapılmış L=12 m ve L=15 m olan kirişlerde rijitlikler b/a oranlarıyla belirli düzende değildir. Bunun nedeni, seçilen profillerin kesitleriyle açıklanabilir. Örneğin Şekil 5.15'de L=12m için ASD'ye göre tasarımda b/a=1,50 için rijitlik en fazlayken, LRFD'ye göre tasarımda b/a=2,00 için rijitlik en fazladır.



Şekil 5.16 : L=15 m gruplama yapılmış Vierendeel kirişinin pushover (itme) eğrileri: (a) ASD'ye göre tasarım, (b) LRFD'ye göre tasarım, (c) b/a=0,60, (d) b/a=1,00, (e) b/a=1,40, (f) b/a=1,80

Gruplama yapılmış L=12 m olan Vierendeel kirişinde b/a oranı 1,00 ve 2,00 için ASD ve LRFD'ye göre tasarımda aynı kesitler elde edildiğinden dolayı, pushover (itme) eğrileri de üst üste çakışmaktadır.

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi her iki açıklıkta da LRFD'ye göre tasarım yapıldığında kiriş daha sünek bir davranış göstermektedir.

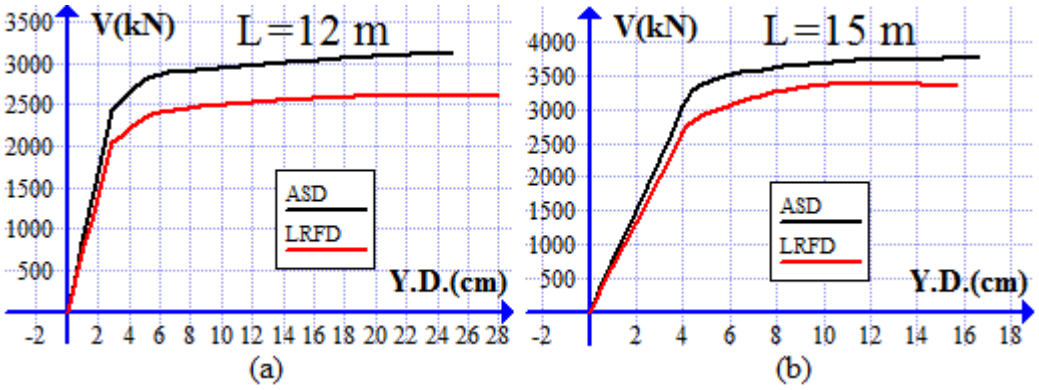


Şekil 5.17 : İlk ve son gözler rijit Vierendeel kirişi: (a) L=12 m, 4 gözlü, (b) L=15 m 5 gözlü

Vierendeel kirişlerinde ilk ve son gözlerde kesme kuvvetlerinin en yüksek değerleri almasından yola çıkarak bu gözlerin daha rijit olması için kullanılan profillerden en büyüğü HE1000A profili kullanılmıştır. Diğer elemanlara atanan profiller program tarafından seçilmiştir. 4 gözlü Vierendeel kirişde HE1000A'dan sonra gelen en büyük profil HE320A'dır ve bu profilin plastik mukavemet moment değeri HE1000A'nınkinin 7,86'da biridir. 5 gözlü Vierendeel kirişde HE1000A'dan sonra gelen en büyük profil HE450A'dır ve bu profilin plastik mukavemet moment değeri HE1000A'nınkinin 3,98'de biridir. Bu değerler ile ilk ve son gözlerde yeterli rijitliğin sağlandığı düşünülmektedir. Burada HE1000A profilinin yüksekliği yaklaşık 1 metre olması nedeniyle konstrüktif açıdan uygun bir kiriş elde edilmemekle birlikte böyle bir durumda davranıştaki ve göçme modlarındaki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk ve son gözün rijit ve ilk ve son gözde çelik çekme diyagonali olacak şekilde oluşturulan Vierendeel kirişleri örnek olması bakımından uygulamada sıkça kullanılan b/a=1,00 oranı için incelenmiştir. Bu tür oranlar mimari açıdan daha uygun olabilmekte ve pek çok Vierendeel kirişleri bu şekilde tasarlanmaktadır. Şekil 5.17'de L=12 m için ASD'ye göre tasarım LRFD'ninkinden yaklaşık 1,16 kat, L=15 m için ise yaklaşık 1,09 kat taşıma kapasitesi sağlamaktadır. Ancak, çoğunlukla olduğu ve Şekil 5.17'den de görüldüğü gibi LRFD'ye göre tasarım ASD'ye göre daha sünek bir davranış göstermektedir.

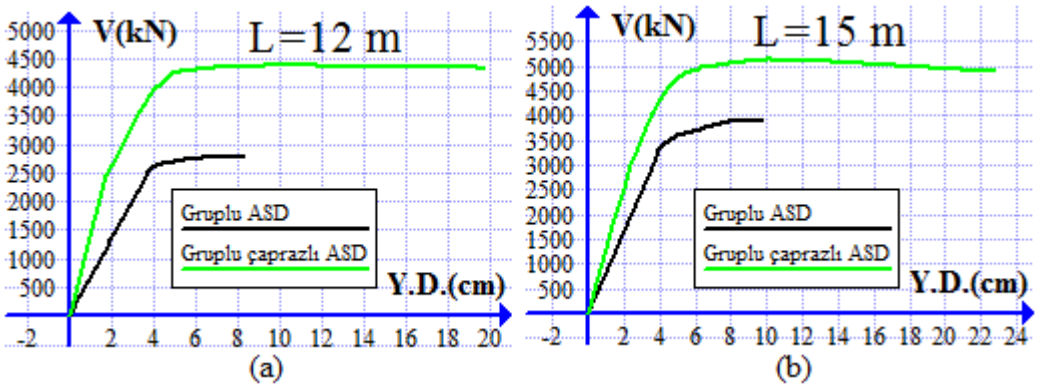
Vierendeel kirişlerinin ilk ve son gözlerdeki iç kuvvetler bu gözlere diyagonal çekme elemanları koyarak kontrol edilebilir; bu durum mevcut bir kirişte güçlendirme amacıyla da yapılabilir. Şekil 5.18'de de ilk ve son gözlere diyagonal eleman konulması sonucu elde edilen değerler grafik olarak verilmiştir. Ayrıca gruplu olarak düzenlenen Vierendeel kirişine de diyagonal eleman konularak elde edilen değerler

de Şekil 5.19'da verilmiştir. Gruplu Vierendeel kirişine diyagonal konulduğunda hem 4 gözlü hem de 5 gözlü kirişte ASD ve LRFD'ye göre tasarımda aynı kesitler elde edildiğinden dolayı bu çalışmada yalnızca ASD'ye göre elde edilen değerler verilmiştir (Şekil 5.19).



Şekil 5.18 : İlk ve son gözler diyagonalli Vierendeel kirişi (b/a=1,00): (a) 4 gözlü, (b) 5 gözlü

Daha önceki örneklerde de belirtildiği gibi burada da ASD'ye göre tasarım daha fazla taşıma kapasitesi sağlamaktadır.

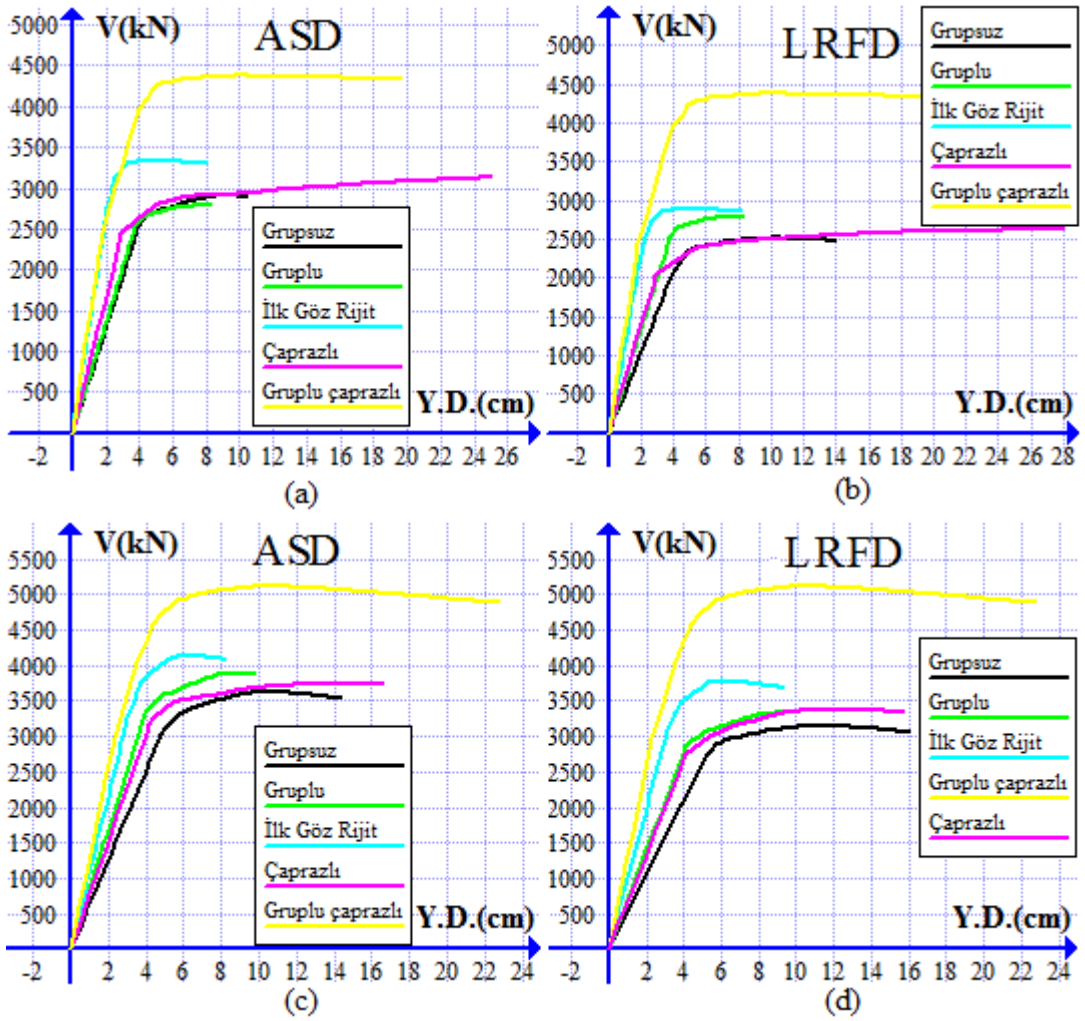


Şekil 5.19 : Gruplu ile gruplu diyagonalli Vierendeel kiriş değerleri (b/a=1,00): (a) 4 gözlü, (b) 5 gözlü

Şekil 5.19'da görüldüğü gibi her iki açıklık için de ilk ve son gözlere diyagonal eleman konulması hem süneklik açısından hem de taşıma kapasitesi açısından çok büyük üstünlük sağlamıştır. İlk ve son gözlere çapraz eleman konulması Vierendeel kirişlerin en büyük üstünlüğü olan boşluklarının kısıtlanması anlamına gelmekle birlikte, diyagonal elemanın mimariye engel oluşturmadığı durumlarda kirişin kapasitesini ve sünekliğini arttırmak için bu yöntem kullanılabilir. 4 gözlü Vierendeel kirişde diyagonal eleman olmadan önceki süneklik oranı 2,20 iken diyagonal eleman konulduğunda 10,99'a ulaşmıştır. Aynı şekilde maksimum toplam

mesnet tepkisi değeri 2789,37'den 4379,59'a yükselmiştir. Diğer bir deyişle taşıma kapasitesi 4379,59/2789,37=1,57 katına çıkmıştır. Benzer durum 5 gözlü Vierendeel kirişi için de geçerlidir. Bunda süneklik 2,47'den 9,88'e yükselirken, maksimum toplam mesnet tepkisi 3889,39'dan 5129,23'e yükselmiştir. Bu taşıma kapasitesinin yaklaşık 1,32 katına çıktığını göztermektedir.

Yapılan tüm örneklerin b/a=1,00 için elde edilen değerleri Şekil 5.20'de topluca verilmiştir.



Şekil 5.20 : Tüm örnekler: (a) ve (b) 4 gözlü, (c) ve (d) 5 gözlü

İlk ve son gözleri rijit olan Vierendeel kirişin taşıma gücünü bir miktar (%4-%8) arttırmakla birlikte süneklikte önemli azalmalara neden olduğu görülmüştür. Bu durum ortaya çıkan göçme modlarıyla (EK-A) ve dolayısıyla plastik mafsal oluşmalarıyla açıklanabilir.

Çizelge 5.5'de tüm yapılan kiriş örneklerinin toplam ağırlıkları ve birim ağırlıkları verilmiştir. Bu ağırlıklar yalnızca Vierendeel kirişlerini kapsamaktadır (döşeme ve çatı kirişlerinin kapsamamaktadır).

Çizelge 5.5 : Tüm örneklerin toplam ve birim ağırlıkları

Açıklık (L)	Türü		Sistem	ASD				LRFD			
				Toplam Ağırlık (kN)		Alan (240 ve 300 m^2)	Birim Ağırlık (kN/m^2)	Toplam Ağırlık (kN)		Alan (240 ve 300 m^2)	Birim Ağırlık (kN/m^2)
				1 tane V.K.	3 tane V.K.			1 tane V.K.	3 tane V.K.		
12 m	Grupsuz		b/a=0,50	51,945	155,835	240	0,65	48,284	144,852	240	0,60
			b/a=1,00	47,650	142,95	240	0,60	43,737	131,211	240	0,55
			b/a=1,50	47,155	141,465	240	0,59	42,761	128,283	240	0,53
			b/a=2,00	46,798	140,394	240	0,58	43,198	129,594	240	0,54
	Gruplu		b/a=0,50	55,472	166,416	240	0,69	50,206	150,618	240	0,63
			b/a=1,00	53,440	160,32	240	0,67	53,440	160,32	240	0,67
			b/a=1,50	58,151	174,453	240	0,73	52,124	156,372	240	0,65
			b/a=2,00	58,544	175,632	240	0,73	58,544	175,632	240	0,73
15 m	Grupsuz		b/a=0,60	69,355	208,065	300	0,69	65,178	195,534	300	0,65
			b/a=1,00	67,689	203,067	300	0,68	63,000	189	300	0,63
			b/a=1,40	64,659	193,977	300	0,65	61,291	183,873	300	0,61
			b/a=1,80	66,717	200,151	300	0,67	61,568	184,704	300	0,62
	Gruplu		b/a=0,60	82,399	247,197	300	0,82	73,069	219,207	300	0,73
			b/a=1,00	80,274	240,822	300	0,80	75,102	225,306	300	0,75
			b/a=1,40	84,893	254,679	300	0,85	77,688	233,064	300	0,78
			b/a=1,80	86,833	260,499	300	0,87	77,826	233,478	300	0,78
12 m	Diyagonalli	G.suz	b/a=1,00	32,456	97,368	240	0,41	28,645	85,935	240	0,36
		G.lu	b/a=1,00	55,974	167,922	240	0,70	-	-	-	-
15 m		G.suz	b/a=1,00	50,853	152,559	300	0,51	47,773	143,319	300	0,48
		G.lu	b/a=1,00	82,233	246,699	300	0,82	-	-	-	-
12 m	İlk ve son göz rijit		b/a=1,00	76,148	228,444	240	0,95	75,131	225,393	240	0,94
15 m			b/a=1,00	90,565	271,695	300	0,91	88,907	266,721	300	0,89

L=12 m, 4 gözlü gruplama yapılmayan Vierendeel kirişinde ASD'ye ve LRFD'ye göre tasarımlarda en büyük birim ağırlık b/a=0,50 olan kirişte sırasıyla 0,65 kN/m^2 ve 0,60 kN/m^2 olarak elde edilmiş, en küçük birim ağırlık ise ASD'de 0,58 kN/m^2 ile b/a=2,00'de, LRFD'de de 0,53 kN/m^2 ile b/a=1,50'de elde edilmiştir.

Birim ağırlık bakımındanda ortalama birim ağırlıklar göz önüne alındığında b/a oranı 1,00 olan Vierendeel kirişleri en ideal kirişlerdir.

Çizelge 5.5'de görüldüğü gibi diyagonal eleman konulması her ne kadar mimari açıdan sıkıntı yaratsa da elde edilen çelik birim ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır. L=12 m, gruplama yapılmamış Vierendeel kirişin birim ağırlığında ASD'ye göre yaklaşık %32'lik, LRFD'ye göre yaklaşık %35'lik bir azalma vardır. L=15 m, gruplama yapılmamış Vierendeel kirişin birim ağırlığında ise ASD'ye göre %25'lik, LRFD'ye göre yaklaşık %24'lük bir azalma söz konusudur.

İlk gözlerin rijit olarak teşkil edilmesi ise kullanılan çelik birim ağırlığını büyük ölçüde arttırmıştır. L=12 m için ASD'ye göre yaklaşık %42'lik, LRFD'ye göre yaklaşık %40'lık bir artış vardır. L=15 m için ise ASD'ye göre yaklaşık %14'lük, LRFD'ye göre yaklaşık %19'luk bir artış söz konusudur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Vierendeel kirişlerin doğrusal olmayan hesapları yapılarak göçme modları ve pushover (itme) eğrileri incelenmiştir. Bu inceleme için iki ana tip kiriş seçilmiştir; bunlardan ilki 4 eşit gözlü L=12 m açıklıklı, diğeri ise 5 eşit gözlü L=15 m açıklıklıdır. Bu kirişlerin değişik b/a oranları (b/a=0,5, 1,0, 1,5, 2,0) için hesapları yapılmış, ayrıca davranışı iyileştirmek için ilk ve son gözlerdeki elemanların rijitliklerinin arttırılması ya da bu gözlere diyagonal eleman konulması durumları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak ele alınan sistemlerin göreli üstünlükleri tartışılmıştır.

Her iki tip kiriş için ilk yapılan, tüm elemanlar için çelik profillerin SAP2000 programı tarafından uygun olanının seçilmesidir. Daha sonra üst ve alt başlıklar ve dikmeler için ayrı ayrı gruplama yapılarak aynı örnekler tekrar çözülmüştür. Gruplama yapmanın üstünlüğü uygulamada alt ve üst başlıkların aynı türden profil olmasıdır. Ancak, elde edilen sonuçların çoğunluğunda da görüldüğü gibi gruplama yapıldığı zaman plastik mafsallar genellikle mesnetlere yakın gözlerde toplanmaktadır. Başka bir deyişle, sistemde daha fazla plastik mafsal oluşamadığından daha sünek bir davranış elde edilememektedir. Ulaşılan süneklik oranları incelendiğinde çoğunlukla gruplama yapılmayan kirişlerdeki sünekliklerin fazla olduğu görülmüştür. Buna karşılık gruplama yapıldığı için seçilen profillerin gruplama yapılmayanlara göre kesitleri daha büyük olduğundan doğal olarak toplam maksimum mesnet tepkilerinin gruplama yapılan kirişlerde daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kullanılan çelik miktarları bakımından ilk yapılan örnekler karşılaştırılacak olursa 4 ve 5 gözlü kirişlerde b/a oranı arttıkça her ne kadar parça sayısı olarak profiller artsa da toplam çelik ağırlığı azalmaktadır. Ancak, çelik ağırlığı azalmış olmasına karşın birleşim noktalarının artması nedeniyle işçiliğin de artacağı unutulmamalıdır.

Vierendeel kirişlerde en büyük iç kuvvetlere ilk ve son gözlerde, başka bir deyişle mesnetlere yakın olan gözlerde ulaşılır. Özellikle bu gözlerdeki kesme kuvveti

değerleri boyutlandırmada çok etkili olmaktadır. Öyle ki, yapılan çalışmaların bir bölümünde bazı elemanların boyutlandırılmasında kesme kuvvetlerinden dolayı oluşan kapasite oranının momentten ve eksenel kuvvetten oluşan kapasite oranından büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde mesnetlere yakın gözlere diyagonal eleman koyma ya da bu gözlerdeki elemanların rijitliklerinin fazla seçilmesi gibi iki değişik öneri getirilmiştir, bunlardan diyagonalli çözümün süneklik ve kapasite artışı yönünden çok yararlı olduğu, rijitlik artımının ise yalnızca kapasite artımına neden olduğu görülmüştür.

Mesnetlere yakın gözlere diyagonal eleman konulması da iki farklı şekilde incelenmiştir. Birincisi diyagonal eleman da dahil olmak üzere tüm profillerin yeniden seçilmesiyle oluşturulan kiriş, ikincisi ise gruplama yapılmış kirişlere diyagonal eleman konularak yalnızca diyagonal elamanın profilinin seçilmesiyle oluşturulan kiriştir. Birinci durumda elde edilen μ ve V_{max} değerleri 4 gözlü kiriş için sırasıyla 3,26 ve 1,08 katına, 5 gözlü kiriş içinse sırasıyla 1,32 ve 1,03 katına çıkmıştır (ASD'ye göre tasarım). İkinci durumda ise μ ve V_{max} değerleri 4 gözlü kiriş için sırasıyla 5 ve 1,57 katına, 5 gözlü kiriş için 4 ve 1,32 katına çıkmıştır. Mimari açıdan bakıldığında, mesnetlere yakın gözlere çapraz eleman konulması Vierendeel kirişlerin en büyük özelliği olan elemanları arasında geniş boşluklarını sınırlı bir bölgede de olsa engellemiş olmaktadır. Bu da dikkate alınarak kirişin yapılacağı yere ve duruma uygun olacak şekilde diyagonal eleman konulup konulmayacağına karar verilmelidir.

Mesnetlere yakın gözlerdeki elemanların rijitliklerinin diğer elemanlara göre daha fazla olması taşıma kapasitesi bakımından önemli bir üstünlük sağlamaktadır. İlk ve son gözlerin diğer gözlere oranla daha rijit yapılması plastik mafsalların rijit gözlere yakın gözlerde oluşmasına neden olmaktadır. Ancak, gözlerin rijitleştirilmesinin konstrüktif açıdan sorun doğurabileceği unutulmamalıdır.

Çalışmada ulaşılan ve tasarımı yönlendirebilecek diğer sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Vierendeel kirişlerin göçme mekanizmaları ve bunlara karşı gelen göçme yükleri sistemin geometrisine ve yükleme durumuna çok bağlıdır. Karışık, çok gözlü geometrilerde ve farklı kesit özellikleri durumunda göçme modunu ve yükünü

hesaplamak ancak pek çok bileşik mekanizma durumlarının dikkate alınmamasıyla olanaklıdır.

- Bu tür kirişlerde düğüm noktalarının oluşturulması oldukça önemlidir; rijit, yarı rijit ya da sistemin stabilitesini bozmayacak sayıda mafsallı birleşimler uygulanmaktadır. Bu çalışmada, belirli sonuçlara ulaşmak için, rijit düğüm noktası durumu dikkate alınmıştır.

- Doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi ile pushover eğrisinin çizilmesi sistemin davranışı hakkında kapsamlı bilgi vermektedir.

- AISC-ASD ile boyutlanan sistemlerin taşıma gücü AISC-LRFD ile tasarlanan sistemlerin taşıma gücünden daha fazla olmakla birlikte LRFD tasarmında genel olarak yüksek süneklik oranları gözükmektedir.

- b/a=1,00 oranı civarında bir göz geometrisi dayanım, rijitlik ve süneklik bakımından uygun görülmektedir.

- Dikmelerin boyutlarının sistemin davranışına etkisi büyüktür.

- Orta noktanın yer değiştirmesi kadar ilk ve son gözlerin göreli yer değiştirmeleri de önemlidir ve tasarımda mutlaka kontrol edilmelidir. Bazen, tasarımı yönlendiren yer değiştirmeler sınırları bu bölgelerdeki yer değiştirmelerdir.

Bu çalışma esas alınarak ileride yapılabilecek çalışmalardan biri yarı-rijit düğüm noktalı Vierendeel kirişlerin göçme incelemesidir. Tam rijitliği sağlamak için görünüşü kaba ve maliyetli düğüm noktaları oluşturmaktansa, yeterli güvenliğin yarı-rijit birleşimlerle de sağlanabileceği düşünülmektedir. Buna ek olarak çok katlı çelik çerçevelerde şaşırtmalı (staggered) sistemlerlede sıkça karşılaşılmaktadır. Bu uygulama binalarda kesintisiz boşluklar sağlamaktadır. Başka bir çalışmada, ilk ve son göz açıklıklarının diğerlerine göre daha az olarak düzenlenmesi de düşünülebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Hodge, P. G.,** *Plastic Analysis of Structures*, McGraw Hill, New York, USA.

[2] **Hendry, A. W.,** July 1955. Plastic Analysis and Design of Mild Steel Vierendeel Girders, *The Structural Engineer*, **Volume 33**, Issue 7,paper 213-222.

[3] **Gray, C. S.,** 1983. Steel Designers' Manual, *Construction Steel Research end Development Organisation*, pp. 413-428 London, England.

[4] **Farkas, J., and Jarmai, K.,** 1997. *Analysis and Optimum Design of Metal Structures*, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands.

[5] **Needham, E. S., and Beaufoy, L. A.,** December 1938. Analysis of a Vierendeel Truss by Moment-Distribution and Deformeter Methods, *Journal of the ICE*, **Volume 10**, Issue 2, pages 253 – 272.

[6] **Del Savio, A., A., Martha, L., F., Andrade, S., A., L., Vellasco, P., C., and Lima, L., R., O.,** October 2005. Structural Modelling of Vierendeel Beams With Semi-Rijid Joints, *Proceedings of the XXVI Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering-CILAMCE*, Brazil.

[7] **Karaduman, M., and Çenesiz, S.,** Vierendeel Kirişlerin Statik Bakımdan Optimum Teşkili, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi,* Sabancı Kültür Merkezi, İzmir, Türkiye, 23-25 Ekim

[8] **White, R., N., Gergely, P., and Sexsmith, R., G.,** 1976. *Structural Engineering Combined Edition*, Wiley, Toronto, USA.

[9] **Smolira, M.,** February 1955. *Analysis of structures : the analysis of statically--indeterminate structures by the deformation method*, Concrete Publications, London, England.

[10] **Lightfoot, E.,** November 1951. A Method of Analysis of the Continuous Vierendeel Girder, *The Structural Engineer*, **Volume 29**, Issue 11, paper 293-296,

[11] **Wickersheimer, D., J.,** March 1976. The Vierendeel, *The Journal of the Society of Architectural Historians*, **Volume 35**, No 1, paper 54-60.

[12] **Verswijver, K., De Meyer, R., Denys, R., and De Kooning, E.,** 2009. The Writings of Belgian Engineer Arthur Vierendeel (1852-1940) Homo Universalis or Contemporary Propagandist?, *Proceeding of the Third International Congress on Construction History*, Cottbus, Germany, May.

[13] **Leet, K., M., and Uang, C., M.,** *Fundamentals of Structural Analysis*, Mc Graw Hill, New York, USA.

[14] **Davison, B., and Owens, G., W.,** *Steel Designers' Manual*, Steel Construction Institute, Berkshire, England.

[15] **Sabis, T.,** *Yapı Statiği: Hiperstatik Sistemler*, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, Türkiye.

[16] **Günsoy, O.,** *Yapı Statiği Cilt II*, Birsen, İstanbul, Türkiye.

[17] **Arda, T., S., and Uzgider E.,** *Çelik Yapılarda Taşıma Gücü*, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, Türkiye.

[18] **Özer, E.,** *İleri Yapı Statiği Ders Notları*, İTÜ, İstanbul, Türkiye.

[19] **AISC-ASD89,** 1989. Allowable Stress Design, *American Institute Of Steel Construction*, Chicago, USA.

[20] **AISC-LRFD99,** 1999. Load and Resistance Factor Design, *American Institute Of Steel Construction*, Chicago, USA.

[21] **TS-4561**, 1985. Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara, Türkiye.

[22] **Url-1** <*http://users.telenet.be/karel.roose/vierendeel/waterhoek/info.html*>, alındığı tarih 04.11.2009

[23] **Url-2** <*http://farm4.static.flickr.com/3439/3396561048_8101302d37.jpg*>, alındığı tarih 04.11.2009

[24] **Url-3** <*http://www.flickr.com/photos/jblough/4036027218/in/pool-friendsoft hehighline*>, alındığı tarih 07.11.2009

[25] **Url-4** <http://users.telenet.be/karel.roose/vierendeel/waterhoek/ waterhoek_002.html>, alındığı tarih 12.11.2009

[26] **Url-5** <*http://nisee.berkeley.edu/jpg/6257_3021_ 0647/IMG0057.jpg*>, alındığı tarih 15.11.2009

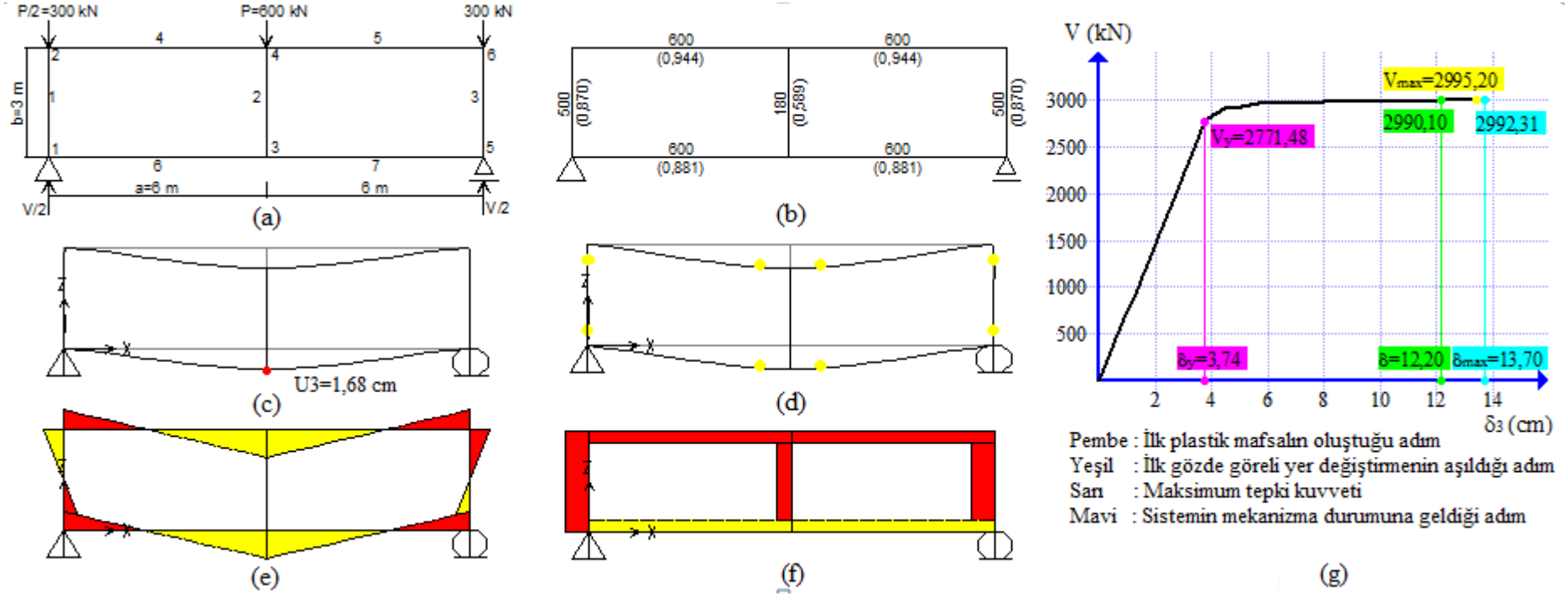
[27] **Url-6** <*http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/struct/Arch513/ lectures/08 -vieren.pdf*>, alındığı tarih 18.11.2009

[28] **Url-7** <http://www.comp-engineering.com/downloads/manuals/SAP2000/ Turkce/SAP2000%20CELIK%20YAPI%20BOYUTLAMA%20KI LAVUZU%202002.pdf >, alındığı tarih 12.01.2010

EKLER

EK-A : Seçilen Vierendeel kirişlerin doğrusal olmayan itme (pushover) analizleri

EK-A



Şekil A.1 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=300 kN

* Kenar Yükler : G=Q=150 kN

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,68 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,68-0)/600\approx0,003$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=13,70 cm, V_{max}=2995,20 kN, $P_{lim}=V_{max}/2=2995,20/2=1497,6$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=13,70/3,74\approx3,66$, $\mu_1=\delta/\delta_y=12,20/3,74\approx3,26$

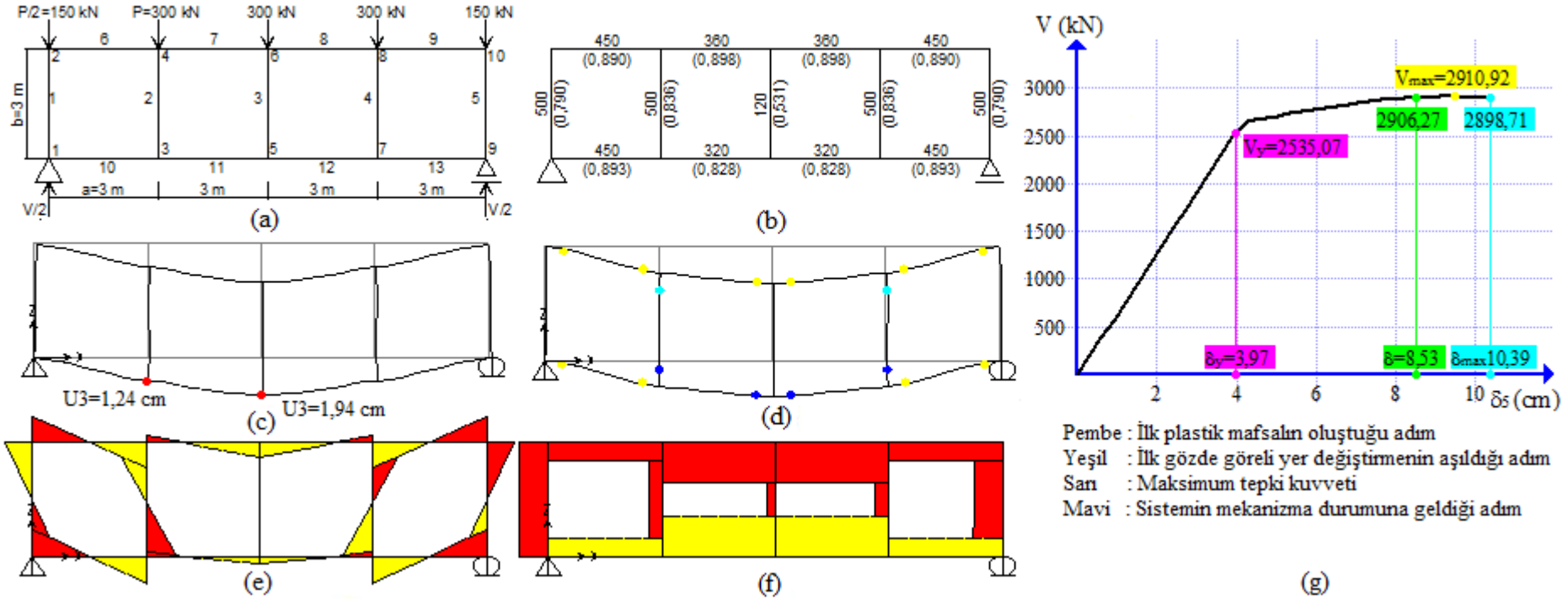
Çizelge A.1 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames				
Frame	Station	P	V2	M3
Text	M	KN	KN	KN-m
1	0	-467,69	-255,14	-377,54
1	3	-463,12	-255,14	387,87
2	0	-295,68	0,00	0,00
2	3	-294,64	0,00	0,00
3	0	-467,69	255,14	377,54
3	3	-463,12	255,14	-387,87
4	0	-255,14	-163,12	-387,87
4	6	-255,14	-152,68	559,53
5	0	-255,14	152,68	559,53
5	6	-255,14	163,12	-387,87
6	0	255,14	-158,28	-377,54
6	6	255,14	-147,84	540,82
7	0	255,14	147,84	540,82
7	6	255,14	158,28	-377,54

Çizelge A.2 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,07	0,00	-0,04
3	0,03	0,00	-1,68
4	0,03	0,00	-1,78
5	0,07	0,00	0,00
6	0,00	0,00	-0,04

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE180A	Fe37	0,00453	1,046
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
HE600A	Fe37	0,0226	41,754
Toplam			51,945



Şekil A.2 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=150 kN
* Kenar Yükler : G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,94 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,24-0)/300\approx0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=10,39 cm, V_{max}=2910,92 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=2910,92/4=727,73$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=10,39/3,97\approx2,62$, $\mu_1=\delta/\delta_y=8,53/3,97\approx2,15$

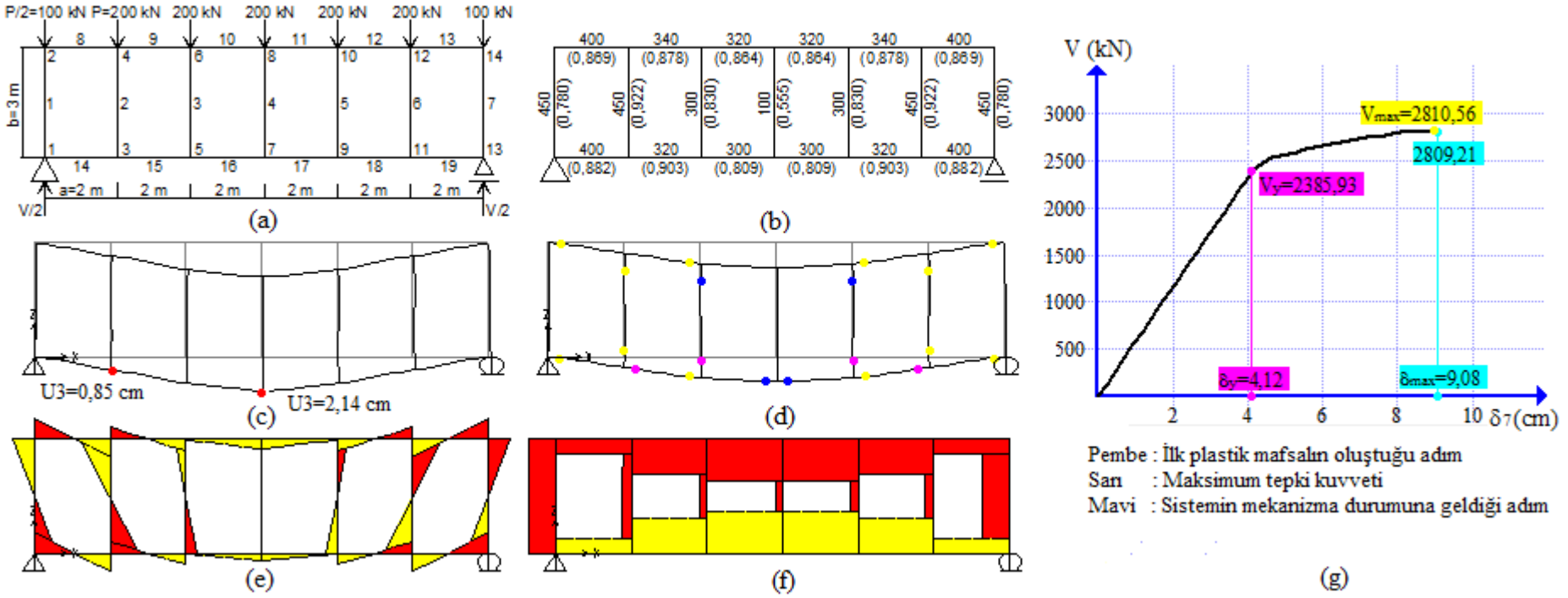
Çizelge A.3 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	M	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-384,66	-237,02	-358,89	7	3	-514,84	-91,50	188,59
1	3	-380,09	-237,02	352,18	8	0	-514,84	91,50	188,59
2	0	-173,40	-277,82	-410,66	8	3	-514,84	94,81	-90,88
2	3	-168,83	-277,82	422,80	9	0	-237,02	225,98	331,92
3	0	-117,58	0,00	0,00	9	3	-237,02	230,09	-352,18
3	3	-116,99	0,00	0,00	10	0	237,02	-239,17	-358,89
4	0	-173,40	277,82	410,66	10	3	237,02	-235,05	352,44
4	3	-168,83	277,82	-422,80	11	0	514,84	-61,65	-58,22
5	0	-384,66	237,02	358,89	11	3	514,84	-58,79	122,44
5	3	-380,09	237,02	-352,18	12	0	514,84	58,79	122,44
6	0	-237,02	-230,09	-352,18	12	3	514,84	61,65	-58,22
6	3	-237,02	-225,98	331,92	13	0	237,02	235,05	352,44
7	0	-514,84	-94,81	-90,88	13	3	237,02	239,17	-358,89

Çizelge A.4 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,08	0,00	-2,01
2	0,16	0,00	-0,03	7	0,14	0,00	-1,24
3	0,02	0,00	-1,24	8	0,03	0,00	-1,25
4	0,14	0,00	-1,25	9	0,16	0,00	0,00
5	0,08	0,00	-1,94	10	0,01	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE360A	Fe37	0,0143	6,605
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
HE500A	Fe37	0,0198	18,29
Toplam			47,65



Şekil A.3 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=100 kN
* Kenar Yükler : G=Q=50 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,14 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,85-0)/200\approx0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,08 cm, V_{max}=2810,56 kN, $P_{lim}=V_{max}/6=2810,56/6=468,43$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,08/4,12\approx2,20$

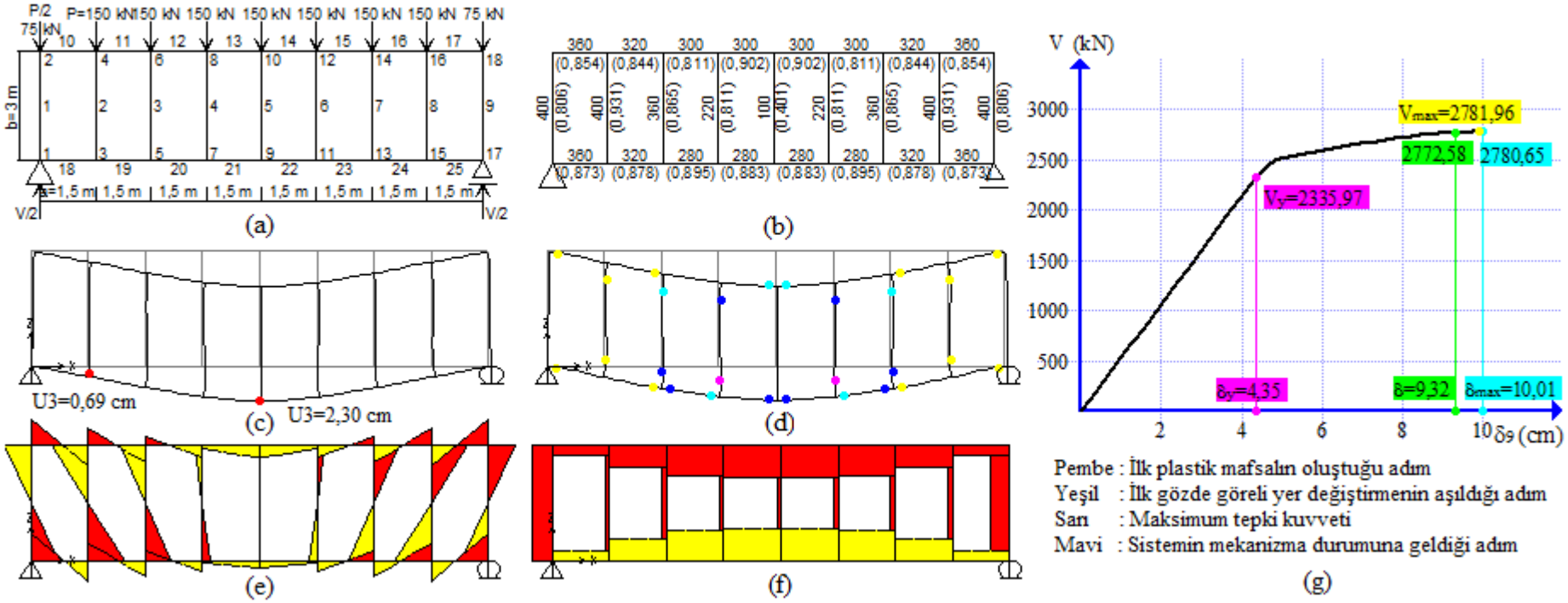
Çizelge A.5 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	**Station**	**P**	**V2**	**M3**	**Frame**	**Station**	**P**	**V2**	**M3**
Text	M	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-357,98	-188,52	-286,13	10	2	-545,82	-58,62	126,54
1	3	-353,87	-188,52	279,41	11	0	-545,82	58,62	126,54
2	0	-114,68	-260,47	-389,35	11	2	-545,82	60,53	7,40
2	3	-110,56	-260,47	392,06	12	0	-448,98	159,94	155,76
3	0	-103,19	-96,84	-142,15	12	2	-448,98	161,99	-166,17
3	3	-100,59	-96,84	148,36	13	0	-188,52	251,42	225,89
4	0	-83,26	0,00	0,00	13	2	-188,52	253,87	-279,41
4	3	-82,77	0,00	0,00	14	0	188,52	-265,59	-286,13
5	0	-103,19	96,84	142,15	14	2	188,52	-263,15	242,61
5	3	-100,59	96,84	-148,36	15	0	448,98	-148,47	-146,74
6	0	-114,68	260,47	389,35	15	2	448,98	-146,56	148,29
6	3	-110,56	260,47	-392,06	16	0	545,82	-43,37	6,14
7	0	-357,98	188,52	286,13	16	2	545,82	-41,63	91,14
7	3	-353,87	188,52	-279,41	17	0	545,82	41,63	91,14
8	0	-188,52	-253,87	-279,41	17	2	545,82	43,37	6,14
8	2	-188,52	-251,42	225,89	18	0	448,98	146,56	148,29
9	0	-448,98	-161,99	-166,17	18	2	448,98	148,47	-146,74
9	2	-448,98	-159,94	155,76	19	0	188,52	263,15	242,61
10	0	-545,82	-60,53	7,40	19	2	188,52	265,59	-286,13

Çizelge A.6 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

TABLE: Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	8	0,10	0,00	-2,20
2	0,19	0,00	-0,03	9	0,14	0,00	-1,75
3	0,01	0,00	-0,85	10	0,05	0,00	-1,76
4	0,17	0,00	-0,86	11	0,18	0,00	-0,85
5	0,05	0,00	-1,75	12	0,02	0,00	-0,86
6	0,14	0,00	-1,76	13	0,19	0,00	0,00
7	0,10	0,00	-2,14	14	0,01	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,49
HE300A	Fe37	0,0113	8,699
HE320A	Fe37	0,0124	7,636
HE340A	Fe37	0,0133	4,095
HE400A	Fe37	0,0159	9,792
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
Toplam			47,155



Şekil A.4 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=75 kN
* Kenar Yükler : G=Q=37,5 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,30 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,30-0)/150\approx0,005$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=10,01 cm, V_{max}=2781,96 kN, $P_{lim}=V_{max}/8=2781,96/8=347,75$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=10,01/4,35\approx2,30$, $\mu_1=\delta/\delta_y=9,32/4,35\approx2,14$

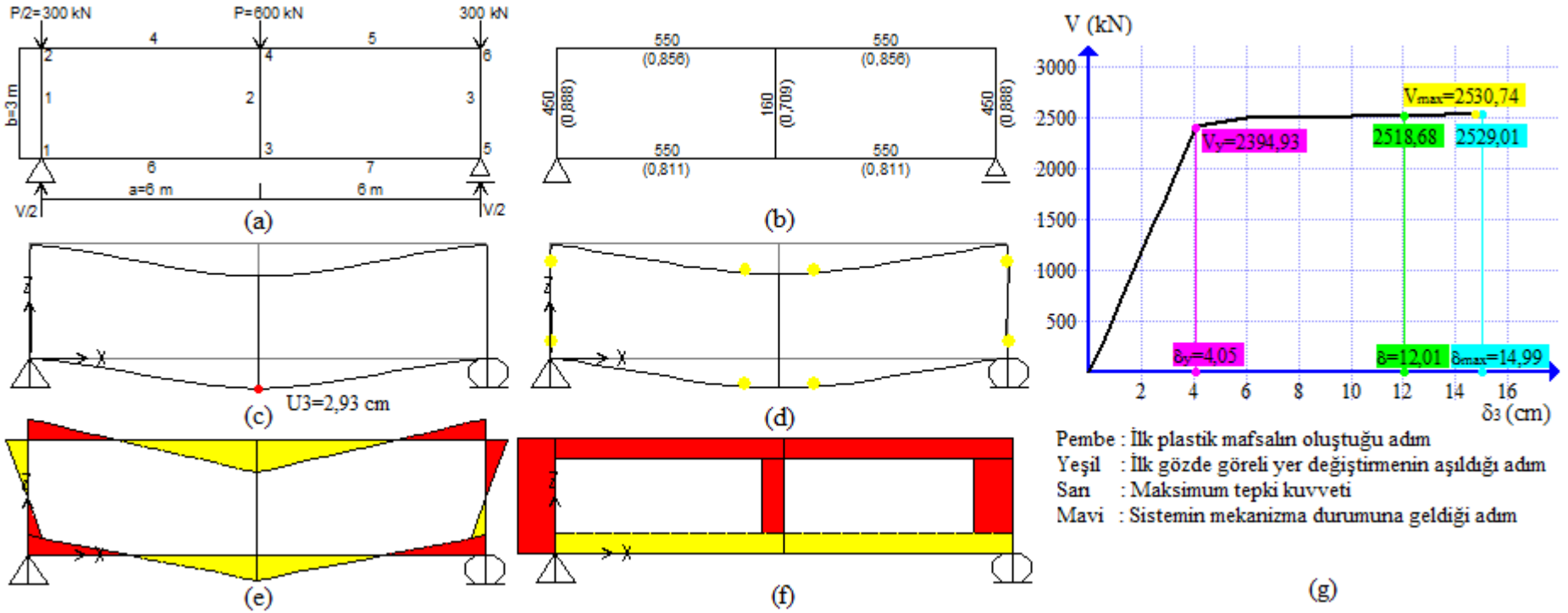
Çizelge A.7 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	M	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-345,59	-153,59	-233,73	13	1,5	-557,22	-45,19	107,81
1	3	-341,92	-153,59	227,03	14	0	-557,22	45,19	107,81
2	0	-81,33	-211,28	-319,27	14	1,5	-557,22	46,49	39,05
2	3	-77,66	-211,28	314,57	15	0	-523,03	122,81	90,94
3	0	-85,92	-158,17	-234,39	15	1,5	-523,03	124,11	-94,25
3	3	-82,62	-158,17	240,11	16	0	-364,87	191,49	145,85
4	0	-75,17	-34,19	-50,68	16	1,5	-364,87	192,92	-142,46
4	3	-73,69	-34,19	51,89	17	0	-153,59	265,27	172,11
5	0	-60,11	0,00	0,00	17	1,5	-153,59	266,92	-227,03
5	3	-59,62	0,00	0,00	18	0	153,59	-277,81	-233,73
6	0	-75,17	34,19	50,68	18	1,5	153,59	-276,16	181,74
6	3	-73,69	34,19	-51,89	19	0	364,87	-194,83	-137,53
7	0	-85,92	158,17	234,39	19	1,5	364,87	-193,40	153,64
7	3	-82,62	158,17	-240,11	20	0	523,03	-107,48	-80,75
8	0	-81,33	211,28	319,27	20	1,5	523,03	-106,35	79,62
8	3	-77,66	211,28	-314,57	21	0	557,22	-31,18	28,94
9	0	-345,59	153,59	233,73	21	1,5	557,22	-30,06	74,86
9	3	-341,92	153,59	-227,03	22	0	557,22	30,06	74,86
10	0	-153,59	-266,92	-227,03	22	1,5	557,22	31,18	28,94
10	1,5	-153,59	-265,27	172,11	23	0	523,03	106,35	79,62
11	0	-364,87	-192,92	-142,46	23	1,5	523,03	107,48	-80,75
11	1,5	-364,87	-191,49	145,85	24	0	364,87	193,40	153,64
12	0	-523,03	-124,11	-94,25	24	1,5	364,87	194,83	-137,53
12	1,5	-523,03	-122,81	90,94	25	0	153,59	276,16	181,74
13	0	-557,22	-46,49	39,05	25	1,5	153,59	277,81	-233,73

Çizelge A.8 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	10	0,11	0,00	-2,34
2	0,22	0,00	-0,03	11	0,16	0,00	-2,03
3	0,01	0,00	-0,69	12	0,08	0,00	-2,04
4	0,21	0,00	-0,70	13	0,20	0,00	-1,39
5	0,03	0,00	-1,39	14	0,04	0,00	-1,40
6	0,19	0,00	-1,40	15	0,22	0,00	-0,69
7	0,07	0,00	-2,03	16	0,02	0,00	-0,70
8	0,15	0,00	-2,04	17	0,23	0,00	0,00
9	0,11	0,00	-2,30	18	0,01	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,49
HE220A	Fe37	0,00643	2,97
HE280A	Fe37	0,00973	4,494
HE300A	Fe37	0,0113	5,219
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE360A	Fe37	0,0143	13,21
HE400A	Fe37	0,0159	14,688
Toplam			46,798



Şekil A.5 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=300 kN
* Kenar Yükler : G=Q=150 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,93 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,93-0)/600\approx0,005$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=14,99 cm, V_{max}=2530,74 kN, $P_{lim}=V_{max}/2=2530,74/2=1265,37$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=14,99/4,05\approx3,70$, $\mu_1=\delta/\delta_y=12,01/4,05\approx2,97$

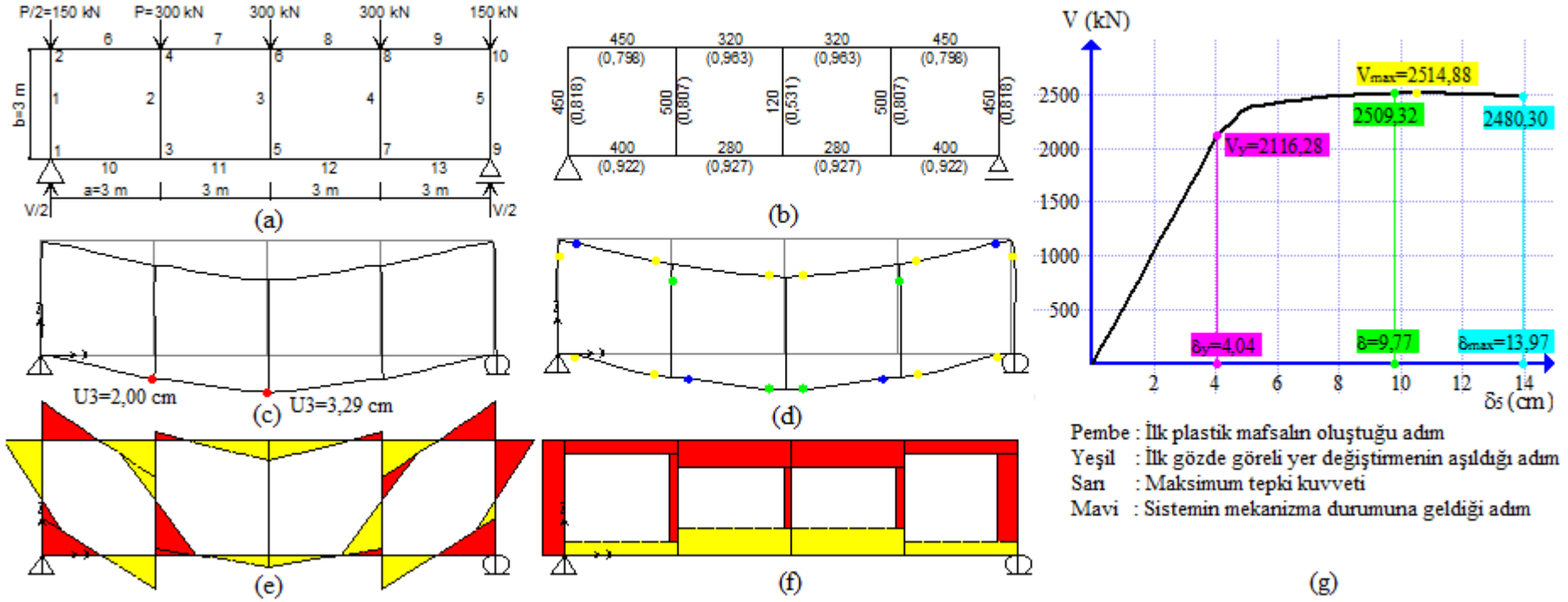
Çizelge A.9 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames				
Frame	Station	P	V2	M3
Text	M	KN	KN	KN-m
1	0	-650,13	-353,58	-523,74
1	3	-645,20	-353,58	537,00
2	0	-414,18	0,00	0,00
2	3	-413,10	0,00	0,00
3	0	-650,13	353,58	523,74
3	3	-645,20	353,58	-537,00
4	0	-353,58	-225,20	-537,00
4	6	-353,58	-213,45	778,95
5	0	-353,58	213,45	778,95
5	6	-353,58	225,20	-537,00
6	0	353,58	-218,84	-523,74
6	6	353,58	-207,09	754,05
7	0	353,58	207,09	754,05
7	6	353,58	218,84	-523,74

Çizelge A.10 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	Cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,00	-0,05
3	0,05	0,00	-2,93
4	0,05	0,00	-3,09
5	0,10	0,00	0,00
6	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE160A	Fe37	0,00388	0,896
HE450A	Fe37	0,0178	8,221
HE550A	Fe37	0,0212	39,167
Toplam			48,284



Şekil A.6 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=150 kN
* Kenar Yükler : G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=3,29 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,00-0)/300\approx0,007$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=13,97 cm, V_{max}=2514,88 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=2514,88/4=628,72$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=13,97/4,04\approx3,46$, $\mu_1=\delta/\delta_y=9,77/4,04\approx2,42$

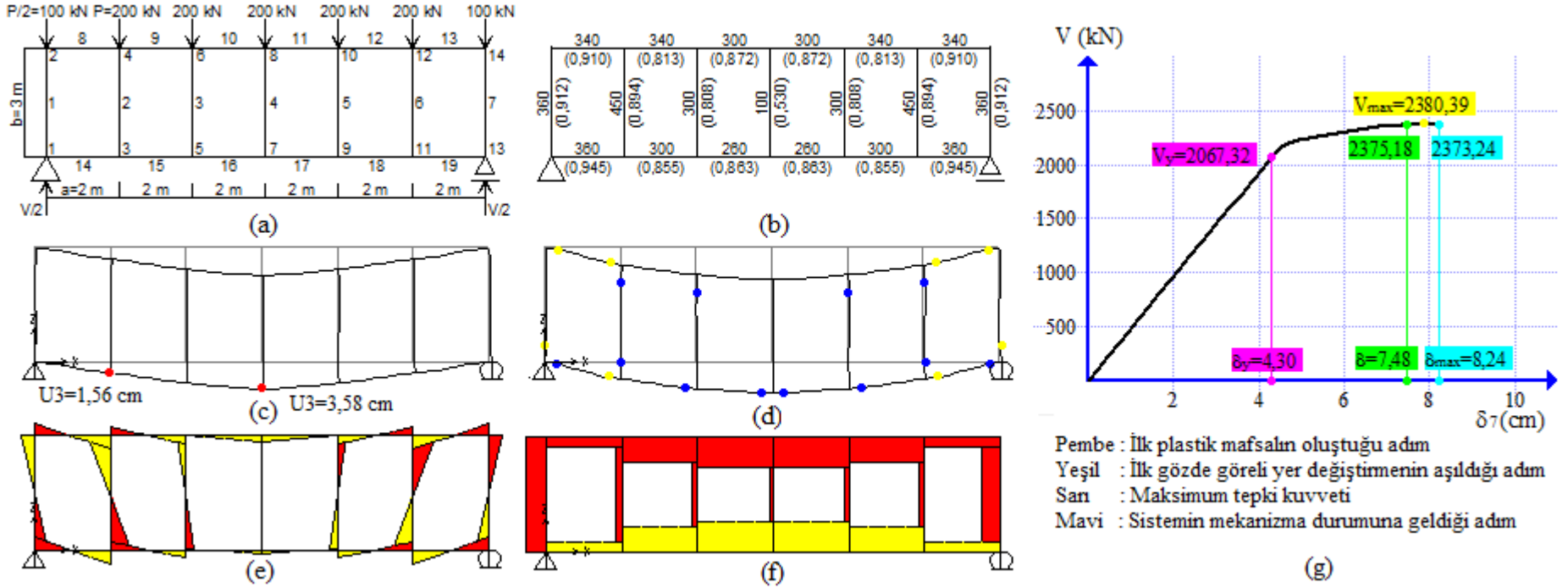
Çizelge A.11 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-553,71	-318,90	-457,22	7	3	-726,16	-128,20	249,87
1	3	-548,77	-318,90	499,47	8	0	-726,16	128,20	249,87
2	0	-223,28	-407,26	-572,45	8	3	-726,16	131,63	-139,88
2	3	-217,80	-407,26	649,33	9	0	-318,90	333,84	509,45
3	0	-164,31	0,00	0,00	9	3	-318,90	338,77	-499,47
3	3	-163,60	0,00	0,00	10	0	318,90	-312,54	-457,22
4	0	-223,28	407,26	572,45	10	3	318,90	-308,13	473,78
4	3	-217,80	407,26	-649,33	11	0	726,16	-84,85	-98,67
5	0	-553,71	318,90	457,22	11	3	726,16	-82,15	151,83
5	3	-548,77	318,90	-499,47	12	0	726,16	82,15	151,83
6	0	-318,90	-338,77	-499,47	12	3	726,16	84,85	-98,67
6	3	-318,90	-333,84	509,45	13	0	318,90	308,13	473,78
7	0	-726,16	-131,63	-139,88	13	3	318,90	312,54	-457,22

Çizelge A.12 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,26	0,00	-0,05
3	0,03	0,00	-2,00
4	0,23	0,00	-2,02
5	0,14	0,00	-3,29
6	0,14	0,00	-3,38
7	0,25	0,00	-2,00
8	0,05	0,00	-2,02
9	0,28	0,00	0,00
10	0,03	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE280A	Fe37	0,00973	4,494
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE400A	Fe37	0,0159	7,344
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
Toplam			43,737



Şekil A.7 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=100 kN
* Kenar Yükler : G=Q=50 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=3,58 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,56-0)/200\approx0,008$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,24 cm, V_{max}=2380,39 kN, $P_{lim}=V_{max}/6=2380,39/6=396,73$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,24/4,30\approx1,92$, $\mu_1=\delta/\delta_y=7,48/4,30\approx1,74$

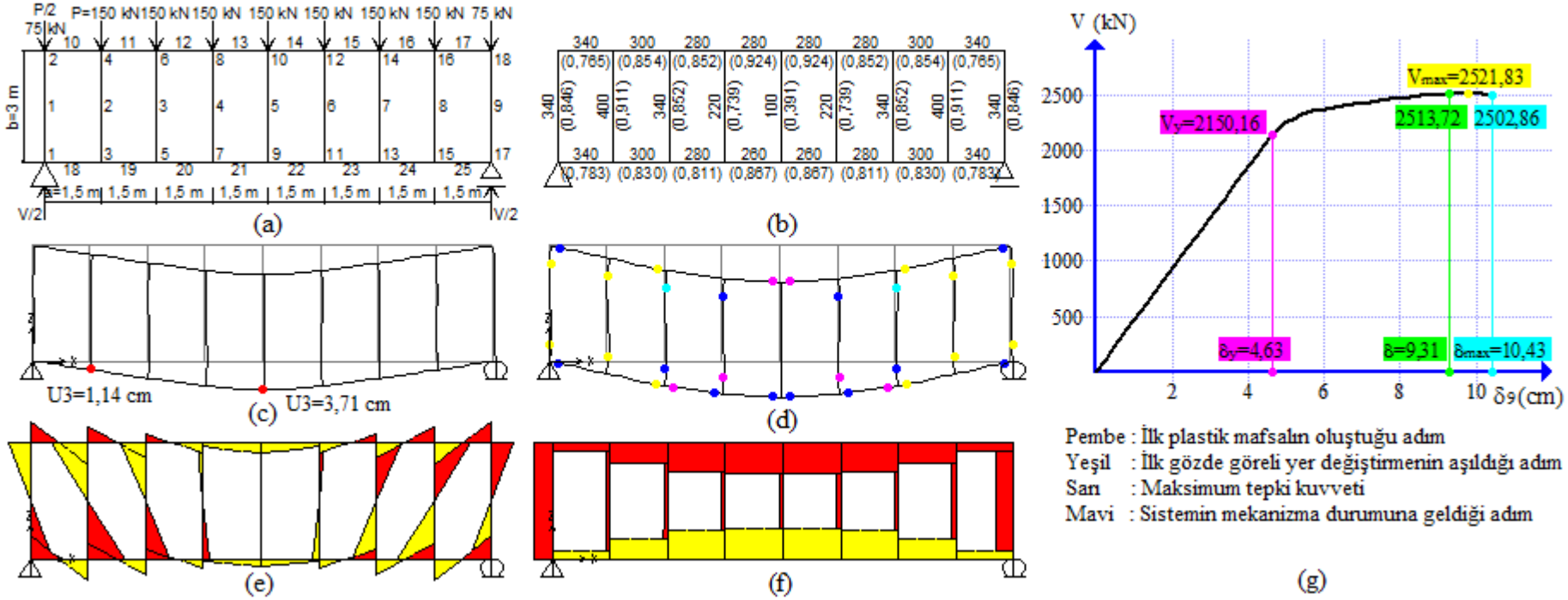
Çizelge A.13 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-483,08	-233,27	-362,17	10	2	-771,35	-85,09	170,34
1	3	-479,12	-233,27	337,64	11	0	-771,35	85,09	170,34
2	0	-187,43	-392,24	-587,92	11	2	-771,35	87,17	-1,91
2	3	-182,49	-392,24	588,79	12	0	-625,51	236,70	225,20
3	0	-133,61	-145,84	-210,40	12	2	-625,51	239,15	-250,65
3	3	-130,48	-145,84	227,11	13	0	-233,27	336,66	338,14
4	0	-110,42	0,00	0,00	13	2	-233,27	339,12	-337,64
4	3	-109,83	0,00	0,00	14	0	233,27	-382,58	-362,17
5	0	-133,61	145,84	210,40	14	2	233,27	-379,93	400,34
5	3	-130,48	145,84	-227,11	15	0	625,51	-192,51	-187,59
6	0	-187,43	392,24	587,92	15	2	625,51	-190,42	195,34
6	3	-182,49	392,24	-588,79	16	0	771,35	-56,81	-15,06
7	0	-483,08	233,27	362,17	16	2	771,35	-55,21	96,96
7	3	-479,12	233,27	-337,64	17	0	771,35	55,21	96,96
8	0	-233,27	-339,12	-337,64	17	2	771,35	56,81	-15,06
8	2	-233,27	-336,66	338,14	18	0	625,51	190,42	195,34
9	0	-625,51	-239,15	-250,65	18	2	625,51	192,51	-187,59
9	2	-625,51	-236,70	225,20	19	0	233,27	379,93	400,34
10	0	-771,35	-87,17	-1,91	19	2	233,27	382,58	-362,17

Çizelge A.14 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	8	0,16	0,00	-3,65
2	0,29	0,00	-0,05	9	0,25	0,00	-2,93
3	0,02	0,00	-1,56	10	0,09	0,00	-2,94
4	0,28	0,00	-1,58	11	0,30	0,00	-1,56
5	0,07	0,00	-2,93	12	0,05	0,00	-1,58
6	0,23	0,00	-2,94	13	0,32	0,00	0,00
7	0,16	0,00	-3,58	14	0,03	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,49
HE260A	Fe37	0,00868	2,673
HE300A	Fe37	0,0113	12,178
HE340A	Fe37	0,0133	8,191
HE360A	Fe37	0,0143	11,008
HE450A	Fe37	0,0178	8,221
Toplam			42,761



Şekil A.8 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=75 kN
* Kenar Yükler : G=Q=37,5 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=3,71 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,14-0)/150\approx0,008$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=10,43 cm, V_{max}=2521,83 kN, $P_{lim}=V_{max}/8=2521,83/8=315,23$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=10,43/4,63\approx2,25$, $\mu_1=\delta/\delta_y=9,31/4,63\approx2,01$

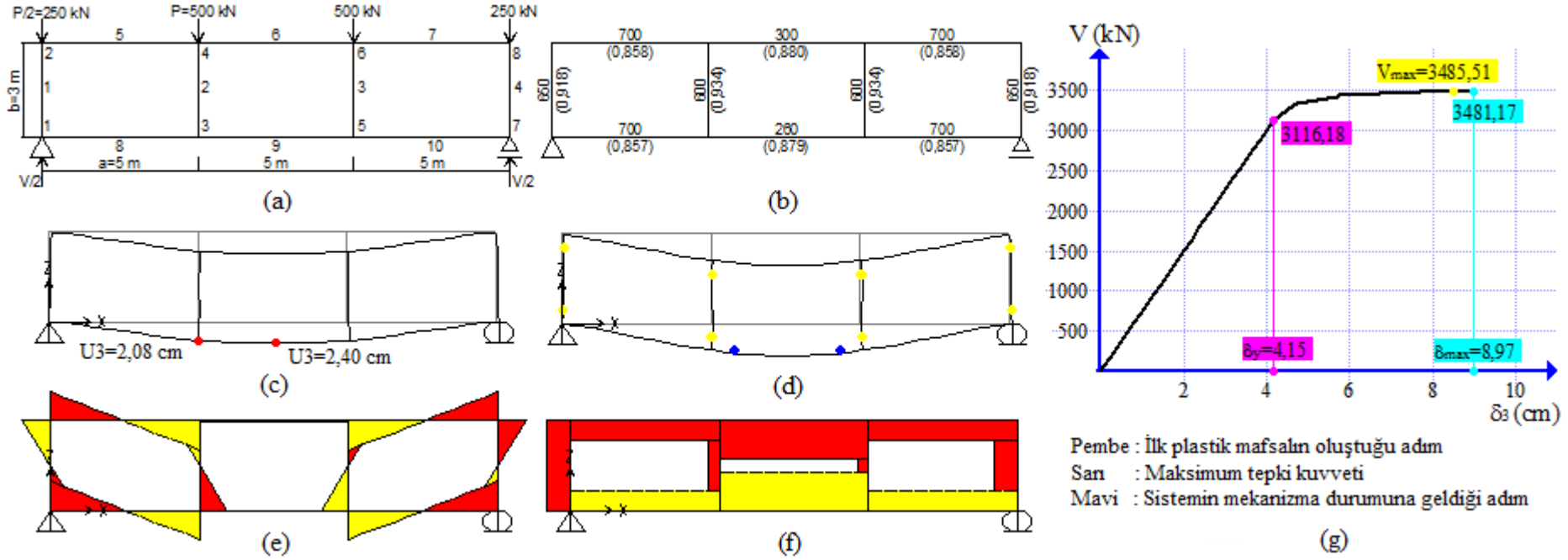
Çizelge A.15 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-479,64	-192,57	-292,88	13	1,5	-783,04	-64,58	135,27
1	3	-475,95	-192,57	284,82	14	0	-783,04	64,58	135,27
2	0	-116,98	-319,25	-482,62	14	1,5	-783,04	65,93	37,39
2	3	-112,58	-319,25	475,11	15	0	-728,04	161,90	120,03
3	0	-106,82	-216,23	-323,41	15	1,5	-728,04	163,25	-123,82
3	3	-103,13	-216,23	325,28	16	0	-511,81	270,12	201,45
4	0	-115,81	-54,99	-82,34	16	1,5	-511,81	271,68	-204,89
4	3	-114,03	-54,99	82,64	17	0	-192,57	369,11	270,22
5	0	-81,43	0,00	0,00	17	1,5	-192,57	370,95	-284,82
5	3	-80,84	0,00	0,00	18	0	192,57	-386,28	-292,88
6	0	-115,81	54,99	82,34	18	1,5	192,57	-384,44	285,16
6	3	-114,03	54,99	-82,64	19	0	511,81	-267,46	-197,46
7	0	-106,82	216,23	323,41	19	1,5	511,81	-265,89	202,56
7	3	-103,13	216,23	-325,28	20	0	728,04	-159,08	-120,86
8	0	-116,98	319,25	482,62	20	1,5	728,04	-157,73	116,75
8	3	-112,58	319,25	-475,11	21	0	783,04	-41,92	34,41
9	0	-479,64	192,57	292,88	21	1,5	783,04	-40,72	96,38
9	3	-475,95	192,57	-284,82	22	0	783,04	40,72	96,38
10	0	-192,57	-370,95	-284,82	22	1,5	783,04	41,92	34,41
10	1,5	-192,57	-369,11	270,22	23	0	728,04	157,73	116,75
11	0	-511,81	-271,68	-204,89	23	1,5	728,04	159,08	-120,86
11	1,5	-511,81	-270,12	201,45	24	0	511,81	265,89	202,56
12	0	-728,04	-163,25	-123,82	24	1,5	511,81	267,46	-197,46
12	1,5	-728,04	-161,90	120,03	25	0	192,57	384,44	285,16
13	0	-783,04	-65,93	37,39	25	1,5	192,57	386,28	-292,88

Çizelge A.16 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	10	0,17	0,00	-3,76
2	0,33	0,00	-0,05	11	0,24	0,00	-3,25
3	0,01	0,00	-1,14	12	0,11	0,00	-3,28
4	0,32	0,00	-1,15	13	0,29	0,00	-2,25
5	0,04	0,00	-2,25	14	0,05	0,00	-2,26
6	0,29	0,00	-2,26	15	0,33	0,00	-1,14
7	0,10	0,00	-3,25	16	0,02	0,00	-1,15
8	0,23	0,00	-3,28	17	0,34	0,00	0,00
9	0,17	0,00	-3,71	18	0,01	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,49
HE220A	Fe37	0,00643	2,97
HE260A	Fe37	0,00868	2,005
HE280A	Fe37	0,00973	6,741
HE300A	Fe37	0,0113	5,219
HE340A	Fe37	0,0133	18,429
HE400A	Fe37	0,0159	7,344
Toplam			43,198



Şekil A.9 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=250 kN

* Kenar Yükler : G=Q=125 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=2,40 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,08-0)/500\approx0,004$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,97 cm, V_{max}=3485,51 kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3485,51/3=1161,84$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,97/4,15\approx2,16$

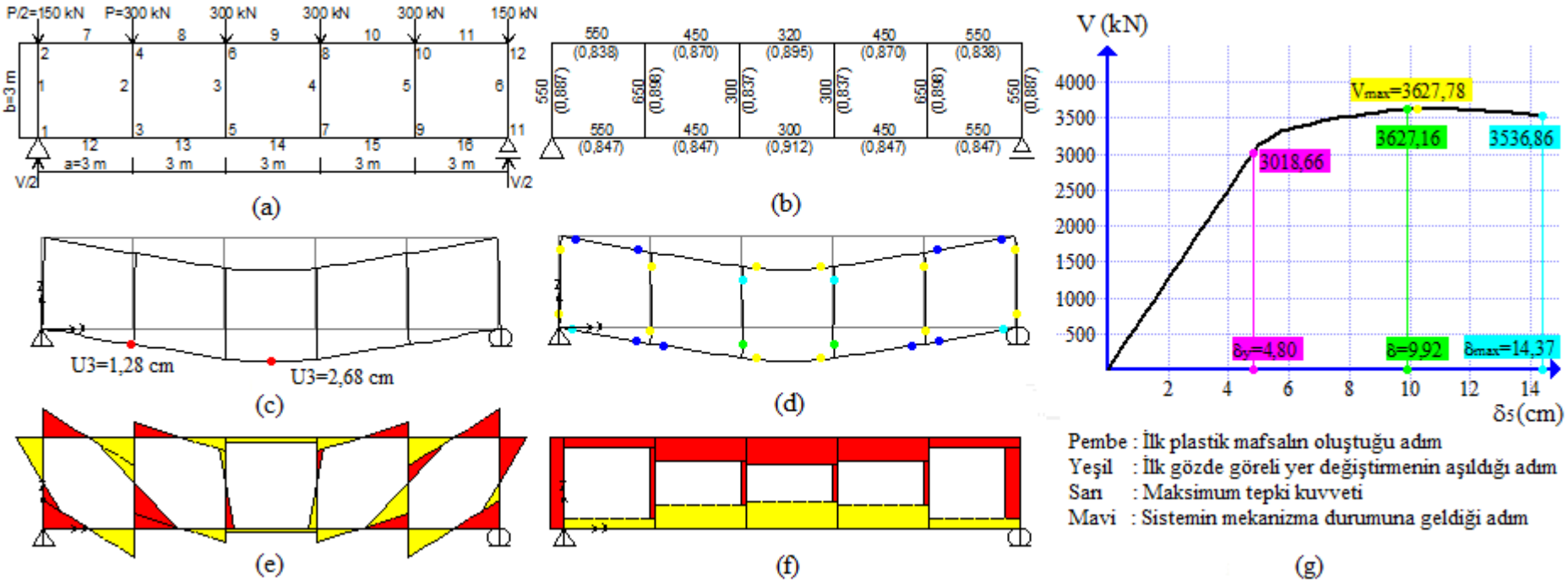
Çizelge A.17 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-520,30	-432,46	-650,07	6	0	-846,94	-2,18	34,64
1	3	-514,71	-432,46	647,29	6	5	-846,94	2,18	34,64
2	0	-252,69	-414,48	-626,82	7	0	-432,46	254,70	651,25
2	3	-247,47	-414,48	616,61	7	5	-432,46	264,71	-647,29
3	0	-252,69	414,48	626,82	8	0	432,46	-264,37	-650,07
3	3	-247,47	414,48	-616,61	8	5	432,46	-254,36	646,74
4	0	-520,30	432,46	650,07	9	0	846,94	-1,67	19,92
4	3	-514,71	432,46	-647,29	9	5	846,94	1,67	19,92
5	0	-432,46	-264,71	-647,29	10	0	432,46	254,36	646,74
5	5	-432,46	-254,70	651,25	10	5	432,46	264,37	-650,07

Çizelge A.18 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,30	0,00	-0,03
3	0,04	0,00	-2,08
4	0,26	0,00	-2,09
5	0,29	0,00	-2,08
6	0,07	0,00	-2,09
7	0,33	0,00	0,00
8	0,03	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE260A	Fe37	0,00868	3,341
HE300A	Fe37	0,0113	4,349
HE600A	Fe37	0,0226	10,438
HE650A	Fe37	0,0242	11,177
HE700A	Fe37	0,026	40,03
Toplam			69,335



Şekil A.10 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

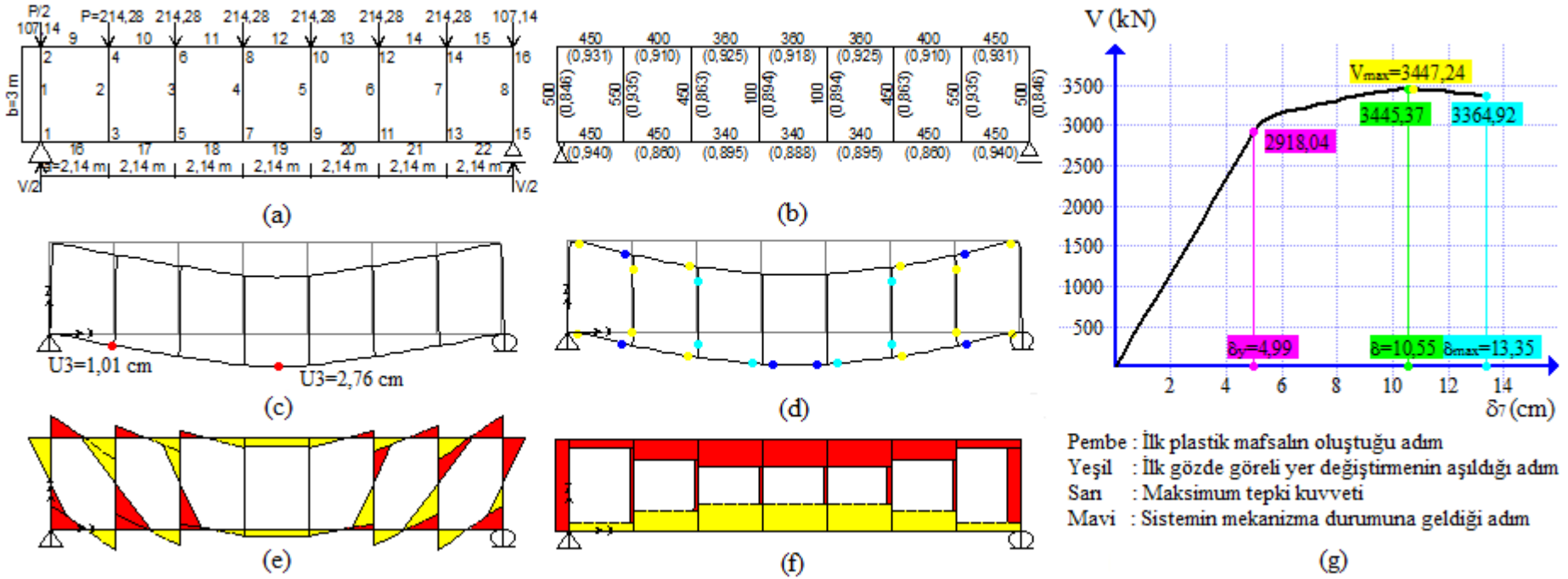
* Ara Yükler : G=Q=150 kN
* Kenar Yükler : G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=2,68 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,28-0)/300\approx0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=14,37 cm, V_{max}=3627,78 kN, $P_{lim}=V_{max}/5=3627,78/5=725,56$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=14,37/4,80\approx2,99$, $\mu_1=\delta/\delta_y=9,92/4,80\approx2,07$

Çizelge A.19 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-465,56	-310,49	-469,95	9	0	-882,28	-1,43	84,78
1	3	-460,67	-310,49	461,52	9	3	-882,28	1,43	84,78
2	0	-160,77	-476,73	-716,99	10	0	-787,22	156,84	226,63
2	3	-155,18	-476,73	713,18	10	3	-787,22	160,95	-250,05
3	0	-147,20	-95,06	-143,34	11	0	-310,49	305,77	463,13
3	3	-144,59	-95,06	141,86	11	3	-310,49	310,67	-461,52
4	0	-147,20	95,06	143,34	12	0	310,49	-318,28	-469,95
4	3	-144,59	95,06	-141,86	12	3	310,49	-313,39	477,55
5	0	-160,77	476,73	716,99	13	0	787,22	-152,62	-239,44
5	3	-155,18	476,73	-713,18	13	3	787,22	-148,51	212,24
6	0	-465,56	310,49	469,95	14	0	882,28	-1,31	68,91
6	3	-460,67	310,49	-461,52	14	3	882,28	1,31	68,91
7	0	-310,49	-310,67	-461,52	15	0	787,22	148,51	212,24
7	3	-310,49	-305,77	463,13	15	3	787,22	152,62	-239,44
8	0	-787,22	-160,95	-250,05	16	0	310,49	313,39	477,55
8	3	-787,22	-156,84	226,63	16	3	310,49	318,28	-469,95

Çizelge A.20 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements								Frame Section Properties			
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3	SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm	Text	Text	m2	KN
1	0,00	0,00	0,00	7	0,21	0,00	-2,47	HE300A	Fe37	0,0113	7,829
2	0,29	0,00	-0,03	8	0,09	0,00	-2,49	HE320A	Fe37	0,0124	2,864
3	0,02	0,00	-1,28	9	0,27	0,00	-1,28	HE450A	Fe37	0,0178	16,443
4	0,27	0,00	-1,29	10	0,03	0,00	-1,29	HE550A	Fe37	0,0212	29,376
5	0,09	0,00	-2,47	11	0,29	0,00	0,00	HE650A	Fe37	0,0242	11,177
6	0,20	0,00	-2,49	12	0,01	0,00	-0,03	Toplam			67,689



Şekil A.11 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=107,14 kN

* Kenar Yükler : G=Q=53,57 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=2,76 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,01-0)/214\approx0,005$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=13,35 cm, V_{max}=3447,24 kN, $P_{lim}=V_{max}/7=2447,24/7=492,46$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=13,35/4,99\approx2,68$, $\mu_1=\delta/\delta_y=10,55/4,99\approx2,11$

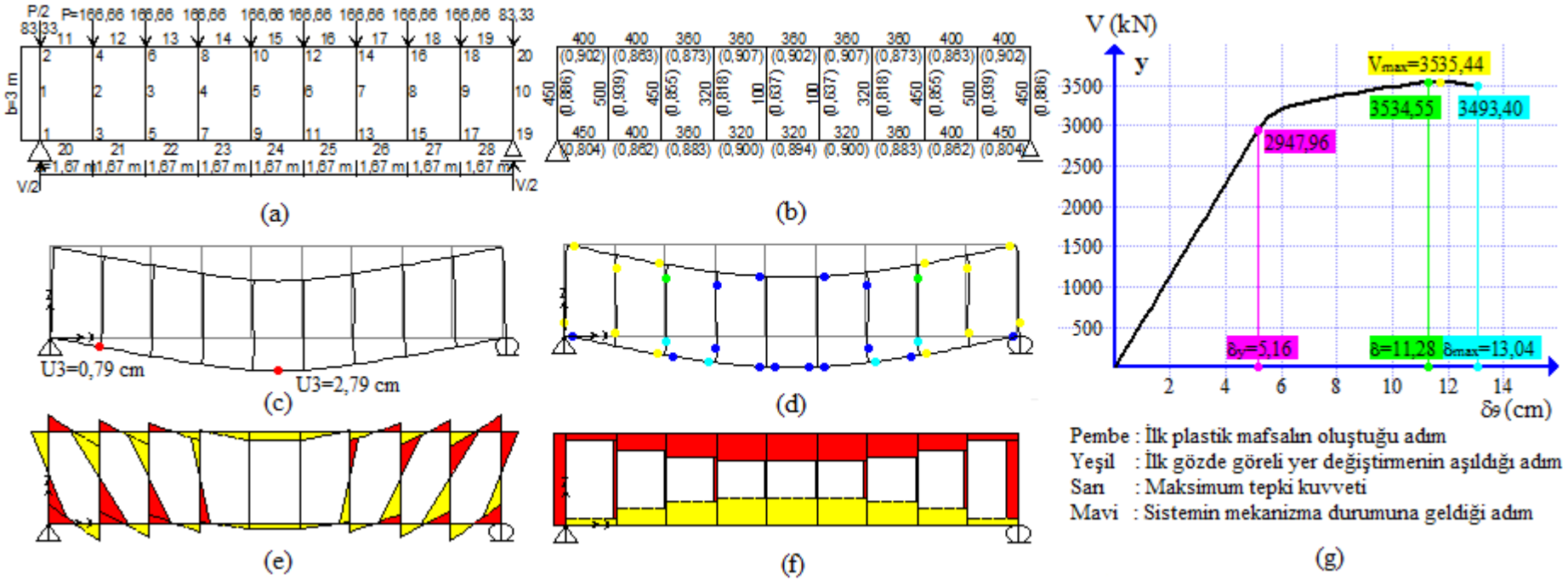
Çizelge A.21 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-446,17	-249,29	-377,85	12	0	-865,40	-1,18	142,89
1	3	-441,59	-249,29	370,03	12	2,14	-865,40	1,18	142,89
2	0	-92,31	-377,23	-578,39	13	0	-863,58	125,90	145,66
2	3	-87,42	-377,23	553,28	13	2,14	-863,58	128,26	-126,67
3	0	-144,62	-237,06	-358,54	14	0	-626,52	202,03	225,96
3	3	-140,51	-237,06	352,62	14	2,14	-626,52	204,65	-209,76
4	0	-90,05	-1,82	-2,69	15	0	-249,29	331,52	343,52
4	3	-89,56	-1,82	2,77	15	2,14	-249,29	334,45	-370,03
5	0	-90,05	1,82	2,69	16	0	249,29	-336,14	-377,85
5	3	-89,56	1,82	-2,77	16	2,14	249,29	-333,21	339,33
6	0	-144,62	237,06	358,54	17	0	626,52	-240,90	-239,07
6	3	-140,51	237,06	-352,62	17	2,14	626,52	-237,96	273,98
7	0	-92,31	377,23	578,39	18	0	863,58	-93,34	-84,56
7	3	-87,42	377,23	-553,28	18	2,14	863,58	-91,14	113,10
8	0	-446,17	249,29	377,85	19	0	865,40	-1,10	110,41
8	3	-441,59	249,29	-370,03	19	2,14	865,40	1,10	110,41
9	0	-249,29	-334,45	-370,03	20	0	863,58	91,14	113,10
9	2,14	-249,29	-331,52	343,52	20	2,14	863,58	93,34	-84,56
10	0	-626,52	-204,65	-209,76	21	0,00	626,52	237,96	273,98
10	2,14	-626,52	-202,03	225,96	21	2,14	626,52	240,90	-239,07
11	0	-863,58	-128,26	-126,67	22	0	249,29	333,21	339,33
11	2,14	-863,58	-125,90	145,66	22	2,14	249,29	336,14	-377,85

Çizelge A.22 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	9	0,19	0,00	-2,65
2	0,31	0,00	-0,03	10	0,12	0,00	-2,71
3	0,02	0,00	-1,01	11	0,26	0,00	-1,91
4	0,30	0,00	-1,02	12	0,06	0,00	-1,92
5	0,05	0,00	-1,91	13	0,30	0,00	-1,01
6	0,25	0,00	-1,92	14	0,02	0,00	-1,02
7	0,12	0,00	-2,65	15	0,31	0,00	0,00
8	0,19	0,00	-2,71	16	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,979
HE340A	Fe37	0,0133	6,582
HE360A	Fe37	0,0143	7,077
HE400A	Fe37	0,0159	5,245
HE450A	Fe37	0,0178	25,839
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
HE550A	Fe37	0,0212	9,792
Toplam			64,659



Şekil A.12 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=83,33 kN

* Kenar Yükler : G=Q=41,67 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=2,79 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,79-0)/167\approx0,005$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=13,04 cm, V_{max}=3535,44 kN, $P_{lim}=V_{max}/9=3535,44/9=392,83$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=13,04/5,16\approx2,53$, $\mu_1=\delta/\delta_y=11,28/5,16\approx2,19$

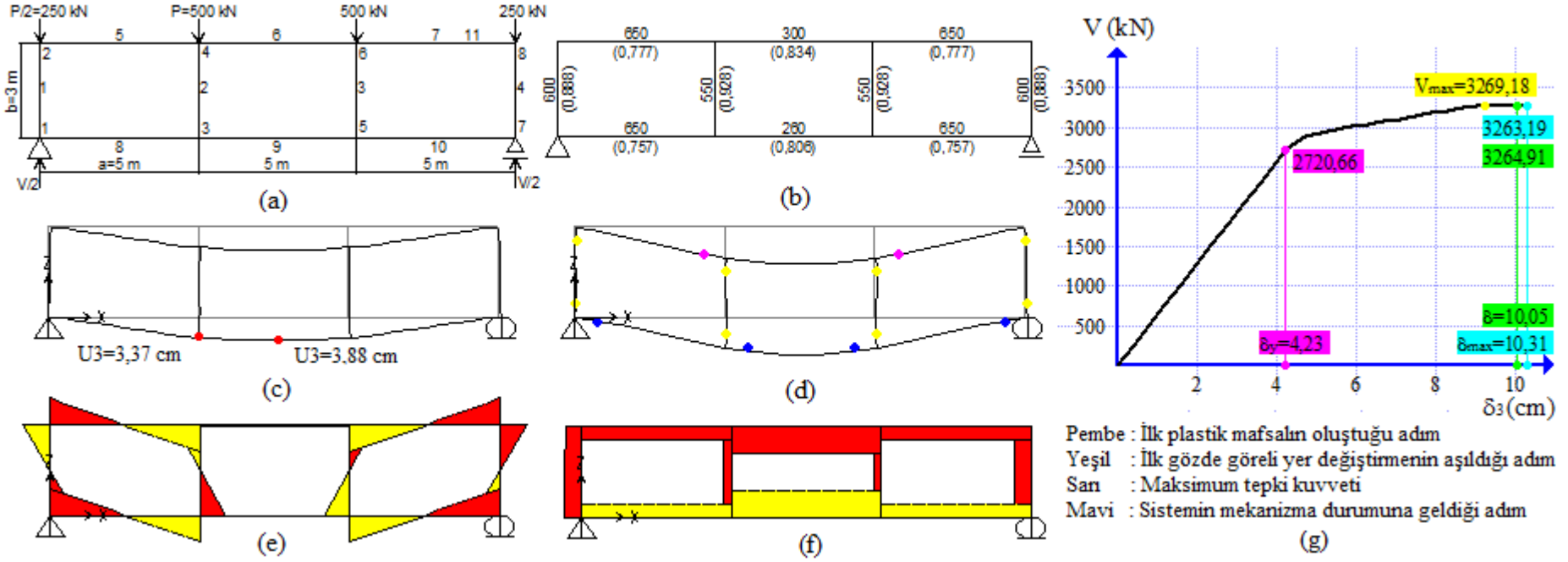
Çizelge A.23 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-409,66	-204,43	-324,50	15	0	-884,32	-0,92	135,42
1	3	-405,55	-204,43	288,79	15	1,67	-884,32	0,92	135,42
2	0	-118,82	-318,64	-490,41	16	0	-882,98	102,27	137,45
2	3	-114,24	-318,64	465,52	16	1,67	-882,98	104,10	-34,52
3	0	-75,38	-246,16	-368,70	17	0	-769,23	168,49	138,13
3	3	-71,27	-246,16	369,79	17	1,67	-769,23	170,33	-144,22
4	0	-105,13	-113,74	-168,58	18	0	-523,06	265,72	225,58
4	3	-102,27	-113,74	172,65	18	1,67	-523,06	267,76	-218,99
5	0	-65,80	-1,34	-1,99	19	0	-204,42	320,18	246,52
5	3	-65,31	-1,34	2,03	19	1,67	-204,42	322,22	-288,78
6	0	-65,80	1,34	1,99	20	0	204,43	-373,67	-324,50
6	3	-65,31	1,34	-2,03	20	1,67	204,43	-371,39	296,40
7	0	-105,13	113,74	168,58	21	0	523,07	-252,57	-194,01
7	3	-102,27	113,74	-172,65	21	1,67	523,07	-250,53	225,23
8	0	-75,38	246,17	368,71	22	0	769,23	-175,15	-143,47
8	3	-71,27	246,17	-369,80	22	1,67	769,23	-173,32	146,93
9	0	-118,82	318,64	490,41	23	0	882,98	-68,19	-21,65
9	3	-114,24	318,64	-465,51	23	1,67	882,98	-66,60	90,67
10	0	-409,67	204,42	324,49	24	0	884,32	-0,79	88,68
10	3	-405,56	204,42	-288,78	24	1,67	884,32	0,80	88,68
11	0	-204,43	-322,21	-288,79	25	0	882,98	66,60	90,67
11	1,67	-204,43	-320,17	246,54	25	1,67	882,98	68,19	-21,64
12	0	-523,07	-267,76	-218,97	26	0	769,23	173,32	146,93
12	1,67	-523,07	-265,72	225,57	26	1,67	769,23	175,16	-143,47
13	0	-769,23	-170,32	-144,22	27	0	523,06	250,54	225,24
13	1,67	-769,23	-168,49	138,13	27	1,67	523,06	252,58	-194,03
14	0	-882,98	-104,10	-34,52	28	0	204,42	371,39	296,37
14	1,67	-882,98	-102,27	137,45	28	1,67	204,42	373,68	-324,49

Çizelge A.24 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	11	0,20	0,00	-2,72
2	0,33	0,00	-0,03	12	0,15	0,00	-2,76
3	0,01	0,00	-0,79	13	0,26	0,00	-2,23
4	0,32	0,00	-0,80	14	0,09	0,00	-2,25
5	0,04	0,00	-1,54	15	0,30	0,00	-1,54
6	0,29	0,00	-1,55	16	0,05	0,00	-1,55
7	0,08	0,00	-2,23	17	0,33	0,00	-0,79
8	0,25	0,00	-2,25	18	0,02	0,00	-0,80
9	0,14	0,00	-2,72	19	0,34	0,00	0,00
10	0,20	0,00	-2,76	20	0,01	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,979
HE320A	Fe37	0,0124	10,5
HE360A	Fe37	0,0143	12,843
HE400A	Fe37	0,0159	12,24
HE450A	Fe37	0,0178	21,01
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
Toplam			66,717



Şekil A.13 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=250 kN

* Kenar Yükler : G=Q=125 kN

* Elastik Durumda: $L/300=1500/300=5$ cm$>\delta_{max}=3,88$ cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(3,37-0)/500\approx0,007$

* Göçme Durumunda: $\delta_{max}=10,31$ cm, $V_{max}=3269,18$ kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3269,18/3=1089,73$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=10,31/4,23\approx2,44$, $\mu_1=\delta/\delta_y=10,05/4,23\approx2,38$

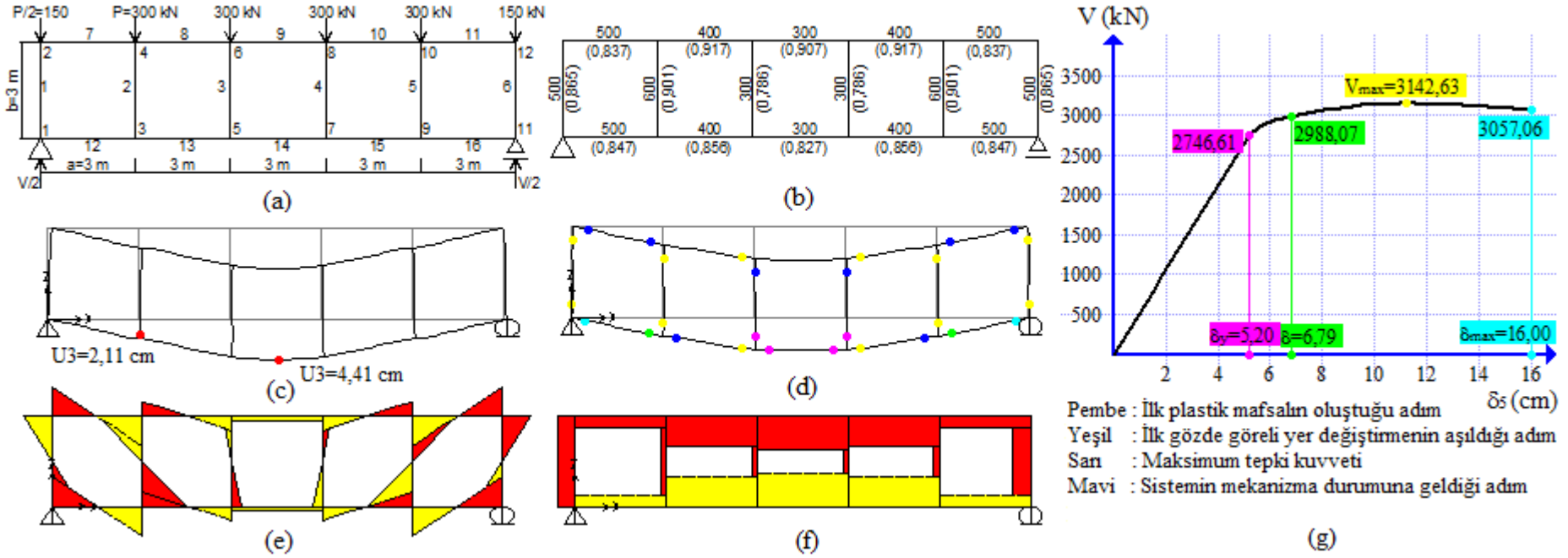
Çizelge A.25 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-723,32	-603,12	-906,00	6	0	-1173,49	-2,61	55,64
1	3	-717,05	-603,12	903,35	6	5	-1173,49	2,61	55,64
2	0	-352,61	-570,37	-862,79	7	0	-603,12	355,88	903,97
2	3	-346,74	-570,37	848,33	7	5	-603,12	367,05	-903,35
3	0	-352,61	570,37	862,79	8	0	603,12	-365,79	-906,00
3	3	-346,74	570,37	-848,33	8	5	603,12	-354,62	895,01
4	0	-723,32	603,12	906,00	9	0	1173,49	-2,01	32,22
4	3	-717,05	603,12	-903,35	9	5	1173,49	2,01	32,22
5	0	-603,12	-367,05	-903,35	10	0	603,12	354,62	895,01
5	5	-603,12	-355,88	903,97	10	5	603,12	365,79	-906,00

Çizelge A.26 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,42	0,00	-0,05
3	0,06	0,00	-3,37
4	0,36	0,00	-3,39
5	0,40	0,00	-3,37
6	0,10	0,00	-3,39
7	0,46	0,00	0,00
8	0,04	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE260A	Fe37	0,00868	3,341
HE300A	Fe37	0,0113	4,349
HE550A	Fe37	0,0212	9,792
HE600A	Fe37	0,0226	10,438
HE650A	Fe37	0,0242	37,258
Toplam			65,178



Şekil A.14 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=150 kN

* Kenar Yükler : G=Q=75 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=4,41 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(2,11-0)/300\approx0,007$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=16,00 cm, V_{max}=3142,63 kN, $P_{lim}=V_{max}/5=3142,63/5=628,53$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=16,00/5,20\approx3,08$, $\mu_1=\delta/\delta_y=6,79/5,20\approx1,31$

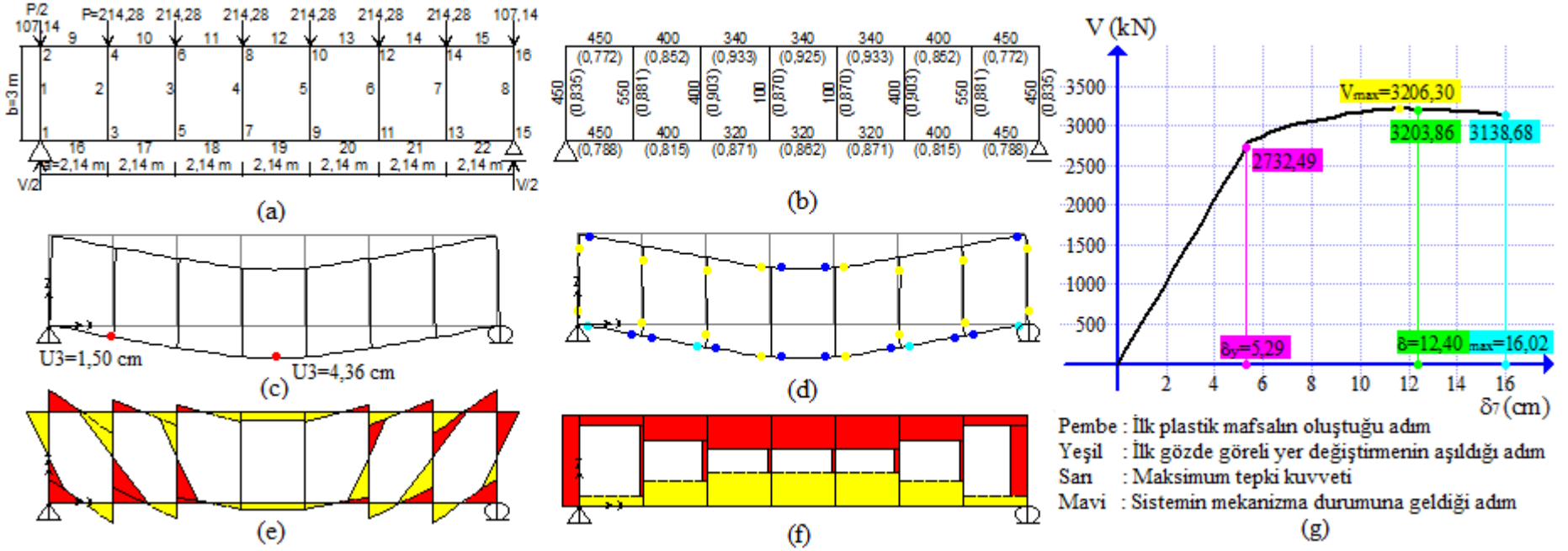
Çizelge A.27 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-647,52	-428,50	-647,61	9	0	-1229,19	-1,57	103,07
1	3	-642,03	-428,50	637,87	9	3	-1229,19	1,57	103,07
2	0	-218,96	-657,47	-989,83	10	0	-1085,96	214,83	318,52
2	3	-212,70	-657,47	982,58	10	3	-1085,96	219,24	-332,59
3	0	-209,87	-143,22	-214,23	11	0	-428,50	426,54	649,99
3	3	-206,73	-143,22	215,45	11	3	-428,50	432,03	-637,87
4	0	-209,87	143,22	214,23	12	0	428,50	-440,28	-647,61
4	3	-206,73	143,22	-215,45	12	3	428,50	-434,80	665,00
5	0	-218,96	657,47	989,83	13	0	1085,96	-215,84	-324,82
5	3	-212,70	657,47	-982,58	13	3	1085,96	-211,43	316,08
6	0	-647,52	428,50	647,61	14	0	1229,19	-1,57	101,85
6	3	-642,03	428,50	-637,87	14	3	1229,19	1,57	101,85
7	0	-428,50	-432,03	-637,87	15	0	1085,96	211,43	316,08
7	3	-428,50	-426,54	649,99	15	3	1085,96	215,84	-324,82
8	0	-1085,96	-219,24	-332,59	16	0	428,50	434,80	665,00
8	3	-1085,96	-214,83	318,52	16	3	428,50	440,28	-647,61

Çizelge A.28 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,30	0,00	-4,09
2	0,43	0,00	-0,05	8	0,13	0,00	-4,12
3	0,03	0,00	-2,11	9	0,40	0,00	-2,11
4	0,40	0,00	-2,13	10	0,03	0,00	-2,13
5	0,13	0,00	-4,09	11	0,43	0,00	0,00
6	0,30	0,00	-4,12	12	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE300A	Fe37	0,01	10,44
HE400A	Fe37	0,02	14,69
HE500A	Fe37	0,02	27,44
HE600A	Fe37	0,02	10,44
Toplam			63,00



Şekil A.15 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=107,14 kN
* Kenar Yükler : G=Q=53,57 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=4,36 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,50-0)/214\approx0,007$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=16,02 cm, V_{max}=3206,30 kN, $P_{lim}=V_{max}/7=3206,30/7=458,04$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=16,02/5,29\approx3,03$, $\mu_1=\delta/\delta_y=12,40/5,29\approx2,34$

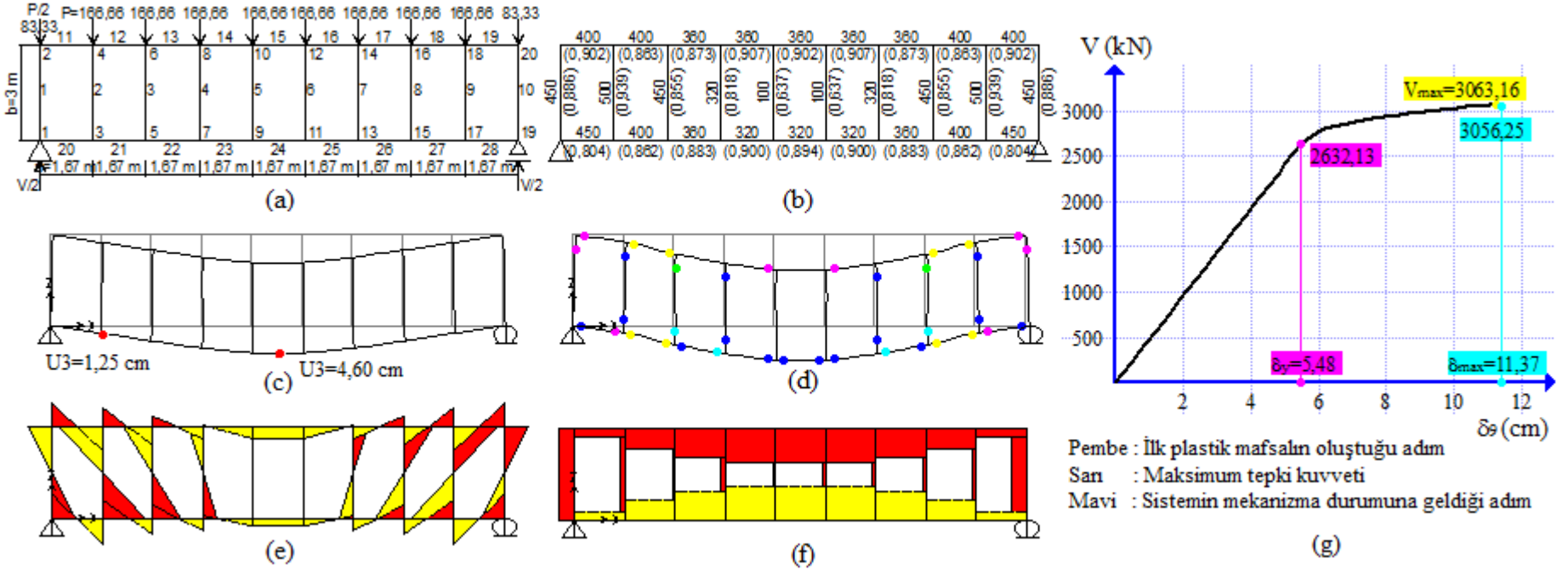
Çizelge A.29 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-613,79	-331,93	-503,80	12	0	-1203,10	-1,32	198,71
1	3	-608,86	-331,93	492,00	12	2,14	-1203,10	1,32	198,71
2	0	-156,51	-556,88	-841,54	13	0	-1200,00	169,71	203,41
2	3	-150,64	-556,88	829,09	13	2,14	-1200,00	172,34	-163,08
3	0	-173,90	-311,19	-459,75	14	0	-888,81	302,84	310,74
3	3	-169,49	-311,19	473,81	14	2,14	-888,81	305,99	-341,56
4	0	-132,19	-3,10	-4,60	15	0	-331,93	455,34	487,53
4	3	-131,60	-3,10	4,70	15	2,14	-331,93	458,86	-492,00
5	0	-132,19	3,10	4,60	16	0	331,93	-472,95	-503,80
5	3	-131,60	3,10	-4,70	16	2,14	331,93	-469,43	505,92
6	0	-173,90	311,19	459,75	17	0	888,81	-312,92	-335,62
6	3	-169,49	311,19	-473,81	17	2,14	888,81	-309,77	331,52
7	0	-156,51	556,88	841,54	18	0	1200,00	-135,87	-128,22
7	3	-150,64	556,88	-829,09	18	2,14	1200,00	-133,42	160,30
8	0	-613,79	331,93	503,80	19	0	1203,10	-1,23	155,70
8	3	-608,86	331,93	-492,00	19	2,14	1203,10	1,23	155,70
9	0	-331,93	-458,86	-492,00	20	0	1200,00	133,42	160,30
9	2,14	-331,93	-455,34	487,53	20	2,14	1200,00	135,87	-128,22
10	0	-888,81	-305,99	-341,56	21	0	888,81	309,77	331,52
10	2,14	-888,81	-302,84	310,74	21	2,14	888,81	312,92	-335,62
11	0	-1200,00	-172,34	-163,08	22	0	331,93	469,43	505,92
11	2,14	-1200,00	-169,71	203,41	22	2,14	331,93	472,95	-503,80

Çizelge A.30 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	9	0,29	0,00	-4,17
2	0,46	0,00	-0,05	10	0,19	0,00	-4,27
3	0,02	0,00	-1,50	11	0,39	0,00	-2,93
4	0,44	0,00	-1,52	12	0,09	0,00	-2,95
5	0,08	0,00	-2,93	13	0,45	0,00	-1,50
6	0,38	0,00	-2,95	14	0,03	0,00	-1,52
7	0,18	0,00	-4,17	15	0,47	0,00	0,00
8	0,28	0,00	-4,27	16	0,01	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,979
HE320A	Fe37	0,0124	6,136
HE340A	Fe37	0,0133	6,582
HE400A	Fe37	0,0159	17,835
HE450A	Fe37	0,0178	19,967
HE550A	Fe37	0,0212	9,792
Toplam			61,291



Şekil A.16 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler : G=Q=83,33 kN

* Kenar Yükler : G=Q=41,67 kN

* Elastik Durumda: $L/300=1500/300=5$ cm$>\delta_{max}=4,60$ cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,25-0)/167\approx0,007$

* Göçme Durumunda: $\delta_{max}=11,37$ cm, $V_{max}=3063,16$ kN, $P_{lim}=V_{max}/9=3063,16/9=340,35$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=11,37/5,48\approx2,07$

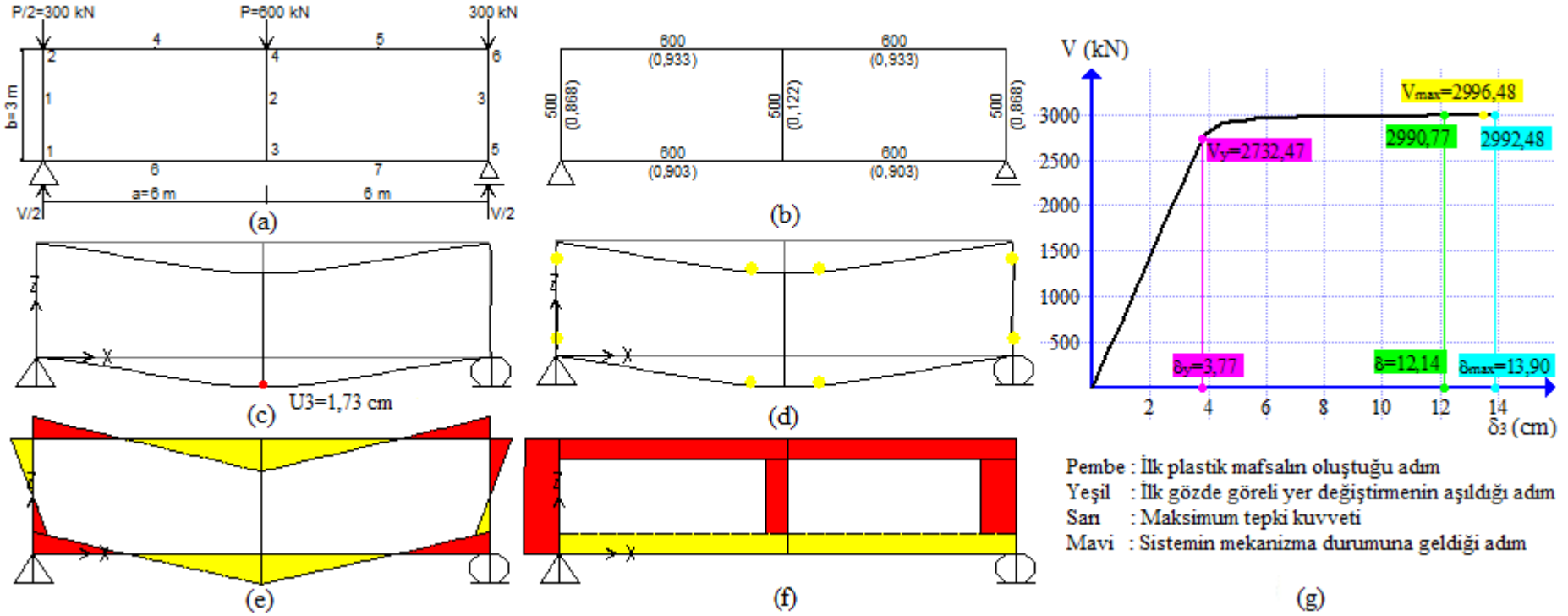
Çizelge A.31 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-589,13	-267,04	-406,87	15	0	-1229,61	-1,02	189,54
1	3	-584,72	-267,04	394,25	15	1,67	-1229,61	1,02	189,54
2	0	-152,71	-475,59	-712,52	16	0	-1227,32	143,52	193,00
2	3	-147,22	-475,59	714,25	16	1,67	-1227,32	145,56	-47,91
3	0	-93,49	-325,16	-482,23	17	0	-1067,78	231,00	193,66
3	3	-89,08	-325,16	493,23	17	1,67	-1067,78	233,05	-193,05
4	0	-151,02	-159,54	-237,04	18	0	-742,63	377,29	300,18
4	3	-147,89	-159,54	241,57	18	1,67	-742,63	379,49	-330,44
5	0	-91,42	-2,29	-3,41	19	0	-267,04	465,60	383,81
5	3	-90,83	-2,29	3,46	19	1,67	-267,04	468,05	-394,25
6	0	-91,42	2,29	3,41	20	0	267,04	-497,79	-406,87
6	3	-90,83	2,29	-3,46	20	1,67	267,04	-495,34	420,75
7	0	-151,02	159,54	237,04	21	0	742,63	-342,63	-291,77
7	3	-147,89	159,54	-241,57	21	1,67	742,63	-340,59	277,56
8	0	-93,49	325,16	482,23	22	0	1067,78	-247,10	-204,67
8	3	-89,08	325,16	-493,23	22	1,67	1067,78	-245,05	205,46
9	0	-152,71	475,59	712,52	23	0	1227,32	-94,03	-31,58
9	3	-147,22	475,59	-714,25	23	1,67	1227,32	-92,29	123,68
10	0	-589,13	267,04	406,87	24	0	1229,61	-0,87	120,27
10	3	-584,72	267,04	-394,25	24	1,67	1229,61	0,87	120,27
11	0	-267,04	-468,05	-394,25	25	0	1227,32	92,29	123,68
11	1,67	-267,04	-465,60	383,81	25	1,67	1227,32	94,03	-31,58
12	0	-742,63	-379,49	-330,44	26	0	1067,78	245,05	205,46
12	1,67	-742,63	-377,29	300,18	26	1,67	1067,78	247,10	-204,67
13	0	-1067,78	-233,05	-193,05	27	0	742,63	340,59	277,56
13	1,67	-1067,78	-231,00	193,66	27	1,67	742,63	342,63	-291,77
14	0	-1227,32	-145,56	-47,91	28	0	267,04	495,34	420,75
14	1,67	-1227,32	-143,52	193,00	28	1,67	267,04	497,79	-406,87

Çizelge A.32 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	11	0,31	0,00	-4,49
2	0,50	0,00	-0,06	12	0,22	0,00	-4,56
3	0,01	0,00	-1,25	13	0,40	0,00	-3,68
4	0,49	0,00	-1,27	14	0,15	0,00	-3,70
5	0,06	0,00	-2,52	15	0,47	0,00	-2,52
6	0,45	0,00	-2,53	16	0,08	0,00	-2,53
7	0,13	0,00	-3,68	17	0,51	0,00	-1,25
8	0,38	0,00	-3,70	18	0,04	0,00	-1,27
9	0,22	0,00	-4,49	19	0,53	0,00	0,00
10	0,30	0,00	-4,56	20	0,02	0,00	-0,06

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE100A	Fe37	0,00212	0,979
HE300A	Fe37	0,0113	9,569
HE340A	Fe37	0,0133	15,358
HE360A	Fe37	0,0143	3,669
HE400A	Fe37	0,0159	22,848
HE500A	Fe37	0,0198	9,145
Toplam			61,568



Şekil A.17 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=300 kN,

* Kenar Yükler: G=Q=150 kN,

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,73 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,73-0)/600\approx0,003$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=13,90 cm, V_{max}=2996,48 kN, $P_{lim}=V_{max}/2=2996,48/2=1498,24$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=13,90/3,77\approx3,69$, $\mu_1=\delta/\delta_y=12,14/3,77\approx3,22$

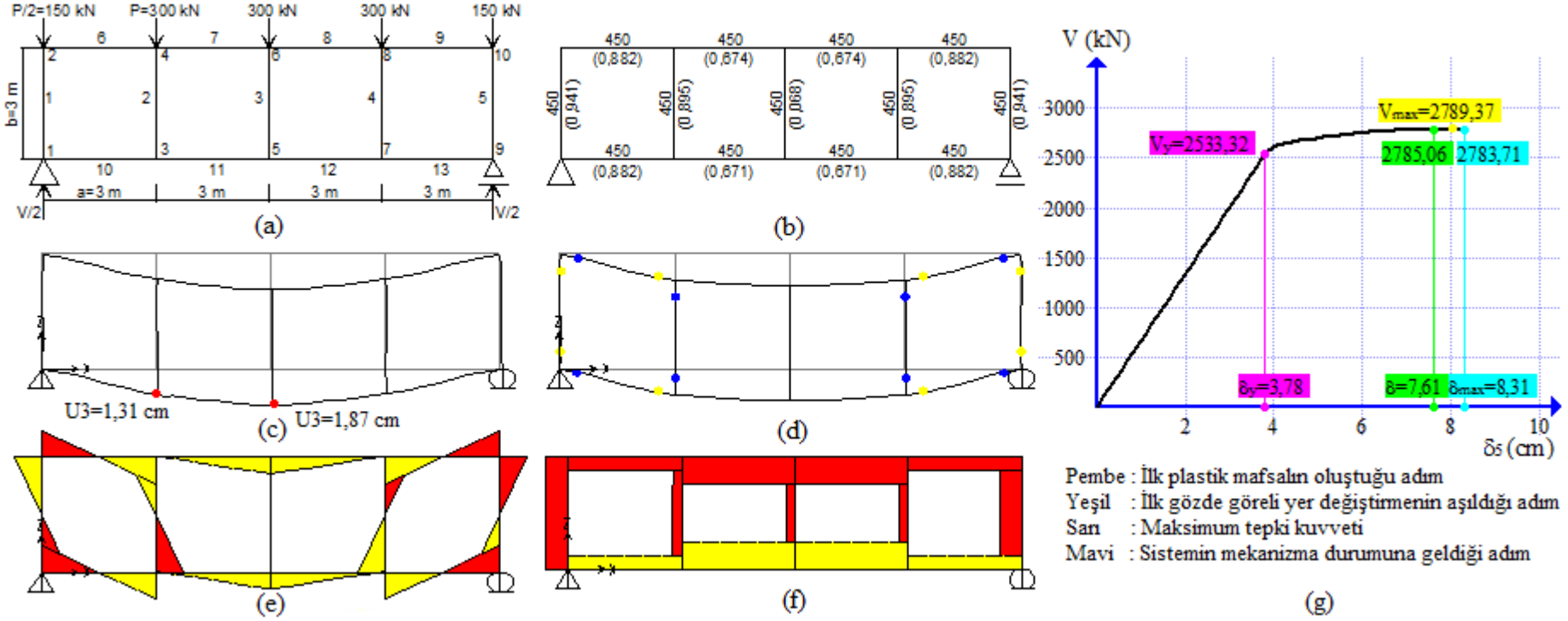
Çizelge A.33 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames				
Frame	**Station**	**P**	**V2**	**M3**
Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-465,68	-256,57	-385,87
1	3	-461,11	-256,57	383,84
2	0	-303,24	0,00	0,00
2	3	-298,67	0,00	0,00
3	0	-465,68	256,57	385,87
3	3	-461,11	256,57	-383,84
4	0	-256,57	-161,11	-383,84
4	6	-256,57	-150,67	551,48
5	0	-256,57	150,67	551,48
5	6	-256,57	161,11	-383,84
6	0	256,57	-162,06	-385,87
6	6	256,57	-151,62	555,16
7	0	256,57	151,62	555,16
7	6	256,57	162,06	-385,87

Çizelge A.34 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	**U1**	**U2**	**U3**	**Joint**	**U1**	**U2**	**U3**
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	4	0,03	0,00	-1,75
2	0,07	0,00	-0,04	5	0,07	0,00	0,00
3	0,03	0,00	-1,73	6	0,00	0,00	-0,04

Frame Section Properties			
SectionName	**Material**	**Area**	**TotalWt**
Text	Text	m2	KN
HE500A	Fe37	0,0198	13,718
HE600A	Fe37	0,0226	41,754
Toplam			55,472



Şekil A.18 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,87 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,31-0)/300\approx0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,31 cm, V_{max}=2789,37 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=2789,37/4=697,34$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,31/3,78\approx2,20$, $\mu_1=\delta/\delta_y=7,61/3,78\approx2,01$

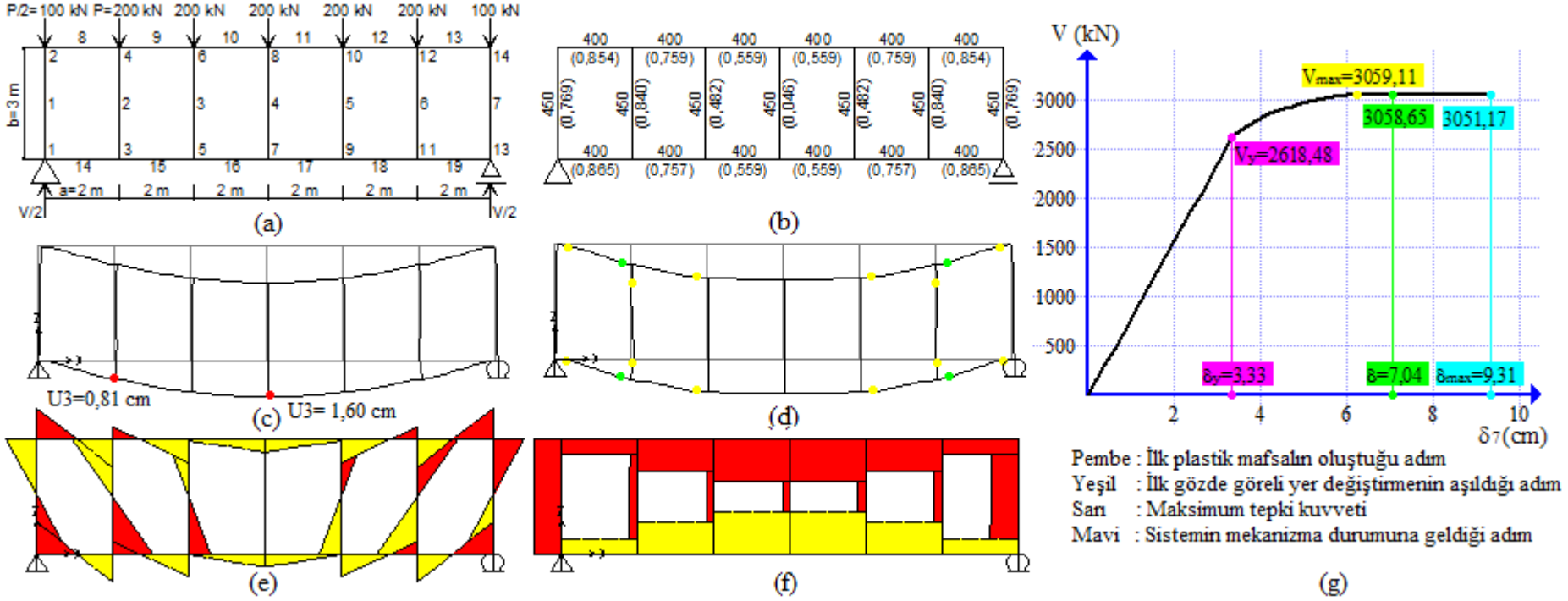
Çizelge A.35 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-388,77	-234,15	-353,27	7	3	-480,61	-76,78	216,62
1	3	-384,66	-234,15	349,19	8	0	-480,61	76,78	216,62
2	0	-154,46	-246,46	-370,87	8	3	-480,61	80,90	-19,89
2	3	-150,35	-246,46	368,51	9	0	-234,15	230,55	348,61
3	0	-150,54	0,00	0,00	9	3	-234,15	234,66	-349,19
3	3	-146,43	0,00	0,00	10	0	234,15	-237,95	-353,27
4	0	-154,46	246,46	370,87	10	3	234,15	-233,84	354,42
4	3	-150,35	246,46	-368,51	11	0	480,61	-79,38	-16,45
5	0	-388,77	234,15	353,27	11	3	480,61	-75,27	215,53
5	3	-384,66	234,15	-349,19	12	0	480,61	75,27	215,53
6	0	-234,15	-234,66	-349,19	12	3	480,61	79,38	-16,45
6	3	-234,15	-230,55	348,61	13	0	234,15	233,84	354,42
7	0	-480,61	-80,90	-19,89	13	3	234,15	237,95	-353,27

Çizelge A.36 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,06	0,00	-1,88
2	0,12	0,00	-0,03	7	0,10	0,00	-1,31
3	0,02	0,00	-1,31	8	0,02	0,00	-1,33
4	0,10	0,00	-1,33	9	0,12	0,00	0,00
5	0,06	0,00	-1,87	10	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE450A	Fe37	0,0178	53,44
Toplam			53,44



Şekil A.19 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=100 kN,
* Kenar Yükler: G=Q=50 kN,
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,60 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,81-0)/200\approx0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,31 cm, V_{max}=3059,11 kN, $P_{lim}=V_{max}/6=3059,11/6=509,85$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,31/3,33\approx2,80$, $\mu_1=\delta/\delta_y=7,04/3,33\approx2,11$

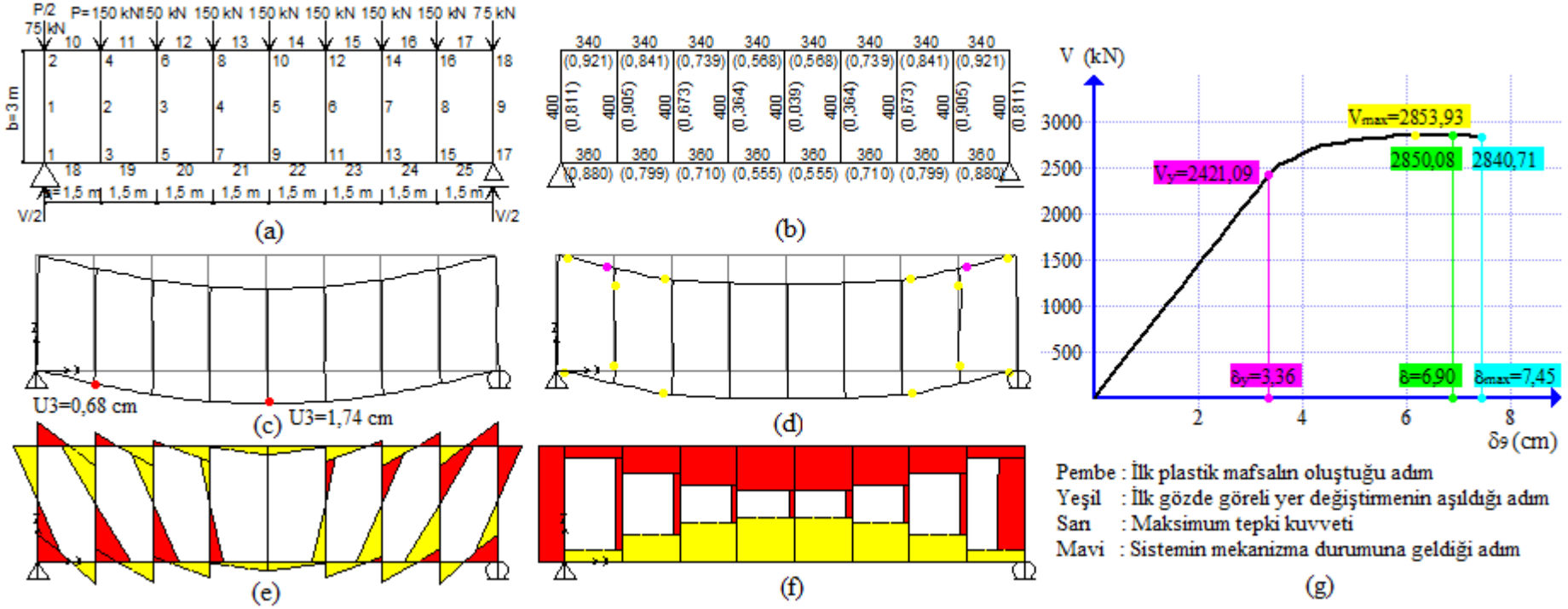
Çizelge A.37 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-362,91	-185,07	-280,66	10	2	-552,21	-50,96	112,22
1	3	-358,80	-185,07	274,54	11	0	-552,21	50,96	112,22
2	0	-107,07	-236,07	-356,00	11	2	-552,21	53,41	7,85
2	3	-102,96	-236,07	352,22	12	0	-421,14	156,87	204,58
3	0	-100,65	-131,07	-196,47	12	2	-421,14	159,32	-111,60
3	3	-96,54	-131,07	196,73	13	0	-185,07	256,35	240,61
4	0	-102,19	0,00	0,00	13	2	-185,07	258,80	-274,54
4	3	-98,08	0,00	0,00	14	0	185,07	-266,16	-280,66
5	0	-100,65	131,07	196,47	14	2	185,07	-263,72	249,21
5	3	-96,54	131,07	-196,73	15	0	421,14	-156,64	-106,78
6	0	-107,07	236,07	356,00	15	2	421,14	-154,19	204,05
6	3	-102,96	236,07	-352,22	16	0	552,21	-53,54	7,58
7	0	-362,91	185,07	280,66	16	2	552,21	-51,09	112,22
7	3	-358,80	185,07	-274,54	17	0	552,21	51,09	112,22
8	0	-185,07	-258,80	-274,54	17	2	552,21	53,54	7,58
8	2	-185,07	-256,35	240,61	18	0	421,14	154,19	204,05
9	0	-421,14	-159,32	-111,60	18	2	421,14	156,64	-106,78
9	2	-421,14	-156,87	204,58	19	0	185,07	263,72	249,21
10	0	-552,21	-53,41	7,85	19	2	185,07	266,16	-280,66

Çizelge A.38 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	8	0,07	0,00	-1,61
2	0,15	0,00	-0,03	9	0,11	0,00	-1,39
3	0,01	0,00	-0,81	10	0,04	0,00	-1,40
4	0,13	0,00	-0,82	11	0,13	0,00	-0,81
5	0,04	0,00	-1,39	12	0,01	0,00	-0,82
6	0,11	0,00	-1,40	13	0,15	0,00	0,00
7	0,07	0,00	-1,60	14	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE400A	Fe37	0,0159	29,376
HE450A	Fe37	0,0178	28,775
Toplam			58,151



Şekil A.20 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=75 kN,
* Kenar Yükler: G=Q=37,5 kN,
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,74 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,68-0)/150\approx0,005$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=7,45 cm, V_{max}=2853,93 kN, $P_{lim}=V_{max}/8=2853,93/8=356,74$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=7,45/3,36\approx2,22$, $\mu_1=\delta/\delta_y=6,90/3,36\approx2,05$

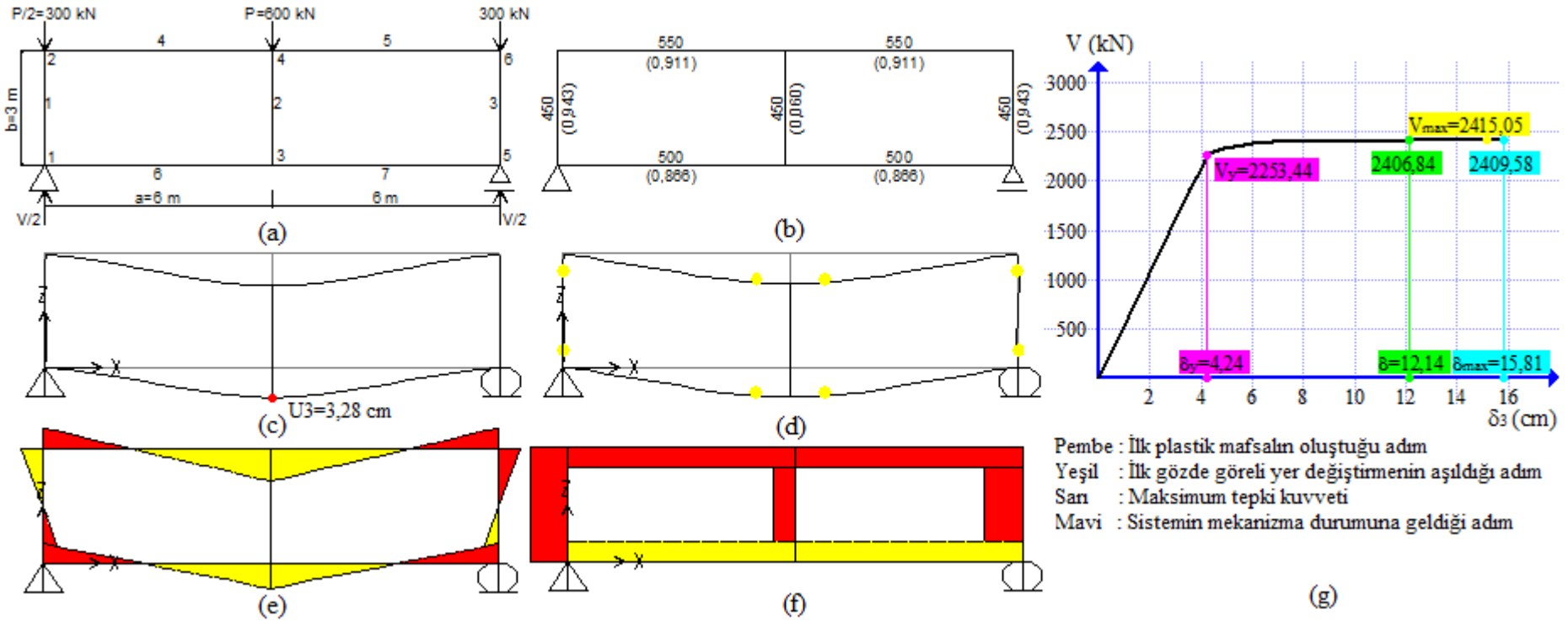
Çizelge A.39 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-341,74	-151,27	-236,06	13	1,5	-578,76	-37,77	67,45
1	3	-338,07	-151,27	217,73	14	0	-578,76	37,77	67,45
2	0	-86,44	-201,73	-309,01	14	1,5	-578,76	39,31	9,64
2	3	-82,76	-201,73	296,19	15	0	-502,24	114,77	122,66
3	0	-77,22	-149,25	-227,26	15	1,5	-502,24	116,31	-50,65
3	3	-73,55	-149,25	220,47	16	0	-353,00	192,76	169,83
4	0	-78,21	-76,52	-116,53	16	1,5	-353,00	194,30	-120,47
4	3	-74,54	-76,52	113,02	17	0	-151,27	261,54	175,72
5	0	-78,13	0,00	0,00	17	1,5	-151,27	263,07	-217,73
5	3	-74,46	0,00	0,00	18	0	151,27	-287,53	-236,06
6	0	-78,21	76,52	116,53	18	1,5	151,27	-285,88	193,99
6	3	-74,54	76,52	-113,02	19	0	353,00	-199,44	-115,02
7	0	-77,22	149,25	227,26	19	1,5	353,00	-197,79	182,91
7	3	-73,55	149,25	-220,47	20	0	502,24	-120,57	-44,35
8	0	-86,44	201,73	309,01	20	1,5	502,24	-118,92	135,27
8	3	-82,76	201,73	-296,19	21	0	578,76	-40,72	18,75
9	0	-341,74	151,27	236,06	21	1,5	578,76	-39,06	78,58
9	3	-338,07	151,27	-217,73	22	0	578,76	39,06	78,58
10	0	-151,27	-263,07	-217,73	22	1,5	578,76	40,72	18,75
10	1,5	-151,27	-261,54	175,72	23	0	502,24	118,92	135,27
11	0	-353,00	-194,30	-120,47	23	1,5	502,24	120,57	-44,35
11	1,5	-353,00	-192,76	169,83	24	0	353,00	197,79	182,91
12	0	-502,24	-116,31	-50,65	24	1,5	353,00	199,44	-115,02
12	1,5	-502,24	-114,77	122,66	25	0	151,27	285,88	193,99
13	0	-578,76	-39,31	9,64	25	1,5	151,27	287,53	-236,06

Çizelge A.40 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	10	0,08	0,00	-1,75
2	0,17	0,00	-0,03	11	0,11	0,00	-1,62
3	0,01	0,00	-0,68	12	0,05	0,00	-1,63
4	0,16	0,00	-0,69	13	0,14	0,00	-1,26
5	0,03	0,00	-1,26	14	0,02	0,00	-1,27
6	0,14	0,00	-1,27	15	0,16	0,00	-0,68
7	0,05	0,00	-1,62	16	0,00	0,00	-0,69
8	0,12	0,00	-1,63	17	0,17	0,00	0,00
9	0,08	0,00	-1,74	18	-0,01	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE340A	Fe37	0,0133	12,286
HE360A	Fe37	0,0143	13,21
HE400A	Fe37	0,0159	33,048
Toplam			58,544



Şekil A.21 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=300 kN,

* Kenar Yükler: G=Q=150 kN,

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=3,28 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(3,28-0)/600\approx0,005$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=15,81 cm, V_{max}=2415,05 kN, $P_{lim}=V_{max}/2=2415,05/2=1207,53$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\ \delta_y=15,81/4,24\approx3,73$, $\mu_1=\delta/\ \delta_y=12,14/4,24\approx2,86$

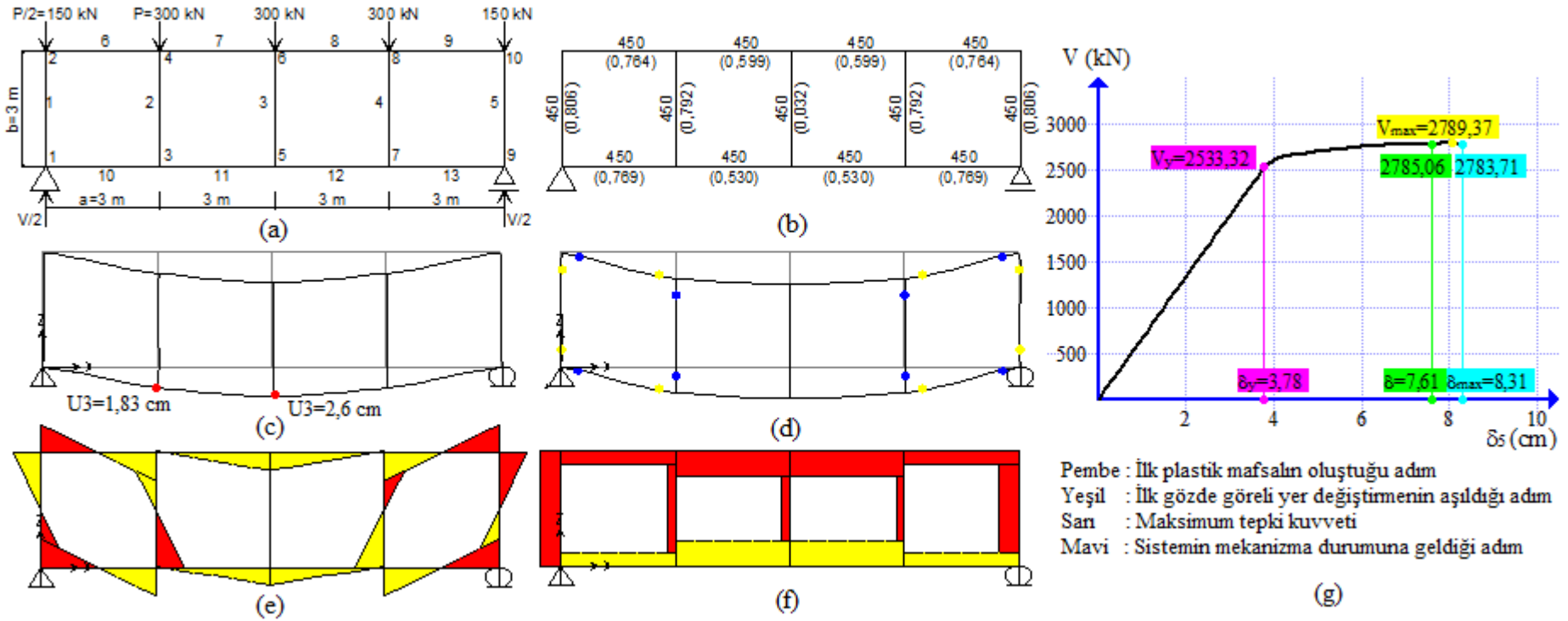
Çizelge A.41 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames				
Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-663,92	-361,47	-517,30
1	3	-658,99	-361,47	567,13
2	0	-390,45	0,00	0,00
2	3	-385,52	0,00	0,00
3	0	-663,92	361,47	517,30
3	3	-658,99	361,47	-567,13
4	0	-361,47	-238,99	-567,13
4	6	-361,47	-227,24	831,57
5	0	-361,47	227,24	831,57
5	6	-361,47	238,99	-567,13
6	0	361,47	-206,20	-517,30
6	6	361,47	-195,23	686,98
7	0	361,47	195,23	686,98
7	6	361,47	206,20	-517,30

Çizelge A.42 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements			
Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00
2	0,11	0,00	-0,06
3	0,05	0,00	-3,28
4	0,05	0,00	-3,31
5	0,11	0,00	0,00
6	0,00	0,00	-0,06

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE450A	Fe37	0,0178	12,332
HE500A	Fe37	0,0198	18,29
HE550A	Fe37	0,0212	19,584
Toplam			50,206



Şekil A.22 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN

* Kenar Yükler: G=Q=75 kN

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,60 cm, $\eta_2=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,83-0)/300\approx0,006$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,31 cm, V_{max}=2789,37 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=2789,37/4=697,34$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,31/3,78\approx2,20$, $\mu_1=\delta/\delta_y=7,61/3,78\approx2,01$

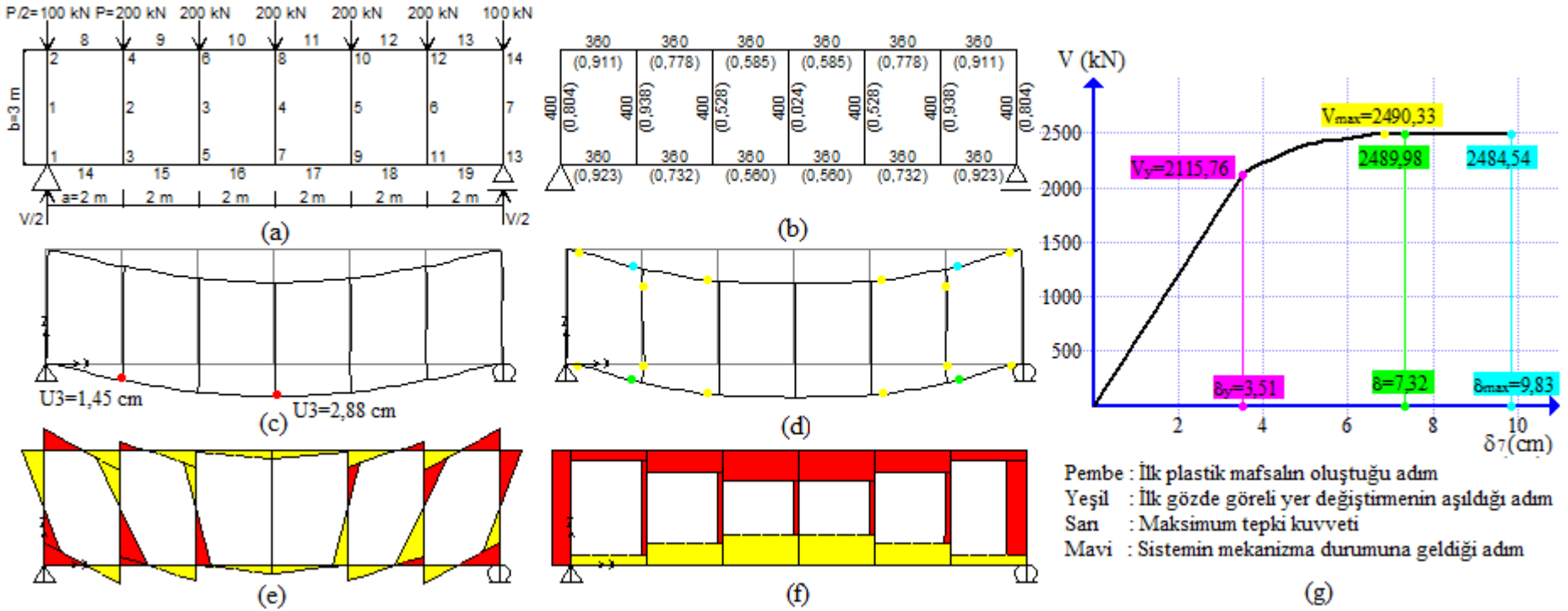
Çizelge A.43 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-541,21	-325,86	-491,63	7	3	-668,94	-107,28	301,75
1	3	-536,28	-325,86	485,95	8	0	-668,94	107,28	301,75
2	0	-215,81	-343,08	-516,25	8	3	-668,94	112,22	-27,50
2	3	-210,87	-343,08	512,98	9	0	-325,86	321,34	485,47
3	0	-210,37	0,00	0,00	9	3	-325,86	326,28	-485,95
3	3	-205,43	0,00	0,00	10	0	325,86	-330,86	-491,63
4	0	-215,81	343,08	516,25	10	3	325,86	-325,92	493,54
4	3	-210,87	343,08	-512,98	11	0	668,94	-110,12	-22,71
5	0	-541,21	325,86	491,63	11	3	668,94	-105,18	300,24
5	3	-536,28	325,86	-485,95	12	0	668,94	105,18	300,24
6	0	-325,86	-326,28	-485,95	12	3	668,94	110,12	-22,71
6	3	-325,86	-321,34	485,47	13	0	325,86	325,92	493,54
7	0	-668,94	-112,22	-27,50	13	3	325,86	330,86	-491,63

Çizelge A.44 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,08	0,00	-2,61
2	0,17	0,00	-0,05	7	0,14	0,00	-1,83
3	0,03	0,00	-1,83	8	0,03	0,00	-1,85
4	0,14	0,00	-1,85	9	0,17	0,00	0,00
5	0,08	0,00	-2,60	10	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE450A	Fe37	0,0178	53,44
Toplam			53,44



Şekil A.23 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=100 kN,

* Kenar Yükler: G=Q=50 kN,

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,88 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,45-0)/200\approx0,007$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,83 cm, V_{max}=2490,33 kN, $P_{lim}=V_{max}/6=2490,33/6=415,06$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,83/3,51\approx2,80$, $\mu_1=\delta/\delta_y=7,32/3,51\approx2,09$

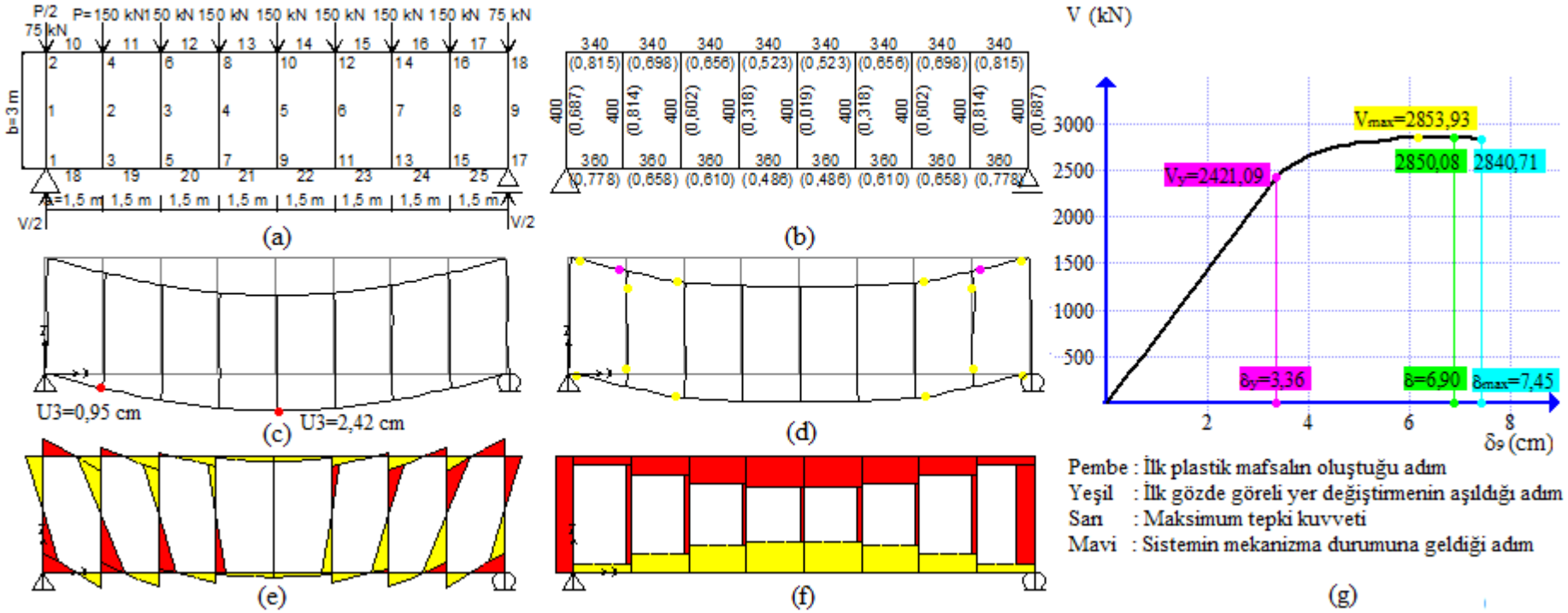
Çizelge A.45 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-503,59	-256,95	-388,91	10	2	-767,56	-70,99	152,25
1	3	-499,18	-256,95	381,93	11	0	-767,56	70,99	152,25
2	0	-148,09	-328,39	-494,70	11	2	-767,56	73,63	7,63
2	3	-143,69	-328,39	490,47	12	0	-585,34	217,59	281,14
3	0	-140,45	-182,22	-273,16	12	2	-585,34	220,23	-156,68
3	3	-136,05	-182,22	273,51	13	0	-256,95	356,54	333,79
4	0	-142,43	0,00	0,00	13	2	-256,95	359,18	-381,93
4	3	-138,02	0,00	0,00	14	0	256,95	-367,69	-388,91
5	0	-140,45	182,22	273,16	14	2	256,95	-365,04	343,81
5	3	-136,05	182,22	-273,51	15	0	585,34	-216,95	-150,88
6	0	-148,09	328,39	494,70	15	2	585,34	-214,31	280,38
6	3	-143,69	328,39	-490,47	16	0	767,56	-73,86	7,21
7	0	-503,59	256,95	388,91	16	2	767,56	-71,21	152,28
7	3	-499,18	256,95	-381,93	17	0	767,56	71,21	152,28
8	0	-256,95	-359,18	-381,93	17	2	767,56	73,86	7,21
8	2	-256,95	-356,54	333,79	18	0	585,34	214,31	280,38
9	0	-585,34	-220,23	-156,68	18	2	585,34	216,95	-150,88
9	2	-585,34	-217,59	281,14	19	0	256,95	365,04	343,81
10	0	-767,56	-73,63	7,63	19	2	256,95	367,69	-388,91

Çizelge A.46 : L=12 m, 6 eşit gözlü b/a=1,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	8	0,11	0,00	-2,89
2	0,23	0,00	-0,05	9	0,17	0,00	-2,51
3	0,02	0,00	-1,45	10	0,06	0,00	-2,53
4	0,21	0,00	-1,47	11	0,21	0,00	-1,45
5	0,06	0,00	-2,51	12	0,02	0,00	-1,47
6	0,17	0,00	-2,53	13	0,23	0,00	0,00
7	0,11	0,00	-2,88	14	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE360A	Fe37	0,0143	26,42
HE400A	Fe37	0,0159	25,704
Toplam			52,124



Şekil A.24 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=75 kN,
* Kenar Yükler: G=Q=37,5 kN,
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=2,42 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,95-0)/150\approx0,006$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=7,45 cm, V_{max}=2853,93 kN, $P_{lim}=V_{max}/8=2853,93/8=356,74$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=7,45/3,36\approx2,22$, $\mu_1=\delta/\delta_y=6,90/3,36\approx2,05$

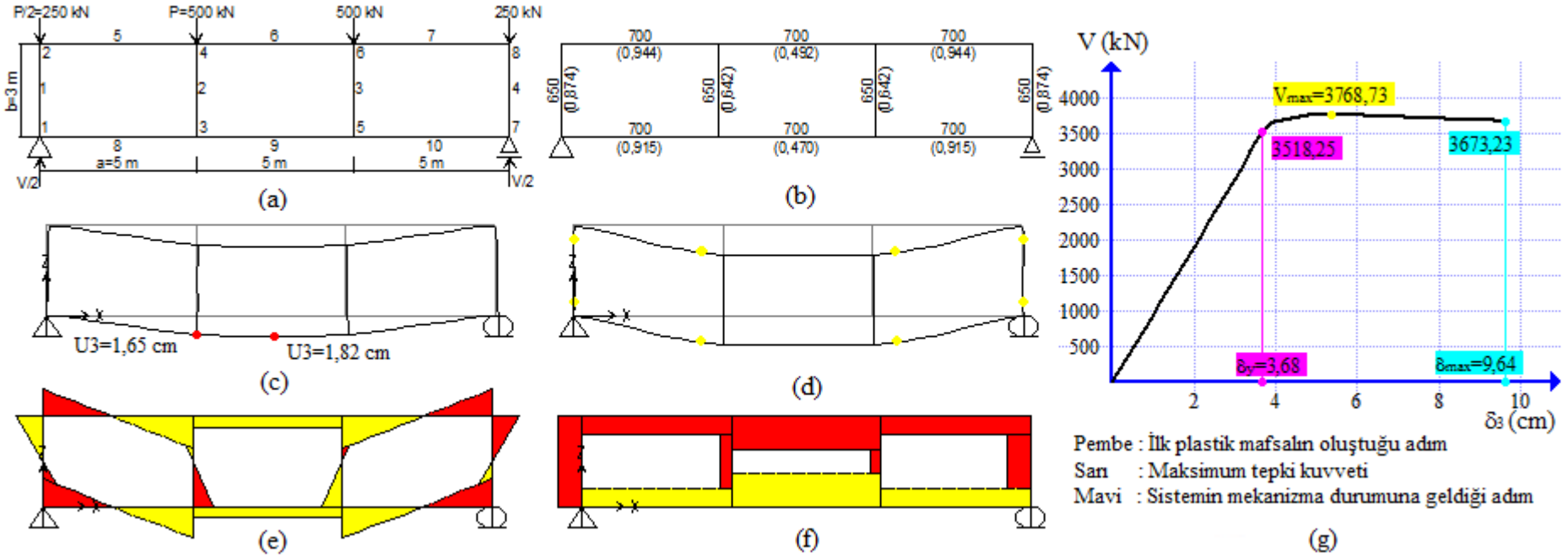
Çizelge A.47 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-475,27	-210,43	-328,39	13	1,5	-805,18	-52,70	93,88
1	3	-470,86	-210,43	302,90	14	0	-805,18	52,70	93,88
2	0	-120,56	-280,66	-429,90	14	1,5	-805,18	54,54	13,45
2	3	-116,15	-280,66	412,07	15	0	-698,72	159,82	170,69
3	0	-107,75	-207,64	-316,17	15	1,5	-698,72	161,67	-70,43
3	3	-103,34	-207,64	306,73	16	0	-491,09	268,33	236,31
4	0	-109,12	-106,45	-162,12	16	1,5	-491,09	270,17	-167,56
4	3	-104,72	-106,45	157,24	17	0	-210,43	364,02	244,51
5	0	-109,01	0,00	0,00	17	1,5	-210,43	365,86	-302,90
5	3	-104,61	0,00	0,00	18	0	210,43	-399,86	-328,39
6	0	-109,12	106,45	162,12	18	1,5	210,43	-397,88	269,91
6	3	-104,72	106,45	-157,24	19	0	491,09	-277,32	-159,99
7	0	-107,75	207,64	316,17	19	1,5	491,09	-275,34	254,51
7	3	-103,34	207,64	-306,73	20	0	698,72	-167,59	-61,67
8	0	-120,56	280,66	429,90	20	1,5	698,72	-165,61	188,23
8	3	-116,15	280,66	-412,07	21	0	805,18	-56,49	26,12
9	0	-475,27	210,43	328,39	21	1,5	805,18	-54,51	109,36
9	3	-470,86	210,43	-302,90	22	0	805,18	54,51	109,36
10	0	-210,43	-365,86	-302,90	22	1,5	805,18	56,49	26,12
10	1,5	-210,43	-364,02	244,51	23	0	698,72	165,61	188,23
11	0	-491,09	-270,17	-167,56	23	1,5	698,72	167,59	-61,67
11	1,5	-491,09	-268,33	236,31	24	0	491,09	275,34	254,51
12	0	-698,72	-161,67	-70,43	24	1,5	491,09	277,32	-159,99
12	1,5	-698,72	-159,82	170,69	25	0	210,43	397,88	269,91
13	0	-805,18	-54,54	13,45	25	1,5	210,43	399,86	-328,39

Çizelge A.48 : L=12 m, 8 eşit gözlü b/a=2,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	10	0,12	0,00	-2,43
2	0,24	0,00	-0,04	11	0,16	0,00	-2,25
3	0,01	0,00	-0,95	12	0,07	0,00	-2,26
4	0,23	0,00	-0,96	13	0,19	0,00	-1,75
5	0,04	0,00	-1,75	14	0,03	0,00	-1,76
6	0,20	0,00	-1,76	15	0,22	0,00	-0,95
7	0,07	0,00	-2,25	16	0,00	0,00	-0,96
8	0,16	0,00	-2,26	17	0,23	0,00	0,00
9	0,12	0,00	-2,42	18	-0,01	0,00	-0,04

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE340A	Fe37	0,0133	12,286
HE360A	Fe37	0,0143	13,21
HE400A	Fe37	0,0159	33,048
Toplam			58,544



Şekil A.25 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=250 kN

* Kenar Yükler: G=Q=125 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=1,82 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,65-0)/500=0,003$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,64 cm, V_{max}=3768,73 kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3768,73/3=1256,24$ kN

* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,64/3,68\approx2,62$

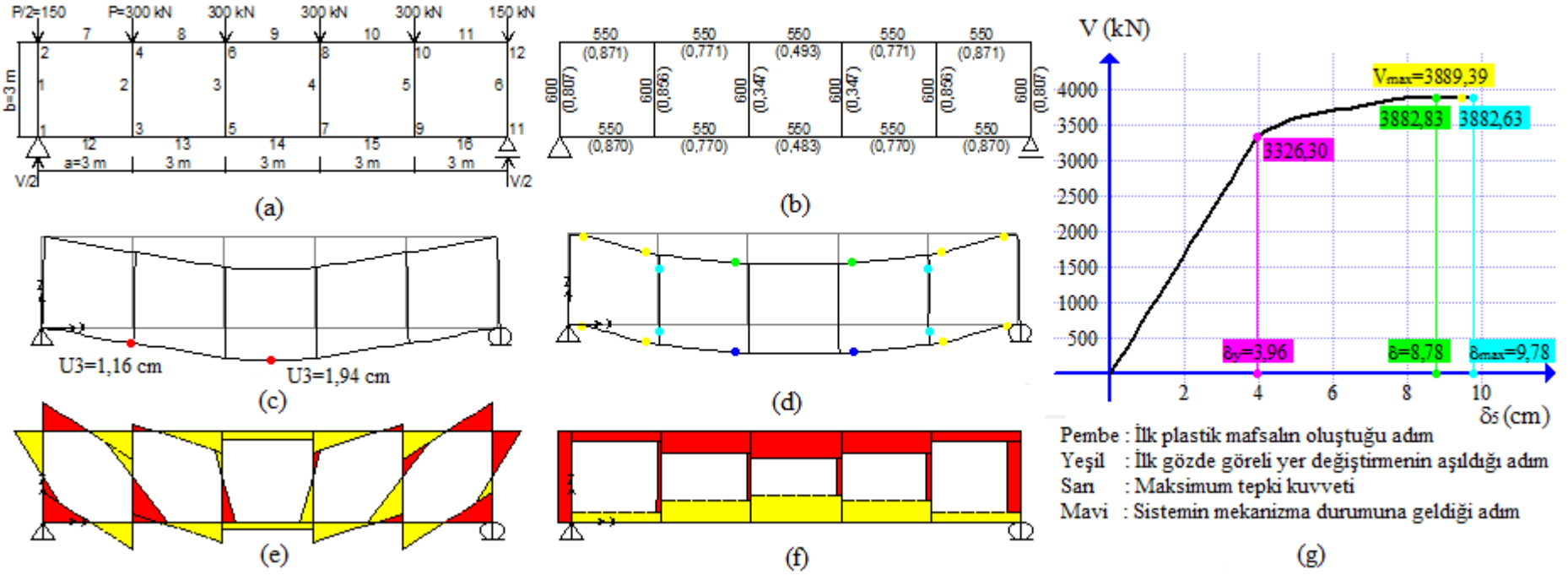
Çizelge A.49 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-522,24	-406,51	-612,38	6	0	-720,74	-5,00	231,55
1	3	-516,65	-406,51	607,15	6	5	-720,74	5,00	231,55
2	0	-253,95	-314,23	-473,18	7	0	-406,51	256,64	701,06
2	3	-248,37	-314,23	469,51	7	5	-406,51	266,65	-607,15
3	0	-253,95	314,23	473,18	8	0	406,51	-268,97	-612,38
3	3	-248,37	314,23	-469,51	8	5	406,51	-258,96	707,43
4	0	-522,24	406,51	612,38	9	0	720,74	-5,00	234,25
4	3	-516,65	406,51	-607,15	9	5	720,74	5,00	234,25
5	0	-406,51	-266,65	-607,15	10	0	406,51	258,96	707,43
5	5	-406,51	-256,64	701,06	10	5	406,51	268,97	-612,38

Çizelge A.50 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	5	0,11	0,00	-1,65
2	0,15	0,00	-0,03	6	0,04	0,00	-1,67
3	0,04	0,00	-1,65	7	0,15	0,00	0,00
4	0,11	0,00	-1,67	8	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE650A	Fe37	0,0242	22,355
HE700A	Fe37	0,026	60,044
Toplam			82,399



Şekil A.26 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler : G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=1,94 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,16-0)/300=0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,78 cm, V_{max}=3889,39 kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3889,39/3=777,88$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,78/3,96\approx2,47$, $\mu_1=\delta/\delta_y=8,78/3,96\approx2,22$

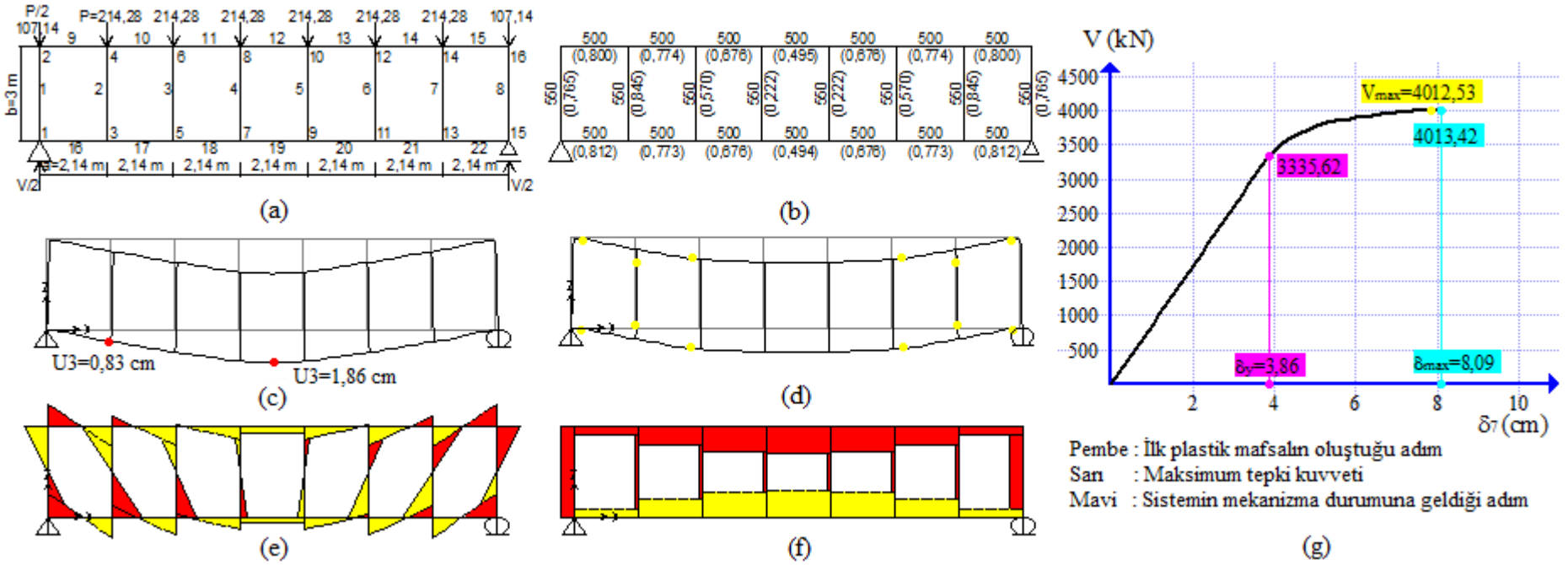
Çizelge A.51 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-469,52	-323,52	-489,41	9	0	-862,79	-2,45	123,57
1	3	-464,30	-323,52	481,14	9	3	-862,79	2,45	123,57
2	0	-156,84	-394,12	-593,79	10	0	-717,64	156,13	341,56
2	3	-151,62	-394,12	588,58	10	3	-717,64	161,02	-134,16
3	0	-151,54	-145,16	-217,47	11	0	-323,52	309,40	454,41
3	3	-146,32	-145,16	217,99	11	3	-323,52	314,30	-481,14
4	0	-151,54	145,16	217,47	12	0	323,52	-320,62	-489,41
4	3	-146,32	145,16	-217,99	12	3	323,52	-315,72	465,11
5	0	-156,84	394,12	593,79	13	0	717,64	-158,88	-128,68
5	3	-151,62	394,12	-588,58	13	3	717,64	-153,99	340,63
6	0	-469,52	323,52	489,41	14	0	862,79	-2,45	123,15
6	3	-464,30	323,52	-481,14	14	3	862,79	2,45	123,15
7	0	-323,52	-314,30	-481,14	15	0	717,64	153,99	340,63
7	3	-323,52	-309,40	454,41	15	3	717,64	158,88	-128,68
8	0	-717,64	-161,02	-134,16	16	0	323,52	315,72	465,11
8	3	-717,64	-156,13	341,56	16	3	323,52	320,62	-489,41

Çizelge A.52 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,13	0,00	-1,88
2	0,21	0,00	-0,03	8	0,07	0,00	-1,89
3	0,02	0,00	-1,16	9	0,19	0,00	-1,16
4	0,19	0,00	-1,17	10	0,02	0,00	-1,17
5	0,07	0,00	-1,88	11	0,21	0,00	0,00
6	0,13	0,00	-1,89	12	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE550A	Fe37	0,0212	48,959
HE600A	Fe37	0,0226	31,315
Toplam			80,274



Şekil A.27 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=107,14 kN
* Kenar Yükler : G=Q=53,57 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=1,86 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,83-0)/214=0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,09 cm, V_{max}=4012,53 kN, $P_{lim}=V_{max}/7=4012,53/7=573,22$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,09/3,86\approx2,10$

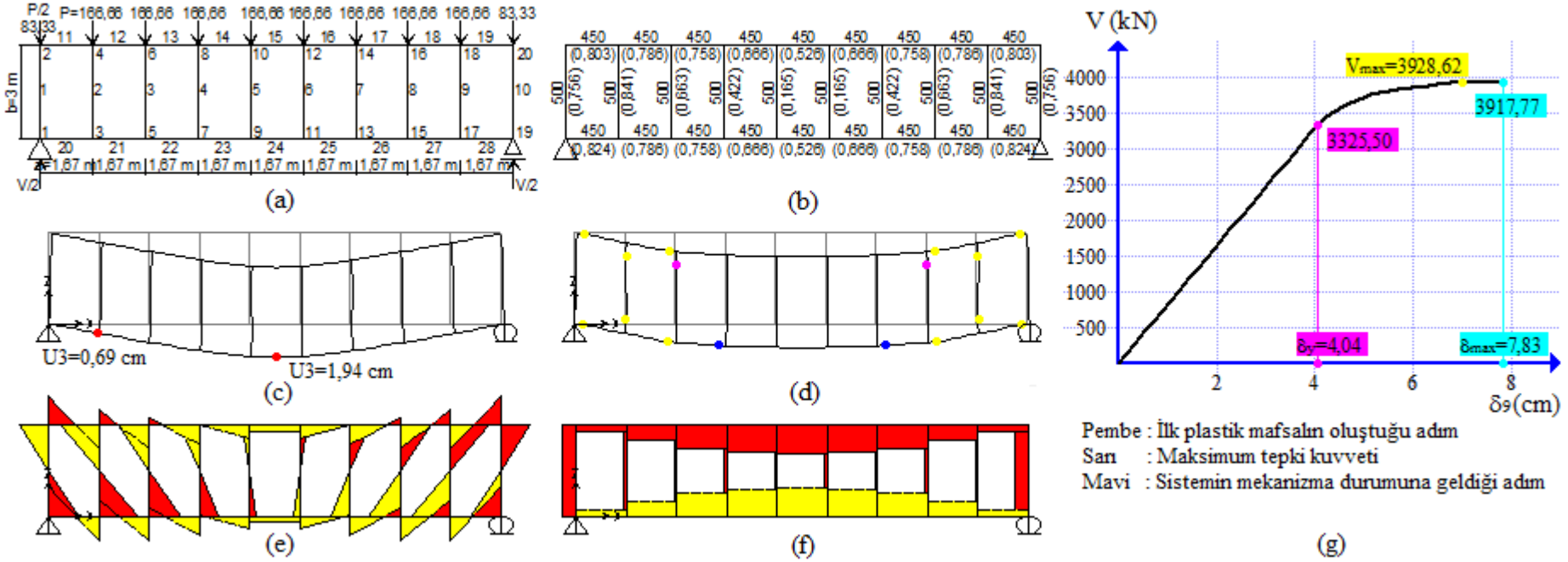
Çizelge A.53 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces – Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-446,38	-260,19	-395,50	12	0	-905,75	-1,63	92,38
1	3	-441,49	-260,19	385,06	12	2,14	-905,75	1,63	92,38
2	0	-117,45	-340,88	-514,60	13	0	-828,21	111,17	208,70
2	3	-112,55	-340,88	508,03	13	2,14	-828,21	114,44	-33,04
3	0	-107,53	-227,15	-340,57	14	0	-601,06	226,09	307,84
3	3	-102,63	-227,15	340,88	14	2,14	-601,06	229,35	-180,12
4	0	-109,64	-77,54	-116,29	15	0	-260,19	331,08	327,91
4	3	-104,74	-77,54	116,32	15	2,14	-260,19	334,35	-385,06
5	0	-109,64	77,54	116,29	16	0	260,19	-346,04	-395,50
5	3	-104,74	77,54	-116,32	16	2,14	260,19	-342,78	342,54
6	0	-107,53	227,15	340,57	17	0	601,06	-225,33	-172,06
6	3	-102,63	227,15	-340,88	17	2,14	601,06	-222,06	307,28
7	0	-117,45	340,88	514,60	18	0	828,21	-114,54	-33,29
7	3	-112,55	340,88	-508,03	18	2,14	828,21	-111,27	208,65
8	0	-446,38	260,19	395,50	19	0	905,75	-1,63	92,35
8	3	-441,49	260,19	-385,06	19	2,14	905,75	1,63	92,35
9	0	-260,19	-334,35	-385,06	20	0	828,21	111,27	208,65
9	2,14	-260,19	-331,08	327,91	20	2,14	828,21	114,54	-33,29
10	0	-601,06	-229,35	-180,12	21	0	601,06	222,06	307,28
10	2,14	-601,06	-226,09	307,84	21	2,14	601,06	225,33	-172,06
11	0	-828,21	-114,44	-33,04	22	0	260,19	342,78	342,54
11	2,14	-828,21	-111,17	208,70	22	2,14	260,19	346,04	-395,50

Çizelge A.54 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	9	0,14	0,00	-1,83
2	0,23	0,00	-0,03	10	0,09	0,00	-1,84
3	0,01	0,00	-0,83	11	0,19	0,00	-1,48
4	0,22	0,00	-0,84	12	0,05	0,00	-1,49
5	0,05	0,00	-1,48	13	0,22	0,00	-0,83
6	0,19	0,00	-1,49	14	0,01	0,00	-0,84
7	0,09	0,00	-1,83	15	0,23	0,00	0,00
8	0,14	0,00	-1,84	16	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE500A	Fe37	0,0198	45,726
HE550A	Fe37	0,0212	39,167
Toplam			84,893



Şekil A.28 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=83,33 kN
* Kenar Yükler : G=Q=41,67 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=1,94 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,69-0)/167=0,004$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=7,83 cm, V_{max}=3928,62 kN, $P_{lim}=V_{max}/9=3928,62/9=436,51$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=7,83/4,04\approx1,94$

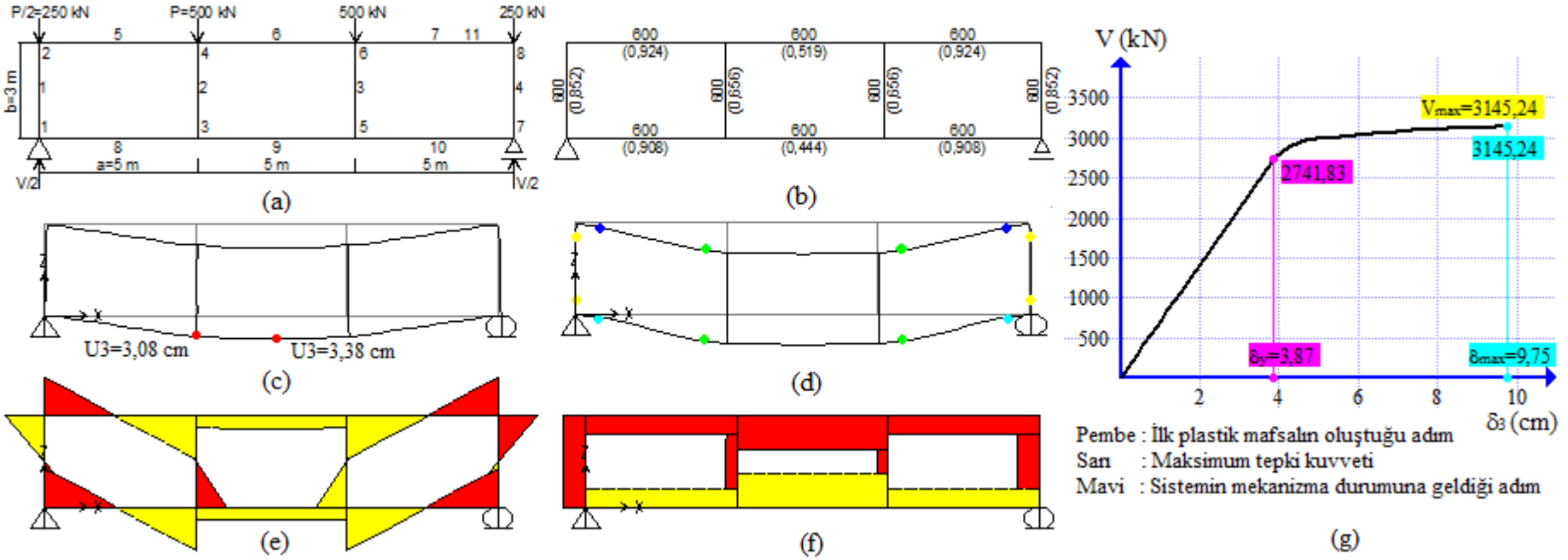
Çizelge A.55 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces – Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-432,31	-217,03	-331,16	15	0	-930,31	-1,14	69,53
1	3	-427,74	-217,03	319,93	15	1,67	-930,31	1,14	69,52
2	0	-96,75	-292,02	-441,62	16	0	-882,55	86,74	141,16
2	3	-92,18	-292,02	434,44	16	1,67	-882,55	89,02	-5,30
3	0	-82,91	-231,18	-346,74	17	0	-740,22	174,75	208,23
3	3	-78,34	-231,18	346,78	17	1,67	-740,22	177,03	-84,92
4	0	-85,51	-142,33	-213,47	18	0	-509,04	265,35	261,87
4	3	-80,94	-142,33	213,53	18	1,67	-509,04	267,63	-182,29
5	0	-85,64	-47,76	-71,64	19	0	-217,02	342,12	252,16
5	3	-81,07	-47,76	71,64	19	1,67	-217,02	344,40	-319,92
6	0	-85,64	47,76	71,64	20	0	217,03	-361,08	-331,16
6	3	-81,07	47,76	-71,64	20	1,67	217,03	-358,80	268,76
7	0	-85,51	142,33	213,47	21	0	509,05	-262,05	-172,86
7	3	-80,94	142,33	-213,53	21	1,67	509,05	-259,77	261,97
8	0	-82,91	231,18	346,75	22	0	740,22	-176,86	-84,77
8	3	-78,34	231,18	-346,79	22	1,67	740,22	-174,57	208,09
9	0	-96,75	292,02	441,61	23	0	882,56	-89,06	-5,37
9	3	-92,18	292,02	-434,44	23	1,67	882,56	-86,78	141,16
10	0	-432,31	217,02	331,15	24	0	930,31	-1,14	69,52
10	3	-427,74	217,02	-319,92	24	1,67	930,31	1,14	69,52
11	0	-217,03	-344,40	-319,93	25	0	882,55	86,78	141,16
11	1,67	-217,03	-342,12	252,18	25	1,67	882,55	89,07	-5,37
12	0	-509,05	-267,63	-182,26	26	0	740,22	174,57	208,10
12	1,67	-509,05	-265,35	261,86	26	1,67	740,22	176,86	-84,77
13	0	-740,22	-177,03	-84,92	27	0	509,04	259,77	261,98
13	1,67	-740,22	-174,74	208,23	27	1,67	509,04	262,05	-172,88
14	0	-882,56	-89,02	-5,30	28	0	217,02	358,80	268,74
14	1,67	-882,56	-86,74	141,16	28	1,67	217,02	361,09	-331,15

Çizelge A.56 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

TABLE: Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	11	0,15	0,00	-1,92
2	0,26	0,00	-0,03	12	0,11	0,00	-1,93
3	0,01	0,00	-0,69	13	0,19	0,00	-1,71
4	0,25	0,00	-0,69	14	0,07	0,00	-1,71
5	0,03	0,00	-1,29	15	0,23	0,00	-1,29
6	0,23	0,00	-1,29	16	0,03	0,00	-1,29
7	0,07	0,00	-1,71	17	0,25	0,00	-0,69
8	0,19	0,00	-1,71	18	0,01	0,00	-0,69
9	0,11	0,00	-1,92	19	0,26	0,00	0,00
10	0,15	0,00	-1,93	20	0,00	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE450A	Fe37	0,0178	41,107
HE500A	Fe37	0,0198	45,726
Toplam			86,833



Şekil A.29 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=250 kN

* Kenar Yükler : G=Q=125 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=3,38 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(3,08-0)/500=0,003$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,75 cm, V_{max}=3145,24 kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3145,24/3=1048,41$ kN

* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,75/3,87\approx2,52$

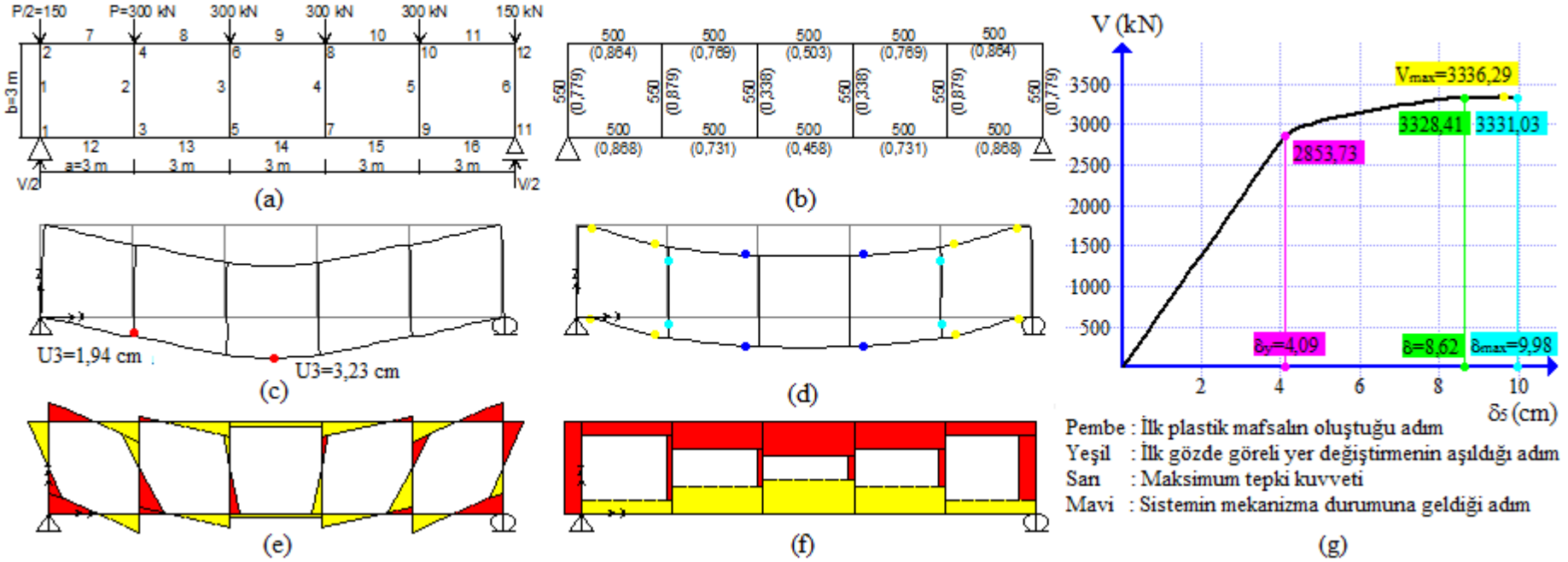
Çizelge A.57 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	**Station**	**P**	**V2**	**M3**	**Frame**	**Station**	**P**	**V2**	**M3**
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-723,81	-574,31	-864,34	6	0	-1035,09	-5,22	263,96
1	3	-717,54	-574,31	858,58	6	5	-1035,09	5,22	263,96
2	0	-354,38	-460,78	-693,27	7	0	-574,31	357,10	953,04
2	3	-348,12	-460,78	689,08	7	5	-574,31	367,54	-858,58
3	0	-354,38	460,78	693,27	8	0	574,31	-370,04	-864,34
3	3	-348,12	460,78	-689,08	8	5	574,31	-359,60	959,74
4	0	-723,81	574,31	864,34	9	0	1035,09	-5,22	266,48
4	3	-717,54	574,31	-858,58	9	5	1035,09	5,22	266,48
5	0	-574,31	-367,54	-858,58	10	0	574,31	359,60	959,74
5	5	-574,31	-357,10	953,04	10	5	574,31	370,04	-864,34

Çizelge A.58 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	5	0,18	0,00	-3,08
2	0,24	0,00	-0,05	6	0,06	0,00	-3,11
3	0,06	0,00	-3,08	7	0,24	0,00	0,00
4	0,18	0,00	-3,11	8	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE600A	Fe37	0,0226	73,069
Toplam			73,069



Şekil A.30 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler : G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=3,23 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,94-0)/300=0,006$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,98 cm, V_{max}=3336,29 kN, $P_{lim}=V_{max}/3=3336,29/3=667,26$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,98/4,09\approx2,44$, $\mu_1=\delta/\delta_y=8,62/4,09\approx2,11$

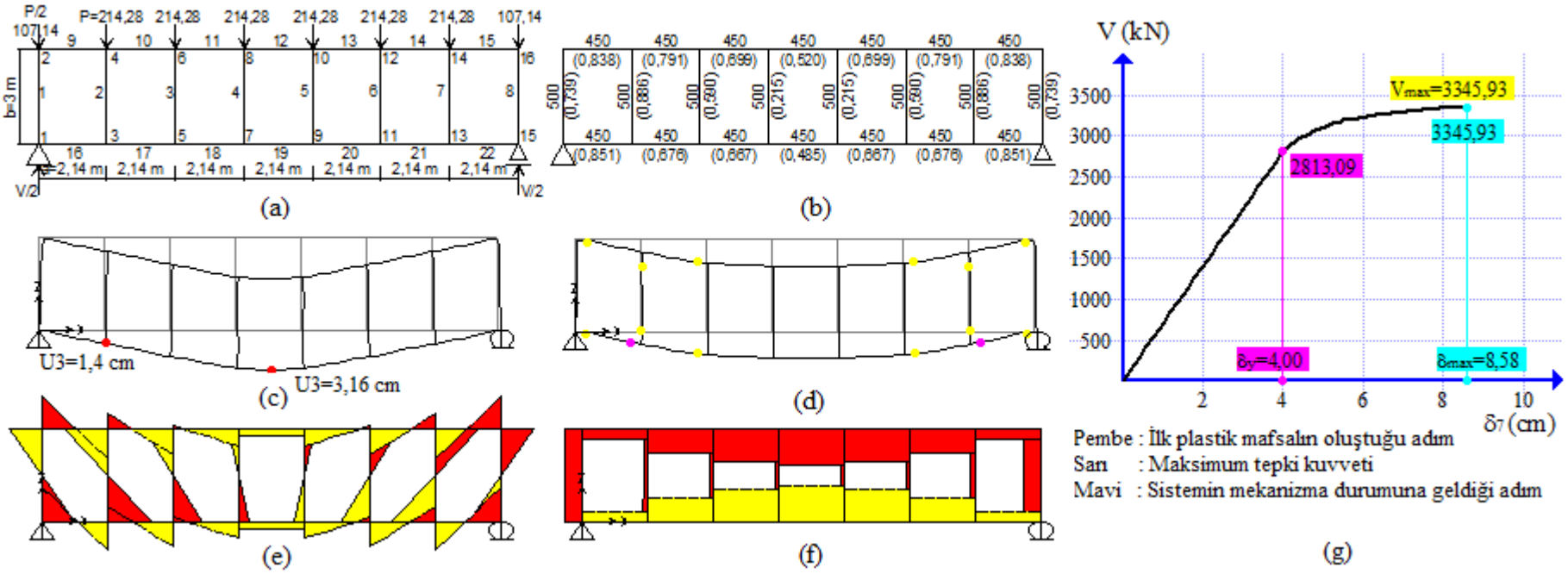
Çizelge A.59 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	**Station**	**P**	**V2**	**M3**	**Frame**	**Station**	**P**	**V2**	**M3**
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-651,72	-449,88	-679,72	9	0	-1205,15	-2,74	158,37
1	3	-645,85	-449,88	669,91	9	3	-1205,15	2,74	158,37
2	0	-217,97	-552,33	-831,56	10	0	-1002,21	216,97	463,12
2	3	-212,10	-552,33	825,42	10	3	-1002,21	222,46	-196,02
3	0	-211,65	-202,94	-304,07	11	0	-449,88	430,36	629,40
3	3	-205,77	-202,94	304,75	11	3	-449,88	435,85	-669,91
4	0	-211,65	202,94	304,07	12	0	449,88	-443,34	-679,72
4	3	-205,77	202,94	-304,75	12	3	449,88	-437,85	642,06
5	0	-217,97	552,33	831,56	13	0	1002,21	-219,88	-189,50
5	3	-212,10	552,33	-825,42	13	3	1002,21	-214,39	461,91
6	0	-651,72	449,88	679,72	14	0	1205,15	-2,74	157,84
6	3	-645,85	449,88	-669,91	14	3	1205,15	2,74	157,84
7	0	-449,88	-435,85	-669,91	15	0	1002,21	214,39	461,91
7	3	-449,88	-430,36	629,40	15	3	1002,21	219,88	-189,50
8	0	-1002,21	-222,46	-196,02	16	0	449,88	437,85	642,06
8	3	-1002,21	-216,97	463,12	16	3	449,88	443,34	-679,72

Çizelge A.60 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,20	0,00	-3,13
2	0,31	0,00	-0,05	8	0,11	0,00	-3,15
3	0,03	0,00	-1,94	9	0,28	0,00	-1,94
4	0,28	0,00	-1,96	10	0,03	0,00	-1,96
5	0,11	0,00	-3,13	11	0,31	0,00	0,00
6	0,20	0,00	-3,15	12	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE500A	Fe37	0,0198	45,726
HE550A	Fe37	0,0212	29,376
Toplam			75,102



Şekil A.31 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=107,14 kN

* Kenar Yükler : G=Q=53,57 kN

* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=3,16 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,40-0)/214=0,007$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,58 cm, V_{max}=3345,93 kN, $P_{lim}=V_{max}/7=3345,93/7=477,99$ kN

* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,58/4,00\approx2,15$

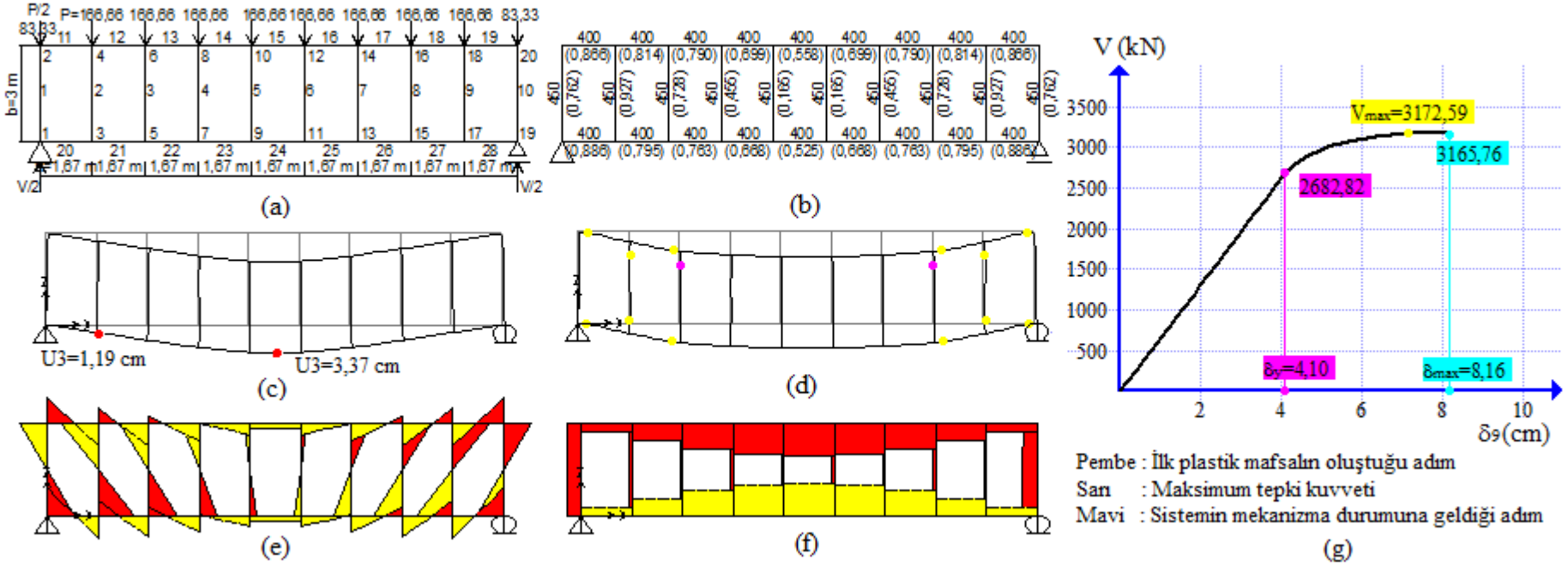
Çizelge A.61 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces – Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-619,22	-360,11	-546,28	12	0	-1263,81	-1,76	113,40
1	3	-613,74	-360,11	534,04	12	2,14	-1263,81	1,76	113,40
2	0	-161,95	-478,28	-721,25	13	0	-1155,71	154,39	275,55
2	3	-156,46	-478,28	713,60	13	2,14	-1155,71	157,92	-59,08
3	0	-150,23	-317,32	-475,73	14	0	-838,39	313,16	417,15
3	3	-144,75	-317,32	476,22	14	2,14	-838,39	316,69	-257,67
4	0	-152,85	-108,10	-162,14	15	0	-360,11	460,22	455,93
4	3	-147,36	-108,10	162,15	15	2,14	-360,11	463,74	-534,04
5	0	-152,85	108,10	162,14	16	0	360,11	-477,36	-546,28
5	3	-147,36	108,10	-162,15	16	2,14	360,11	-473,84	472,88
6	0	-150,23	317,32	475,73	17	0	838,39	-311,89	-248,36
6	3	-144,75	317,32	-476,22	17	2,14	838,39	-308,37	416,18
7	0	-161,95	478,28	721,25	18	0	1155,71	-158,13	-59,56
7	3	-156,46	478,28	-713,60	18	2,14	1155,71	-154,61	275,53
8	0	-619,22	360,11	546,28	19	0	1263,81	-1,76	113,39
8	3	-613,74	360,11	-534,04	19	2,14	1263,81	1,76	113,39
9	0	-360,11	-463,74	-534,04	20	0	1155,71	154,61	275,53
9	2,14	-360,11	-460,22	455,93	20	2,14	1155,71	158,13	-59,56
10	0	-838,39	-316,69	-257,67	21	0	838,39	308,37	416,18
10	2,14	-838,39	-313,16	417,15	21	2,14	838,39	311,89	-248,36
11	0	-1155,71	-157,92	-59,08	22	0	360,11	473,84	472,88
11	2,14	-1155,71	-154,39	275,55	22	2,14	360,11	477,36	-546,28

Çizelge A.62 : L=15 m, 7 eşit gözlü b/a=1,40 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	9	0,22	0,00	-3,11
2	0,36	0,00	-0,05	10	0,14	0,00	-3,12
3	0,02	0,00	-1,40	11	0,29	0,00	-2,52
4	0,34	0,00	-1,42	12	0,07	0,00	-2,53
5	0,07	0,00	-2,52	13	0,34	0,00	-1,40
6	0,29	0,00	-2,53	14	0,02	0,00	-1,42
7	0,14	0,00	-3,11	15	0,36	0,00	0,00
8	0,22	0,00	-3,12	16	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE450A	Fe37	0,0178	41,107
HE500A	Fe37	0,0198	36,581
Toplam			77,688



Şekil A.32 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (Gruplama yapılmıştır): (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=83,33 kN
* Kenar Yükler : G=Q=41,67 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5cm>δ_{max}=3,37 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(1,19-0)/167=0,007$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,16 cm, V_{max}=3172,59 kN, $P_{lim}=V_{max}/9=3172,59/9=352,51$ kN
* Süneklik Oranı: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,16/4,10\approx1,99$

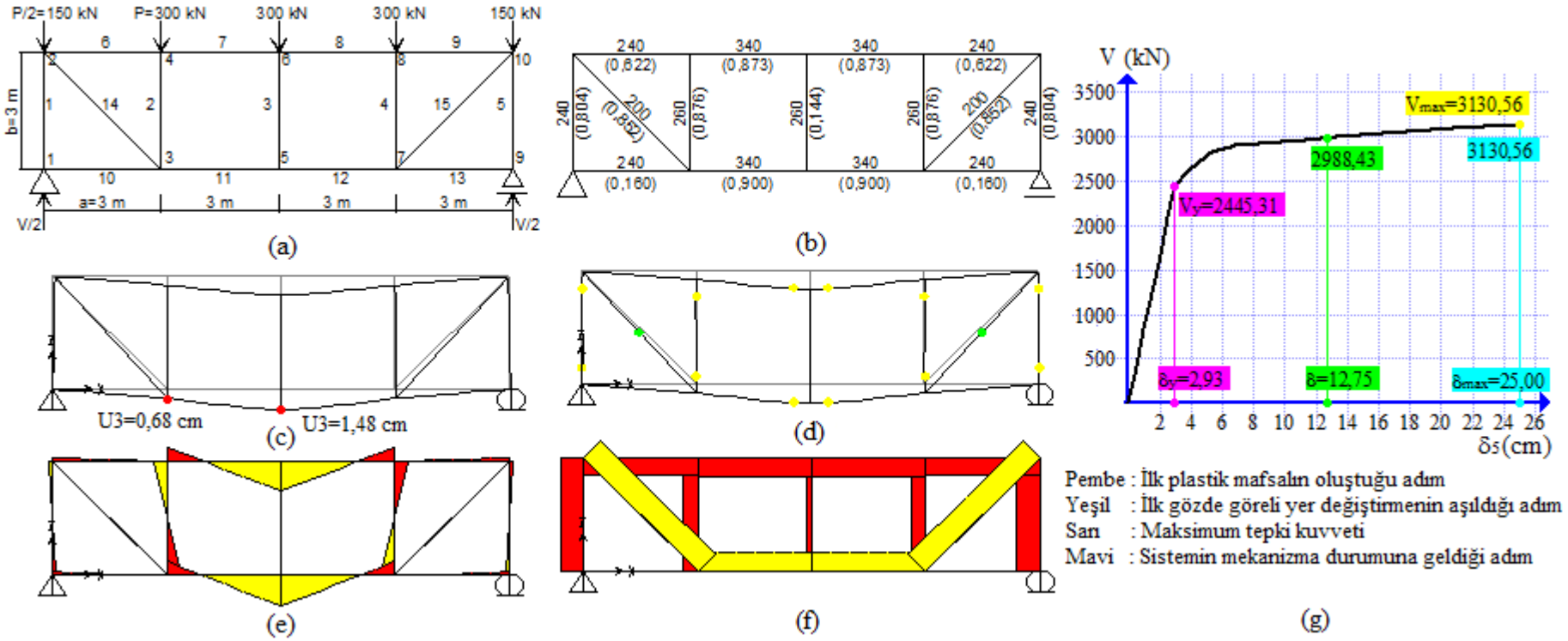
Çizelge A.63 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-599,34	-299,72	-456,18	15	0	-1294,32	-1,22	84,80
1	3	-594,41	-299,72	442,98	15	1,67	-1294,32	1,22	84,80
2	0	-132,40	-408,28	-616,56	16	0	-1227,97	120,33	184,32
2	3	-127,46	-408,28	608,28	16	1,67	-1227,97	122,78	-18,27
3	0	-115,66	-322,08	-482,99	17	0	-1030,07	241,93	278,60
3	3	-110,73	-322,08	483,23	17	1,67	-1030,07	244,38	-126,67
4	0	-119,10	-197,89	-296,82	18	0	-708,00	366,97	356,57
4	3	-114,17	-197,89	296,87	18	1,67	-708,00	369,42	-257,07
5	0	-119,15	-66,35	-99,53	19	0	-299,72	475,28	351,21
5	3	-114,22	-66,35	99,53	19	1,67	-299,72	477,73	-442,98
6	0	-119,15	66,35	99,53	20	0	299,72	-497,33	-456,18
6	3	-114,22	66,35	-99,53	20	1,67	299,72	-494,88	370,68
7	0	-119,10	197,89	296,82	21	0	708,00	-362,49	-245,87
7	3	-114,17	197,89	-296,87	21	1,67	708,00	-360,04	356,21
8	0	-115,66	322,08	482,99	22	0	1030,07	-244,38	-126,78
8	3	-110,73	322,08	-483,23	22	1,67	1030,07	-241,93	278,47
9	0	-132,40	408,28	616,56	23	0	1227,97	-122,82	-18,34
9	3	-127,46	408,28	-608,28	23	1,67	1227,97	-120,38	184,33
10	0	-599,34	299,72	456,18	24	0	1294,32	-1,22	84,80
10	3	-594,41	299,72	-442,98	24	1,67	1294,32	1,22	84,80
11	0	-299,72	-477,73	-442,98	25	0	1227,97	120,38	184,33
11	1,67	-299,72	-475,28	351,21	25	1,67	1227,97	122,82	-18,34
12	0	-708,00	-369,42	-257,07	26	0	1030,07	241,93	278,47
12	1,67	-708,00	-366,97	356,57	26	1,67	1030,07	244,38	-126,78
13	0	-1030,07	-244,38	-126,67	27	0	708,00	360,04	356,21
13	1,67	-1030,07	-241,93	278,60	27	1,67	708,00	362,49	-245,87
14	0	-1227,97	-122,78	-18,27	28	0	299,72	494,88	370,68
14	1,67	-1227,97	-120,33	184,32	28	1,67	299,72	497,33	-456,18

Çizelge A.64 : L=15 m, 9 eşit gözlü b/a=1,80 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	11	0,24	0,00	-3,34
2	0,41	0,00	-0,05	12	0,17	0,00	-3,35
3	0,02	0,00	-1,19	13	0,30	0,00	-2,97
4	0,39	0,00	-1,20	14	0,11	0,00	-2,98
5	0,05	0,00	-2,24	15	0,36	0,00	-2,24
6	0,36	0,00	-2,25	16	0,05	0,00	-2,25
7	0,11	0,00	-2,97	17	0,39	0,00	-1,19
8	0,30	0,00	-2,98	18	0,02	0,00	-1,20
9	0,17	0,00	-3,34	19	0,41	0,00	0,00
10	0,24	0,00	-3,35	20	0,00	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE400A	Fe37	0,0159	36,719
HE450A	Fe37	0,0178	41,107
Toplam			77,826



Şekil A.33 : L=12 m, 4 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm> δ_{max}=1,48 cm, η_2=(δ_5- δ_3)/a=(1,48-0,68)/300=0,003
* Göçme Durumunda: δ_{max}=25,00 cm, V_{max}=3130,56 kN, $P_{lim}=V_{max}/4$=3130,56/4=782,64 kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y$=25,00/2,93≈8,53, $\mu_1=\delta/\delta_y$=12,75/2,93≈4,35

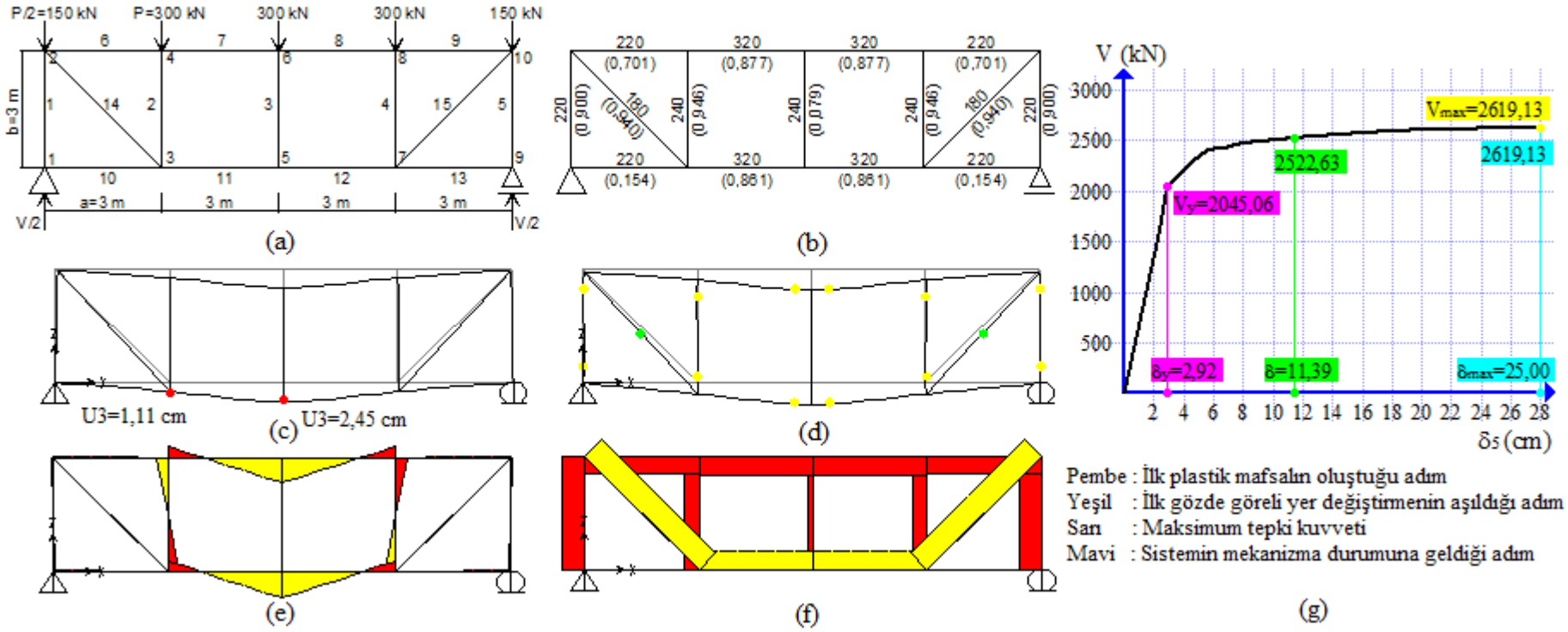
Çizelge A.65 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-609,32	-10,11	-15,81	8	3	-509,09	77,19	-70,30
1	3	-607,54	-10,11	14,53	9	0	-460,60	4,41	1,35
2	0	-374,79	-48,49	-73,83	9	3	-460,60	6,18	-14,53
2	3	-372,78	-48,49	71,64	10	0	10,11	-6,91	-15,81
3	0	-153,77	0,00	0,00	10	3	10,11	-5,14	2,27
3	3	-151,77	0,00	0,00	11	0	509,09	-79,96	-71,56
4	0	-374,79	48,49	73,83	11	3	509,09	-76,89	163,70
4	3	-372,78	48,49	-71,64	12	0	509,09	76,89	163,70
5	0	-609,32	10,11	15,81	12	3	509,09	79,96	-71,56
5	3	-607,54	10,11	-14,53	13	0	10,11	5,14	2,27
6	0	-460,60	-6,18	-14,53	13	3	10,11	6,91	-15,81
6	3	-460,60	-4,41	1,35	14	0	636,46	-0,62	0,00
7	0	-509,09	-77,19	-70,30	14	4,24	637,70	0,62	0,00
7	3	-509,09	-74,12	156,66	15	0	636,46	-0,62	0,00
8	0	-509,09	74,12	156,66	15	4,24	637,70	0,62	0,00

Çizelge A.66 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,06	0,00	-1,50
2	0,21	0,00	-0,12	7	0,12	0,00	-0,68
3	0,00	0,00	-0,68	8	0,00	0,00	-0,74
4	0,12	0,00	-0,74	9	0,12	0,00	0,00
5	0,06	0,00	-1,48	10	-0,09	0,00	-0,12

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE200A	Fe37	0,00538	3,514
HE240A	Fe37	0,00768	10,642
HE260A	Fe37	0,00868	6,014
HE340A	Fe37	0,0133	12,286
Toplam			32,456



Şekil A.34 : L=12 m, 4 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm> δ_{max}=2,45 cm, η_2=(δ_5- δ_3)/a=(2,45-1,11)/300=0,005
* Göçme Durumunda: δ_{max}=28,00 cm, V_{max}=2619,13 kN, $P_{lim}=V_{max}/4$=2619,13/4=654,78 kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y$=28,00/2,92≈9,59, $\mu_1=\delta/\delta_y$=11,39/2,92≈3,90

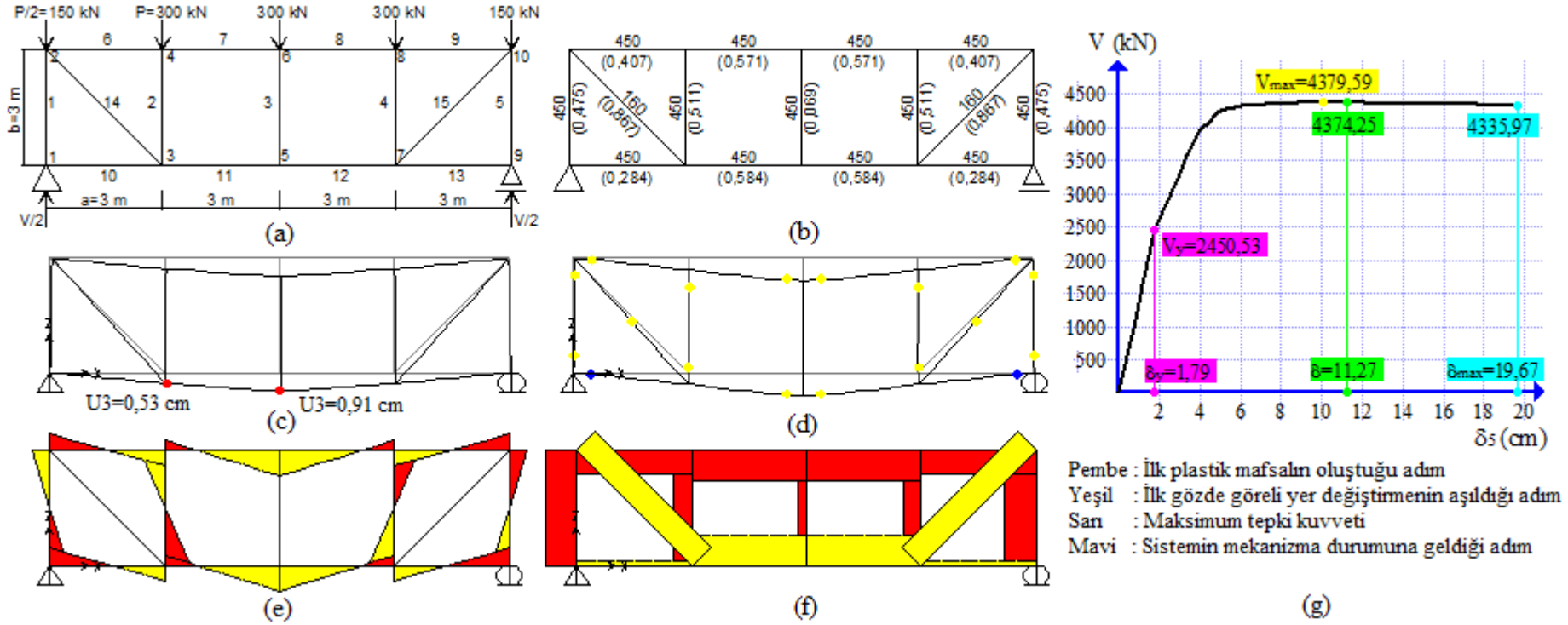
Çizelge A.67 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-850,01	-11,45	-17,98	8	3	-707,70	107,23	-96,81
1	3	-848,23	-11,45	16,36	9	0	-642,62	4,39	-0,51
2	0	-524,96	-65,09	-98,96	9	3	-642,62	6,17	-16,36
2	3	-522,83	-65,09	96,30	10	0	11,45	-7,17	-17,98
3	0	-214,55	0,00	0,00	10	3	11,45	-5,39	0,87
3	3	-212,42	0,00	0,00	11	0	707,70	-110,71	-98,09
4	0	-524,96	65,09	98,96	11	3	707,70	-107,28	228,89
4	3	-522,83	65,09	-96,30	12	0	707,70	107,28	228,89
5	0	-850,01	11,45	17,98	12	3	707,70	110,71	-98,09
5	3	-848,23	11,45	-16,36	13	0	11,45	5,39	0,87
6	0	-642,62	-6,17	-16,36	13	3	11,45	7,17	-17,98
6	3	-642,62	-4,39	-0,51	14	0	891,98	-0,63	0,00
7	0	-707,70	-107,23	-96,81	14	4,24	893,24	0,63	0,00
7	3	-707,70	-103,79	219,72	15	0	891,98	-0,63	0,00
8	0	-707,70	103,79	219,72	15	4,24	893,24	0,63	0,00

Çizelge A.68 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,09	0,00	-2,49
2	0,32	0,00	-0,20	7	0,17	0,00	-1,11
3	0,00	0,00	-1,11	8	0,00	0,00	-1,21
4	0,17	0,00	-1,21	9	0,18	0,00	0,00
5	0,09	0,00	-2,45	10	-0,15	0,00	-0,20

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE180A	Fe37	0,00453	2,959
HE220A	Fe37	0,00643	8,91
HE240A	Fe37	0,00768	5,321
HE320A	Fe37	0,0124	11,455
Toplam			28,645



Şekil A.35 : Gruplamalı L=12 m, 4 eşit gözlü, b/a=1,00 kirişinde ilk ve son gözde çapraz: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm> δ_{max}=0,91 cm, η_1=(δ_3- δ_1)/a=(0,53-0)/300=0,002
* Göçme Durumunda: δ_{max}=19,67 cm, V_{max}=4379,59 kN, $P_{lim}=V_{max}/4$=4379,59/4=1094,90 kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y$=19,67/1,79≈10,99, $\mu_1=\delta/\delta_y$=11,27/1,79≈6,30

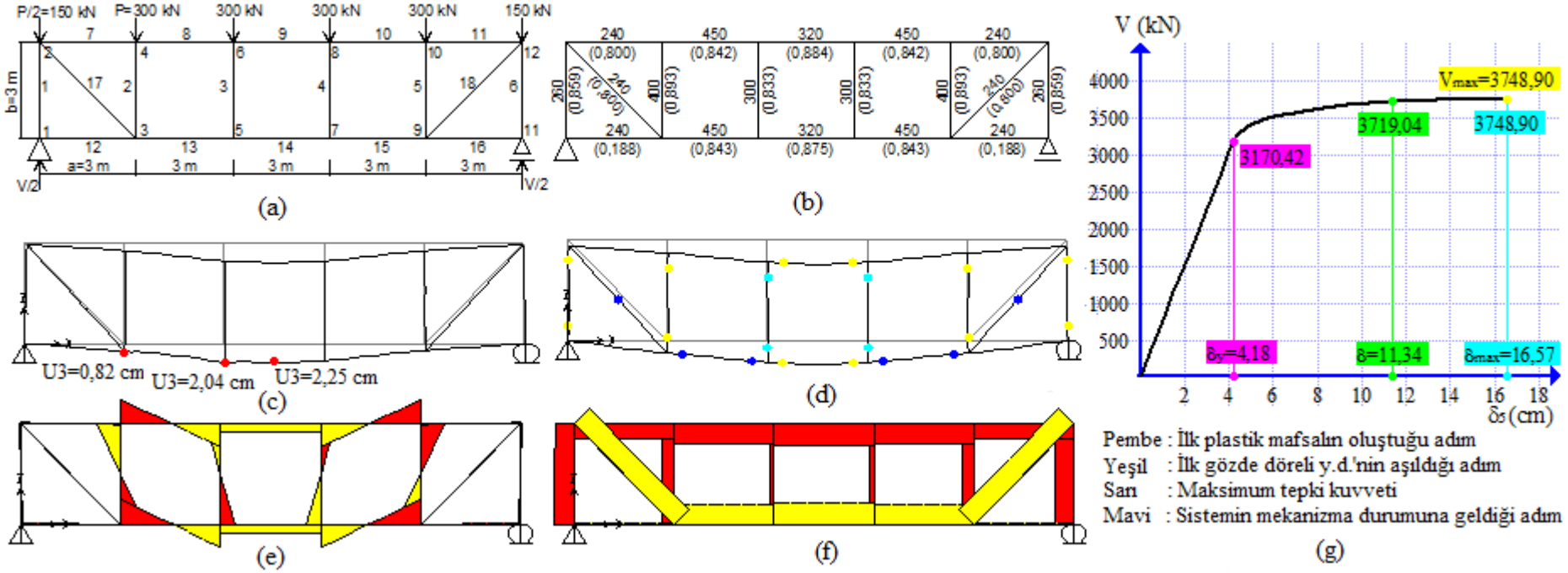
Çizelge A.69 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-554,95	-74,93	-114,26	8	3	-513,58	78,97	-66,02
1	3	-550,84	-74,93	110,52	9	0	-404,37	66,65	95,60
2	0	-316,43	-109,21	-166,01	9	3	-404,37	70,76	-110,52
2	3	-312,32	-109,21	161,62	10	0	74,93	-73,04	-114,26
3	0	-154,39	0,00	0,00	10	3	74,93	-68,93	98,69
3	3	-150,28	0,00	0,00	11	0	513,58	-81,30	-67,33
4	0	-316,43	109,21	166,01	11	3	513,58	-77,19	170,42
4	3	-312,32	109,21	-161,62	12	0	513,58	77,19	170,42
5	0	-554,95	74,93	114,26	12	3	513,58	81,30	-67,33
5	3	-550,84	74,93	-110,52	13	0	74,93	68,93	98,69
6	0	-404,37	-70,76	-110,52	13	3	74,93	73,04	-114,26
6	3	-404,37	-66,65	95,60	14	0	465,46	-0,45	0,00
7	0	-513,58	-78,97	-66,02	14	4,24	466,35	0,45	0,00
7	3	-513,58	-74,86	164,73	15	0	465,46	-0,45	0,00
8	0	-513,58	74,86	164,73	15	4,24	466,35	0,45	0,00

Çizelge A.70 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	6	0,05	0,00	-0,93
2	0,13	0,00	-0,05	7	0,09	0,00	-0,53
3	0,01	0,00	-0,53	8	0,01	0,00	-0,55
4	0,09	0,00	-0,55	9	0,10	0,00	0,00
5	0,05	0,00	-0,91	10	-0,03	0,00	-0,05

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE160A	Fe37	0,00388	2,534
HE450A	Fe37	0,0178	53,44
Toplam			55,974



Şekil A.36 : L=15 m, 5 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm> δ_{max}=2,25 cm, η_2=(δ_5- δ_3)/a=(2,04-0,82)/300=0,004
* Göçme Durumunda: δ_{max}=16,57 cm, V_{max}=3748,90 kN, $P_{lim}=V_{max}/5$=3748,90/5=749,78 kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y$=16,57/4,18≈3,96, $\mu_1=\delta/\delta_y$=11,34/4,18≈2,71

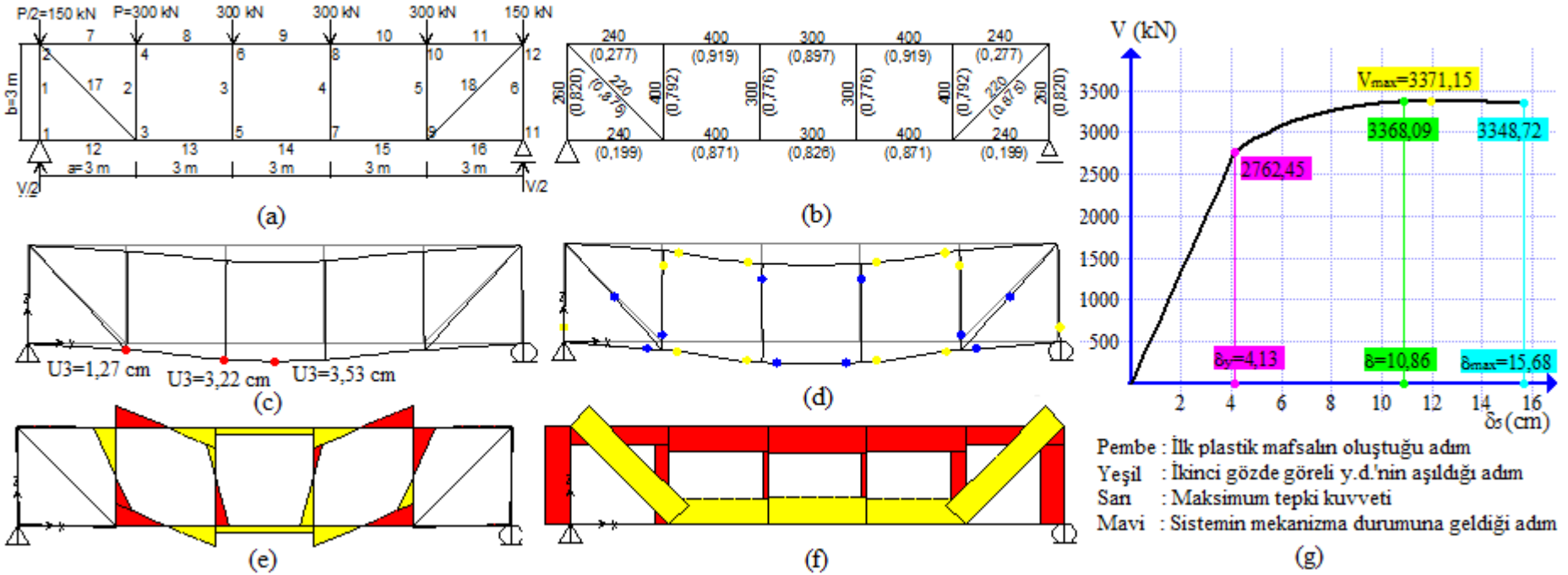
Çizelge A.71 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-765,51	-11,34	-18,58	10	0	-779,70	152,21	223,99
1	3	-763,51	-11,34	15,45	10	3	-779,70	156,32	-238,81
2	0	-454,44	-163,43	-247,60	11	0	-616,27	5,55	3,87
2	3	-450,77	-163,43	242,68	11	3	-616,27	7,33	-15,45
3	0	-151,83	-94,08	-141,75	12	0	11,34	-9,91	-18,58
3	3	-149,22	-94,08	140,49	12	3	11,34	-8,14	8,50
4	0	-151,83	94,08	141,75	13	0	779,70	-157,37	-239,11
4	3	-149,22	94,08	-140,49	13	3	779,70	-153,26	226,84
5	0	-454,44	163,43	247,60	14	0	873,78	-1,43	85,09
5	3	-450,77	163,43	-242,68	14	3	873,78	1,43	85,09
6	0	-765,51	11,34	18,58	15	0	779,70	153,26	226,84
6	3	-763,51	11,34	-15,45	15	3	779,70	157,37	-239,11
7	0	-616,27	-7,33	-15,45	16	0	11,34	8,14	8,50
7	3	-616,27	-5,55	3,87	16	3	11,34	9,91	-18,58
8	0	-779,70	-156,32	-238,81	17	0	854,61	-0,89	0,00
8	3	-779,70	-152,21	223,99	17	4,24	856,39	0,89	0,00
9	0	-873,78	-1,43	83,50	18	0	854,61	-0,89	0,00
9	3	-873,78	1,43	83,50	18	4,24	856,39	0,89	0,00

Çizelge A.72 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,17	0,00	-2,04
2	0,36	0,00	-0,13	8	0,07	0,00	-2,06
3	0,00	0,00	-0,82	9	0,24	0,00	-0,82
4	0,24	0,00	-0,87	10	0,00	0,00	-0,87
5	0,07	0,00	-2,04	11	0,24	0,00	0,00
6	0,17	0,00	-2,06	12	-0,12	0,00	-0,13

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE240A	Fe37	0,00768	12,111
HE260A	Fe37	0,00868	4,009
HE300A	Fe37	0,0113	5,219
HE320A	Fe37	0,0124	5,727
HE400A	Fe37	0,0159	7,344
HE450A	Fe37	0,0178	16,443
Toplam			50,853



Şekil A.37 : L=15 m, 5 eşit gözlü, ilk ve son göz çaprazlı, b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN

* Kenar Yükler: G=Q=75 kN

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm> δ_{max}=3,53 cm, η_2=(δ_5- δ_3)/a=(3,22-1,27)/300=0,007

* Göçme Durumunda: δ_{max}=15,68 cm, V_{max}=3371,15 kN, $P_{lim}=V_{max}/5$=3371,15/5=782,64 kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y$=15,68/4,13≈3,80, $\mu_2=\delta/\delta_y$=10,86/4,13≈2,63

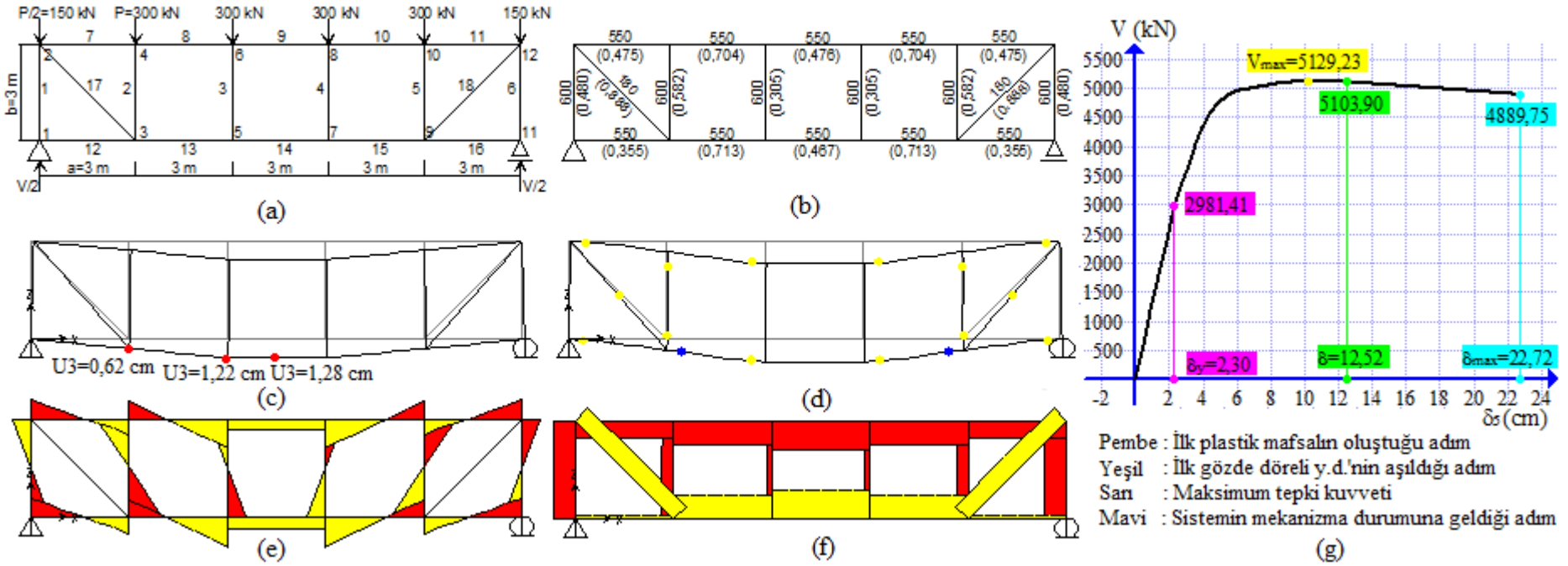
Çizelge A.73 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-1061,64	-18,86	-30,47	10	0	-1085,36	212,52	310,64
1	3	-1059,24	-18,86	26,11	10	3	-1085,36	216,92	-333,52
2	0	-630,02	-231,96	-351,36	11	0	-853,40	11,31	11,00
2	3	-625,62	-231,96	344,52	11	3	-853,40	13,44	-26,11
3	0	-212,18	-140,88	-212,13	12	0	18,86	-17,02	-30,47
3	3	-209,05	-140,88	210,50	12	3	18,86	-14,90	17,41
4	0	-212,18	140,88	212,13	13	0	1085,36	-218,15	-333,95
4	3	-209,05	140,88	-210,50	13	3	1085,36	-213,75	313,90
5	0	-630,02	231,96	351,36	14	0	1226,24	-1,57	101,77
5	3	-625,62	231,96	-344,52	14	3	1226,24	1,57	101,77
6	0	-1061,64	18,86	30,47	15	0	1085,36	213,75	313,90
6	3	-1059,24	18,86	-26,11	15	3	1085,36	218,15	-333,95
7	0	-853,40	-13,44	-26,11	16	0	18,86	14,90	17,41
7	3	-853,40	-11,31	11,00	16	3	18,86	17,02	-30,47
8	0	-1085,36	-216,92	-333,52	17	0	1179,33	-0,89	0,00
8	3	-1085,36	-212,52	310,64	17	4,24	1181,11	0,89	0,00
9	0	-1226,24	-1,57	100,14	18	0	1179,33	-0,89	0,00
9	3	-1226,24	1,57	100,14	18	4,24	1181,11	0,89	0,00

Çizelge A.74 : L=15 m, 3 eşit gözlü b/a=0,60 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	Cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,27	0,00	-3,22
2	0,54	0,00	-0,18	8	0,11	0,00	-3,25
3	0,00	0,00	-1,27	9	0,37	0,00	-1,27
4	0,37	0,00	-1,33	10	0,00	0,00	-1,33
5	0,11	0,00	-3,22	11	0,37	0,00	0,00
6	0,27	0,00	-3,25	12	-0,16	0,00	-0,18

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE220A	Fe37	0,00643	4,2
HE240A	Fe37	0,00768	7,094
HE260A	Fe37	0,00868	4,009
HE300A	Fe37	0,0113	10,438
HE400A	Fe37	0,0159	22,032
Toplam			47,773



Şekil A.38 : Gruplamalı L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişinde ilk ve son gözde çapraz: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm> δ_{max}=1,28 cm, $\eta_1=(\delta_3-\delta_1)/a=(0,62-0)/300=0,002$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=22,72 cm, V_{max}=5129,23 kN, $P_{lim}=V_{max}/5=5129,23/5=1025,85$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=22,72/2,30\approx9,88$, $\mu_1=\delta/\delta_y=12,52/2,30\approx5,44$

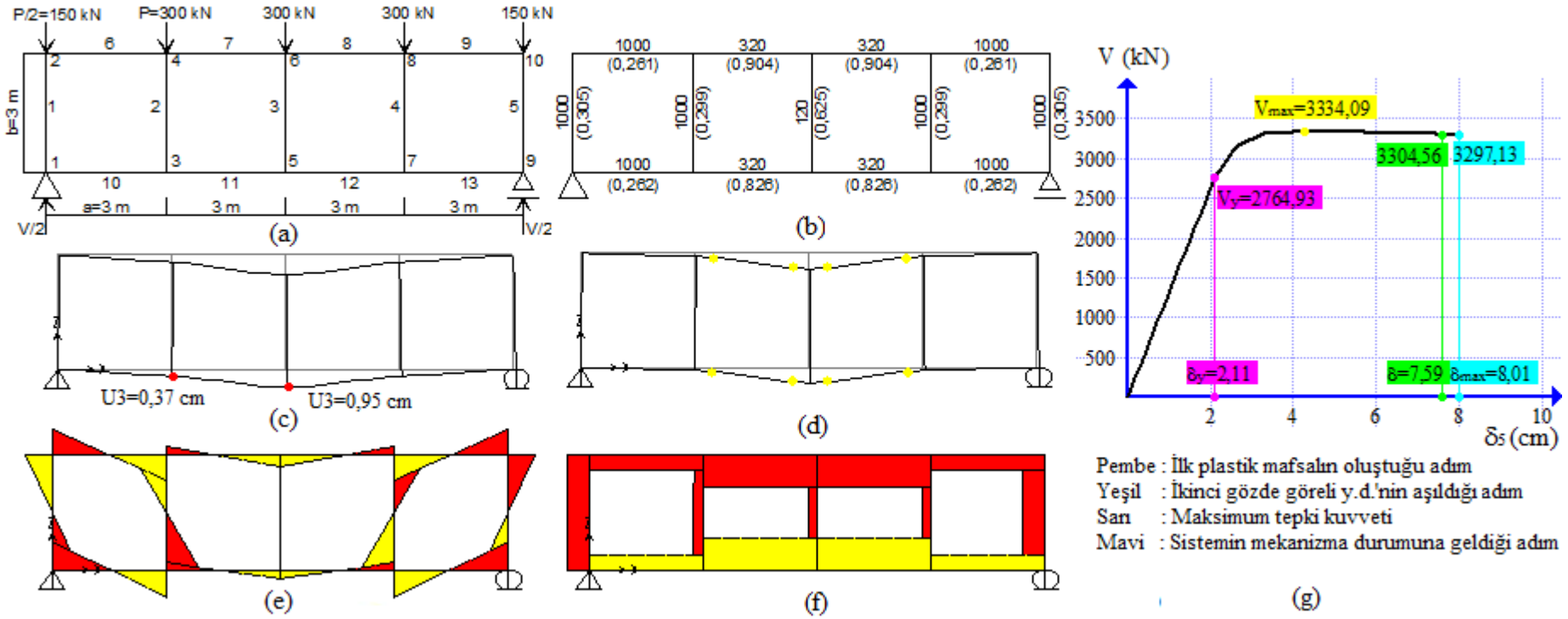
Çizelge A.75 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-668,88	-130,93	-200,32	10	0	-749,75	153,88	291,20
1	3	-663,66	-130,93	192,47	10	3	-749,75	158,78	-177,80
2	0	-351,19	-223,60	-339,70	11	0	-526,15	112,81	153,29
2	3	-345,98	-223,60	331,09	11	3	-526,15	117,70	-192,47
3	0	-153,78	-123,10	-186,23	12	0	130,93	-122,73	-200,32
3	3	-148,56	-123,10	183,06	12	3	130,93	-117,84	160,54
4	0	-153,78	123,10	186,23	13	0	749,75	-161,13	-179,16
4	3	-148,56	123,10	-183,06	13	3	749,75	-156,23	296,88
5	0	-351,19	223,60	339,70	14	0	872,84	-2,45	110,65
5	3	-345,98	223,60	-331,09	14	3	872,84	2,45	110,65
6	0	-668,88	130,93	200,32	15	0	749,75	156,23	296,88
6	3	-663,66	130,93	-192,47	15	3	749,75	161,13	-179,16
7	0	-526,15	-117,70	-192,47	16	0	130,93	117,84	160,54
7	3	-526,15	-112,81	153,29	16	3	130,93	122,73	-200,32
8	0	-749,75	-158,78	-177,80	17	0	558,41	-0,52	0,00
8	3	-749,75	-153,88	291,20	17	4,24	559,45	0,52	0,00
9	0	-872,84	-2,45	108,14	18	0	558,41	-0,52	0,00
9	3	-872,84	2,45	108,14	18	4,24	559,45	0,52	0,00

Çizelge A.76 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,12	0,00	-1,22
2	0,21	0,00	-0,04	8	0,06	0,00	-1,23
3	0,01	0,00	-0,62	9	0,18	0,00	-0,62
4	0,18	0,00	-0,64	10	0,01	0,00	-0,64
5	0,06	0,00	-1,22	11	0,19	0,00	0,00
6	0,12	0,00	-1,23	12	-0,03	0,00	-0,04

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE180A	Fe37	0,00453	2,959
HE550A	Fe37	0,0212	48,959
HE600A	Fe37	0,0226	31,315
Toplam			83,233



Şekil A.39 : İlk ve son göz rijit, L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN

* Kenar Yükler: G=Q=75 kN

* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=0,95 cm, $\eta_2=(\delta_5-\delta_3)/a=(0,95-0,37)/300=0,002$

* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,01 cm, V_{max}=3334,09 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=3334,09/4=833,52$ kN

* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,01/2,11\approx3,80$, $\mu_2=\delta/\delta_y=7,59/2,11\approx3,60$

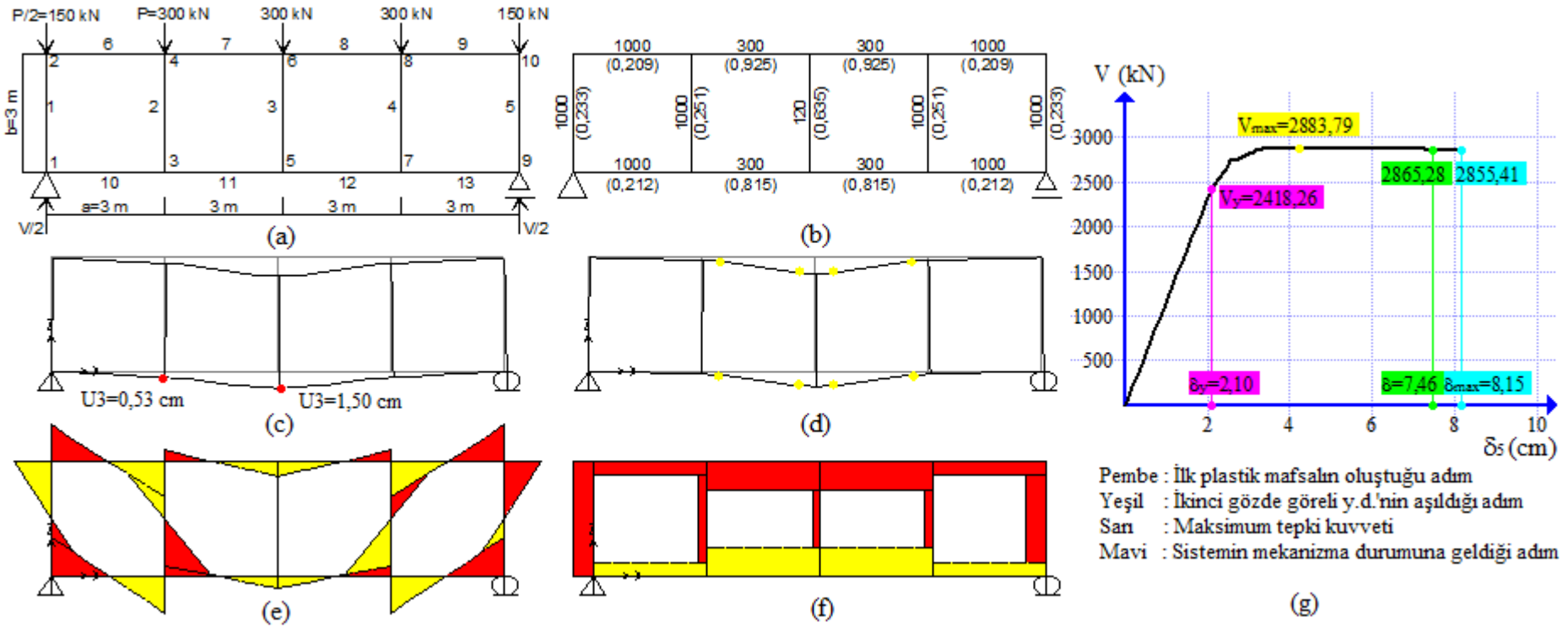
Çizelge A.77 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-391,66	-241,20	-369,11	7	3	-540,17	-81,17	136,51
1	3	-383,64	-241,20	354,49	8	0	-540,17	81,17	136,51
2	0	-166,41	-298,98	-451,23	8	3	-540,17	84,03	-111,28
2	3	-158,40	-298,98	445,70	9	0	-241,20	225,63	334,42
3	0	-138,25	0,00	0,00	9	3	-241,20	233,64	-354,49
3	3	-137,67	0,00	0,00	10	0	241,20	-246,42	-369,11
4	0	-166,41	298,98	451,23	10	3	241,20	-238,40	358,12
4	3	-158,40	298,98	-445,70	11	0	540,17	-71,99	-93,10
5	0	-391,66	241,20	369,11	11	3	540,17	-69,13	118,57
5	3	-383,64	241,20	-354,49	12	0	540,17	69,13	118,57
6	0	-241,20	-233,64	-354,49	12	3	540,17	71,99	-93,10
6	3	-241,20	-225,63	334,42	13	0	241,20	238,40	358,12
7	0	-540,17	-84,03	-111,28	13	3	241,20	246,42	-369,11

Çizelge A.78 : L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	m	m	m	Text	m	m	m
1	0,00	0,00	0,00	6	0,08	0,00	-1,03
2	0,15	0,00	-0,02	7	0,14	0,00	-0,37
3	0,01	0,00	-0,37	8	0,01	0,00	-0,38
4	0,14	0,00	-0,38	9	0,15	0,00	0,00
5	0,08	0,00	-0,95	10	0,00	0,00	-0,02

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE1000A	Fe37	0,0347	64,109
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE320A	Fe37	0,0124	11,455
Toplam			76,148



Şekil A.40 : İlk ve son göz rijit, L=12 m, 4 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1200/300=4 cm>δ_{max}=1,50 cm, $\eta_2=(\delta_5-\delta_3)/a=(1,50-0,53)/300=0,003$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,15 cm, V_{max}=2883,79 kN, $P_{lim}=V_{max}/4=2883,79/4=720,95$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,15/2,10\approx3,88$, $\mu_2=\delta/\delta_y=7,46/2,10\approx3,55$

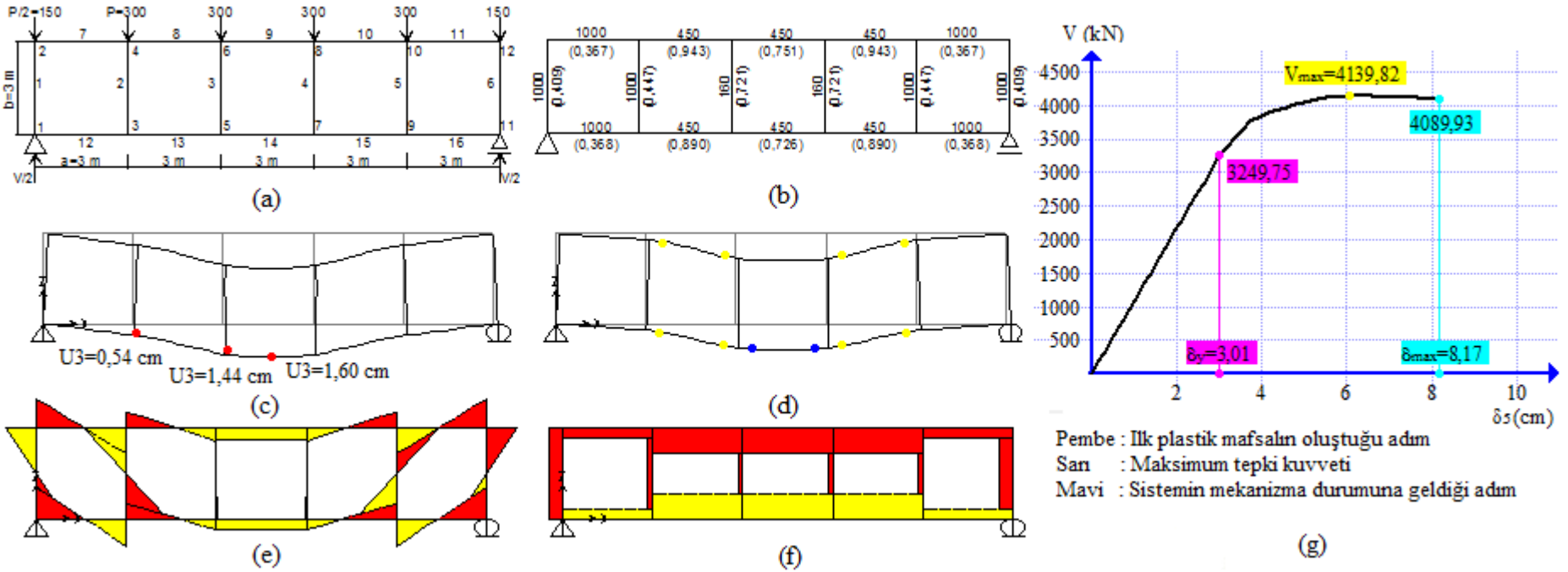
Çizelge A.79 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-543,86	-335,42	-513,22	7	3	-752,72	-112,18	185,34
1	3	-534,24	-335,42	493,04	8	0	-752,72	112,18	185,34
2	0	-230,30	-417,30	-630,75	8	3	-752,72	115,31	-155,88
2	3	-220,68	-417,30	621,14	9	0	-335,42	314,62	465,26
3	0	-196,35	0,00	0,00	9	3	-335,42	324,24	-493,04
3	3	-195,65	0,00	0,00	10	0	335,42	-341,22	-513,22
4	0	-230,30	417,30	630,75	10	3	335,42	-331,61	496,02
4	3	-220,68	417,30	-621,14	11	0	752,72	-101,31	-134,72
5	0	-543,86	335,42	513,22	11	3	752,72	-98,18	164,50
5	3	-534,24	335,42	-493,04	12	0	752,72	98,18	164,50
6	0	-335,42	-324,24	-493,04	12	3	752,72	101,31	-134,72
6	3	-335,42	-314,62	465,26	13	0	335,42	331,61	496,02
7	0	-752,72	-115,31	-155,88	13	3	335,42	341,22	-513,22

Çizelge A.80 : L=12 m, 2 eşit gözlü b/a=0,50 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	m	m	m	Text	m	m	m
1	0,00	0,00	0,00	6	0,11	0,00	-1,61
2	0,23	0,00	-0,02	7	0,21	0,00	-0,53
3	0,01	0,00	-0,53	8	0,01	0,00	-0,54
4	0,21	0,00	-0,54	9	0,23	0,00	0,00
5	0,11	0,00	-1,50	10	0,00	0,00	-0,02

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE1000A	Fe37	0,0347	64,109
HE120A	Fe37	0,00253	0,584
HE300A	Fe37	0,0113	10,438
Toplam			75,131



Şekil A.41 : İlk ve son göz rijit, L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (ASD-89), (c) G+Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=1,60 cm, $\eta_2=(\delta_5-\delta_3)/a=(1,44-0,54)/300=0,003$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=8,17 cm, V_{max}=4139,82 kN, $P_{lim}=V_{max}/5=4139,82/5=827,96$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=8,17/3,01\approx2,71$

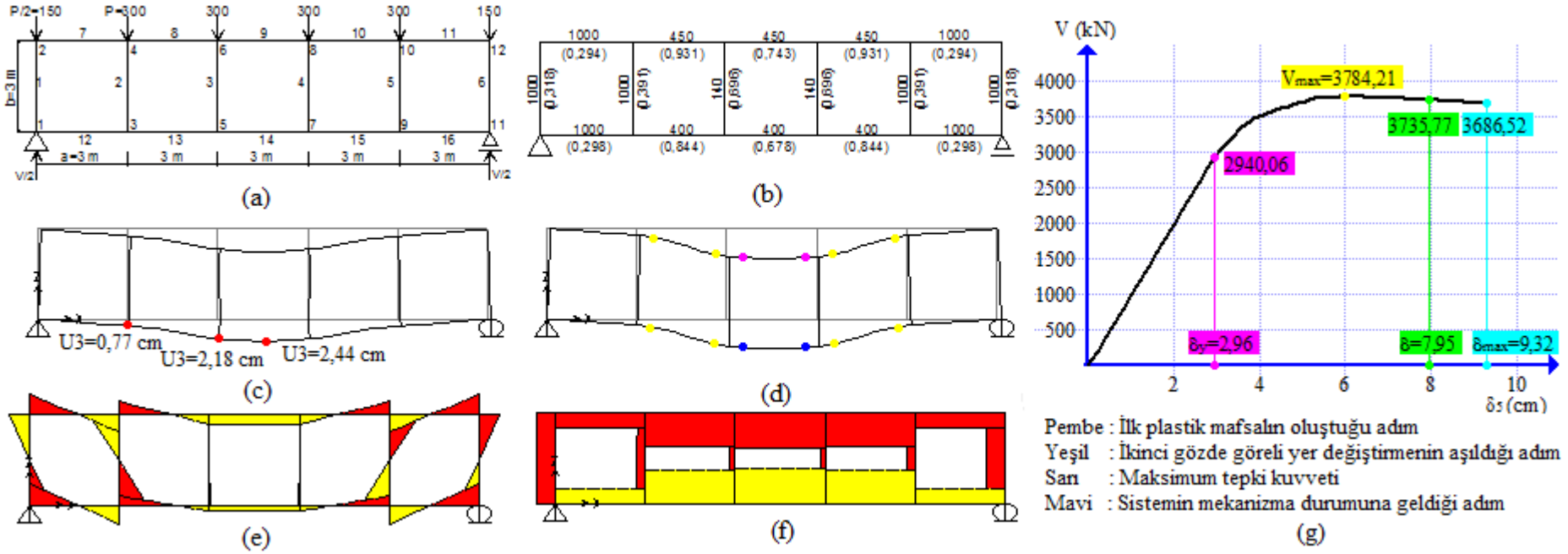
Çizelge A.81 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces – Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-468,18	-338,90	-518,07	9	0	-815,56	-2,06	189,90
1	3	-460,16	-338,90	498,63	9	3	-815,56	2,06	189,90
2	0	-168,40	-468,47	-706,46	10	0	-807,37	158,43	202,33
2	3	-160,39	-468,47	698,96	10	3	-807,37	162,54	-279,12
3	0	-144,52	-8,19	-12,13	11	0	-338,90	302,15	419,84
3	3	-143,63	-8,19	12,43	11	3	-338,90	310,16	-498,63
4	0	-144,52	8,19	12,13	12	0	338,90	-327,11	-518,07
4	3	-143,63	8,19	-12,43	12	3	338,90	-319,09	451,22
5	0	-168,40	468,47	706,46	13	0	807,37	-150,69	-255,23
5	3	-160,39	468,47	-698,96	13	3	807,37	-146,58	190,67
6	0	-468,18	338,90	518,07	14	0	815,56	-2,06	178,54
6	3	-460,16	338,90	-498,63	14	3	815,56	2,06	178,54
7	0	-338,90	-310,16	-498,63	15	0	807,37	146,58	190,67
7	3	-338,90	-302,15	419,84	15	3	807,37	150,69	-255,23
8	0	-807,37	-162,54	-279,12	16	0	338,90	319,09	451,22
8	3	-807,37	-158,43	202,33	16	3	338,90	327,11	-518,07

Çizelge A.82 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (ASD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,15	0,00	-1,44
2	0,23	0,00	-0,02	8	0,08	0,00	-1,50
3	0,01	0,00	-0,54	9	0,22	0,00	-0,54
4	0,22	0,00	-0,55	10	0,01	0,00	-0,55
5	0,08	0,00	-1,44	11	0,23	0,00	0,00
6	0,15	0,00	-1,50	12	0,00	0,00	-0,02

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE1000A	Fe37	0,0347	64,109
HE160A	Fe37	0,00388	1,792
HE450A	Fe37	0,0178	24,664
Toplam			90,565



Şekil A.42 : İlk ve son göz rijit, L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi: (a) Elemanların ve Düğüm Noktalarının Numaraları ve Yükleme Durumu (G+Q) (Yükler "kN" cinsindendir), (b) Atanan Kesitler ve Kapasite Oranları (LRFD-99), (c) 1,2G+1,6Q Deplasmanı, (d) Göçme Modu, (e) Elastik Durumda Moment Diyagramı Biçimi, (f) Elastik Durumda Normal Kuvvet Diyagramı Biçimi, (g) Pushover (itme) Eğrisi

* Ara Yükler: G=Q=150 kN
* Kenar Yükler: G=Q=75 kN
* Elastik Durumda: L/300=1500/300=5 cm>δ_{max}=2,44 cm, $\eta_2=(\delta_5-\delta_3)/a=(2,18-0,77)/300=0,005$
* Göçme Durumunda: δ_{max}=9,32 cm, V_{max}=3784,21 kN, $P_{lim}=V_{max}/5=3784,21/5=756,84$ kN
* Süneklik Oranları: $\mu=\delta_{max}/\delta_y=9,32/2,96\approx3,15$, $\mu_2=\delta/\delta_y=7,95/2,96\approx2,69$

Çizelge A.83 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), Eleman iç kuvvet değerleri

Element Forces – Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0	-640,61	-471,74	-721,65	9	0	-1135,34	-2,47	301,14
1	3	-631,00	-471,74	693,58	9	3	-1135,34	2,47	301,14
2	0	-274,74	-655,29	-962,44	10	0	-1127,03	251,58	313,68
2	3	-265,13	-655,29	1003,43	10	3	-1127,03	256,51	-448,44
3	0	-171,76	-8,31	-12,38	11	0	-471,74	411,38	554,99
3	3	-170,89	-8,31	12,54	11	3	-471,74	421,00	-693,58
4	0	-171,76	8,31	12,38	12	0	471,74	-462,73	-721,65
4	3	-170,89	8,31	-12,54	12	3	471,74	-453,11	652,12
5	0	-274,74	655,29	962,44	13	0	1127,03	-178,37	-310,32
5	3	-265,13	655,29	-1003,43	13	3	1127,03	-173,96	218,18
6	0	-640,61	471,74	721,65	14	0	1135,34	-2,20	205,80
6	3	-631,00	471,74	-693,58	14	3	1135,34	2,20	205,80
7	0	-471,74	-421,00	-693,58	15	0	1127,03	173,96	218,18
7	3	-471,74	-411,38	554,99	15	3	1127,03	178,37	-310,32
8	0	-1127,03	-256,51	-448,44	16	0	471,74	453,11	652,12
8	3	-1127,03	-251,58	313,68	16	3	471,74	462,73	-721,65

Çizelge A.84 : L=15 m, 5 eşit gözlü b/a=1,00 kirişi (LRFD), düğüm noktası yer değiştirmeleri ve kullanılan profillerin ağırlıkları

Joint Displacements							
Joint	U1	U2	U3	Joint	U1	U2	U3
Text	cm	cm	cm	Text	cm	cm	cm
1	0,00	0,00	0,00	7	0,23	0,00	-2,18
2	0,34	0,00	-0,03	8	0,13	0,00	-2,26
3	0,02	0,00	-0,77	9	0,34	0,00	-0,77
4	0,32	0,00	-0,78	10	0,04	0,00	-0,78
5	0,13	0,00	-2,18	11	0,36	0,00	0,00
6	0,23	0,00	-2,26	12	0,02	0,00	-0,03

Frame Section Properties			
SectionName	Material	Area	TotalWt
Text	Text	m2	KN
HE1000A	Fe37	0,0347	64,109
HE140A	Fe37	0,00314	1,45
HE400A	Fe37	0,0159	11,016
HE450A	Fe37	0,0178	12,332
Toplam			88,907

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Yasin AKINCI

Doğum Yeri ve Tarihi: AFYON – 06/10/1985

Adres: Merkez Mah. Tatar Yakup Sok. No:32/1 Sarıyer/İSTANBUL

Lisans Üniversite: Celal Bayar Üniversitesi

Çalıştığı Yer ve Ünvanı: Kültür ve Turizm Bakanlığı Resterasyon ve Konservasyon Merkez Laboratuvar Müdürlüğü – Uzman Yardımcısı