İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULONLU ÇELİK KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE ALIN LEVHASI KALINLIĞI TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. H. Erdinç DİKBAYIR

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULONLU ÇELİK KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE ALIN LEVHASI KALINLIĞI TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. H. Erdinç DİKBAYIR
(501001123)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erdoğan UZGİDER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Sinan Çağdaş (Y.T.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, bulonlu kolon kiriş birleşimlerinde alın levhasının kalınlığının tespit edilmesi, sonlu elemanlar modeli kullanılarak anlatılmıştır. Tez çalışmalarım süresince sabır ve hoşgörü ile bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bana veren danışman hocam Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER başta olmak üzere, özellikle bilgisayar programlarının kullanılmasında bana yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Özden ÇAĞLAR'a, İnş. Müh. Serdar GÜRSOY'a,Yüksek Lisans programı süresince yardımlarını esirgemeyen ENKA İnşaat A.Ş. Proje Gurubu'na ve bugüne kadar bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2003 H. Erdinç DİKBAYIR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **IV**
TABLO LİSTESİ **V**
ŞEKİL LİSTESİ **VI**
SEMBOL LİSTESİ **X**
ÖZET **XI**
SUMMARY **XIII**

1. GİRİŞ **1**

1.1 Çelik Malzemenin Özellikleri 2
1.2 Yapı Sistemlerinin Hesap Esasları 4
1.2.1 Lineer teori (emniyet gerilmeleri metodu) 4
1.2.2 Plastik teori (taşıma gücü metodu) 5
1.2.2.1 Plastikleşme momenti ve plastik mafsal 5
1.2.2.2 Mekanizma 6

2. ALIN LEVHASINDAKİ ŞEKİL DEĞİŞTİRME (AÇILMA) MİKTARININ SINIR DEĞERLERİ **9**

3. ANSYS PROGRAMINDA KURULAN MODEL HAKKINDA AÇIKLAMALAR **14**

4. ÖNGERMELİ BULONLARA DIŞ YÜK NEDENİYLE ETKİYEN İLAVE ÇEKME KUVVETİNİN MERTEBESİ **18**

4.1 Öngerme Kuvvetinin Uygulanmadığı Durum 20
4.2 Öngerme Kuvvetinin Alın Levhası Üzerindeki Şekil Değ. Miktarı 22
4.3 Öngerme Kuvvetinin Tamamının Uygulandığı Durum 22
4.4 "0.8" Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum 24
4.5 "0.7" Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum 25
4.6 "0.6" Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum 26
4.7 Yarım Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum 27

5. ALIN LEVHASI KALINLIĞININ TESPİTİ **29**

6. SONUÇLAR VE TAVSİYELER **35**

KAYNAKLAR **38**
EKLER **39**
ÖZGEÇMİŞ **69**

KISALTMALAR

ANSYS **:** Sistem analiz programı
BLN **:** Bulon
SAP 2000 **:** Yapı analiz programı
YN **:** Yükleme numarası
FEMA **:** Federal Emergency and Management Agency
bkz. **:** Bakınız
muk. **:** Mukavemet

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 **:** Alın levhasındaki şekil değiştirme ve kiriş açıklığındaki moment değişimi değerleri …….. 12

Tablo 4.1 **:** Öngerme kuvvetinin uygulanmadığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri ……... 21

Tablo 4.2 **:** Öngerme kuvvetinin tamamının uyguladığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri ……... 23

Tablo 4.3 **:** 0.8 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri …….…. 24

Tablo 4.4 **:** 0.7 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri …….…. 25

Tablo 4.5 **:** 0.6 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri …….…. 26

Tablo 4.6 **:** 0.5 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri …….…. 28

Tablo 5.1 **:** Birleşime Mp plastik momenti etkimesi durumunda alın levhası üzerindeki yerdeğiştirme, gerilme ve şekil değiştirme değerleri... 32

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Tipik bulonlu kolon kiriş birleşimi modeli ve alın levhasında meydana gelen açılma ……..... 2
Şekil 1.2 : Çeliğin gerilme – şekil değiştirme diyagramı ……..... 3
Şekil 1.3 : I kesitin moment – eğrilik diyagramı ……..... 6
Şekil 1.4 : Ayakları mafsallı ortogonal çerçevedeki mekanizma durumları ……. 7
Şekil 2.1 : Kolon ve kiriş arasındaki rölatif dönme ……... 9
Şekil 2.2 : Bulonlu kolon kiriş birleşimini oluşturan bölgeler ……..10
Şekil 2.3 : Alın levhasındaki açılmanın sınır değerinin araştırılması için SAP 2000 de kurulan model ……11
Şekil 2.4 : Tablo 2.1 de yer alan parametreler …… 12
Şekil 2.5 : Tablo 2.1 de verilen alın levhasındeki açılma miktarı – moment değişimi değerlerinin grafikleri ……13
Şekil 3.1 : Ansys de modellenen bulonlu kolon kiriş birleşimi ……14
Şekil 3.2 : St 37 çeliğinin gerilme - şekil değiştirme diyagramı ……...15
Şekil 3.3 : Bulon çeliğinin gerilme – şekil değiştirme diyagramı ……16
Şekil 3.4 : Levhalar ile bulonun bağlantı şekli, gap ve hook elemanlar ……...17
Şekil 4.1 : 10.9 kalitesinde yüksek muk. uygun bulonun geometrisi ……....18
Şekil 4.2 : Yükleme numaraları, şekilleri ve gerilme değerleri ……19
Şekil 4.3 : Bulonları oluşturan elemanlar ve bulonların modeldeki yerleri ……..19
Şekil 4.4 : Bulonlara etkiyen çekme kuvvetlerinin yönleri ve alın levhasındaki açılmaların hesaplandığı noktaların yerleri ……..20
Şekil 4.5 : Öngerme kuvvetinin uygulanmadığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği ……...21
Şekil 4.6 : Öngerme kuvvetinin tamamının uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği …….23
Şekil 4.7 : 0.8 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği …….25
Şekil 4.8 : 0.7 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği …….26
Şekil 4.9 : 0.6 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği …….27
Şekil 4.10 : 0.5 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerlerinin grafiği …….28
Şekil 5.1 : Formül 5.1 ve 5.2 de kullanılan parametreler ……..30
Şekil 5.2 : Kiriş kesitine etkiyen çekme ve basınç kuvvetleri ve plastik moment …30
Şekil 5.3 : Alın levhası üzerinde yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü noktalarla gerilme ve şekil değiştirmelerin belirlendiği birleşim bölgesi……...31
Şekil 5.4 : Alın levhasındaki şekil değiştirme miktarının, uygulanan öngerme kuvveti oranına göre değişimi ……..33

Şekil A.1 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 140 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....39
Şekil A.2 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 160 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....39
Şekil A.3 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 180 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....40
Şekil A.4 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 200 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....40
Şekil A.5 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 220 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....41
Şekil A.6 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 240-1 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....41
Şekil A.7 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 240-2 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....42
Şekil A.8 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 240-3 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....42
Şekil A.9 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 140 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....43
Şekil A.10 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 160 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....43
Şekil A.11 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 180 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....44
Şekil A.12 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 200 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....44
Şekil A.13 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 220 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....45
Şekil A.14 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 240-1 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....45
Şekil A.15 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 240-2 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....46
Şekil A.16 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 240-3 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....46
Şekil A.17 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 140 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....47
Şekil A.18 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 160 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....47
Şekil A.19 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 180 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....48
Şekil A.20 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 200 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....48
Şekil A.21 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 220 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....49
Şekil A.22 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 240-1 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....49
Şekil A.23 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 240-2 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....50
Şekil A.24 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 240-3 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....50
Şekil A.25 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 140 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....51

Şekil A.26 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 160 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....51
Şekil A.27 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 180 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....52
Şekil A.28 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 200 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....52
Şekil A.29 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 220 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....53
Şekil A.30 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 240-1 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....53
Şekil A.31 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 240-2 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....54
Şekil A.32 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 240-3 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....54
Şekil A.33 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 140 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....55
Şekil A.34 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 160 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....55
Şekil A.35 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 180 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....56
Şekil A.36 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 200 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....56
Şekil A.37 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 220 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....57
Şekil A.38 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 240-1 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....57
Şekil A.39 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 240-2 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....58
Şekil A.40 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 240-3 MPa gerilme uygulandığında bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....58
Şekil A.41 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 140 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....59
Şekil A.42 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 160 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....59
Şekil A.43 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 180 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....60
Şekil A.44 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 200 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....60
Şekil A.45 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 220 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....61
Şekil A.46 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 240-1 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....61
Şekil A.47 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 240-2 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....62
Şekil A.48 : Bulonlara öngerme verilmeden kirişe 240-3 MPa gerilme verildiğinde bulonda oluşan gerilme ve alın levhasındaki yer değiştirme grafikleri....62
Şekil A.49 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....63
Şekil A.50 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....63

Şekil A.51 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....64
Şekil A.52 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....64
Şekil A.53 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....65
Şekil A.54 : Bulonlara öngerme verilmeden, kirişe 240 MPa gerilme verildiğinde 15mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....65
Şekil A.55 : Bulonlara 0,5 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....66
Şekil A.56 : Bulonlara 0,6 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....66
Şekil A.57 : Bulonlara 0,7 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....67
Şekil A.58 : Bulonlara 0,8 kat öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....67
Şekil A.59 : Bulonlara tam öngerme, kirişe 240 MPa gerilme uygulandığında 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler.....68
Şekil A.60 : Bulonlara öngerme verilmeden, kirişe 240 MPa gerilme verildiğinde 18mm kalınlığındaki alın levhasındaki gerilme ve şekil değiştirmeler 68

SEMBOL LİSTESİ

b_p	: Alın levhası genişliği
d_b	: Kiriş kesit yüksekliği
d	: Yerdeğiştirme
E	: Elastisite modülü
e_t	: Toplam şekil değiştirme
$F_ç$	: Bulon ekseni doğrultusundaki çekme kuvveti
F	: Rölatif dönme miktarı
g	: Bulon sıraları arasındakı yatay mesafe
I	: Eylemsizlik momenti
k	: Eğrilik
L	: Kiriş boyu
M	: Moment
M_p	: Plastik moment
n	: Dış yükten oluşan çekme kuvvetinin öngerme kuvvetine oranı
n	: Poisson oranı
P	: Tekil yük
p_f	: Bulon merkezlerinin kiriş başlığına olan mesafesi
S	: Epruvete deneyindeki çekme kuvveti
t_p	: Alın levhası kalınlığı
s	: Gerilme
s_a	: Akma gerilmesi
s_e	: Elastik sınır gerilmesi
s_k	: Kopma sınır gerilmesi
s_{ort}	: Ortalama gerilme
s_p	: Orantılı sınır gerilmesi
s_{vort}	: Ortalama Von – Mises gerilmesi

BULONLU KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE ALIN LEVHASI KALINLIĞININ TESPİTİ

ÖZET

Ülkemizde meydana gelen depremlerde yaşadığımız can ve mal kayıplarının fazla olması, depreme karşı dayanıklı yapı kavramının inşaat mühendisliğindeki önemini ortaya koymuştur. Özellikle yapı elemanlarının birleşim noktalarındaki detay hataları, deprem sonuçlarının bu kadar ağır olmasının başlıca nedenlerindendir.

Yapı sistemleri, dış etkilerin belirli bir değere ulaşması sonucunda kullanılamaz duruma gelirler. Yapının göçmesi olarak adlandırılan bu durum; kırılma, burkulma, büyük yerdeğiştirme, büyük çatlakların oluşması gibi istenmeyen durumlardan biri veya birkaçının gerçekleşmesiyle ortaya çıkar. Göçme sırasında yapılar, genellikle malzeme ve geometri değişimi bakımından veya her iki bakımdan lineer davranış göstermediğinden, plastik teoriye göre hesap yapılması daha uygundur.

Plastik teoriye göre hesap, elasto-plastik malzemeden yapılmış elemanları olan taşıyıcı sistemlerin projelendirilmesinde, taşıma sınır durumu kıstas alınarak uygulanan kesit boyutlandırma metodudur. Yapıların plastik analizi giriş bölümünde kısaca anlatılmıştır.

Plastik teoriye göre, kesit momentinin belirli bir sınır değere ulaşması sonucunda, momentte artış olmamasına rağmen, kesitte büyük ve geri dönüşü olmayan şekil değiştirmeler meydana gelmesi plastik mafsal oluşumu olarak tanımlanır. Kesitin plastikleşmesine neden olan momente ise plastik moment denir.

Yapı sistemlerinde ani göçme olmaması için, plastik mafsalların düğüm noktası bölgeleri dışında, kirişlerin üzerinde oluşması, yani düğüm noktalarının yeterli rijitlikte olması istenir. Bu rijitliğin sağlanabilmesi için, kiriş üzerindeki plastik momentin etkisiyle düğüm noktalarında oluşan rölatif dönmelerin sınırlanması gerekir.

2. Bölümde bu sınır değerinin belirlenmesi amacıyla küçük bir model üzerinde inceleme yapılmıştır.

Yüksek mukavemetli ve öngermeli bulonlarla oluşturulan kolon-kiriş birleşimlerinde meydana gelen rölatif dönmeyi kontrol eden iki önemli etken;

- Bulonlara uygulanan öngerme kuvveti ve dış yüklerden dolayı bulonlarda oluşan çekme kuvvetinin öngerme kuvvetine oranı, (4. Bölümde incelenmiştir.)
- Alın levhasının kalınlığı. (5. Bolümde incelenmiştir.)

olarak sıralanabilir.

Bu etkenlerin incelemesi sırasında, sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapan ANSYS sistem analiz programında oluşturulan bulonlu kolon-kiriş modelinden

yararlanılmıştır. 3. Bölümde kurulan model tanıtılmıştır. ANSYS analiz programında elde edilen sonuçları gösteren şekiller EK A da sunulmuştur.

Yapılan analizlerin ışığında ortaya çıkan sonuçlar şu şekildedir ;

- 4. Bölümde, kirişe verilen elastik ve elasto – plastik yüklemelerle, bulon gövdesinde meydana gelen çekme kuvvetleri bulunmuştur. Dış yükler nedeniyle bulon gövdesinde oluşan çekme kuvveti, tatbik edilen öngerme kuvvetinden küçük olduğu müddetçe, bulon gövdesinde sadece öngerme kuvvetinden kaynaklanan gerilmeler meydana gelmiştir. Dış yükler etkisiyle bulonda oluşan çekme kuvveti, uygulanan öngerme kuvvetini yendikten sonra ise bulon gövdesinde sadece dış yükten kaynaklanan gerilme değerleri okunmuştur. Bunun nedeni, öngerme kuvveti ile birbirine yapışan alın levhası ile kolon başlığının, bu kuvvet yenilinceye kadar, bulonlara ekseni doğrultusunda deformasyon yapmasına neden olan kuvveti aktarmamasıdır.

- Yine bölüm 4 de yapılan analizlere dayanarak, kirişten kolona kesme kuvveti aktarılmasında, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki sürtünme kuvvetinin kullanılmadığı durumlarda, dış kuvvetlerin bulonlarda oluşturduğu çekme kuvvetlerinin belirli sınır değerleri aşmasının herhangi bir sorun yaratmayacağı söylenebilir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanılarak, bahsedilen sınır değerler bulonlara uygulanan öngerme kuvvetinin 0,85 - 0,90 katı olarak saptanmıştır.

- Bölüm 5 de, alın levhasının plastikleşmemesi için sahip olması gereken kalınlığın hesaplanmasında FEMA tarafından önerilen 5.1 formülünün uygun olduğu görülmüştür.

Çalışmanın 6. bölümünde; çalışma boyunca yapılan analiz sonuçlarına ve bu sonuçlar doğrultusunda, bulonlara uygulanması gereken öngerme kuvveti, dış yükler nedeniyle bulonlarda oluşan çekme kuvvetinin uygulanan öngerme kuvvetine oranı ve alın levhasının kalınlığının tespiti hakkında tavsiyelere yer verilmiştir.

DETERMINATION OF END PLATE THICKNESS IN BOLTED COLUMN – BEAM CONNECTIONS

SUMMARY

The heavy losses of human life and material that we suffered in recent earthquakes which occurred in our country have shown the importance of earthquake resistant structure concept in civil engineering. Mistakes made in structural member connection details are among the main reasons leading to heavy losses during earthquakes.

Structural systems loose their serviceability conditions when external effects reach certain values. This loss is called structural failure and may be the result of by one or many of following unwanted situations such as, fracture, buckling, large displacements and large cracks. The behavior of structures at failure stage is non – linear in material or geometry change or in both. Therefore, design according to plastic theory is more appropriate than linear elastic theory. Design according to plastic theory is a method that considers limit bearing state in dimensioning of structural systems consisting of elastic -plastic members. Plastic analysis of structures is summarized in the introduction section.

When the moment in a section reaches a limit value, large and irreversible deformations occur while the moment remains constant. This region is called plastic hinge. Moment that cause plastic hinge formation is called plastic moment.

In structural systems, it is desirable that, plastic hinges occur on beams, that is the joint region remains rigid. Relative rotations occurring due to plastic moment should be limited to certain values to provide this.

In second section, a study is performed on a small computer model to determine limit value of relative rotation of steel column - beam connection formed by using high strength and pre-stressed bolts.

Two main factors that control relative rotation are;

- The ratio of tensile force in top flange of beam due to bolt pre-stressing force and external force to the bolt pre-stressing force (it is studied in section 4).

- Thickness of and plate (it is studied in section 5).

A bolted column – beam connection is analysed by the finite elements method. The model is explained in section 3. The graphs that shown ANSYS results are presented in Appendix A.

The results obtained from analyses can be summarized as follows :

- In section 4, bolt shaft tensile forces are obtained due to various loading applied to the beam, that will cause elastic and elastic plastic deformations. As long as the tensile force in bolt shaft is less than applied pre-stressing force, stresses that occur in bolt shaft are only due to pre-stressing force. When the bolt tensile force due to external forces exceeds the applied pre-stressing force, stresses read in output are only due to external loads. The reason for it can be explained as follows : Column flange and end plate that are clamped together due to pre-stressing force can not transfer the axial load that will cause axial deformations in bolts.

- Also in section 4, based on results of analysis performed, it can be stated that there would not be any problem if tensile forces in bolts due to external forces exceed certain limits, in transferring shear from beam to column without using friction force between end plate and column flange. These limiting ratios are found to be 0,85 ~ 0,90 of applied pre-stressing force.

- In section 5, when determining end plate thickness that will not cause plastic deformations in the plate, the formula 5.1, given by FEMA is found to be suitable.

In section 6, based on the results of analysis performed throughout the study, some recommendations are made regarding necessary pre-stressing force to be applied to bolts, the ratio of tensile force due to external force to applied pre-stressing force and determining end plate thickness.

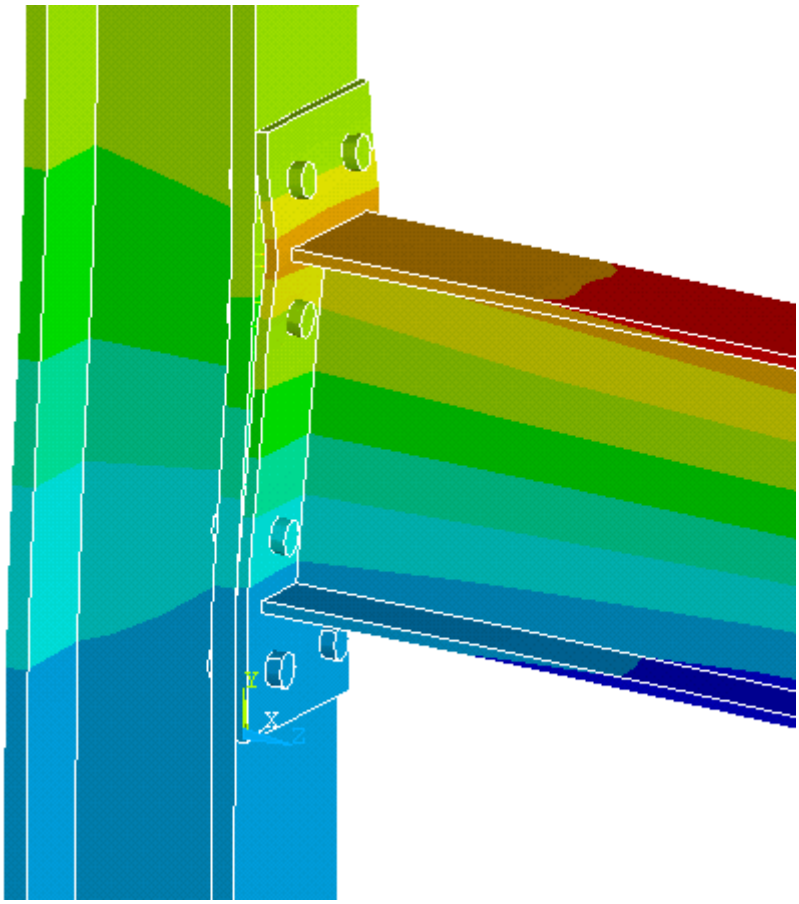
1. GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde yer alması ve çelik yapıların deprem etkisindeki performansının yüksek olması, çeliğin diğer yapı malzemelerine oranla yoğun biçimde kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Çelik yapıların sayısındaki artış, çeliğin sadece depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekliliğinin yanında, inşaatın çeşitli safhalarında gösterdiği üstünlüklerin de anlaşılmasına zemin hazırlamıştır. Bunlar ana hatlarıyla projelendirmede, büyük açıklık geçmede, küçük kolon kesitlerinin kullanılmasında, yapı yüksekliğinin fazla olmasında, yüksek mukavemet elde edilmesinde, yapı ağırlığının azlığı ve tesisat geçirmedeki kolaylıklar olarak sıralanabilir. İnşaat safhasında da, prefabrik elemanların montajı sayesinde yapım süresinin kısalığı, montajın büyük ölçüde hava şartlarından bağımsız olması, kuru inşaat tarzı, küçük şantiye alanının gereksinimi gibi avantajlar sağlar.

Bütün bu üstünlüklerin iyi değerlendirilebilmesi, projelendirme safhasında çelik malzemenin özelliklerinin sürekli olarak göz önünde tutulmasıyla mümkündür. Bölüm 1.1 de çelik malzemenin özelliklerine kısaca değinilmiştir.

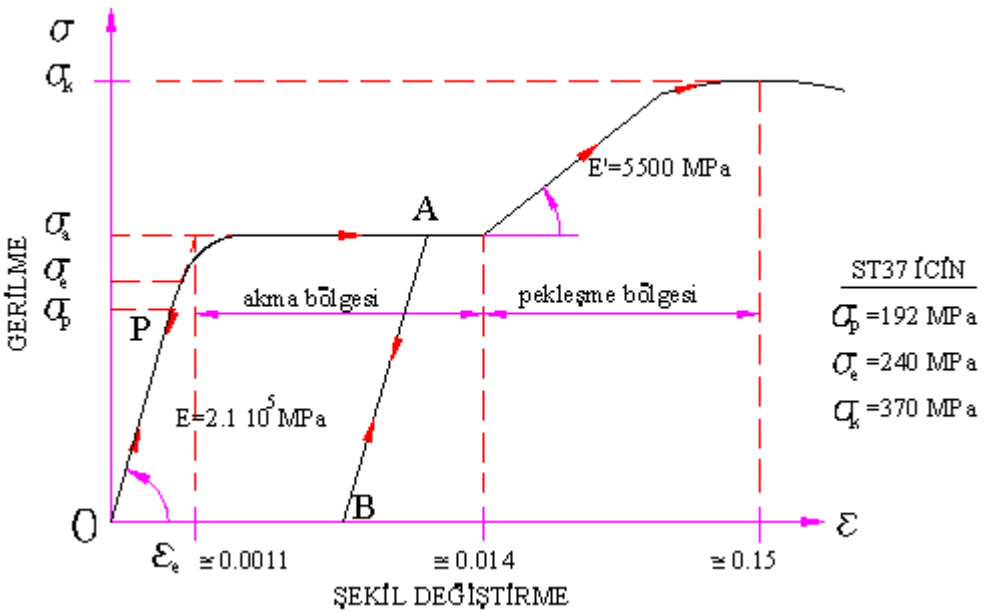
Bu çalışmada, öngermeli yüksek mukavemetli bulonlarla oluşturulan kolon – kiriş birleşimlerindeki alın levhasının kalınlığın tespit edilmesi problemi incelenmiştir. Kirişlerdeki ve kolonlardaki kesit zorlarının birbirlerine aktarılmasını sağlayan birleşim noktaları, yapıların güvenliği açısından üzerinde önemle durulması gereken noktalardır. Şekil 1.1 de model olarak oluşturulan tipik bir bulonlu kolon – kiriş birleşimi görülmektedir. Bu birleşimde, alın levhasının kalınlığının ince olması nedeniyle, kiriş ile kolon arasında açılma meydana gelmekte ve birleşim bölgesinde plastik mafsal oluşmaktadır. Yapılarda ani göçme olmaması için, plastik mafsalların birleşim noktaları (düğüm noktaları) yerine kirişlerin üzerinde oluşması istenir. Bu durum, birleşim noktalarının ve incelenen problemin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Problemin daha iyi anlaşılması için, Bölüm 1.2 de plastik teoriye kısaca yer verilmiştir.



Şekil 1.1 Tipik bulonlu kolon-kiriş birleşimi modeli ve alın levhasında meydana gelen açılma.

1.1 Çelik Malzemenin Özellikleri

Kristal bir bünyeye sahip olan çelik izotrop (mekanik ve fiziksel özellikleri her doğrultuda aynı) ve homojen bir malzeme karakteri gösterir. Bir çelik eleman, epruvet üniversal deney makinesinde çekme deneyine tabi tutulursa, Şekil 1.2 de görüldüğü gibi bir gerilme – şekil değiştirme diyagramı elde edilir. Epruvete uygulanan S kuvveti, sıfırdan ititbaren yavaş yavaş arttırılırsa, eleman üzerinde oluşan s gerilmesi s_p orantılı sınır gerilmesine varıncaya kadar, malzeme lineer elastik bir karakter gösterir yani Hooke Kanunu geçerlidir. Bu bölgedeki doğrunun eğimi çeliğin elastisite modülünü verir.



Şekil 1.2 Çeliğin gerilme - şekil değiştirme diyagramı.

s gerilmesi, s_p yi aştıktan sonra, s_e elastik sınır gerilmesine ulaşıncaya kadar malzeme gene elastik kalır, fakat Hooke kanununa uymaz, s_e yi aştıktan sonra da elastik olma özelliği bozulur. s gerilmesi s_a akma sınırı gerilmesine vardığı zaman malzemede akma ve büyük bir plastik şekil değiştirme meyadana gelir. Bundan sonra malzeme kendini toparlar ve ve gerilme s_k kopma sınırı gerilmesine ulaşınca kopma olayı meydana gelir. Çelik malzeme plastik bölgede, Şekil 1.2 de görüldüğü gibi bir A noktasına kadar yüklendikten sonra, gerilme sıfıra indirilirse, gerilme - şekil değiştirme eğrisi OP doğrusuna paralel AB doğrusunu takip eder. Şekil değiştirmenin bir kısmı geri döner, bir kısmı ise kalır. Geri dönen şekil değiştirmeye elastik deformasyon, bu deformasyonun oluşmasını sağlayan enerjiye elastik deformasyon enerjisi denir. Malzeme üzerinde kalıcı olan şekil değiştirmeye ise plastik deformasyon ve bu deformasyonun oluşmasını sağlayan enerjiye de histerik enerji denir. Deformasyonlarda olduğu gibi, elastik deformasyon enerjisi geri dönüşü olan, histerik enerji ise geri dönüşü olmayan yani sarf edilmiş enerjidir.

Bir taşıyıcı sisteme etkiyen deprem yükünün sisteme uyguladığı enerjinin karşılığı, sistemde harcanan plastik enerji, elastik deformasyon enerjisi ve kinetik enerjinin toplamıdır. Çelik yapıların enerji yutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle, yapının deprem yüklerine karşı verdiği dinamik cevabın düşük seviyede olması, çelik yapıların deprem karşısında daha dayanıklı olmasının en önemli nedenidir.

1.2 Yapı Sistemlerinin Hesap Esasları

Çelik yapılar emniyet gerilmeleri esasına göre boyutlandırılırken, gerilmeler orantılı sınır gerilmelerinin altında kaldığından, malzemenin davranışı lineer elastik bir özellik gösterir ve dolayısıyla, taşıyıcı sistemin hesabı elastisite teorisine dayanan statik yöntemlerden biriyle yapılabilir. Sonuç olarak, hesaplanan gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmadığı ve şekil değiştirmelerin belirli sınırların altında kaldığı gösterilerek, taşıyıcı sistemin veya elemanın yeterliği saptanmış olur.

Bir çelik taşıyıcı sistemin taşiyabileceği yüke, çeliğin plastik bölgede çalışabilme yeteneğinin de etkisi vardır. Hiperstatik bir sistemin bir bölgesinde plastik şekil değiştirmelerin oluşması durumunda, fazla zorlanan bölgeden az zorlanan bölgelere iç kuvvetler aktarılır, bu nedenle sistemin taşıma gücü hemen tükenmez. Buradan, hiperstatik taşıyıcı sistemin bütünü için yedek bir güvenliğin bulunduğu anlaşılır. Bu konunun bilimsel olarak incelenmesi sonucunda "Taşıma Yükü Yöntemleri" (Limit Design) ortaya çıkmıştır. Taşıma yükü esasına göre yapılan analizlerde, özetle, sistemi göçme durumuna getirecek olan yük hesaplanır ve bir güvenlik katsayısına bölünerek sistemin taşıyabileceği yük elde edilir.

1.2.1 Lineer Teori (Emniyet Gerilmeleri Metodu)

Bu teoride, tehlike sınırı olarak s_e elastik sınır gerilmesi esas alınır ve güvenlik katsayısına bölünerek emniyet gerilmesi bulunur. Elemanların boyutlandırılmasında da emniyet gerilmesi kullanılır.

Lineer teorinin dayandığı varsayımlar şunlardır :

- Malzeme lineer elastiktir.
- Yerdeğiştirmeler çok küçüktür, 1. mertebe teorisi geçerlidir.
- Tepki kuvvetleri çift yönlüdür ve sistemin boyutları yükleme ile değişmemektedir.

Görüldüğü gibi lineer teoride, sistemin elastik sınır yükünden sonraki taşıma gücünden yararlanılmaz.

Bir taşıyıcı sistem elastik hesap yönetmeliklerine göre ele alındığında, çeşitli yüklemeler altında, yapılan kontrollerde ;

- Sistemin hiçbir noktasında elastik sınır gerilmesinin aşılmadığı,

- Yükler altında şekil değiştirmelerin kabul edilebilir kaldığı,
- Yerel veya tümsel kararsızlığın oluşmadığı,
- Birleşimlerin dayanım sığalarının aşılmadığı,
- Yorulma kırılmalarının oluşmadığı,

gösterilmelidir.

1.2.2 Plastik Teori (Taşıma Gücü Metodu)

1.2.2.1 **Plastikleşme Momenti ve Plastik Mafsal**

Taşıyıcı elemanın söz konusu kesitinde oluşan plastik mafsal, kesit momentinin belli bir sınır değere ulaşması sonucunda, momentte belirgin bir artış olmamakla birlikte, kesitte büyük ve geri dönüşü olmayan dönmelerin oluştuğu davranış hali olarak tanımlanabilir.

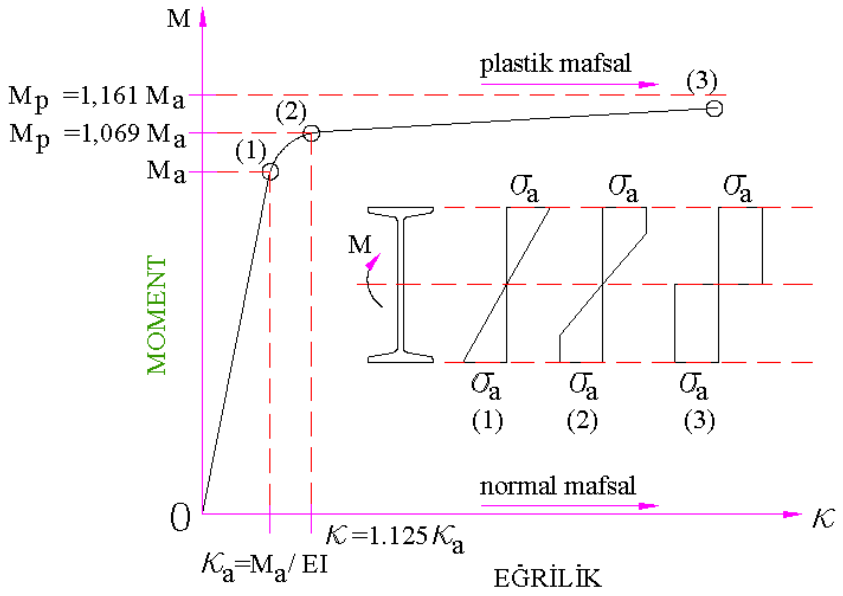
Plastikleşme momenti, bir kesitin plastik mafsal durumuna dönüşmesini sağlayan moment değeridir.

Gövde levhası düzlemindeki eğilme momenti ile zorlanan, ideal – elastoplastik malzemeden yapılmış simetrik I kesitli çubuklarında, M – k (moment – eğrilik) grafiği Şekil 1.3 de görülmektedir.

Diyagram üzerindeki (1) noktasında s_a akma gerilmesine ulaşılmış, moment bir miktar daha arttırıldığında (2) noktasına gelinmiş ve profilin başlığının tamamı ile gövdesinin bir kısmı plastikleşmiştir. Momentin biraz daha artımı ile ulaşılan (3) noktasında ise kesitin tümü plastikleşmiştir. Grafiktede görüldüğü gibi, taşıyıcı elemanın söz konusu kesitinin yer aldığı noktası, Mp momentinin değerine eşit sabit bir momentin etkili olduğu bir mafsal gibi hareket edecektir. Bu mafsala plastik mafsal denir.

Bir taşıyıcı sistemde plastik mafsalların oluşabileceği noktalar şunlardır :

- Tekil yüklerin etkidiği noktalar.
- Düğüm noktalarına birleşen eleman uçları.
- Yayılı yük etkisindeki açıklıklarda kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktalar. (maximum açıklık momentinin oluştuğu bölgeler.)



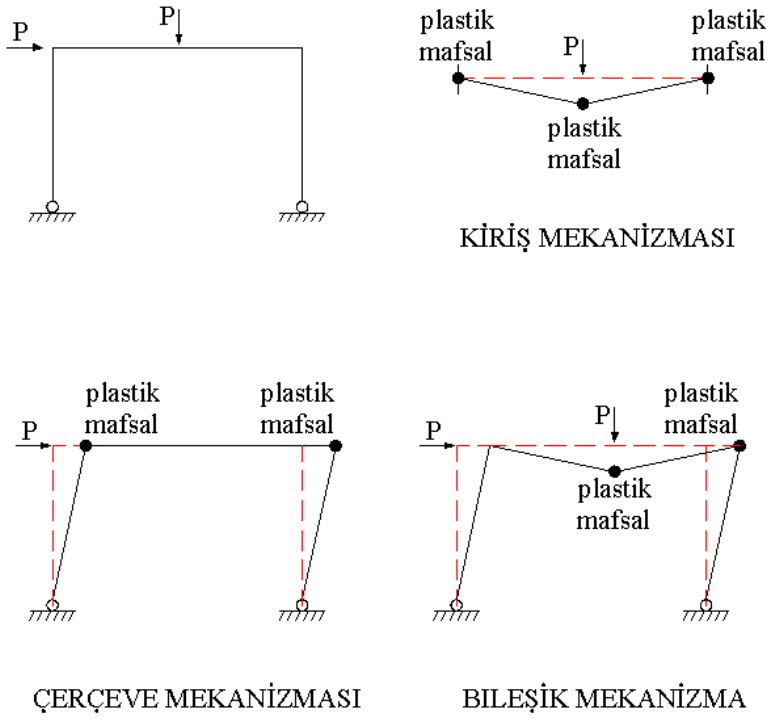
Şekil 1.3 I kesitin moment - eğrilik diyagramı.

1.2.2.2 Mekanizma

Sistemde oluşacak olan plastik mafsal sayısı hiperstatiklik derecesine bağlıdır ve her bir plastik mafsalın oluşumu ile sistemin hiperstatikliği bir derece azalmaktadır. Yeter sayıda plastik mafsal oluşması ile sistemin tümü veya bir bölgesi izostatik duruma geldikten sonra, yeni bir plastik mafsal oluşması halinde, plastik mafsallar arasında kalan elemanlar, yükün şiddetinde bir artışa gerek olmadan hareket edebilirler. Taşıyıcı sistemlerin bu haline mekanizma adı verilir. Bir mekanizma için yeterli sayıda plastik mafsal oluştuktan sonra, taşıyıcı sistemin yapacağı ek bir hareket (mekanizma hareketi) gerçek mafsallarla bağlı çubuklardan oluşan bir zincirinki gibi olmaktadır. Şekil 1.4 de, ayakları mafsallı, ortogonal çerçevedeki mekanizma durumları görülmektedir.

Mekanizmalar, bağımsız mekanizma ve bileşik mekanizma şeklinde iki ana gurupta toplanmışlardır. Sekil 1.4 de görülen kiriş mekanizması ve çerçeve mekanizması bağımsız mekanizmalardır. Kiriş mekanizması, taşıyıcı sisteme ait doğrusal bir elemanda yeterli sayıda plastik mafsal oluşumu sonucunda ortaya çıkar ve bölgesel çökmelere neden olur. Çerçeve mekanizması ise, çerçevede yeteri kadar plastik mafsal oluşumundan sonra, sistemin yanal deplasman yapmasıyla çökmesine neden olur. Kiriş mekanizmasında, tekil yükün altında ve düğüm noktalarında, çerçeve

mekanizmasında ise sadece düğüm noktalarında oluşan plastik mafsallar Şekil 1.4 de görülmektedir.



Şekil 1.4 Ayakları mafsallı ortogonal çerçevedeki mekanizma durumları.

Bileşik mekanizmalar, sistem için mümkün olan bağımsız mekanizmaların birleşiminden meydana gelir. Bağımsız mekanizmaların birleştirilmesindeki amaç dış yüklerin işini mümkün olduğu kadar büyütmek, iç kuvvetlerin işlerini de mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Ancak bu şekilde en küçük plastik taşıma gücüne ulaşılır.

Plastik taşıma yükü analizinin dayandığı varsayımlar şöyle sıralanabilir ;

- Yükler ve taşıyıcı sistem aynı düzlem içinde yer alırlar. Taşıyıcı sistemin her elemanı, bu düzlem içinde yer alan bir simetri eksenine sahiptir.
- Malzeme sünektir.
- Deplasmanlar küçüktür. Bu nedenle denge denklemleri, taşıyıcı sistemin şekil değiştirmemiş geometrisi göz önünde tutularak yazılır.
- Plastik taşıma yüküne ulaşmadan hiçbir karasızlık durumu oluşmamalıdır.
- Taşıyıcı sistemin birleşimleri Mp plastikleşme momentini aktaracak şekilde düzenlenmelidir.

- Normal kuvvet ve kesme kuvvetinin Mp plastikleşme momentinin üzerindeki etkileri göz önünde tutulmayacaktır.
- Orantılı yükleme söz konusudur.

Ayrıca plastik analiz yöntemi aşağıdaki üç koşulu sağlamalıdır :

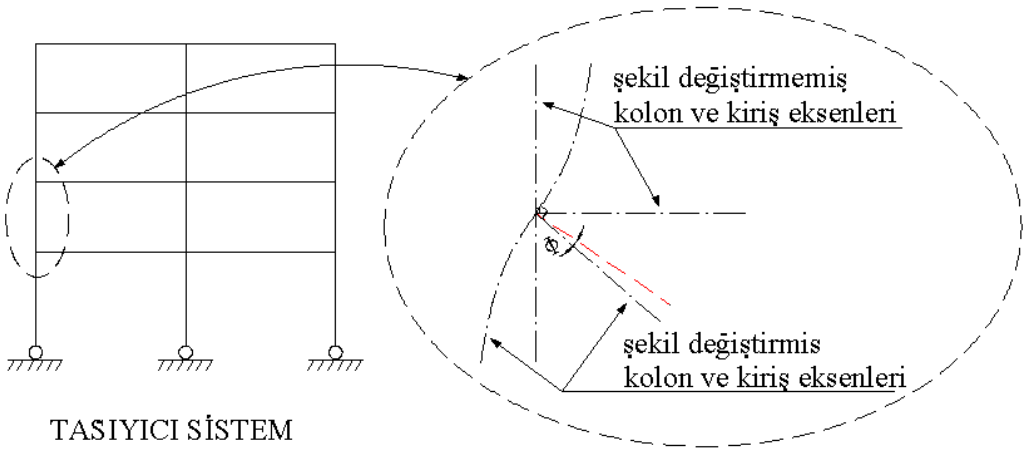
- Mekanizma koşulu : Göçme yüküne bir mekanizma olduğunda ulaşılır.
- Denge koşulu : Sistemin tümü veya herhangi bir düğüm noktası için statik denge sağlanmalıdır.
- Plastik moment koşulu : Taşıyıcı sistemin hiçbir noktasında, kesitin plastik moment kapasitesi aşılmamalıdır.

Herhangi bir kesitte plastikleşme oluşması, taşıyıcı sistemin göçmesine neden olmaz, genellikle sistem daha fazla yük taşıyabilir. Plastik hesapta bir kesitin taşıma gücüne, o kesit bütünüyle plastikleştiğinde elde edilir.

Birleşimler, kesit zorlarının bir yapı elemanından diğerine aktarımını sağlayan bölgeler olduğu için, detaylandırılmalarında dikkatli olunması gerekir. Birleşimlerin yeterli bir dayanım sığasına, yeterli plastik şekil değiştirebilme özelliğine ve birleştirilen bütün elemanları konumlarında tutmayı sağlayan bir rijitliğe sahip olmaları gerekir.

2. ALIN LEVHASINDAKİ ŞEKİL DEĞİŞTİRME (AÇILMA) MİKTARININ SINIR DEĞERLERİ

Yapıların plastik hesabı yapılırken, plastik mafsalların düğüm noktaları yerine kirişler üzerinde oluşması istenir. Bunun için düğüm noktalarının moment taşıma kapasitelerinin yüksek, bu noktalarda oluşan rölatif dönmelerin yani birleşim noktalarındaki yer değiştirmelerin (açılmaların) küçük değerlerde olması gerekir. Sistem yüksüz halde iken, kolon ile kiriş arasındaki açı, yükler etkidikten sonra da korunmalı ve ilave dönmeler (rölatif dönmeler : Φ) sınırlanmalıdır. (Bakınız Şekil 2.1)



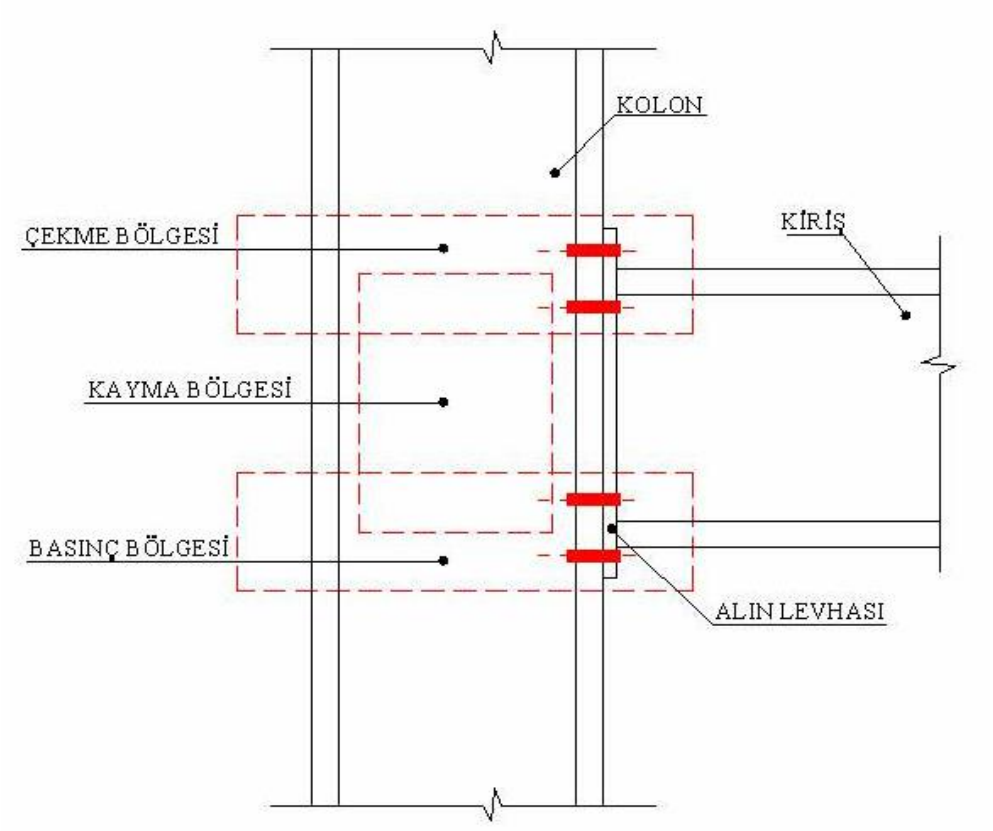
Şekil 2.5 Kolon ve kiriş arasındaki rölatif dönme : Φ

Bulonlu kolon-kiriş birleşimlerinde, birleşim yeri Şekil 2.2 de görüldüğü gibi üç kritik bölgeden oluşur. Birleşim noktasındaki moment taşıma kapasitesi Şekil 2.2 de belirtilen bölgelere göre aşağıda sıralanan kriterlere bağlıdır ;

- Çekme bölgesi
  - kolon gövdesinin akma gerilmesine ulaşması
  - kiriş gövdesinin ve başlıklarının akma gerilmesine ulaşması
  - kolon başlığının akma gerilmesine ulaşması
  - alın levhasının akma gerilmesine ulaşması
  - kaynakların göçmesi
  - bulonların göçmesi

- Basınç bölgesi
  - kolon gövdesinin akma gerilmesine ulaşması
  - kolon gövdesinin eğilmesi
  - kiriş gövdesinin ve başlığının akma gerilmesine ulaşması
- Kayma bölgesi
  - kolon gövdesinin kayma gerilmesi nedeniyle göçmesi

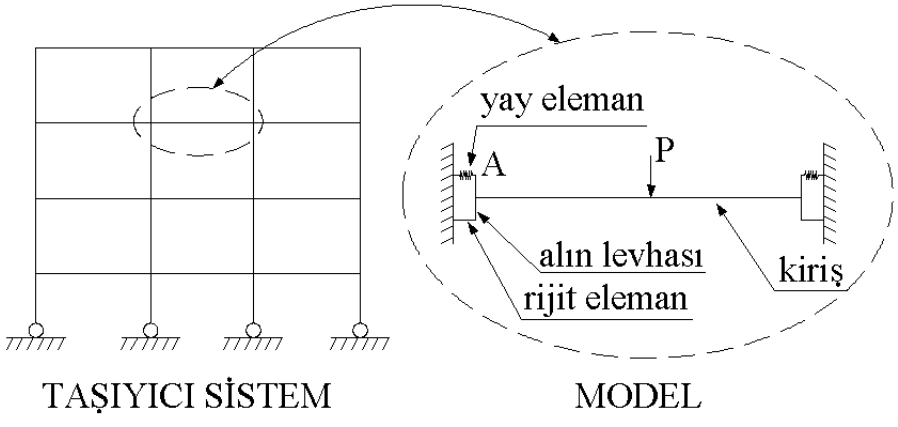
Bu çalışmada, alın levhasının kalınlığının tespiti problemi incelendiği için, kolon ve kiriş kesitlerinin yeterli rijitlikte olduğu varsayılmıştır.

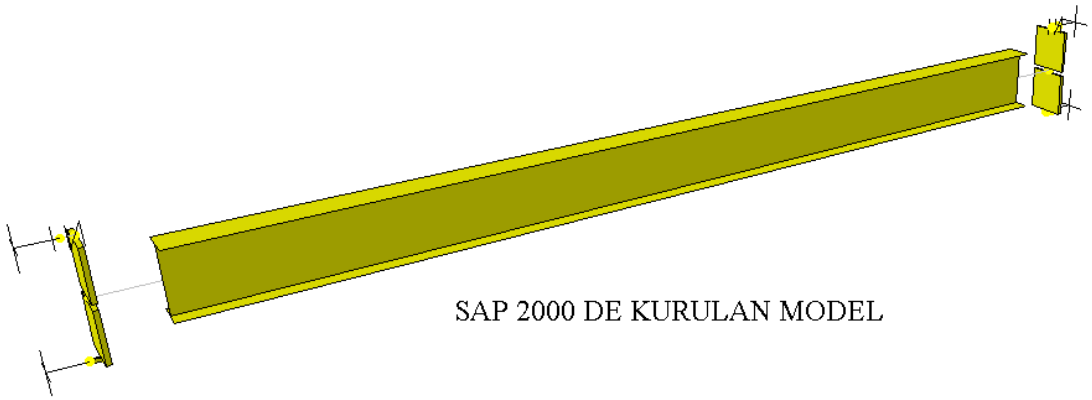


Şekil 2.6 Bulonlu kolon - kiriş birleşimini oluşturan bölgeler.

Alın levhasındaki açılma miktarının sınır değerlerini bulmak için, SAP2000 (Structural Analysis Program) statik analiz programında oluşturulan tipik bir modelden yararlanılmıştır. Şekil 2.3 de kurulan model görülmektedir.

Burada amaç, alın levhasında oluşan yer değiştirmeler ile kiriş üzerindeki moment değişimini inceleyerek, levhadaki açılma miktarının hangi değerler içerisinde kalması gerektiğini tespit etmektir.





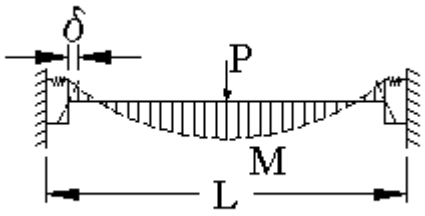
Şekil 2.7 Alın levhasındaki açılmanın sınır değerinin araştırılması için SAP 2000 de kurulan model.

Modelde görüldüğü üzere, A noktasına yay elemanı bağlanmıştır. Yay katsayısında yapılan değişiklikler sonucu, A noktasının istenilen miktarda yerdeğiştirme (d) yapmasına izin verilmiş ve kiriş açıklığındaki moment değerinin (M) değişimi gözlenmiştir. Yay katsayısının (yay rijitliğinin) büyük olması, A noktasının daha az yerdeğiştirme yapmasını, küçük olması ise daha büyük yerdeğiştirme yapmasını sağlamaktadır. Daha hassas bir aralık yakalayabilmek için, 3, 5 ve 7 metre boylarında üç ayrı kiriş üzerinde inceleme yapılmıştır. P tekil yükleri, açıklıklara göre kirişlerin taşıyabileceği moment değerlerini verecek şekilde seçilmiştir.

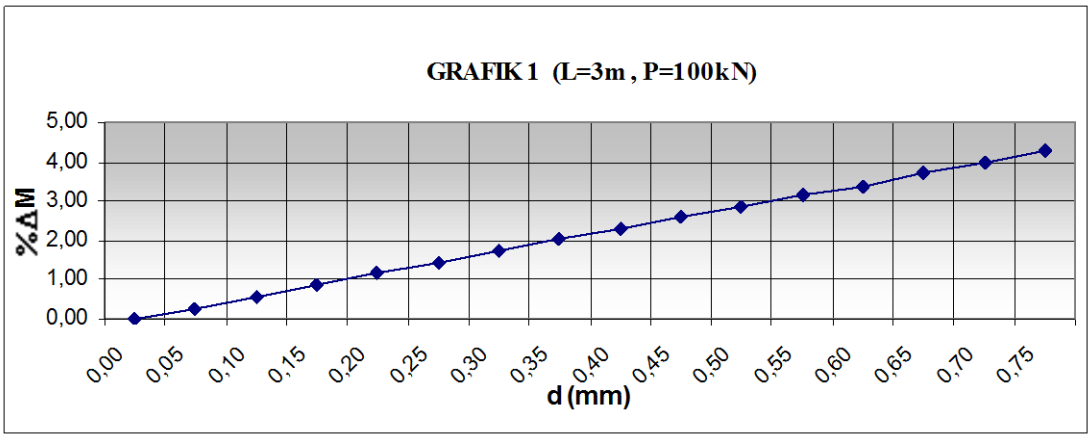
Elde edilen yerdeğiştirme – moment değişimi değerleri Tablo 2.1 de, tablodaki değerlerden elde edilen grafikler ise Şekil 2.4 de görülmektedir. Analiz sonucunda, %3 - 4 aralığındaki moment değişimine karşı gelen alın levhasının üst noktasındaki yerdeğiştirme (açılma) miktarı 0.55mm~0.60mm olarak tespit edilmiş ve bundan sonraki analizlerde sınır değer olarak kabul edilmiştir. Tablo 2.1 de sınır değer olarak seçilen aralıklar koyu renkle belirtilmiştir.

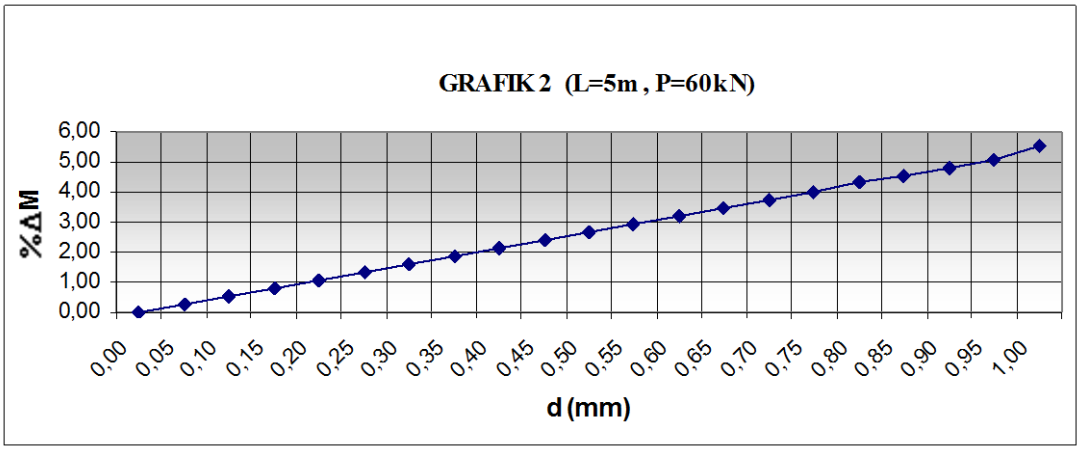
Tablo 2.1 Alın levhasındaki şekil değiştirme ve kiriş açıklığındaki moment değişimi değerleri

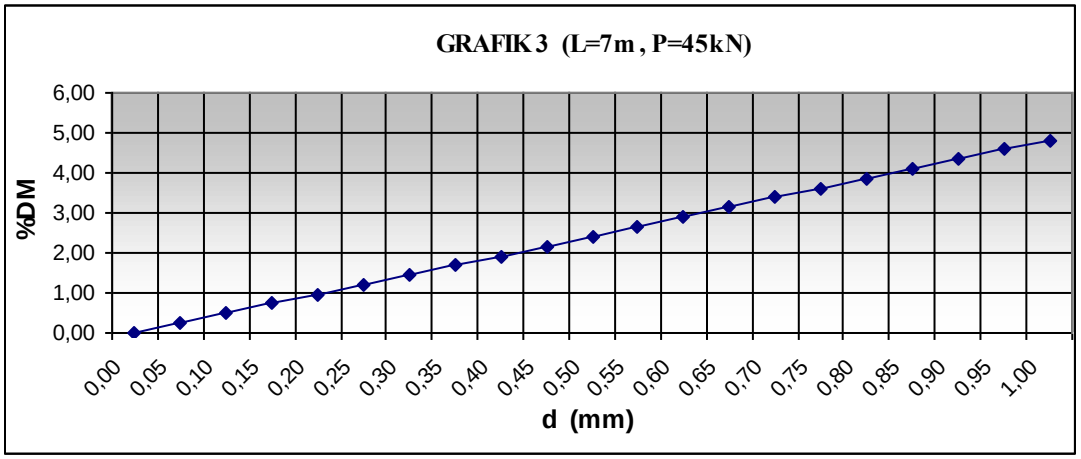
E=2,1.10^8 kN/m^2 I=8,139.10^{-5} m^4 (I 300 İÇİN)								
L=3m P=100 kN			**L=5m P=60 kN**			**L=7m P=45 kN**		
d (mm)	**M (kNm)**	**%DM (kNm)**	**d (mm)**	**M (kNm)**	**%DM (kNm)**	**d (mm)**	**M (kNm)**	**%DM (kNm)**
0,00	68,60	0,00	0,00	65,43	0,00	0,00	65,98	0,00
0,05	68,79	0,28	0,05	65,60	0,26	0,05	66,15	0,26
0,10	69,00	0,58	0,10	65,78	0,53	0,10	66,31	0,50
0,15	69,19	0,86	0,15	65,95	0,79	0,15	66,46	0,73
0,20	69,39	1,15	0,20	66,14	1,09	0,20	66,61	0,95
0,25	69,57	1,41	0,25	66,30	1,33	0,25	66,78	1,21
0,30	69,78	1,72	0,30	66,49	1,62	0,30	66,94	1,45
0,35	69,99	2,03	0,35	66,66	1,88	0,35	67,10	1,70
0,40	70,18	2,30	0,40	66,81	2,11	0,40	67,25	1,92
0,45	70,37	2,58	0,45	67,01	2,41	0,45	67,41	2,17
0,50	70,55	2,84	0,50	67,17	2,66	0,50	67,56	2,39
0,55	70,76	3,15	0,55	67,36	2,95	0,55	67,73	2,65
0,60	70,92	3,38	0,60	67,52	3,19	0,60	67,89	2,89
0,65	71,14	3,70	0,65	67,70	3,47	0,65	68,05	3,14
0,70	71,32	3,97	0,70	67,88	3,74	0,70	68,21	3,38
0,75	71,53	4,27	0,75	68,06	4,02	0,75	68,36	3,61
			0,80	68,25	4,31	0,80	68,52	3,85
			0,85	68,41	4,55	0,85	68,69	4,11
			0,90	68,58	4,81	0,90	68,86	4,36
			0,95	68,76	5,09	0,95	69,00	4,58
			1,00	69,03	5,50	1,00	69,14	4,79



Şekil 2.4 Tablo 2.1 de yer alan parametreler.





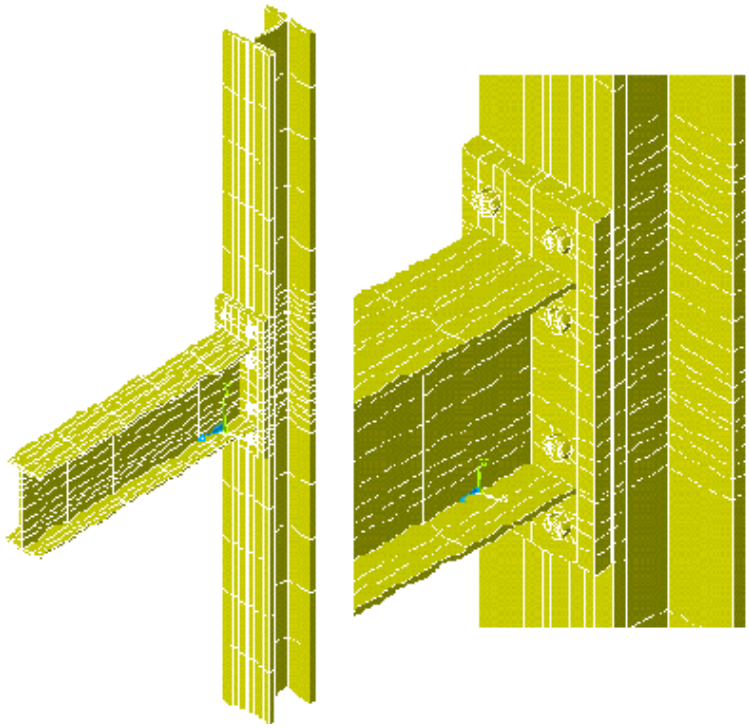


Şekil 2.5 Tablo 2.1 de verilen alın levhasındaki açılma miktarı – moment değişimi değerlerinin grafikleri.

3. ANSYS PROGRAMINDA KURULAN MODEL HAKKINDA AÇIKLAMALAR

Çalışmanın bu bölümünde, ANSYS 5.3 paket programında kurulan bulonlu kolon – kiriş birleşim detayının tanıtımına yer verilmiştir. ANSYS paket programında yapılan modelleme; kolon, kiriş ve levha geometrilerinin oluşturulması, bulon deliklerinin açılması, bulon gövdesi, başlık ve somunların modellenmesi, bulonların levhalara ve levhaların birbirine sadece çekme ve basınç alabilen elemanlarla bağlanması, kiriş kesitine gerilmelerin verilmesi ve son olarak analizlerin gerçekleşmesinden oluşmaktadır.

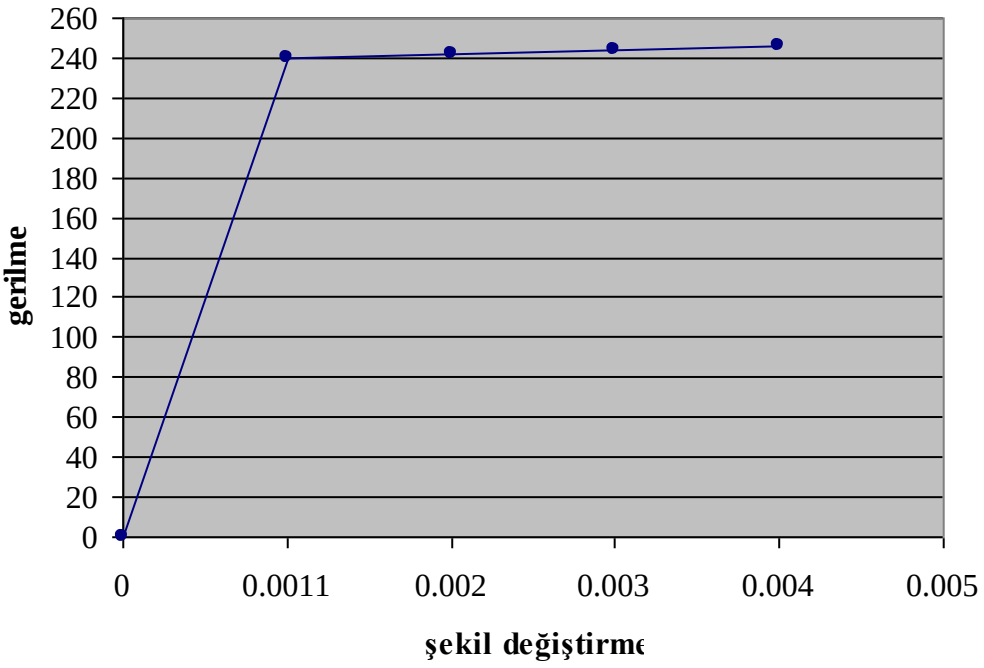
Kurulan modelin ana elemanları Şekil 3.1 de görülmektedir. Kolon, kiriş, bulon ve levha elemanları solid eleman olarak tanımlanmıştır. Solid elemanlar üç boyutlu tanımlandığı için üzerlerinde üç eksen doğrultusunda da gerilme ve şekil değiştirme değerleri okunabilmektedir.



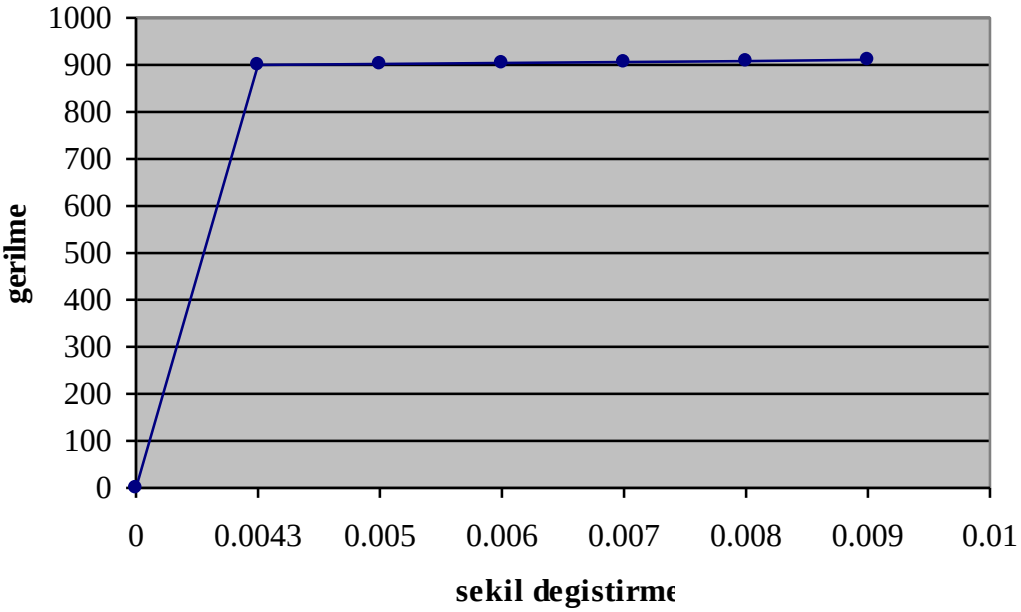
Şekil 3.1 ANSYS de modellenen bulonlu kolon - kiriş birleşimi.

Geometrilerin oluşturulmasından önce, kullanılan malzemenin bazı özellikleri programa girilmektedir. Kolon, kiriş ve alın levhası malzemesi olarak st37 çeliği, bulon çeliği olarak da 10.9 kalitesinde yüksek mukavemetli bulon çeliği seçilmiştir. Elastisite modülü E=210000 N/mm2, poisson oranı n=0.3 olarak programa girilmiştir.

Malzemenin gerilme – şekil değiştirme diyagramı, non – lineer çözüm yapılabilmesi için kullanıcı tarafından tanımlanmalıdır. St37 çeliğine ait gerilme – şekil değiştirme diyagramı Şekil 3.2 de, bulon çeliğine ait gerilme – şekil değiştirme diyagramı ise Şekil 3.3 de görülmektedir. Akmanın meydana geldiği kısımda, diyagramlardaki eğrilerin eğimleri sıfır olarak girilirse, akmanın başladığı anda program çözümü durdurup sistemin akmaya geçtiğini bildirmektedir. Bunun nedeni, ANSYS analiz programının, diğer sonlu eleman analizi yapan programlar gibi sadece gerilme hesabını yapması, kopma, kırılma gibi detaylara yer vermemesidir. Çözümün sürekliliğini sağlamak için, akmanın başladığı noktadan sonraki eğri kısmına elastisite modülünün 1/100'ü kadar eğim verilmiştir.



Şekil 3.2 St37 çeliğinin gerilme - şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 3.3 Bulon çeliğinin gerime - şekil değiştirme diyagramı.

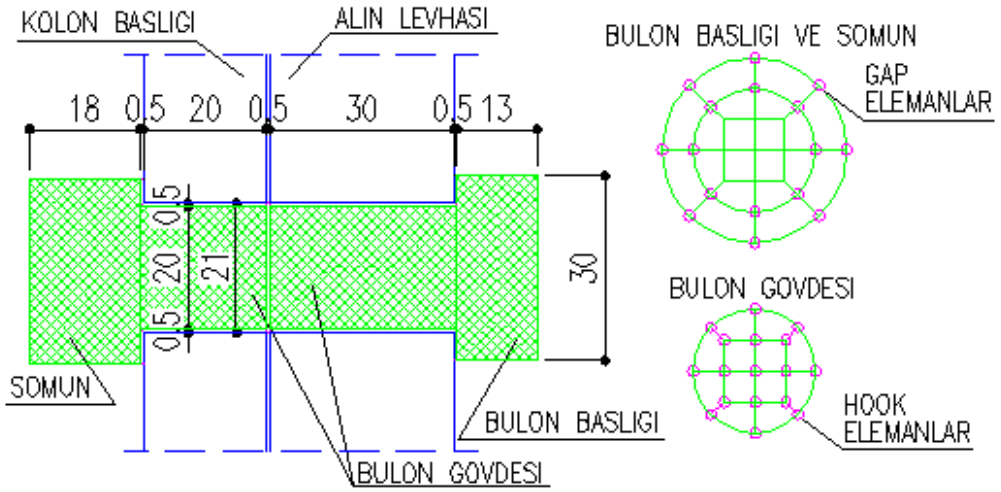
Kiriş kesiti IPE 300'e, kolon kesiti ise HEA 200'e benzer şekilde seçilmiştir. Başlık ve gövde değerleri modelde kolaylık yaratmak amacıyla tam sayı olarak alınmıştır (10 mm, 20 mm gibi).

Alın levhası ile kolon başlığı arasında 0.5 mm boşluk bırakılmış ve birbirine bağlantıları gap elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu elemanlar üzerlerine gelen basınç kuvveti ile aktif duruma geçen, çekme kuvvetiyle ise devre dışı kalan elemanlardır. Alın levhasının kirişe kaynaklanan kenarları modelleme sırasında ankastre bağlı olarak kabul edilmiştir.

Kolon başlığında ve alın levhasında, bulon çapından 1 mm daha büyük çapta delikler açılmıştır. Oluşturulan bulon elemanları, açılan bu deliklere gap elemanları kullanılarak bağlanmıştır. Bulonların deliklere daha gerçekçi biçimde bağlanabilmesi ve bulonlara öngerme kuvvetinin verilebilmesi için, levhaların ayrıldığı noktalarda, bulon gövdesi de iki kısma ayrılmıştır. Ayrılan bu parçalar hook elemanları ile birleştirilmiştir. Hook elemanlar üzerlerine gelen çekme kuvveti ile aktif duruma geçen, basınç kuvvetiyle ise devre dışı kalan elemanlardır. Şekil 3.4 de levhalardaki delikler ile bulonların bağlantıları görülmektedir.

M20 olarak seçilen bulonun başlık ve somun ölçüleri DIN 6914 ve DIN 6915 şartnamelerindeki ölçülere uygun olarak modellenmiştir. Ayrıca, Şekil 3.4 de, 30 mm olarak görünen alın levhasının kalınlığına, analiz sırasında değişik değerler verilmiştir, çünkü bu çalışmanın ana konusu bu kalınlığın uygun değerinin bulunmasıdır.

Bulon başlığı alın levhasına 16 adet gap elemanıyla, somun kolon levhasına 16 adet gap elemanıyla, bulon gövdeleri de birbirine 17 adet hook elemanıyla bağlanmıştır. Şekil 3.4 de, bu elemanlar küçük daireler şeklinde görülmektedir**.**

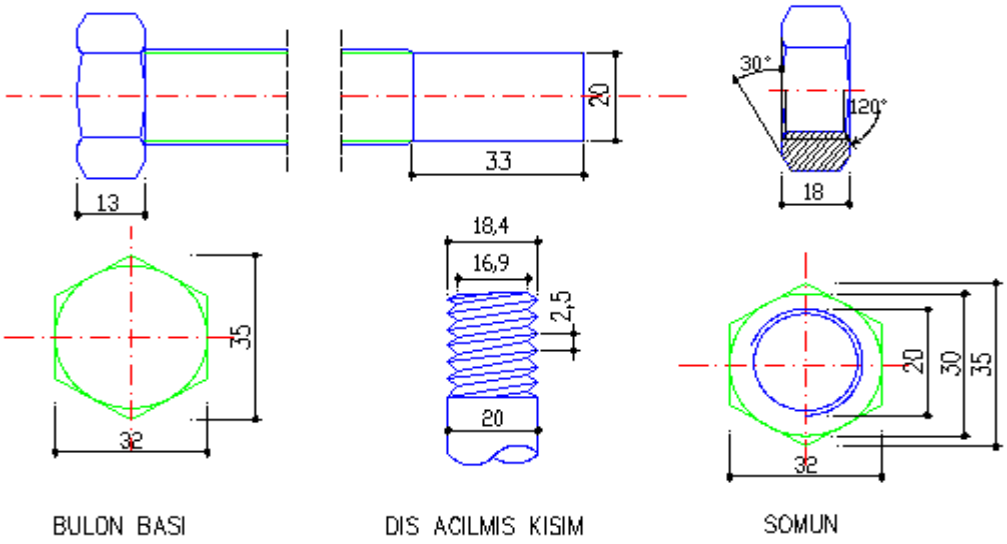


Şekil 3.4 Levhalar ile bulonun bağlantı şekli, gap ve hook elemanlar.

Şekil 3.1 de görülen modelde, kolonun alt ve üst noktaları ötelenmeye ve dönmeye karşı tutulmuştur.

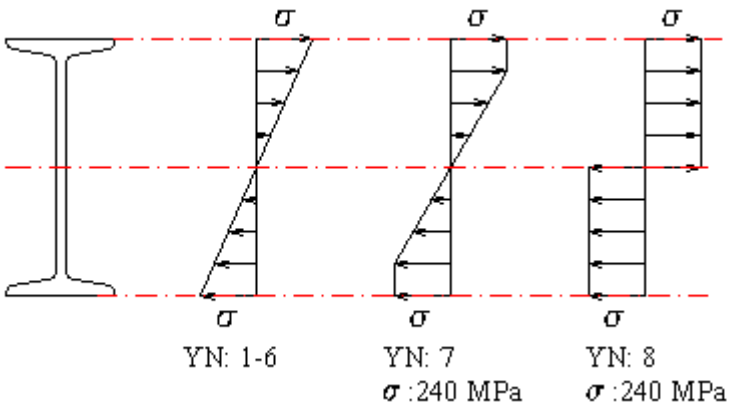
4. ÖNGERMELİ BULONLARA DIŞ YÜK NEDENİYLE ETKİYEN İLAVE ÇEKME KUVVETİNİN MERTEBESİ

Bulonlu kolon – kiriş birleşimlerinde, bulonlara uygulanan öngerme kuvveti ve dış yükler etkisiyle bulonlara etkiyen çekme kuvveti değerlerinin, öngerme kuvvetine oranları çeşitli şartnamelerde belirtilmiştir. Bu çalışmada, 10.9 kalitesinde yüksek mukavemetli M20 uygun bulon üzerinde inceleme yapılmıştır.. Şekil 4.1 de, seçilen bulonun geometrik özellikleri görülmektedir.



Şekil 4.1 10.9 kalitesinde yüksek mukavemetli M20 uygun bulonun geometrisi.

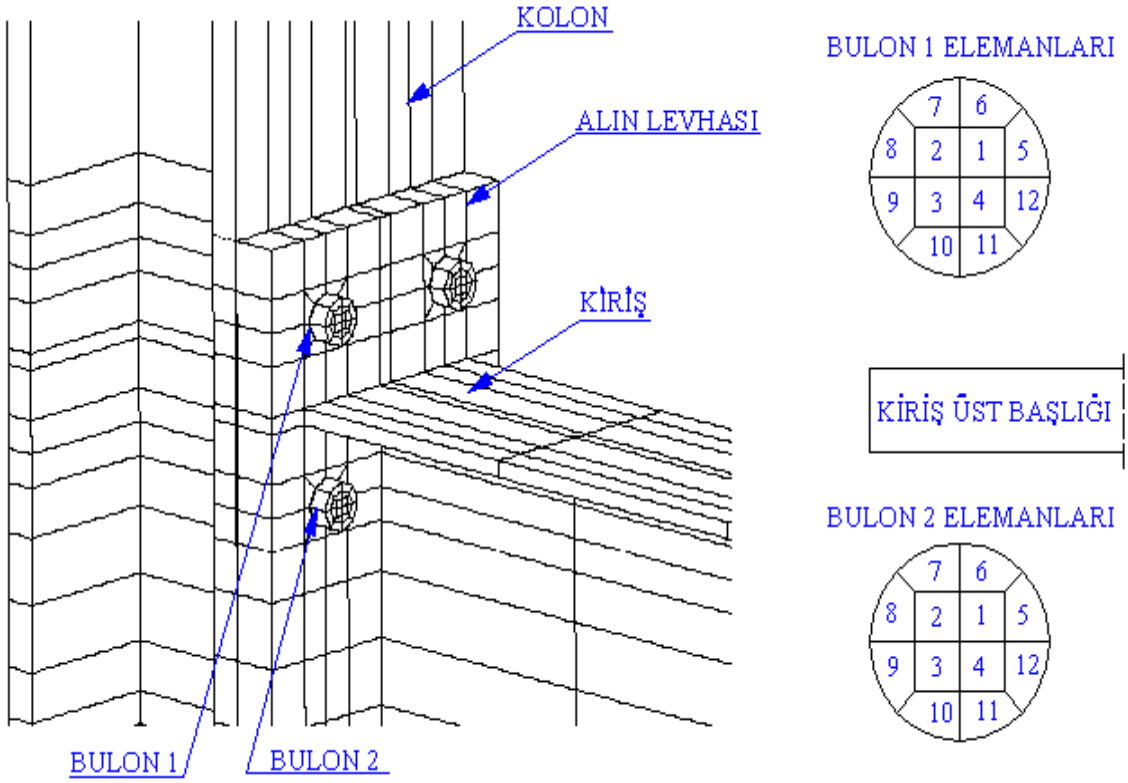
Şekil 4.1 de verilen özellikler doğrultusunda, ANSYS analiz programında bulonlar modellenmiştir. Kirişe uygulanan gerilmeler, 140MPa dan başlamak üzere kiriş kesitinin tümünün plastikleşmesine neden olan 240MPa değerine kadar kademeli olarak arttırılmıştır. Belirtilen gerilme aralığında 8 çeşit yükleme yapılmıştır. Şekil 4.2 de yapılan yükleme şekilleri, numaraları ve gerilme değerleri gösterilmektedir. 7. yüklemede kesitin başlıkları ve gövdeinin bir kısmı, 8. yüklemede kesitin tamamı plastikleşmiştir. Bulonlara etkiyen çekme kuvveti değerlerinin, öngerme kuvvetine oranı ve uygulanması gereken öngerme kuvvetinin mertebesi incelendiği için, kesme kuvveti ihmal edilmiş ve Şekil 4.2 de belirtilen yüklemeler kiriş ekseni doğrultusunda yapılmıştır.



YÜKLEME NO (YN)	GERİLME (σ) MPa
1	140
2	160
3	180
4	200
5	220
6	240

Şekil 4.2 Yükleme numaraları, şekilleri ve gerilme değerleri.

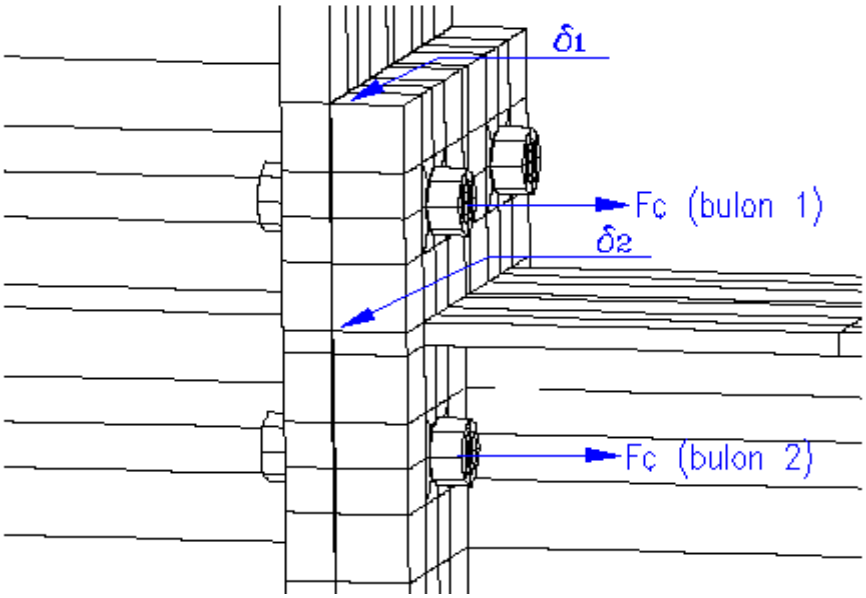
Kirişin üst başlığından alın levhasına aktarılan çekme kuvveti neticesinde, üst başlığa yakın olan bulonlarda çekme gerilmesi oluşmaktadır. Modellenen bulonlar, daha hassas analiz yapmak amacıyla 12 adet solid elemana bölünmüştür. Kiriş üst başlığının üzerindeki bulon "bulon 1", altındaki bulon ise "bulon 2" olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.3 de, tarif edilen modelleme görülmektedir.



Şekil 4.3 Bulonları oluşturan elemanlar ve bulonların modeldeki yerleri.

4.1 Öngerme Kuvvetinin Uygulanmadığı Durum

Analizin ilk aşamasında, bulonlara öngerme kuvveti verilmeden Şekil 4.2 deki yüklemeler yapılmış ve bulon elemanlarında oluşan gerilmeler bulunmuştur. Her bir bulon 12 elemandan oluştuğu için, tüm elemanlardaki gerilmeler toplanarak 12 ye bölünmüş ve ortalama gerilmeler (s_{ort}) hesaplanmıştır. Bulon gövdesinin alanıyla, elde edilen ortalama gerilme değerleri çarpılarak, bulon gövdesine etkiyen çekme kuvveti değerleri ($F_ç$) elde edilmiştir. Çekme kuvveti değerleri, 10.9 kalitesindeki M20 uygun bulonlara uygulanması gereken öngerme kuvvetine (160kN) bölünerek, dış yük nedeniyle bulonlarda oluşan ilave çekme kuvvetinin öngerme kuvvetine oranı (n) bulunmuştur. Tablo 4.1 de, yükleme numaraları, bulon gövdelerindeki gerilmeler, çekme kuvvetleri ve çekme kuvvetlerinin öngerme kuvvetine oranları görülmektedir. Ayrıca, alın levhası ile kolon başlığının temas ettiği iki noktadaki açılma değerleride (s_1, s_2) Tablo 4.1' in son sütününda verilmiştir. Şekil 4.4 de bulonlara etkiyen çekme kuvvetlerinin yönleri ve kolon başlığı ile alın levhası arasındaki açılma değerlerinin bulunduğu noktaların yerleri görülmektedir. Alın levhasının en üst noktasındaki açılma değeri s_1, kiriş üst başlığı hizasındaki açılma değeride s_2 olarak gösterilmiştir. Yüklemeler sonucu elde edilen gerilme diyagramları ve şekil değiştirme diyagramları sırası ile Şekil A41 den A48'e kadar ekler kısmında verilmiştir.

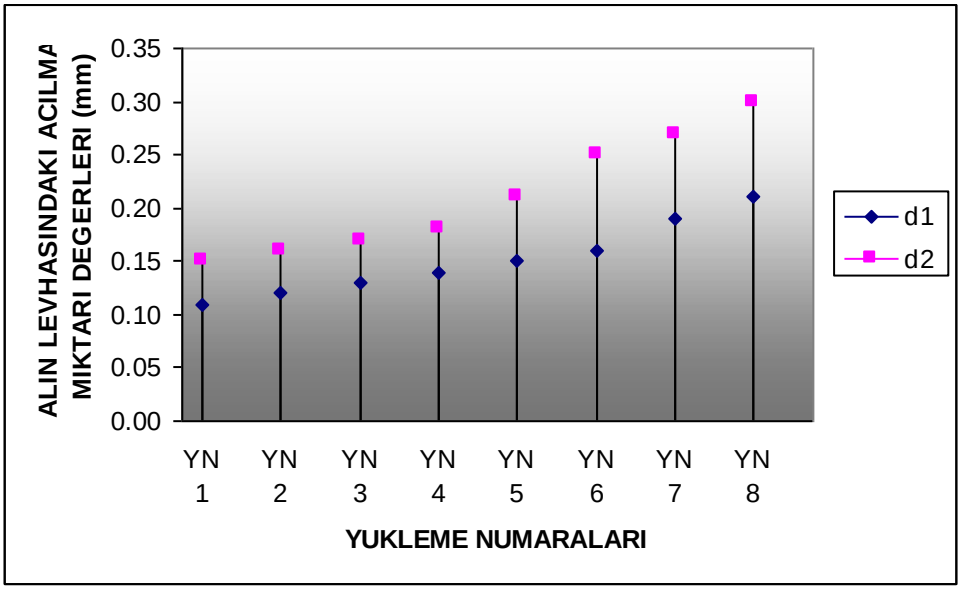


Şekil 4.4 Bulonlara etkiyen çekme kuvvetlerinin yönleri ve alın levhasındaki açılmaların hesaplandığı noktaların yerleri.

Tablo 4.1 Öngerme kuvvetinin uygulanmadağı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

		BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)												s_{ort} (Mpa)	$F_ç$ (kN)	n	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
YN 1	BLN 1	219	218	248	250	233	208	206	230	259	282	284	264	242	76	0.5	0.17	0.06
	BLN2	222	221	185	186	232	257	258	233	197	170	172	199	211	66	0.4		
YN 2	BLN 1	251	249	284	287	268	240	237	265	297	322	324	302	277	87	0.5	0.19	0.06
	BLN2	254	253	212	214	266	294	294	267	227	197	199	229	242	76	0.5		
YN 3	BLN 1	284	281	321	323	304	272	269	300	334	361	364	340	313	98	0.6	0.21	0.07
	BLN2	287	285	240	241	300	330	331	301	257	224	227	260	274	86	0.5		
YN 4	BLN 1	316	313	357	359	340	304	301	335	372	401	404	379	348	109	0.7	0.22	0.07
	BLN2	319	318	268	269	334	367	368	336	288	251	254	291	305	96	0.6		
YN 5	BLN 1	348	345	393	396	376	336	333	370	409	440	444	417	384	121	0.8	0.24	0.08
	BLN2	352	350	295	298	369	403	404	370	319	278	282	323	337	106	0.7		
YN 6	BLN 1	380	377	429	432	412	369	365	405	447	479	484	455	420	132	0.8	0.26	0.09
	BLN2	385	383	323	326	403	440	441	405	350	306	310	355	369	116	0.7		
YN 7	BLN 1	413	410	466	469	449	402	397	442	485	519	524	495	456	143	0.9	0.28	0.10
	BLN2	419	416	352	355	439	477	478	440	382	334	338	387	401	126	0.8		
YN 8	BLN 1	444	440	499	504	483	432	427	475	520	555	561	531	489	154	1.0	0.31	0.11
	BLN2	450	447	379	382	472	511	513	473	411	360	365	417	432	136	0.9		

Yükleme numarasına göre alın levhasındaki açılma miktarı değişimi Şekil 4.5 deki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.5 Öngerme kuvvetinin uygulanmadağı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

4.2 Öngerme Kuvvetinin Alın Levhası Üzerinde Oluşturduğu Şekil Değiştirme Miktarı

Analizin ikinci aşamasında, bulonlara sadece öngerme kuvveti verilmiştir. M20 yüksek mukavemetli bulona uygulanması gereken öngerme kuvveti (160kN) yüklenmiş ve alın levhasıyla kolon başlığı arasındaki Şekil 4.4 de gösterilen iki noktada oluşan şekil değiştirmeler bulunmuştur. Öngerme kuvveti etkisi ile kolon başlığı dışa doğru 0.11mm, alın levhası ise kolon başlığı yönünde 0.12mm şekil değiştirme yapmıştır.

Uygulanan öngerme kuvveti sonucunda bulon gövdesindeki elemanlarda oluşan gerilmeler hesaplanmıştır. Bu gerilmelerin ortalaması alınmış ve bulon gövdesinin alanı ile çarpılmak suretiyle, bulon gövdesindeki çekme kuvveti bulunmuş ve öngerme kuvvetine eşit olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, öngerme kuvveti ile bulon gövdesindeki çekme kuvvetinin eşit olduğu ve böylece denge denkleminin sağlandığı görülmüştür.

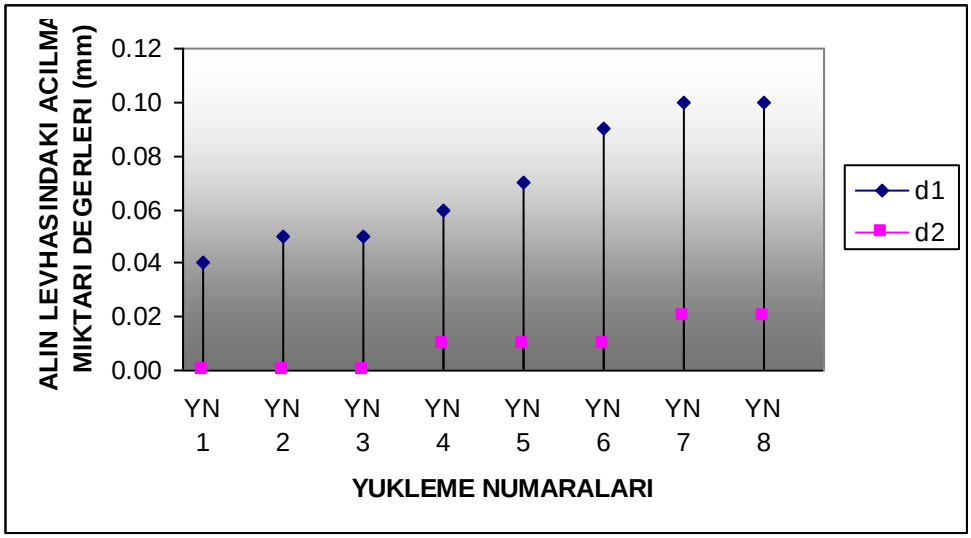
4.3 Öngerme Kuvvetinin Tamamının Uygulandığı Durum

Analizin üçüncü aşamasında, bulonlara öngerme kuvveti (160kN) verilerek Şekil 4.2 deki yüklemeler yapılmış ve bulon elemanlarında oluşan gerilmeler bulunmuştur. Analizlerin ilk kısımlarında yapıldığı gibi, bir bulon 12 elemandan oluştuğu için, tüm elemanlardaki gerilmeler toplanarak 12 ye bölünmüş ve ortalama gerilmeler (s_{ort}) hesaplanmıştır. Bulon gövdesinin alanıyla, elde edilen ortalama gerilme değerleri çarpılarak, bulon gövdesine etkiyen çekme kuvveti değerleri ($F_ç$) elde edilmiştir. Tablo 4.2 de, yükleme numaraları, bulon gövdelerindeki gerilmeler, çekme kuvvetleri ve Şekil 4.4 de gösterilen s_1 ve s_2 açılma değerleri gösterilmektedir. Gerilme diyagramı ve şekil değiştirme değerleri Şekil A33 ~ A40 da gösterilmiştir.

Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamının uygulanması halinde, yükleme numaralarına karşı gelen, alın levhasındaki açılma miktarı Şekil 4.6 daki grafikte görülmektedir. Dış yükten dolayı bulon gövdelerine etkiyen çekme kuvveti değerleri, uygulanan öngerme kuvvetini geçmediğinden, alın levhasındaki açılma miktarı çok küçük miktarlarda olmaktadır.

Tablo 4.2 Öngerme kuvvetinin tamamının uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)														s_{ort} (Mpa)	$F_ç$ (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
YN 1	BLN 1	448	448	466	466	556	541	541	558	563	561	561	562	523	164	0.04	0.00
	BLN2	448	448	448	448	546	528	527	547	547	527	526	544	507	159		
YN 2	BLN 1	444	444	453	453	538	515	517	542	552	539	540	550	507	159	0.05	0.00
	BLN2	464	464	446	446	559	558	558	562	554	534	533	551	519	163		
YN 3	BLN 1	439	440	458	458	533	503	505	537	557	552	552	556	507	159	0.05	0.00
	BLN2	459	459	441	440	555	552	552	558	540	509	507	536	509	160		
YN 4	BLN 1	439	440	459	459	532	502	504	536	558	553	554	557	508	159	0.06	0.01
	BLN2	460	460	440	440	556	554	553	558	539	509	507	536	509	160		
YN 5	BLN 1	440	439	461	461	534	504	505	535	557	555	557	559	509	160	0.07	0.01
	BLN2	462	461	441	441	557	556	555	558	540	511	512	539	511	161		
YN 6	BLN 1	441	440	462	463	539	509	508	536	556	557	559	561	511	160	0.09	0.01
	BLN2	464	463	443	444	559	558	556	557	542	517	519	544	514	161		
YN 7	BLN 1	443	441	464	466	543	515	512	537	555	558	562	564	513	161	0.10	0.02
	BLN2	466	464	444	446	562	560	557	557	544	523	526	549	517	162		
YN 8	BLN 1	445	442	465	468	548	520	517	539	554	560	565	566	516	162	0.10	0.02
	BLN2	468	466	446	448	564	562	558	557	547	529	533	555	519	163		



Şekil 4.6 Öngerme kuvvetinin tamamının uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

4.4 “0.8” Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum

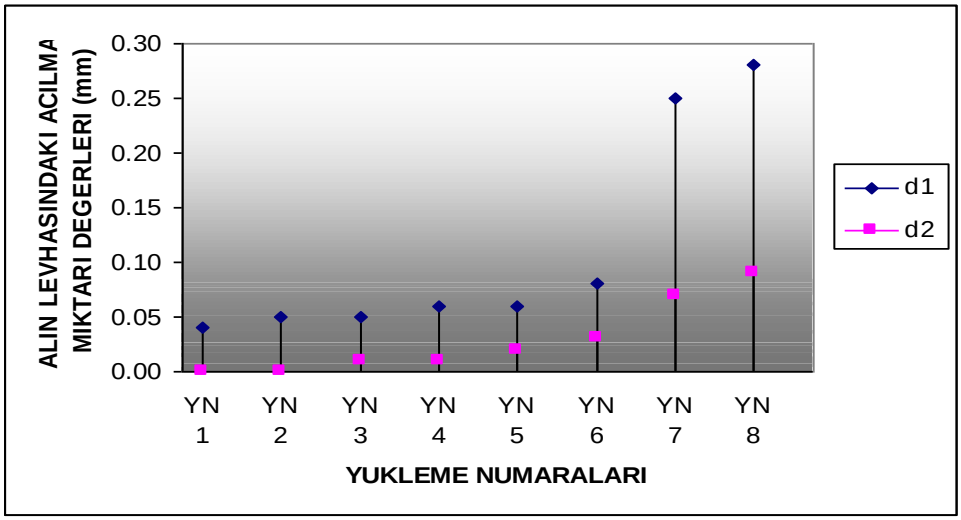
Analizin beşinci aşamasında, bulonlara öngerme kuvvetinin 0.8 katı (0.8 x 160kN= 128kN) verilerek Şekil 4.2 deki yüklemeler yapılmış ve Bölüm 4.3 de yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3 de gösterilmiştir. Gerilme diyagramı ve şekil değiştirme değerleri Şekil A25 ~ A32 de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 4.7 de grafik halinde görülmektedir. Tablo 4.3 deki sonuçlara bakıldığında, bulonların gövdelerindeki çekme kuvvetlerinin, 7 nolu yüklemeye kadar, 0.8 oranındaki öngerme kuvvetine eşit olduğu söylenebilir. Bundan sonraki yüklemeler de ise öngerme kuvvetinin uygulanmadığı durumdaki çekme kuvveti değerleriyle örtüşmektedir. (Bakınız Tablo 4.1 deki 7 ve 8 nolu yüklemeler sebebiyle bulon gövdelerinde oluşan çekme kuvveti değerleri.)

Aynı şekilde alın levhasındaki açılma değerleri de 6 nolu yüklemeye kadar küçük değerlerde kalırken, bundan sonraki yüklemelerde öngermesiz durumdaki açılma değerlerine yaklaştığı görülmektredir.

Tablo 4.3 0.8 kat öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)														**s_{ort} (Mpa)**	**$F_ç$ (kN)**	**δ_1 (mm)**	**δ_2 (mm)**
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
YN 1	BLN 1	352	353	366	367	426	403	405	429	445	441	442	443	406	127	0.04	0.00
	BLN2	366	366	353	353	443	441	440	444	430	407	406	427	406	128		
YN 2	BLN 1	352	352	368	368	427	404	405	429	445	444	445	445	407	128	0.05	0.00
	BLN2	368	368	353	353	443	443	443	445	431	409	409	429	408	128		
YN 3	BLN 1	354	353	370	370	430	409	409	430	444	446	447	446	409	128	0.05	0.01
	BLN2	370	369	355	355	444	446	445	444	432	413	413	432	410	129		
YN 4	BLN 1	356	354	371	372	433	414	413	431	444	448	450	448	411	129	0.06	0.01
	BLN2	372	371	356	357	446	448	446	444	433	416	419	436	412	129		
YN 5	BLN 1	357	355	373	374	438	419	417	433	443	449	453	451	413	130	0.06	0.02
	BLN2	374	372	357	358	449	451	448	444	434	421	424	440	414	130		
YN 6	BLN 1	359	357	374	376	442	425	422	435	444	451	455	453	416	131	0.08	0.03
	BLN2	376	373	358	360	452	453	449	444	437	425	429	445	417	131		
YN 7	BLN 1	368	365	399	402	456	437	433	447	465	485	490	477	435	137	0.25	0.07
	BLN2	377	375	360	362	454	455	451	446	441	432	436	450	420	132		
YN 8	BLN 1	398	395	449	453	493	462	457	483	514	538	544	527	476	150	0.28	0.09
	BLN2	401	400	368	370	474	486	484	468	453	442	447	462	438	138		



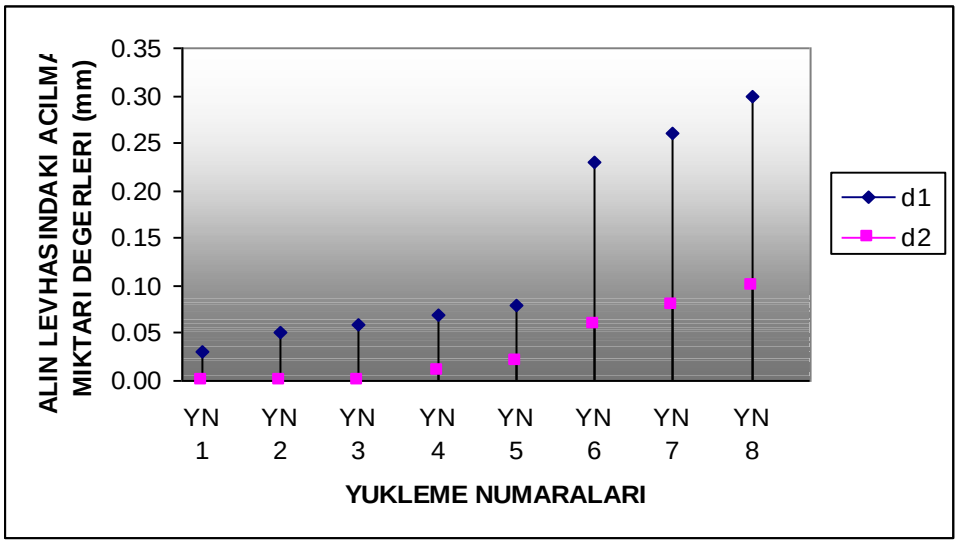
Şekil 4.7 0.8 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

4.5 "0.7" Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum

Öngerme kuvvetinin 0.7 katı verilerek Bölüm 4.3 de yapılan işlemler tekrarlanmış, sonuçlar Tablo 4.4, Şekil 4.8 ve Şekil A17 ~ A24 de verilmiştir.

Tablo 4.4 0.7 kat öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)														s_{ort} (Mpa)	$F_ç$ (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
YN 1	BLN 1	309	309	322	322	374	356	356	376	389	389	389	389	357	112	0.03	0.00
	BLN2	322	322	310	310	387	388	388	389	377	359	359	376	357	112		
YN 2	BLN 1	310	310	324	324	377	360	359	377	388	391	392	390	359	113	0.05	0.00
	BLN2	324	323	311	311	389	390	390	388	378	362	363	379	359	113		
YN 3	BLN 1	312	311	325	326	380	364	363	378	388	393	395	392	361	113	0.06	0.00
	BLN2	325	324	311	312	391	393	391	388	379	366	368	382	361	113		
YN 4	BLN 1	313	312	327	328	384	369	367	379	388	395	398	395	363	114	0.07	0.01
	BLN2	327	326	312	314	393	396	393	388	380	370	373	386	363	114		
YN 5	BLN 1	315	313	328	330	389	374	371	381	389	397	401	398	366	115	0.08	0.02
	BLN2	329	327	314	316	396	398	395	389	383	374	378	391	366	115		
YN 6	BLN 1	342	339	383	386	423	398	394	414	440	463	468	451	409	128	0.23	0.06
	BLN2	341	340	319	320	405	414	412	400	391	382	386	398	376	118		
YN 7	BLN 1	373	370	430	433	457	421	417	447	484	508	513	496	446	140	0.26	0.08
	BLN2	380	379	334	336	444	465	462	438	412	397	401	420	406	127		
YN 8	BLN 1	403	399	467	471	487	447	443	476	520	546	552	533	479	150	0.30	0.10
	BLN2	416	415	357	360	479	502	500	473	437	415	419	446	435	137		



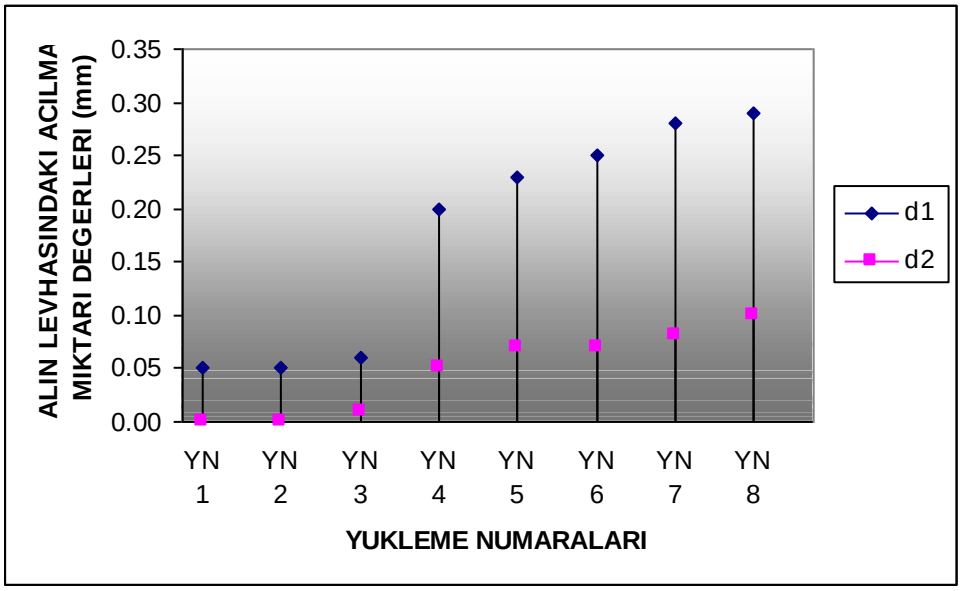
Şekil 4.8 0.7 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

4.6 "0.6" Oranında Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum

Öngerme kuvvetinin 0.6 katı verilerek Bölüm 4.3 de yapılan işlemler tekrarlanmış, sonuçlar Tablo 4.5, Şekil 4.9 ve Şekil A9 ~ A16 da verilmiştir.

Tablo 4.5 0.6 kat öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)														**s_{ort} (Mpa)**	**$F_ç$ (kN)**	**δ_1 (mm)**	**δ_2 (mm)**
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
YN 1	BLN 1	266	266	278	278	323	309	309	323	333	336	337	334	308	97	0.05	0.00
	BLN2	277	277	266	267	333	335	334	333	324	311	312	325	308	97		
YN 2	BLN 1	267	266	279	280	327	313	312	324	332	338	340	337	310	97	0.05	0.00
	BLN2	279	278	267	268	335	338	336	332	325	314	316	328	310	97		
YN 3	BLN 1	269	267	280	282	330	318	315	325	332	340	343	339	312	98	0.06	0.01
	BLN2	281	279	268	269	338	341	338	332	325	317	320	331	312	98		
YN 4	BLN 1	283	281	314	316	350	332	329	343	364	384	388	373	338	106	0.20	0.05
	BLN2	283	281	269	271	339	343	340	334	329	322	325	335	314	99		
YN 5	BLN 1	314	312	361	364	385	356	352	377	408	430	434	418	376	118	0.23	0.07
	BLN2	319	318	281	283	373	392	390	368	346	335	338	352	341	107		
YN 6	BLN 1	346	343	402	404	416	383	379	408	447	471	476	458	411	129	0.25	0.07
	BLN2	356	355	306	307	410	432	430	405	373	353	357	380	372	117		
YN 7	BLN 1	379	376	439	443	451	415	411	442	484	511	517	496	447	140	0.28	0.08
	BLN2	395	394	331	333	448	473	471	442	401	372	376	409	404	127		
YN 8	BLN 1	410	406	474	477	484	444	440	474	518	548	554	531	480	151	0.29	0.10
	BLN2	430	429	355	358	482	510	508	476	426	391	395	435	433	136		



Şekil 4.9 0.6 oranında öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

4.7 Yarım Öngerme Kuvvetinin Uygulandığı Durum

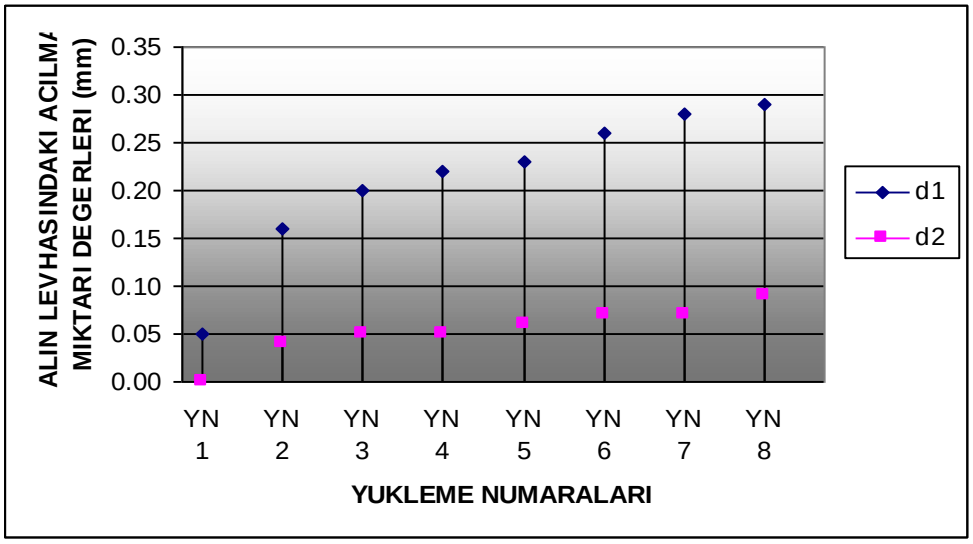
Analizin son aşamasında, bulonlara öngerme kuvvetinin yarısı (80kN) verilerek Şekil 4.2 deki yüklemeler yapılmış ve Bölüm 4.3 de yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.6 da gösterilmiştir. Gerilme diyagramı ve şekil değiştirme değerleri Şekil A1 ~ A8 de verilmektedir.

Tablo 4.1 de dış yükten dolayı bulon üzerinde oluşan gerilmelerin, tam öngerme kuvvetine oranlarının 1 den büyük olmadığı görülmektedir.Yarım öngerme kuvveti verilmek suretiyle, dış yükten meydana gelen çekme kuvvetlerinin uygulanan öngerme kuvvetinden büyük olması sağlanmıştır. Alın levhasında oluşan şekil değiştirmeler ve bulonların gövdesinde oluşan çekme kuvvetleri, açıklanan yeni durum çerçevesinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.10 da grafik halinde görülmektedir. Bulonların gövdesinde, dış yükten kaynaklanan çekme kuvveti değerleri, uygulanan yarım öngerme kuvvetini aştıktan sonra, alın levhasındaki açılma miktarı büyük bir artış göstermektedir.

Yapılan analizlerin ışığında ortaya çıkarılan sonuçlar ve tavsiyeler, Bölüm 6 daki sonuçlar kısmında maddeler halinde açıklanmıştır.

Tablo 4.6 0.5 kat öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, Şekil 4.2 deki yükleme durumlarına ait bulonlarda oluşan gerilmeler ve çekme kuvvetleri.

BULON GÖVDESİNDEKİ GERİLMELER (Mpa)														s_{ort} (Mpa)	$F_ç$ (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)
		BULON GÖVDESİNDEKİ ELEMANLARIN NUMARALARI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
YN 1	BLN 1	224	223	233	234	273	262	261	270	278	284	286	282	259	81	0.05	0.00
	BLN2	234	232	223	224	281	284	282	277	271	263	265	274	259	81		
YN 2	BLN 1	225	224	237	239	276	266	264	271	280	290	292	286	263	82	0.16	0.04
	BLN2	235	234	224	225	283	287	285	278	272	265	268	277	261	82		
YN 3	BLN 1	256	254	293	295	313	291	288	307	332	352	355	340	306	96	0.20	0.05
	BLN2	258	257	232	233	303	318	316	299	283	275	277	288	278	87		
YN 4	BLN 1	288	285	334	336	345	317	314	338	372	393	397	381	342	107	0.22	0.05
	BLN2	295	295	253	254	340	360	359	336	308	291	295	314	308	97		
YN 5	BLN 1	320	318	371	374	379	348	345	371	408	433	438	418	377	118	0.23	0.06
	BLN2	333	332	278	279	377	400	399	372	335	309	313	341	339	106		
YN 6	BLN 1	353	350	408	411	413	380	376	405	444	473	477	455	412	129	0.26	0.07
	BLN2	369	368	304	306	412	439	437	407	362	331	335	369	370	116		
YN 7	BLN 1	386	383	445	448	448	412	408	439	481	512	518	493	448	141	0.28	0.07
	BLN2	404	403	333	335	447	477	475	442	391	358	362	399	402	126		
YN 8	BLN 1	416	413	479	482	481	442	438	471	514	549	555	528	480	151	0.29	0.09
	BLN2	436	435	360	362	479	512	510	473	420	384	388	428	432	136		



Şekil 4.10 Yarım öngerme kuvvetinin uygulandığı durumda, yükleme numaralarına göre alın levhasındaki açılma değerleri grafiği.

5. ALIN LEVHASI KALINLIĞININ TESPİTİ

Yapıların güvenliği açısından, plastik mafsalların, kolon - kiriş birleşim bölgeleri yerine, kirişlerin üzerinde oluşması gerekliliği daha önce açıklanmıştı. Bunun için boyutlandırma yapılırken, birleşim bölgesini oluşturan elemanlarda plastikleşme oluşmamasına dikkat edilmelidir (Şekil 2.2 de birleşim bölgesini oluşturan elemanlar görülmektedir). Çalışmanın bu bölümünde, birleşimi oluşturan elemanlardan biri olan alın levhasının plastikleşmemesi için sahip olması gereken kalınlık incelenmiştir. Alın levhası, üzerindeki bulon veya kaynaklarla birlikte, kesit zorlarının, kirişlerden kolonlara aktarılmasını sağlayan bir köprü görevini üstlenir. Bu nedenle birleşim detaylarının çözümünde dikkat edilmesi gereken bir öneme sahiptir.

Alın levhasının kalınlığının tespiti için FEMA tarafından aşağıda verilen formül kullanılabilir. Formülde yer alan parametreler Şekil 5.1 de gösterilmiştir, ayrıca aşağıda tanımlanmıştır.

$$t_p = \sqrt{\frac{M_p}{0{,}8 \cdot \sigma_a \cdot \left\{ \left(d_b - p_f\right) \left[\frac{b_p}{2} \cdot \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + \left(p_f + s\right) \cdot \frac{2}{g} \right] + \frac{b_p}{2} \cdot \left(\frac{d_b}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right\}}} \qquad (5.1)$$

$$s = \sqrt{b_p \cdot g} \qquad \textbf{(5.2)}$$

t_p : Alın levhası kalınlığı

s_a : Çeliğin akma gerilmesi

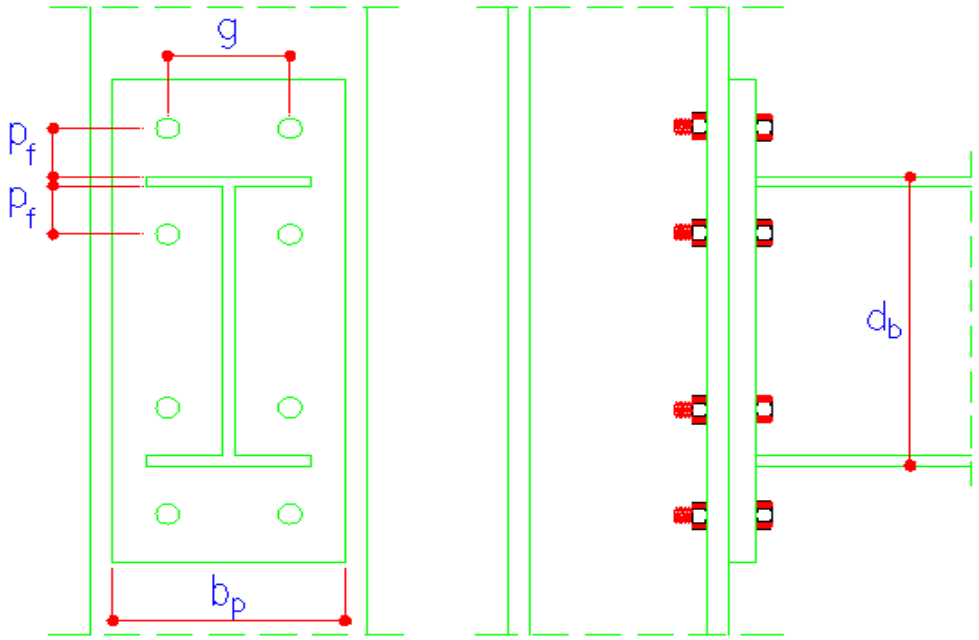
d_b : Kiriş kesit yüksekliği (bkz. Şekil 5.1)

p_f : Bulon merkezlerinin kiriş başlığına olan mesafesi (bkz. Şekil 5.1)

b_p : Alın levhası genişliği (bkz. Şekil 5.1)

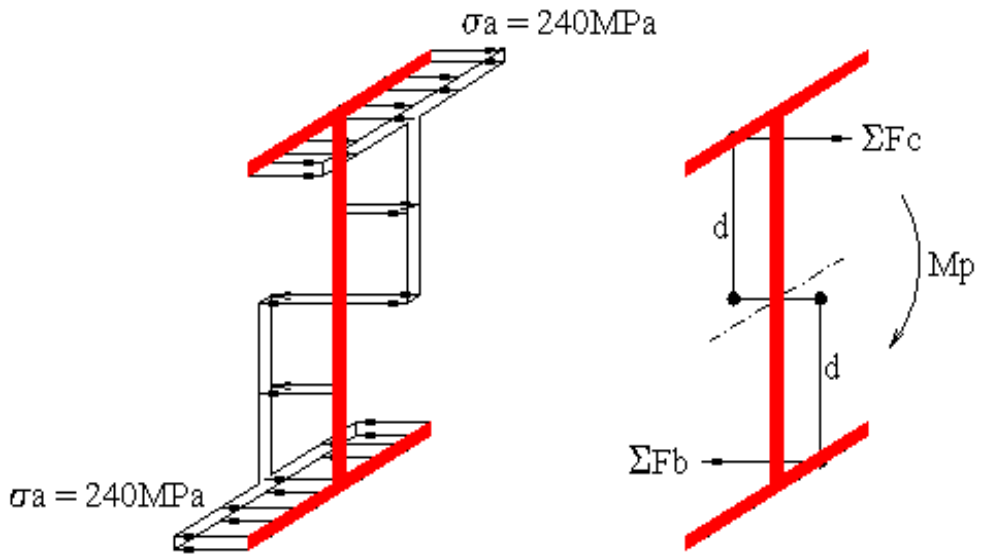
g : Bulon sıraları arasındaki yatay mesafe (bkz. Şekil 5.1)

M_p : Plastik moment



Şekil 5.1 Formül 5.1 ve 5.2 de kullanılan parametreler.

Alın levhasının kalınlığının hesaplanması için kullanılan yukarıdaki ifade de, Mp plastik momenti, kiriş kesitine uygulanan akma gerilmesinden hesaplanabilir. Bunun için, kiriş kesitinin üst kısmına etkiyen bileşke çekme kuvveti, alt kısmına etkiyen bileşke basınç kuvveti ve bu kuvvet çiftinin birbirine olan uzaklığının bilinmesi yeterlidir. Şekil 5.2 de belirtilen büyüklüklerin yerleri görülmektedir. Kurulan modeldeki parametreler kullanılarak ΣFç = ΣFb = 696 kN , d = 109mm , Mp = 151,7 kNm ve alın levhası kalınlığı t = 18mm olarak hesaplanmıştır.

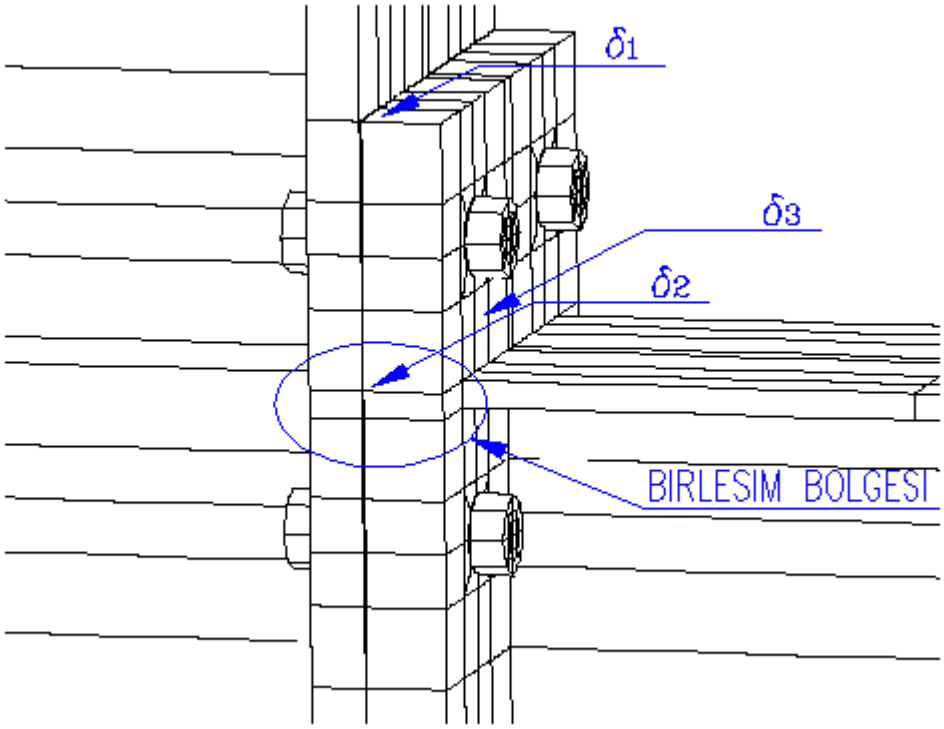


Şekil 5.2 Kiriş kesitine etkiyen çekme ve basınç kuvvetleri ve plastik moment.

Alın levhasının kalınlığı 18mm olarak hesaplandıktan sonra, alın levhası üzerindeki gerilme ve şekil değiştirme değerlerini, ANSYS programında kurulan model

yardımıyla inceleyerek, alın levhasında plastikleşmenin oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Analizlerin daha hassas olması için, 18mm den daha ince (15mm) ve daha kalın (20mm) olmak üzere iki farklı levha kalınlığı üzerinde de inceleme yapılmıştır. Böylece Formül 5.1 ile hesaplanan levha kalınlığından daha ince levha seçilmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar hakkında yorum yapma olanağı elde edilmiştir.

Yapılan analizler sırasında, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki üç noktada yerdeğiştirme değerleri, kiriş üst başlığı hizasında alın levhasındaki Von-Mises gerilmesi ve bu gerilmeye karşı gelen şekil değiştirme değerleri bulunmuştur. Şekil 5.3 de, yerdeğiştirmelerin bulunduğu noktalar ile gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin belirlendiği birleşim bölgesi görülmektedir.



Şekil 5.3 Alın levhası üzeride yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü noktalar ile gerilme ve şekil değiştirmelerin belirlendiği birleşim bölgesi.

Şekil 5.3 de görüldüğü gibi alın levhasının en üst noktası ile kolon başlığı arasındaki yerdeğiştirme (açılma) d1, kiriş üst başlığı hizasında alın levhasının kenar noktası ile kolon başlığı arasındaki yerdeğiştirme d2, kiriş üst başlığı hizasında alın levhasının orta noktası ile kolon başlığı arasındaki yerdeğiştirme d3 olarak tanımlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.1 de gösterilmiştir. Tablo 5.1 de, ilk sütunda bulonlara uygulanan öngerme kuvvetinin oranı, ikinci sütunda levha kalınlığı "t_p" ,

üçüncü, dördüncü ve beşinci sütunlarda Şekil 5.3 de görülen noktalardaki yerdeğiştirmeler "d1, d2, d3" , altıncı sütunda kiriş üst başlığı hizasında alın levhasındaki ortalama Von – Mises gerilmesi "s_{vort}", son sütunda ise yine kiriş üst başlığı hizasında Von – Mises gerilmesine karşı gelen toplam şekil değiştirmeler "e_t" (elastik şekildeğiştirme + plastik şekil değiştirme) görülmektedir.

ANSYS programının, akma gerilmesinden sonra çözümü durdurmaması için ve gerilme pekleşmesi etkisini içermek üzere, çeliğin plastik bölgedeki elastisite modülü gerçek değerinin 1/100'ü alınmıştır.

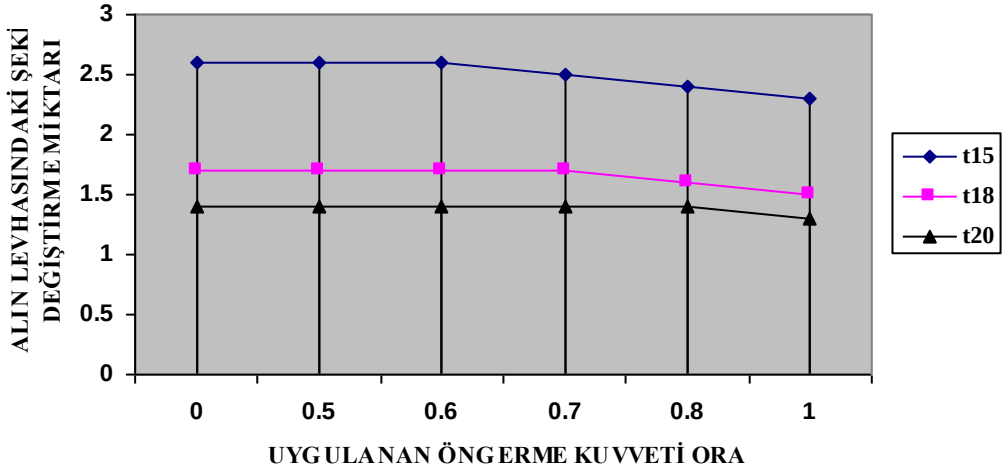
Tablo 5.1 Birleşime Mp plastik momenti etkimesi durumunda alın levhası üzerideki yerdeğiştirme, gerilme ve şekil değiştirme değerleri.

BİRLEŞİME "Mp" PLASTİK MOMENTİ ETKİMESİ DURUMU						
ÖNGERME KUV. ORANI	**t_p (mm)**	**δ1 (mm)**	**δ2 (mm)**	**δ2 (mm)**	**σvort (Mpa)**	**εt (‰)**
0.0	15	0.01	0.61	0.70	273	2.6
	18	0.01	0.50	0.60	233	1.7
	20	0.01	0.44	0.52	224	1.4
0.5	15	0.01	0.60	0.69	269	2.6
	18	0.01	0.49	0.59	232	1.7
	20	0.01	0.43	0.51	222	1.4
0.6	15	0.01	0.59	0.68	268	2.6
	18	0.01	0.49	0.58	232	1.7
	20	0.00	0.42	0.50	222	1.4
0.7	15	0.01	0.58	0.67	268	2.5
	18	0.00	0.48	0.57	232	1.7
	20	0.00	0.41	0.49	220	1.4
0.8	15	0.00	0.57	0.66	267	2.4
	18	0.00	0.48	0.56	230	1.6
	20	0.00	0.41	0.48	217	1.4
1.0	15	0.00	0.56	0.63	262	2.3
	18	0.00	0.47	0.54	226	1.5
	20	0.00	0.40	0.46	210	1.3

Tablo 5.1 in son iki sütununda görülen kiriş üst başlığı hizasında alın levhasındaki ortalama Von – Mises gerilmesi ve bu gerilmeye karşı gelen şekil değiştirmelerin grafikleri ekler kısmında Şekil A49 ~ A60 da verilmiştir. (Grafikler 15mm ve 18mm kalınlığındaki alın levhaları için verilmiştir.)

Analiz sonuçlarından faydalanarak oluşturulan Tablo 5.1 de görüldüğü üzere, 18mm olarak hesaplanan alın levhasında plastikleşme oluşmamakta, en büyük şekil değiştirme miktarı ‰1.7 ve en büyük Von – Mises gerilmesi ise 233MPa olmaktadır. 15mm kalınlığındaki alın levhasında ise şekil değiştirme miktarı, elastik şekil değiştirme sınırı olan ‰2 değerinden büyük olmakta ve plastikleşme meydana gelmektedir.

Bulonlara verilen öngerme kuvvetinin artmasıyla alın levhasındaki Von – Mises gerilmesi azalış göstermektedir. Gerilmeler, 18 mm kalınlığındaki alın levhasında 233MPa'dan 226 MPa'a, 15mm kalınlığındaki alın levhasında ise 273 MPa'dan 262 MPa'a düşmektedir. Şekil 5.4 de yer alan grafikte uygulanan öngerme kuvvetinin artmasıyla, alın levhasındaki şekil değiştirme miktarının azalması görülmektedir. Alın levhası kalınlığı azaldıkça, bulonlara uygulanan öngerme kuvvetinin etkisi artmaktadır. Analizde kullanılan en ince alın levhasında (15mm) şekil değiştirme miktarı yüksek olmakla beraber, öngerme kuvvetinin 0,6 katının uygulanmasıyla şekil değiştirme miktarı azalmaya başlamıştır. En kalın alın levhasında (20mm) ise şekil değiştirme miktarları düşük seviyelerde kalmış ve öngerme kuvvetinin 0,9 katının uygulanmasıyla azalmaya başlamıştır.



Şekil 5.4 Alın levhasındaki şekil değiştirme miktarının, uygulanan öngerme kuvveti oranına göre değişimi.

Alın levhası ile kolon başlığı arasındaki yerdeğiştirme (açılma) miktarlarına bakıldığında, bulonlara öngerme kuvvetinin uygulanmadığı durum için, 15mm kalınlığındaki levhada en büyük değer 0,7mm , 18 mm kalınlığındaki levhada 0,60mm ve 20mm kalınlığındaki levhada 0,52mm olduğu görülmüştür. Bölüm 2 de açılma miktarının sınır değerleri için yapılan çalışma sonucunda 0,55mm ~ 0,60mm nin üstündeki açılmaların moment değişiminde etkili olmaya başladığı gösterilmiştir. Böylece formül 5.1'e göre kalınlığı 18mm olarak hesaplanan alın levhasında, plastikleşmenin oluşmadığı ve tehlikeli açılmalara yol açmadığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE TAVSİYELER

Kolonlarla kirişlerin birleşim bölgeleri kesit tesirlerinin geçiş noktaları olduğu için, boyutlandırma yapılırken üzerinde önemle durulması gereken bölgelerdir. Kiriş üzerinde oluşması istenen plastik momentin birleşim elemanları tarafından taşınabilmesi için, bu elemanlar yeterli rijitliğe sahip olmalı ve bu elemanlar üzerinde plastikleşme oluşmamalıdır.

Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlarla oluşturulan kolon – kiriş birleşimlerinde uygulanan öngerme kuvvetinin, kolon - kiriş rölatif dönmesi üzerine etkisi ve alın levhası kalınlığı için FEMA tarafından önerilen kalınlık formülünün geçerliliğinin saptanması bu lisansüstü tez çalışmasının konusunu oluşturmuştur.

Yapılan çalışma çerçevesinde ilk olarak, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki açılma miktarının, kiriş üzerindeki moment değişimini ne derecede etkilediği araştırılmış ve bunun için SAP2000 de kurulan küçük bir modelden yararlanılmıştır. Bu model üzerinde yapılan analizlere 2. Bölümde yer verilmiş ve şu sonuçlara ulaşılmıştır :

1. Kolon başlığı ile alın levhası arasında meydana gelen rölatif dönmeler ve açılmalar, kiriş üzerindeki iç tesirlerin artmasına neden olurlar. Bu durum, aşırı yüklü çerçevelerde moment dağılımını olumsuz yönde etkileyebilir ve boyutlandırma hatalarına yol açabilir.

2. Kurulan model üzerinde yapılan analizlerin sonuçlarına göre, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki açılma miktarı 0,55mm – 0,60 mm' yi aştıktan sonra kiriş üzerindeki moment artışının %3 – %4 mertebesine ulaştığı ve açılma miktarlarının artmasıyla birlikte moment değişiminin de hızla arttığı tespit edilmiştir.

İkinci aşamada, sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapan ANSYS sistem analiz programında, bulonlu kolon kiriş birleşimi modeli kurulmuştur. 3. Bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanan model, daha sonra yapılacak analizler için önemli bir temel teşkil etmektedir. Yapılan analizler ışığında ortaya çıkan sonuçlar şöyle sıralanabilir :

3. Bölüm 4 de yapılan analiz sırasında, kirişe verilen elastik ve elasto – plastik yüklemelerle, bulon gövdesinde meydana gelen çekme kuvvetleri bulunmuştur. Daha sonra bulonlara Dast – Ri.010 standardınca verilen uygun öngerme kuvvetlerinin 0,5 - 0,6 – 0,7 – 0,8 ve 1,0 katlarında öngerme kuvvetleri tatbik edilmiş ve yukarda bahsedilen yüklemeler tekrar uygulanmıştır. Sonuçta, dış yükler nedeniyle bulon gövdesinde oluşan çekme kuvveti, tatbik edilen öngerme kuvvetinden küçük olduğu müddetçe, bulon gövdesinde sadece öngerme kuvvetinden kaynaklanan gerilmeler meydana gelmiştir. Dış yükler etkisiyle bulonda oluşan çekme kuvveti, uygulanan öngerme kuvvetini yendikten sonra ise bulon gövdesinde sadece dış yükten kaynaklanan gerilme değerleri okunmuştur. Bunun nedeni, öngerme kuvveti ile birbirine yapışan alın levhası ile kolon başlığının, bu kuvvet yenilinceye kadar, bulonlara ekseni doğrultusunda deformasyon yapmasına neden olan kuvveti aktarmamasıdır.

4. Yine bölüm 4 de yapılan analizlere dayanarak, kirişten kolona kesme kuvveti aktarılmasında, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki sürtünme kuvvetinin kullanılmadığı durumlarda, dış kuvvetlerin bulonlarda oluşturduğu çekme kuvvetlerinin belirli sınır değerleri aşmasının herhangi bir sorun yaratmayacağı söylenebilir. (Sınır değerler için bakınız Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., Çelik Yapılar, 2003, Tablo 3.20). Ancak yine de, kiriş alın levhası ile kolon başlığı arasında meydana gelmesi muhtemel rölatif dönmenin, bu birleşimin yer aldığı taşıyıcı sistemde rahatsız edici moment değişimlerine neden olmaması için, belirli sınır değerleri aşmaması gerekir. Bunun kontrolü için birleşimdeki bulonlarda dış yüklerden dolayı oluşan çekme kuvvetinin, öngerme kuvvetinin belirli oranlarını aşmaması gerektiği bu yapılan analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanılarak, bahsedilen oranlar 0,85 - 0,90 olarak saptanmıştır.

5. Bölüm 5 de, alın levhasının plastikleşmemesi için sahip olması gereken kalınlığın hesaplanmasında FEMA tarafından önerilen 5.1 formülünün uygun olduğu görülmüştür. (5.1 formülü için bakınız Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., Çelik Yapılar, 2003) Bu formül kullanılarak, kurulan model için geçerli olan bir alın levhası kalınlığı tespit edilmiştir. Analizler sırasında birleşim kesitine Mp plastik momenti yüklenmiş ve bulonlara da 0,5 den

1,0'a kadar değişen oranlarda öngerme kuvveti tatbik edilmiştir. Hesaplanan alın levhası kalınlığından daha ince ve daha kalın olmak üzere üç farklı alın levhası için analizler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, formül 5.1 den faydalanarak kalınlığı hesaplanan alın levhasındaki gerilmelerin, akma sınır gerilmesini aşmadığı ve alın levhası üzerinde oluşan en büyük şekil değiştirmenin de elastik şekil değiştirme sınırına ulaşmadığı görülmüştür. Ayrıca, alın levhası ile kolon başlığı arasındaki açılma miktarlarına bakıldığında, 2. bölümde bulunan ve sonuç 2 de açıklanan açılma sınır değerleri mertebesinde kaldığı söylenebilir. Sonuç olarak, formül 5.1 den faydalanılarak, kalınlığı hesaplanan alın levhası, üzerinde plastikleşme oluşmadan, Mp plastik momentini taşıyabilecek kapasitededir.

KAYNAKLAR

[1] **1. Çelik Yapılar Semineri Notları Cilt 1-2,** 26 Eylül – 1 Ekim 1983, İstanbul.

[2] **ANSYS Expanded Workbook, Release 5.3,** SAS IP Inc.,1996.

[3] **Çakıroğlu Adnan ve Özer Erkan,** Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, 1980, İstanbul.

[4] **Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları,** TS 4561 Türk Standardları Enstitüsü, Ekim 1985.

[5] **Deuthsches Institut Fur Norming (DIN),** DIN 6914, 6915 and 6916.

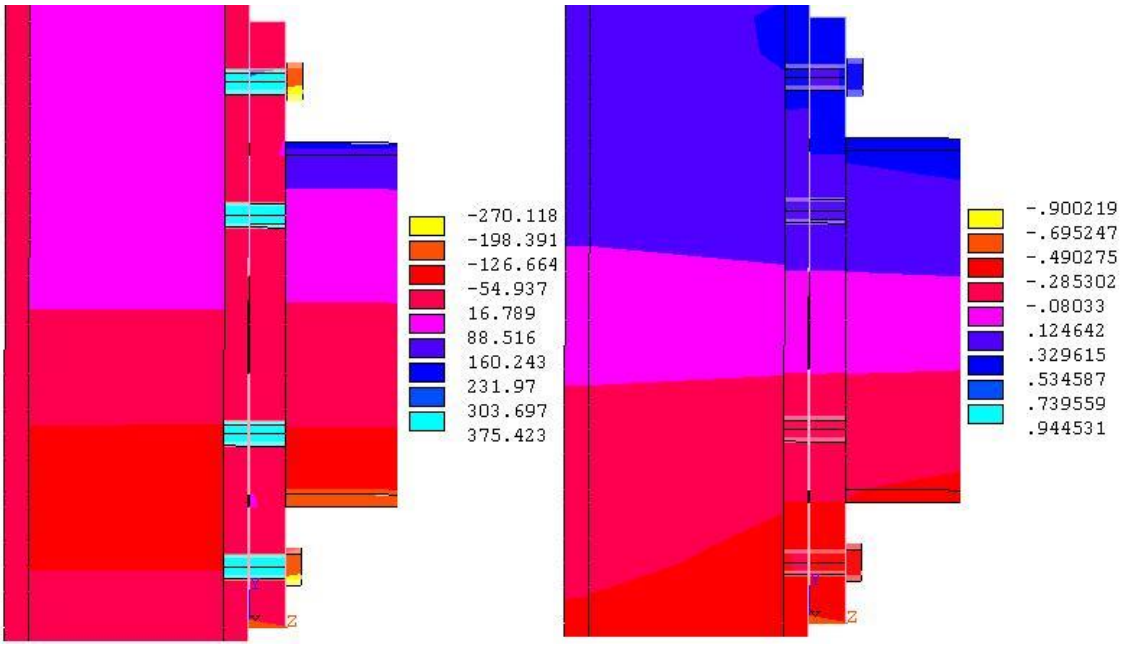
[6] **Uzgider Erdoğan, Deren Hilmi ve Piroğlu Filiz,** Çelik Yapılar, Çağlayan Kitapevi, 2003.

[7] **Netherlands Codes (NEN 6772),** Steel Structures – Connections, 1990.

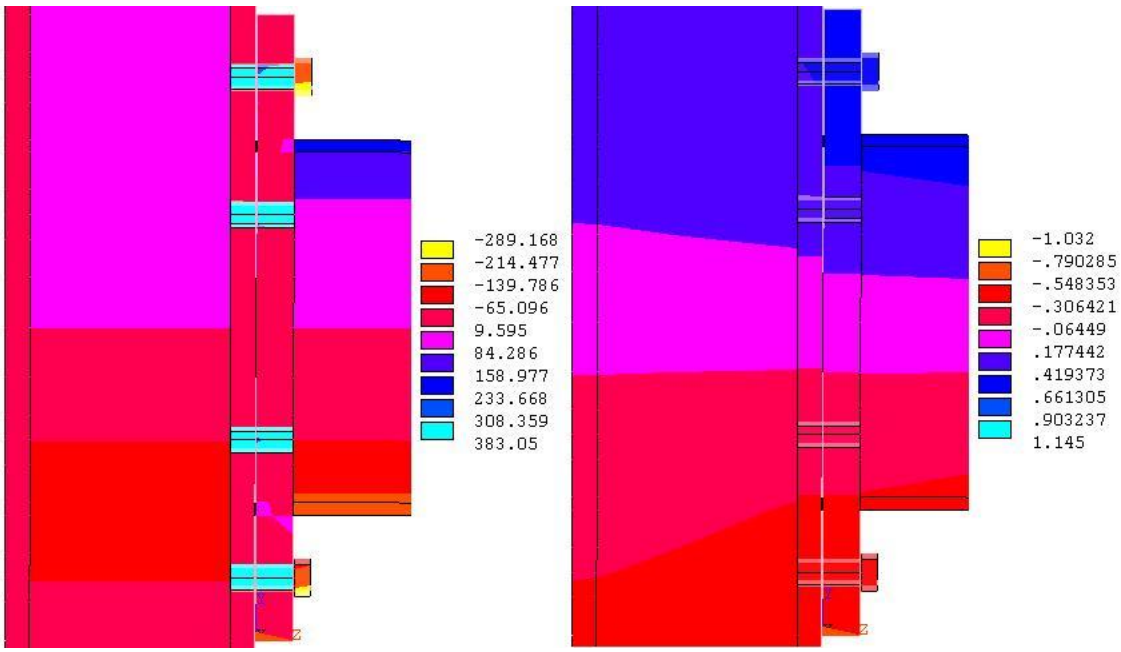
[8] **SAP 2000 Educational Version 7.12,** Structural ,Analyses Program, Computers and Structures Inc.

[9] **Yapısal Çelik Haftası 2001 Seminer Notları,** İTÜ, 2001, İstanbul.

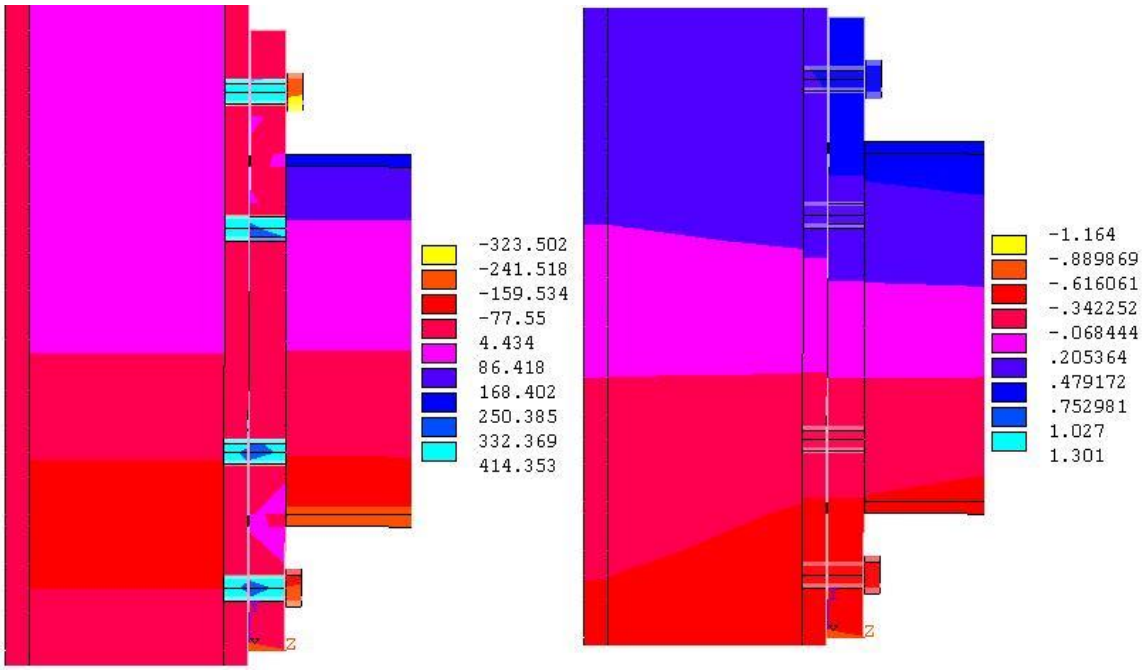
EK A : ANSYS ANALİZ SONUÇLARI



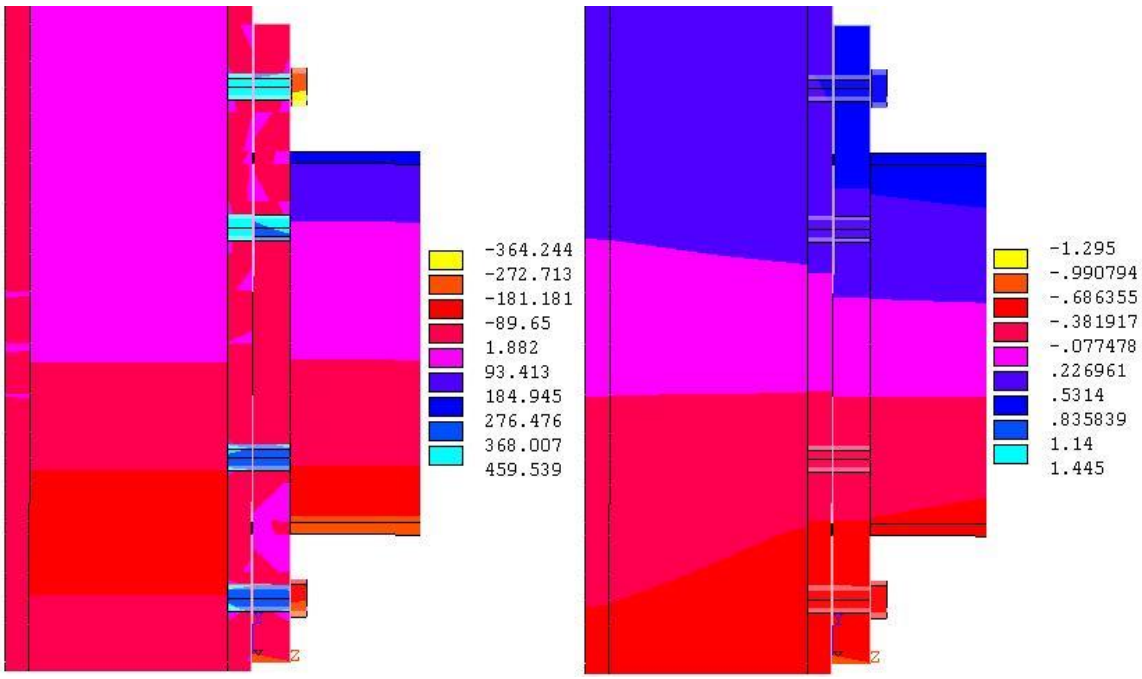
Şekil A.1 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



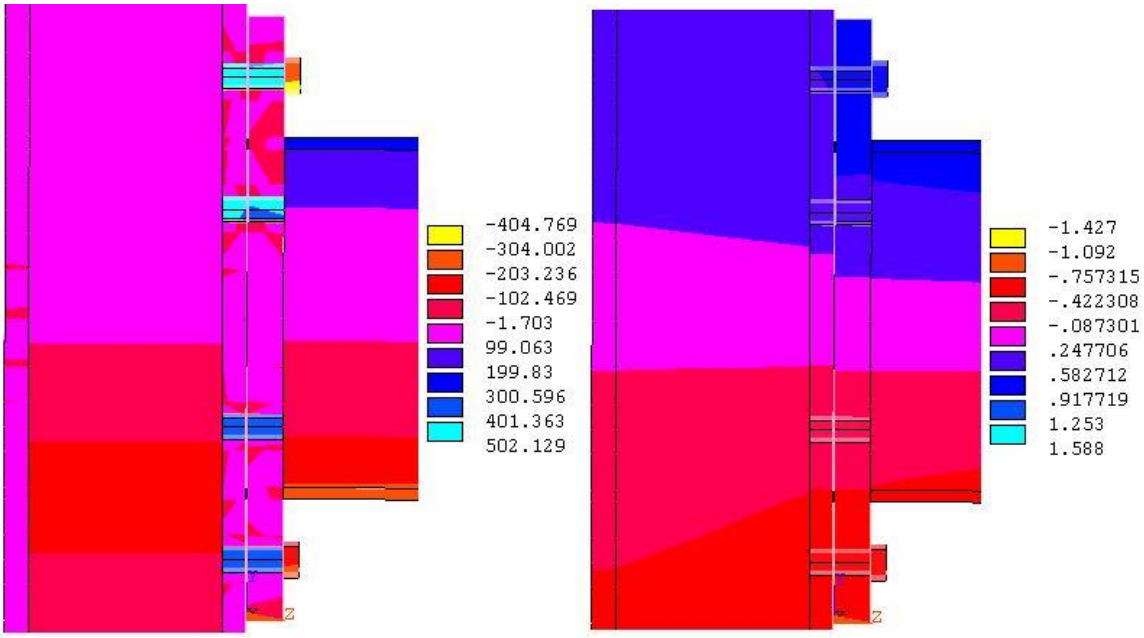
Şekil A.2 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



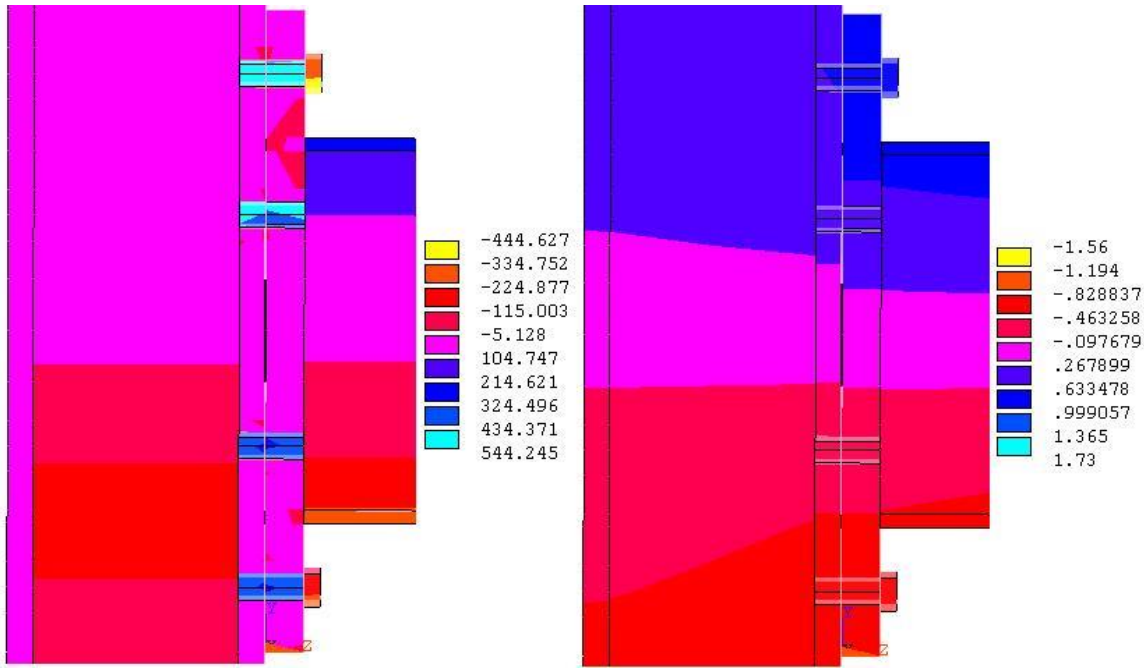
Şekil A.3 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



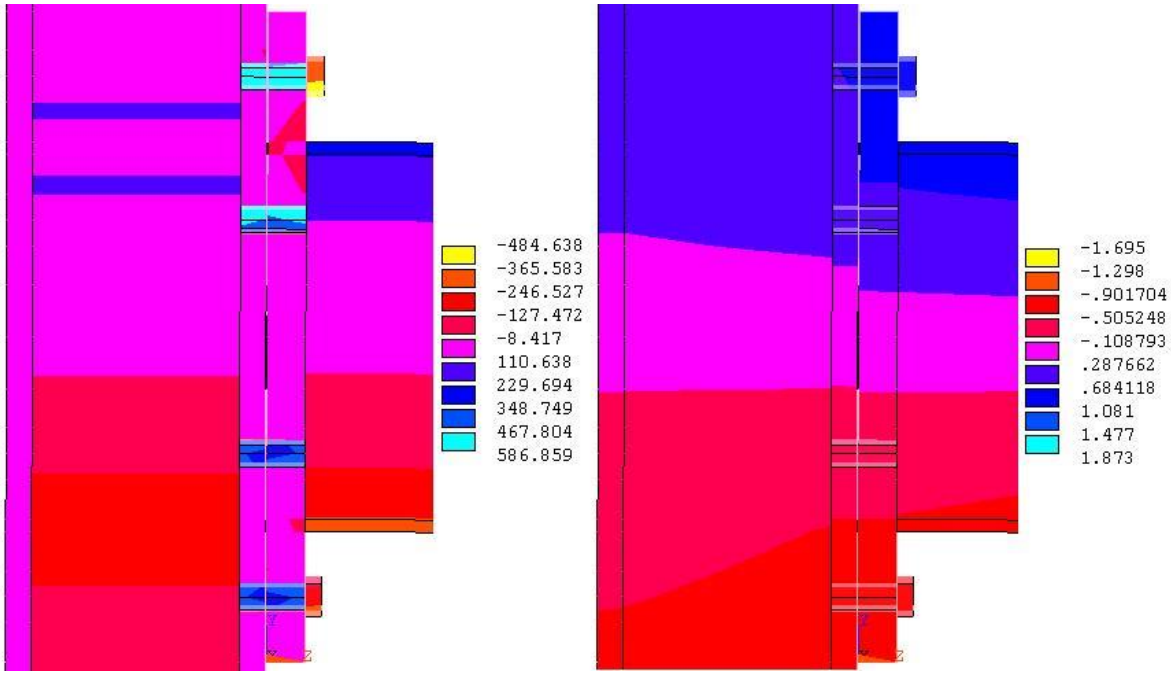
Şekil A.4 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



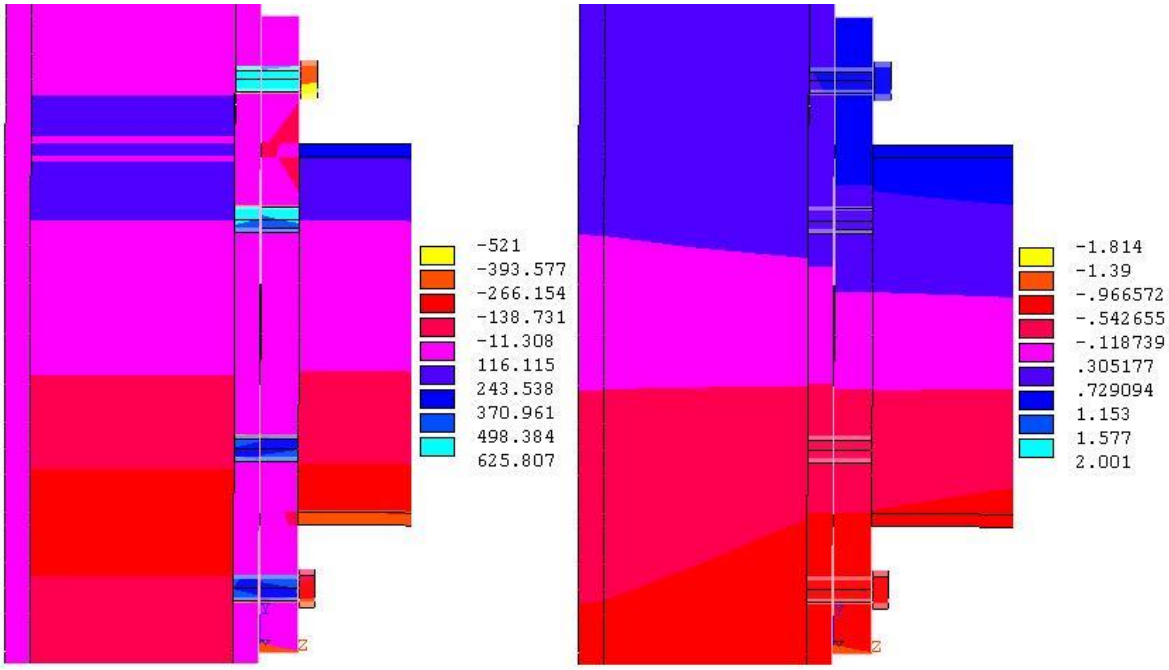
Şekil A.5 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



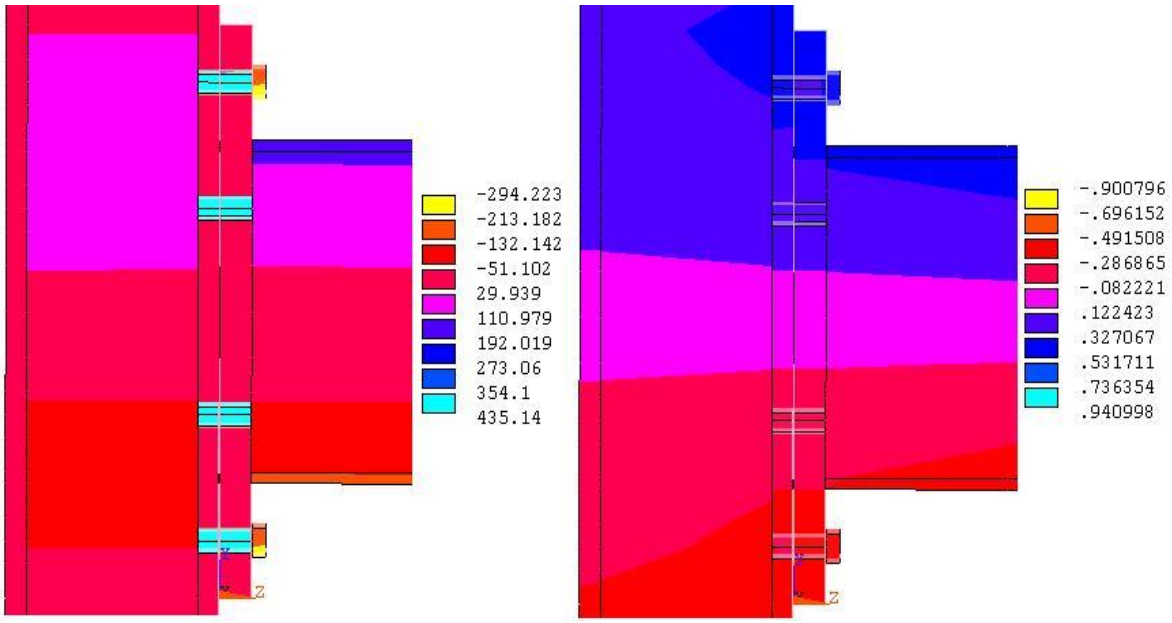
Şekil A.6 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



Şekil A.7 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .

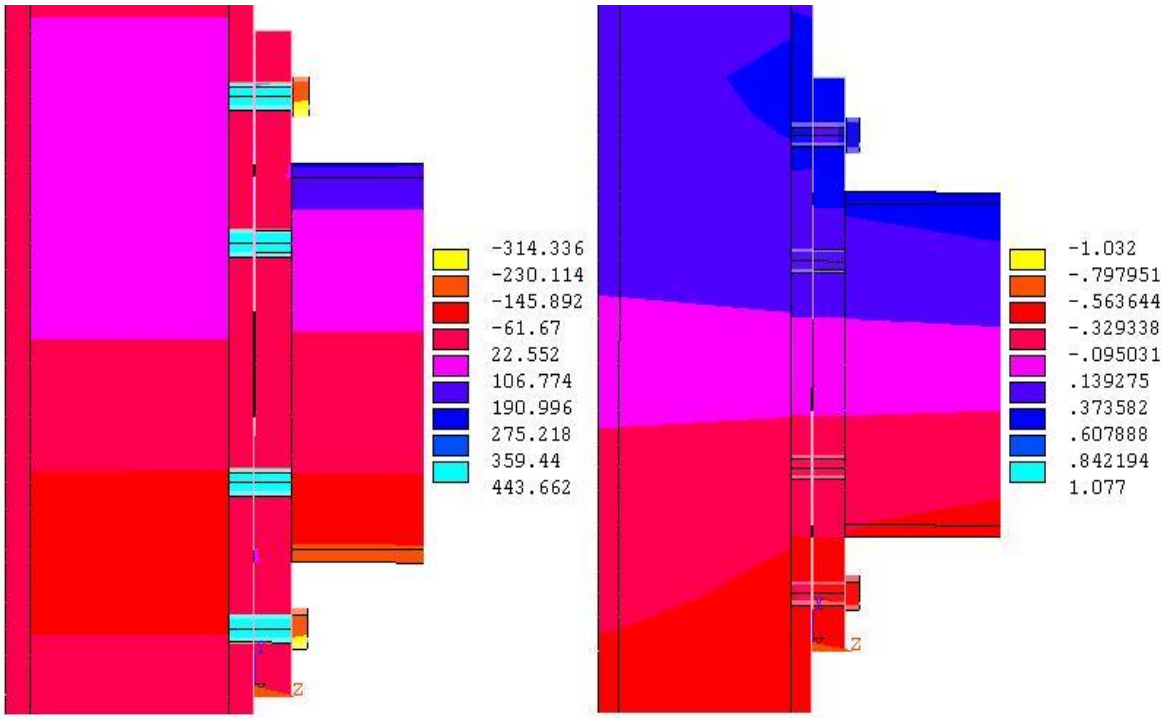


Şekil A.8 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler

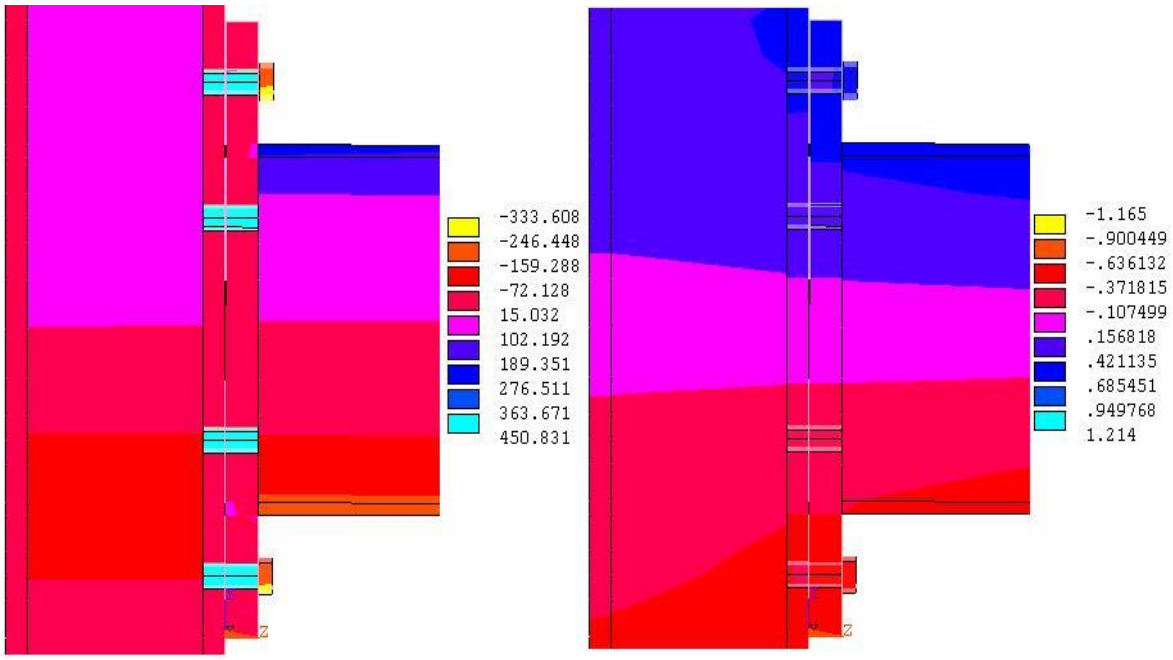


.

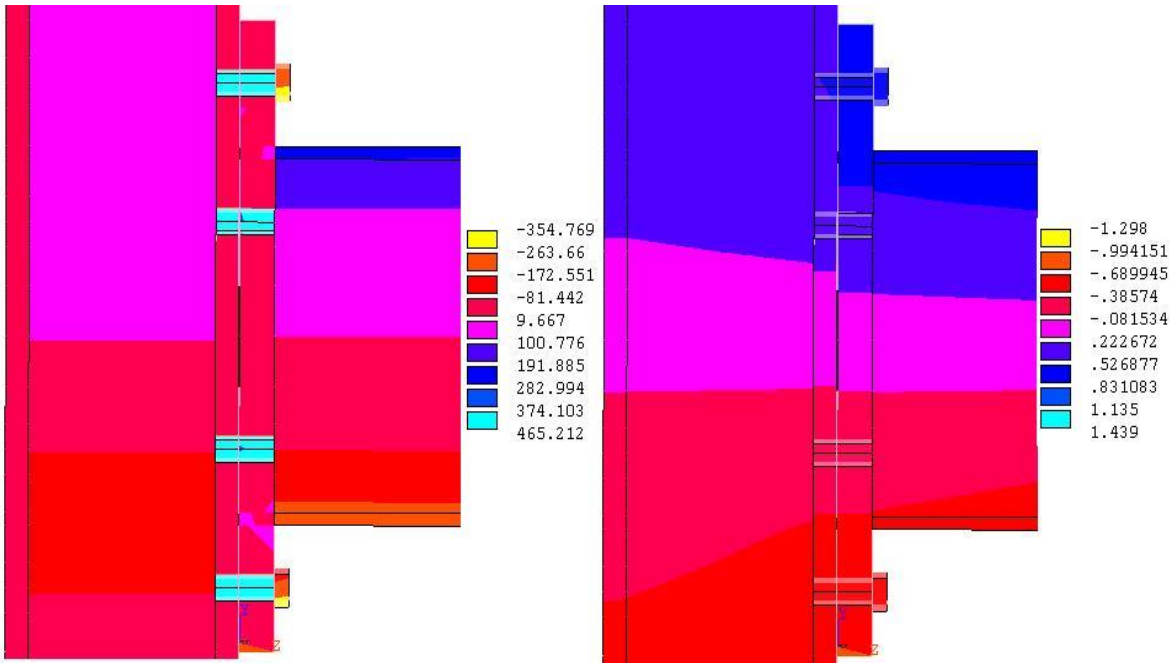
Şekil A.9 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler .



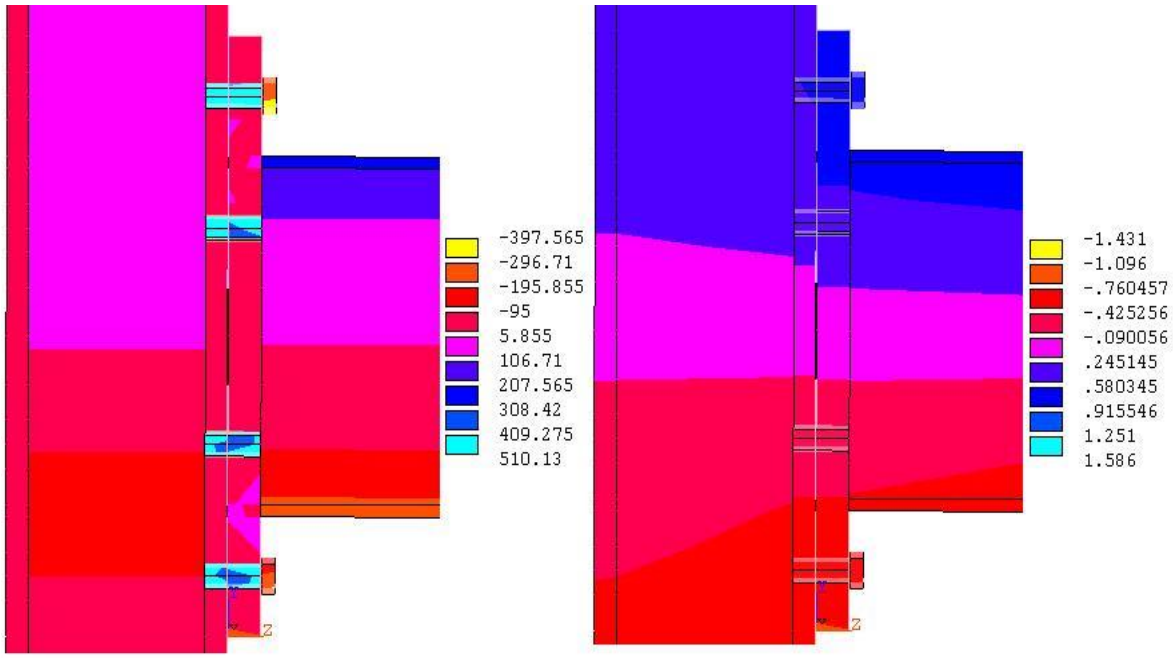
Şekil A.10 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



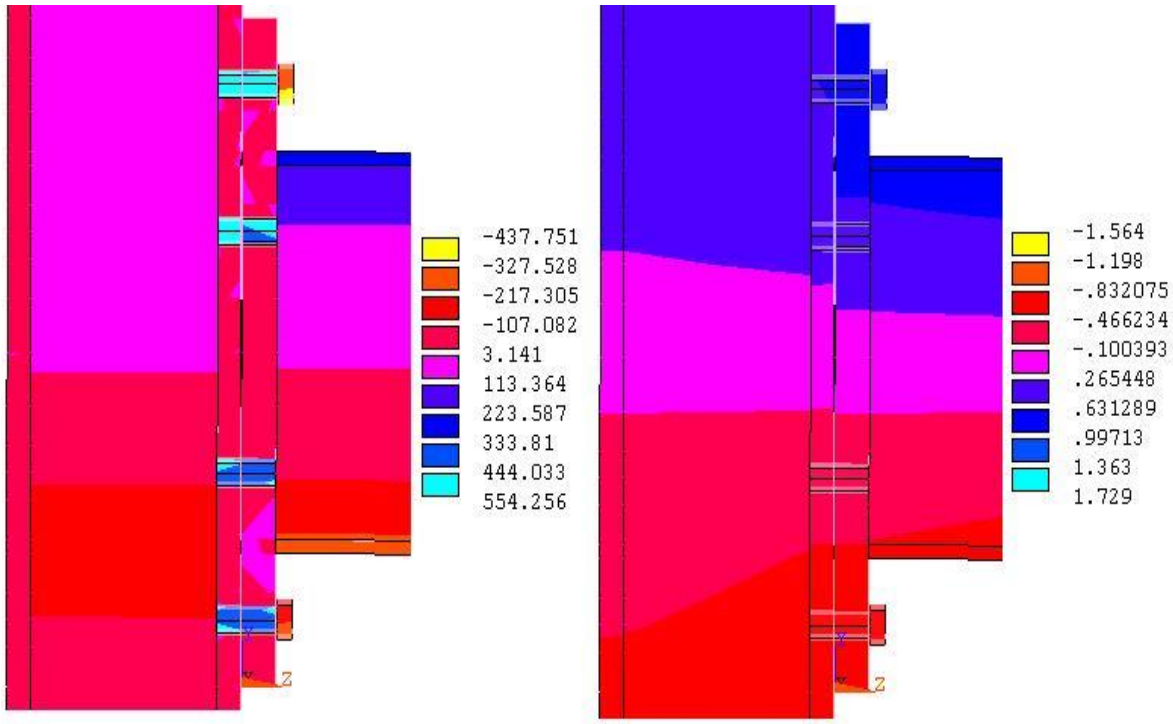
Şekil A.11 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



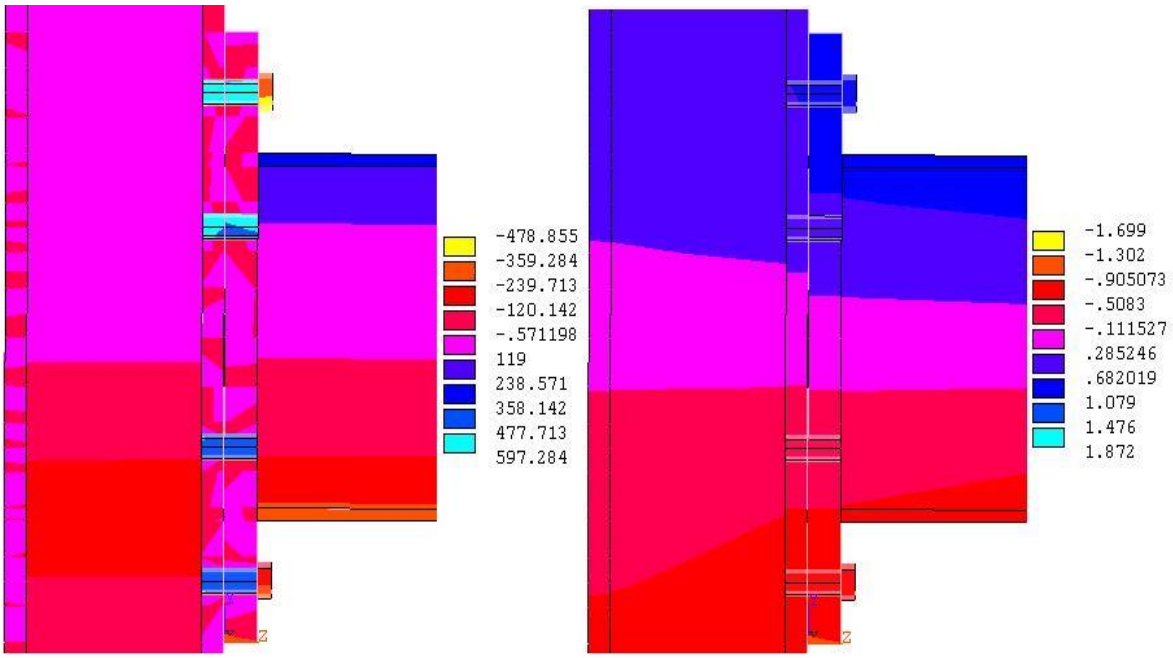
Şekil A.12 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



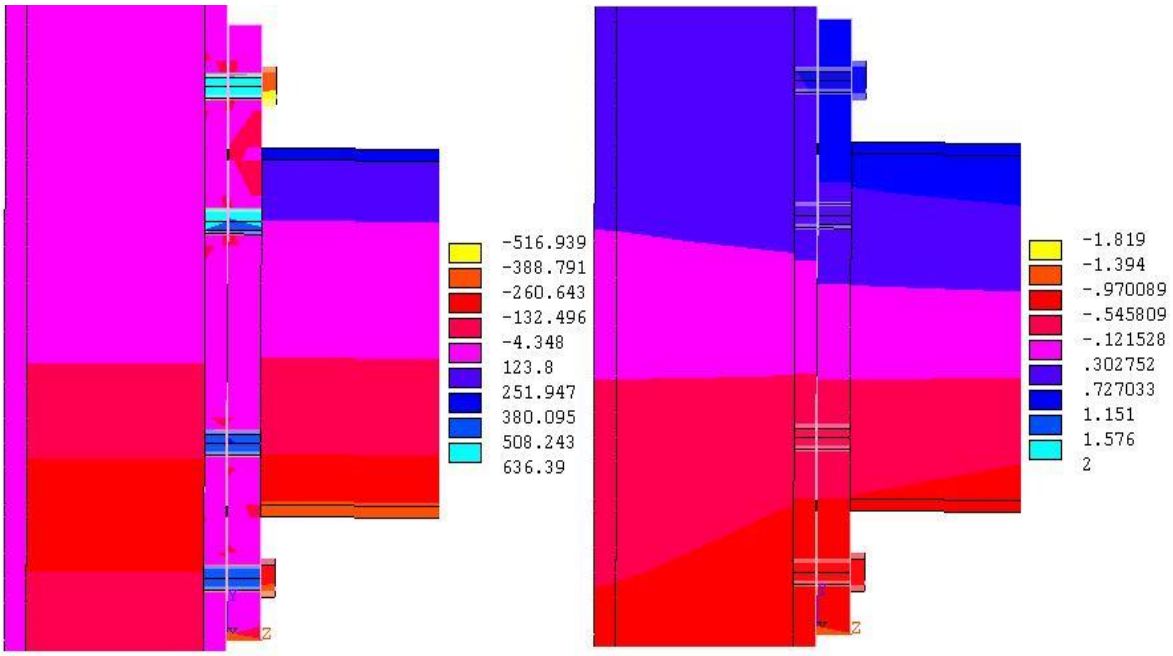
Şekil A.13 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



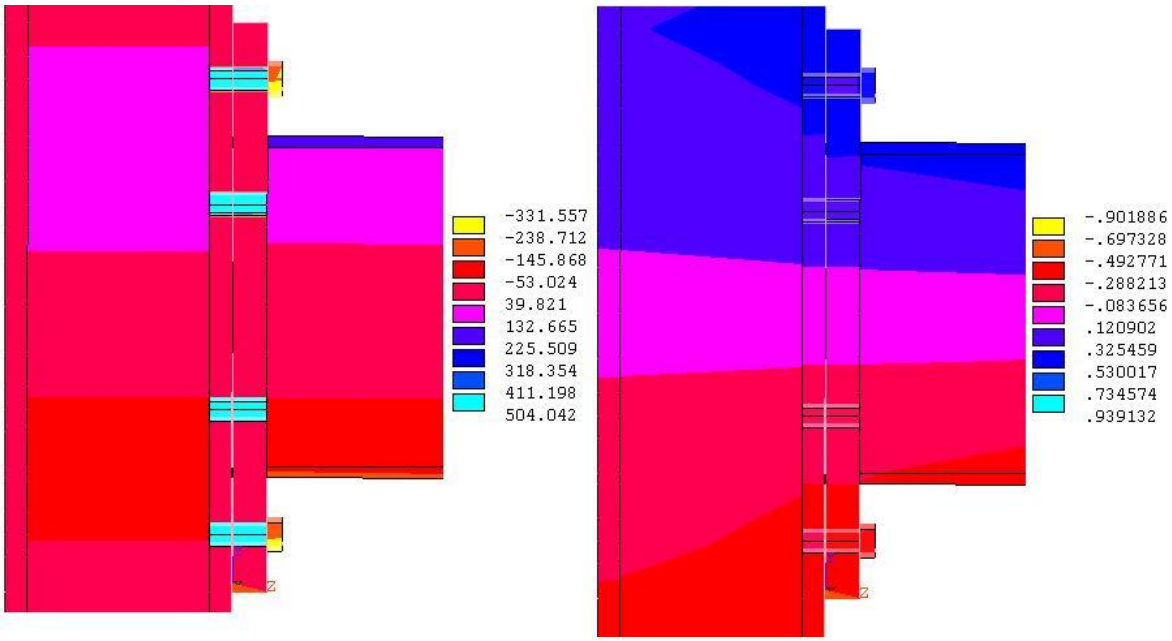
Şekil A.14 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



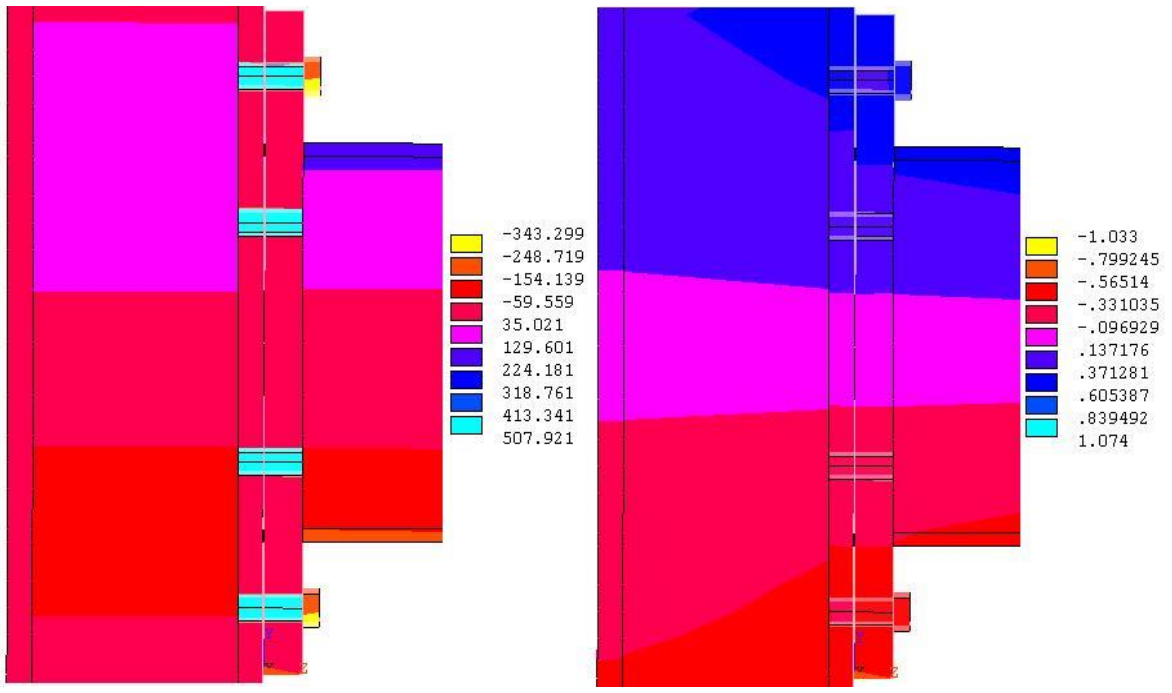
Şekil A.15 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



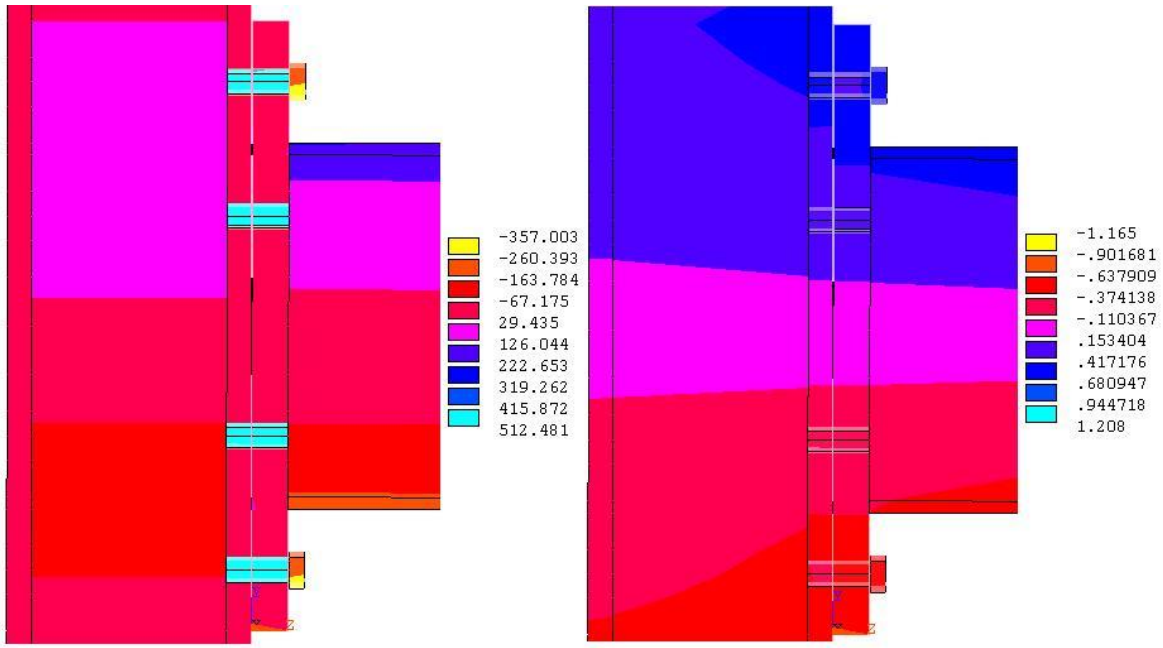
Şekil A.16 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



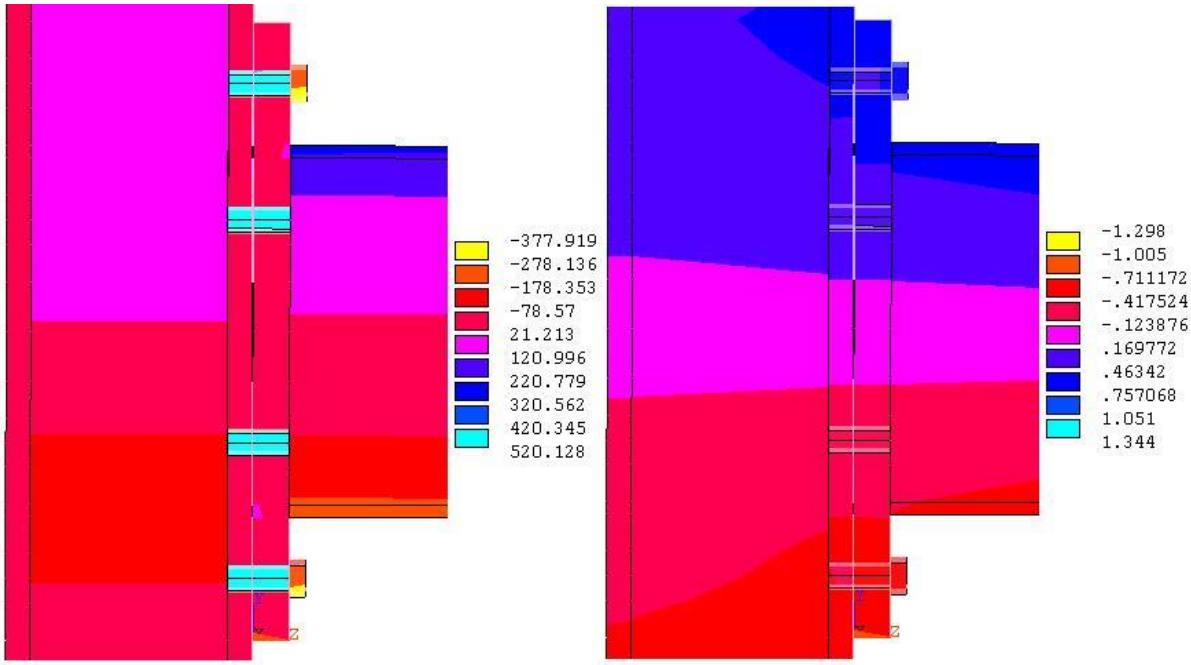
Şekil A.17 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



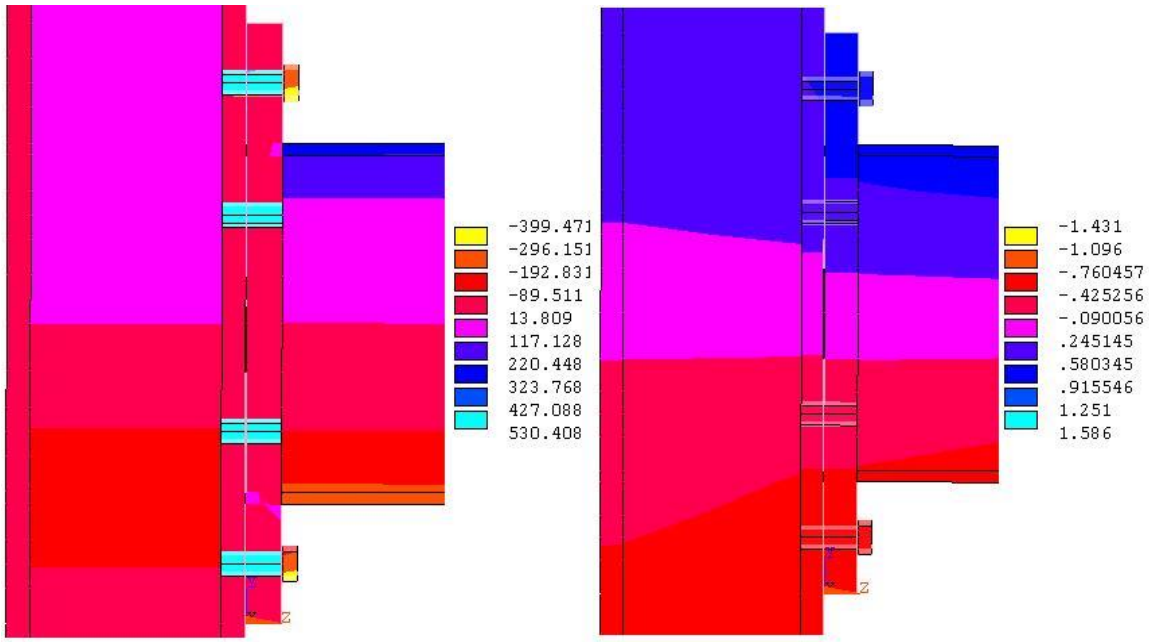
Şekil A.18 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



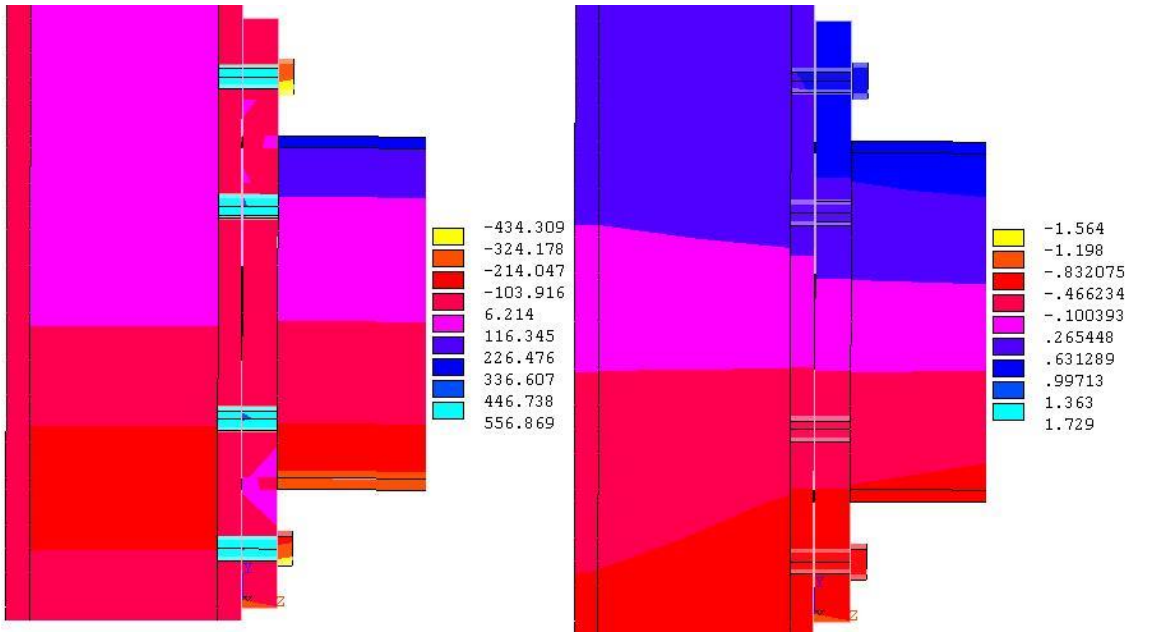
Şekil A.19 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



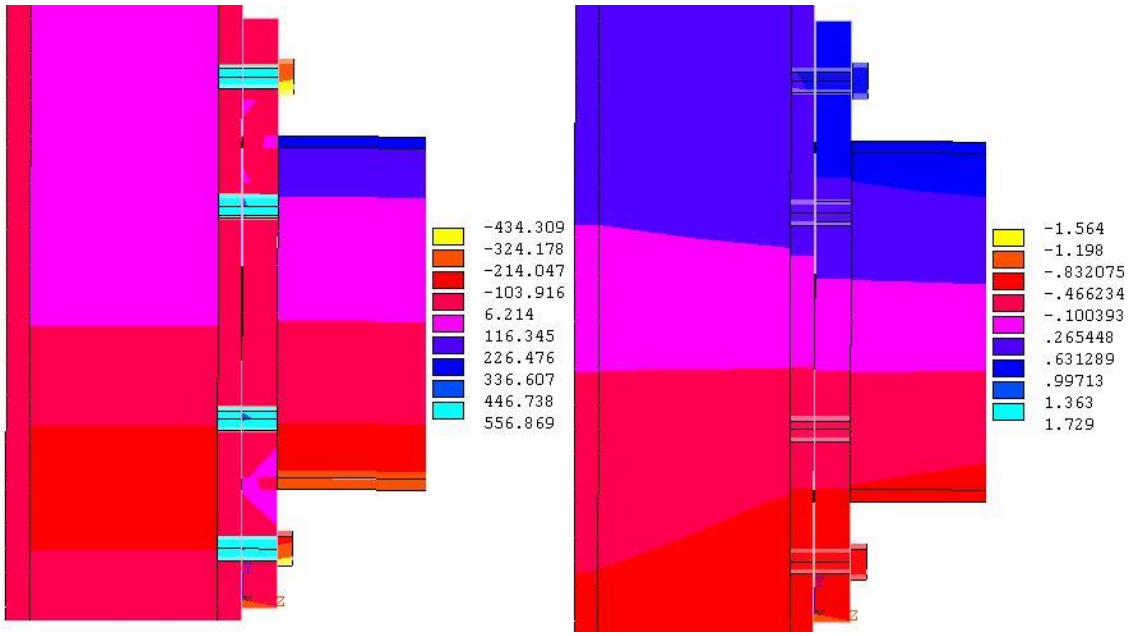
Şekil A.20 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



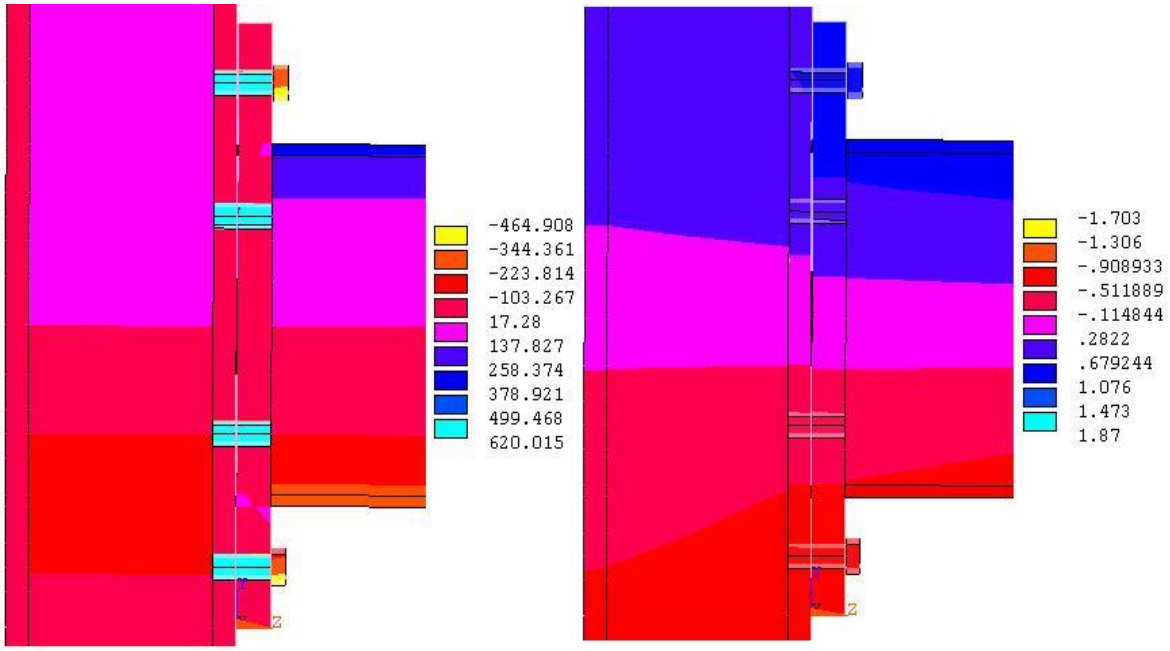
Şekil A.21 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



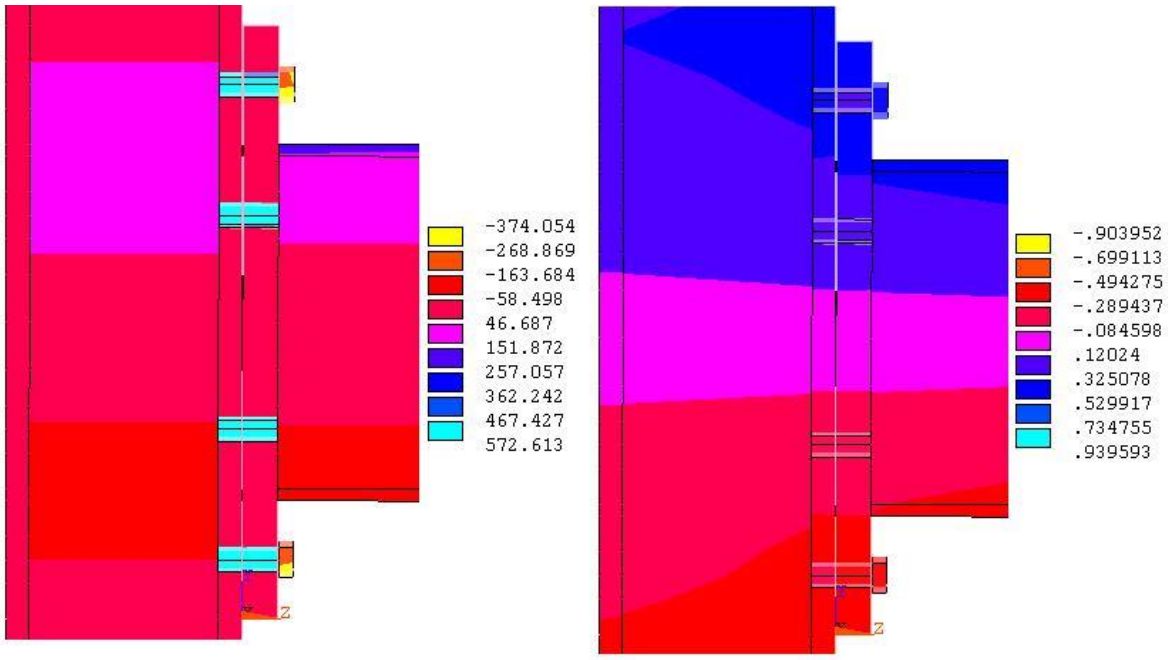
Şekil A.22 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



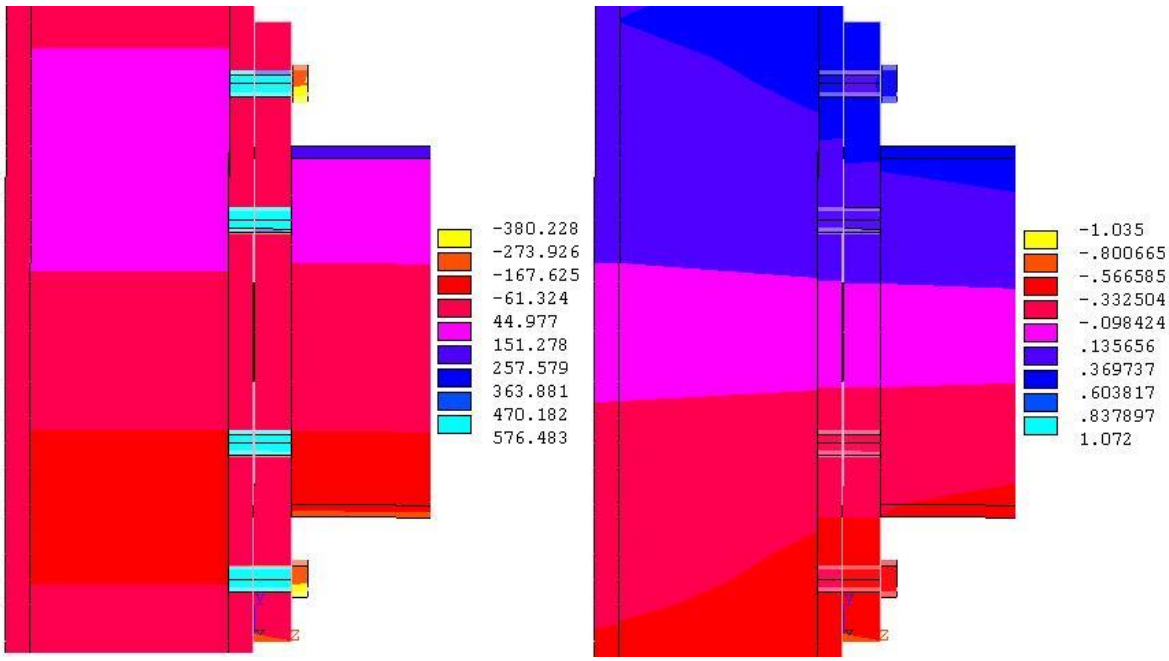
Şekil A.23 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



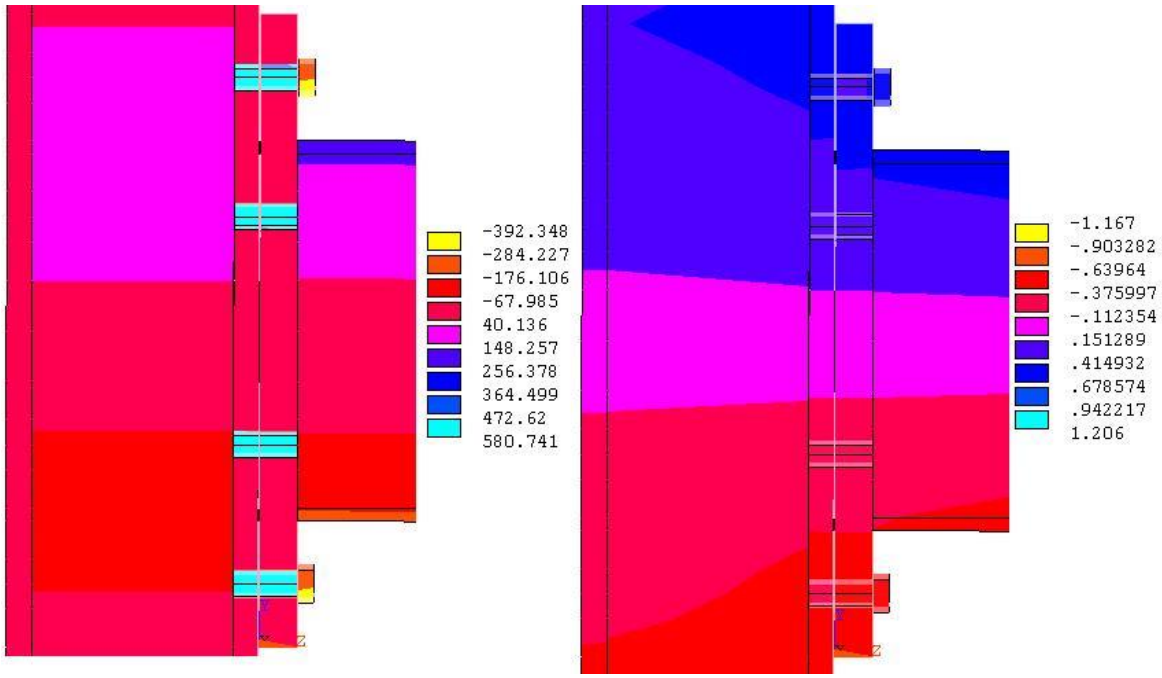
Şekil A.24 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



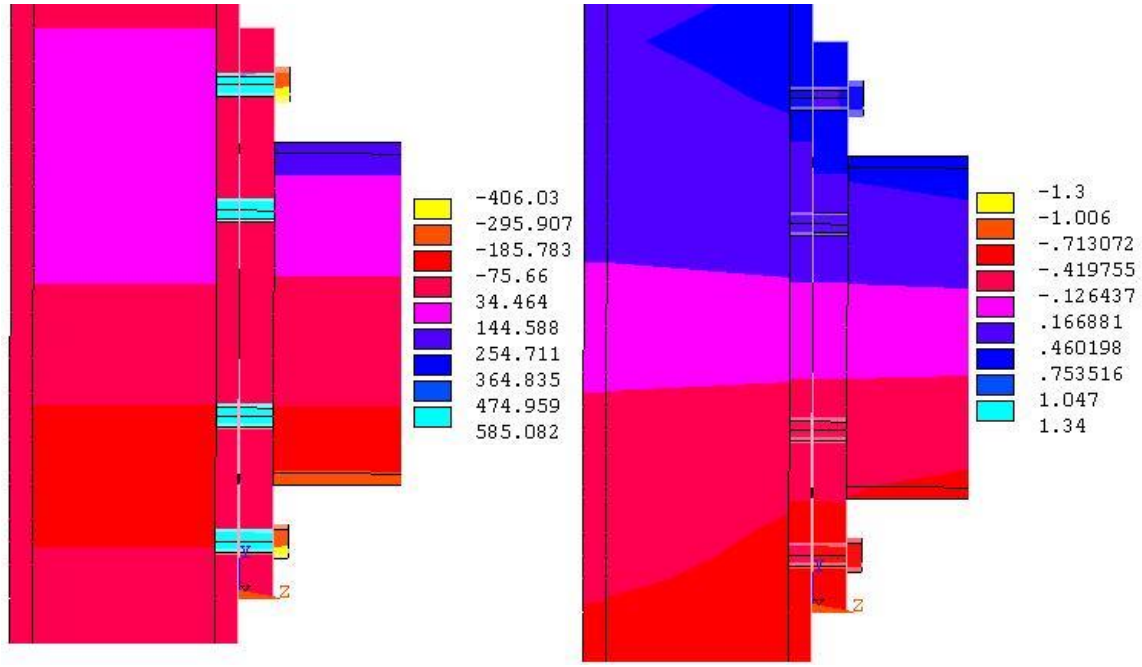
Şekil A.25 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



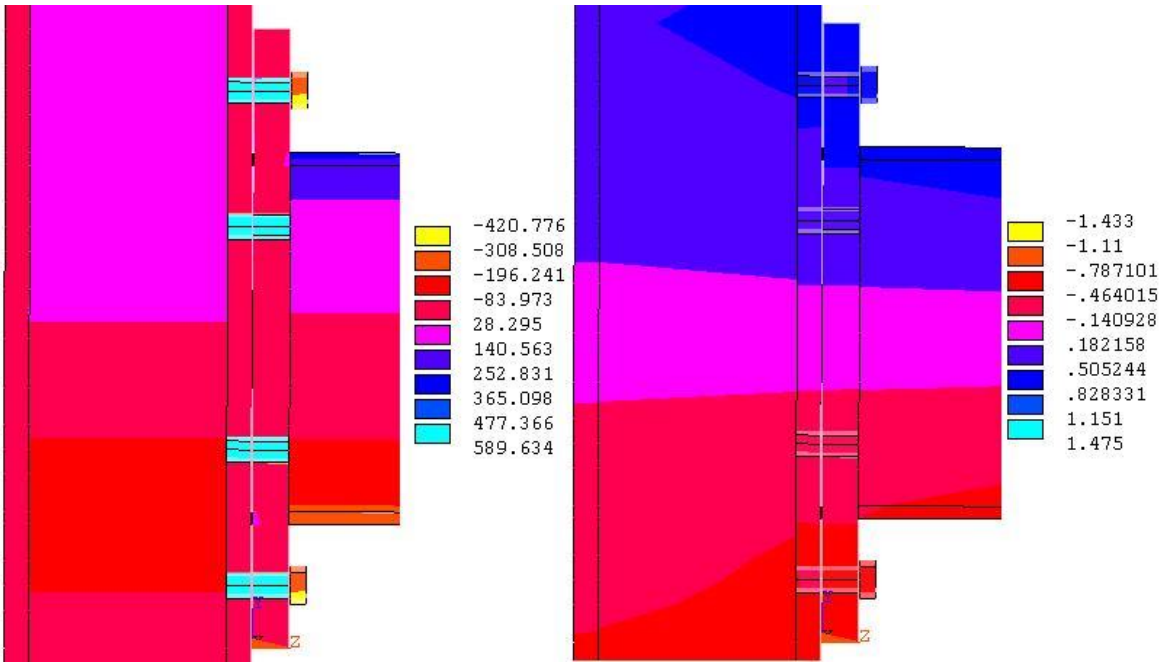
Şekil A.26 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



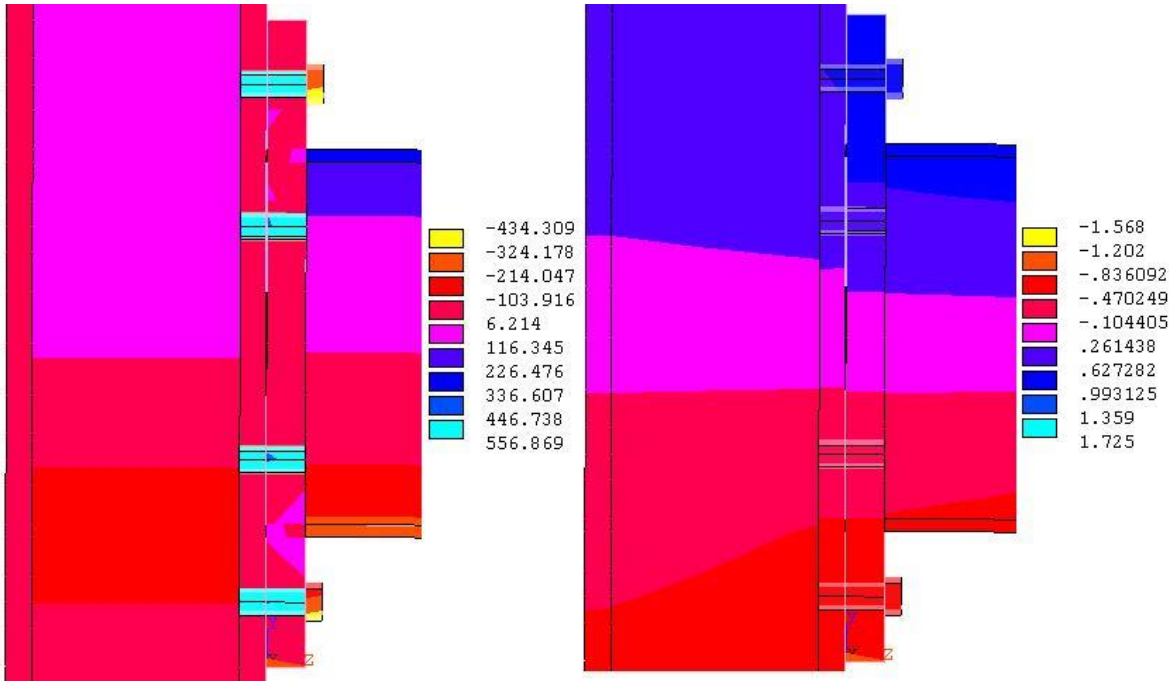
Şekil A.27 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



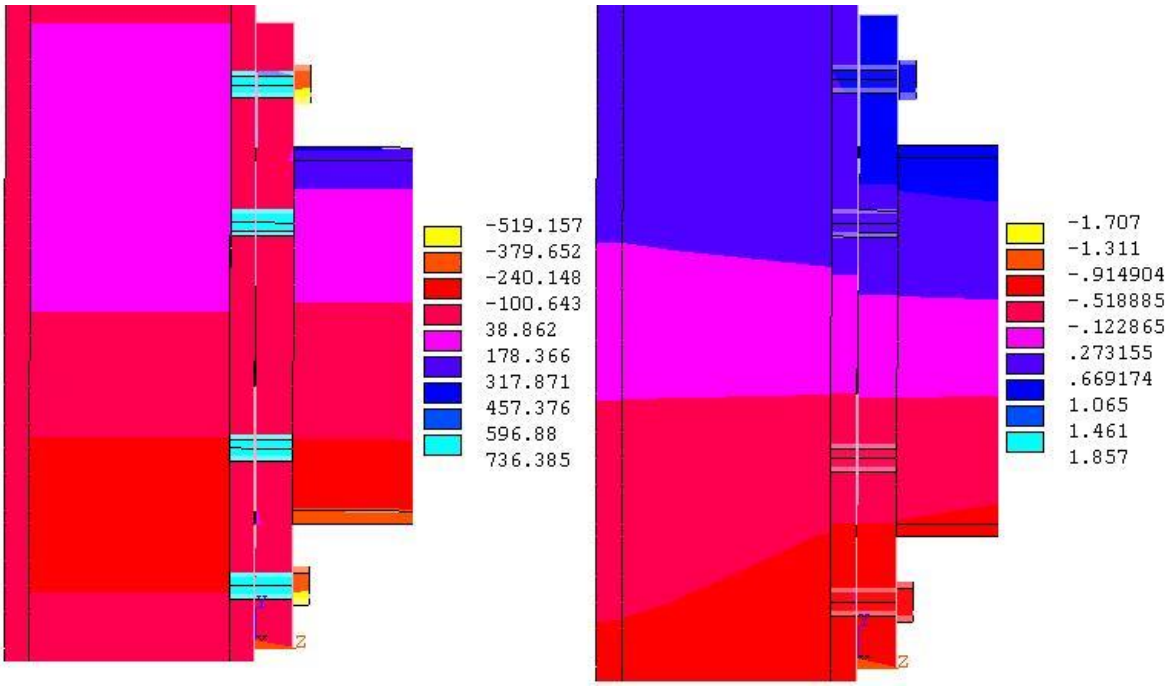
Şekil A.28 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



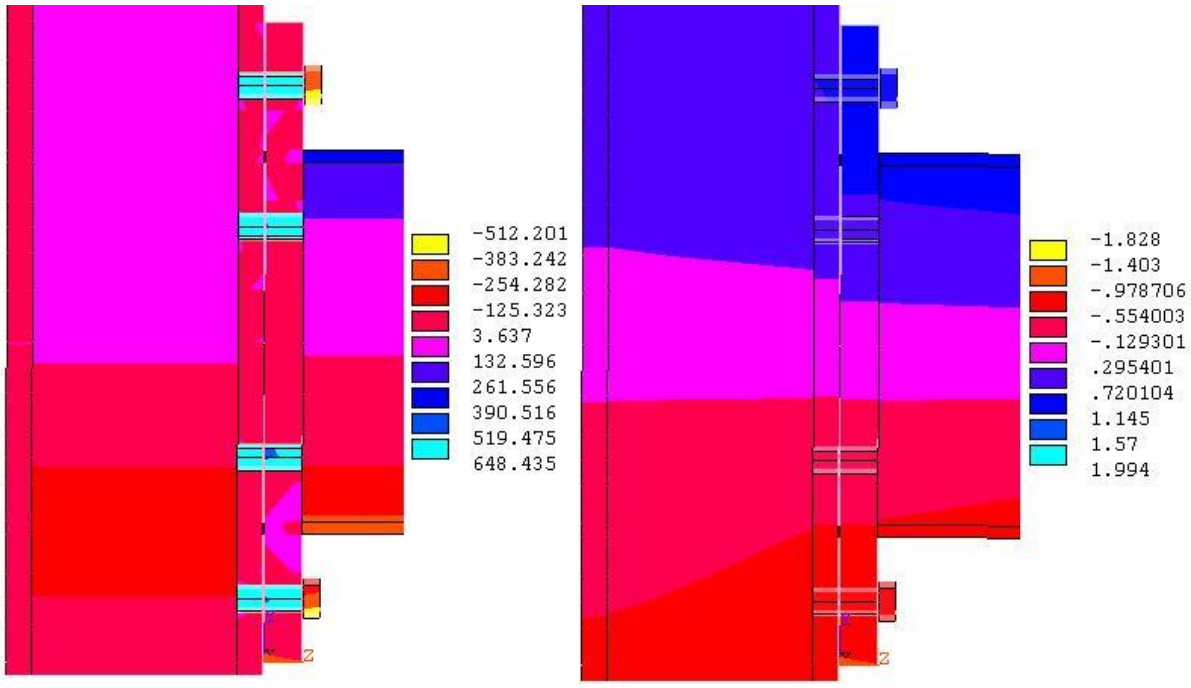
Şekil A.29 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



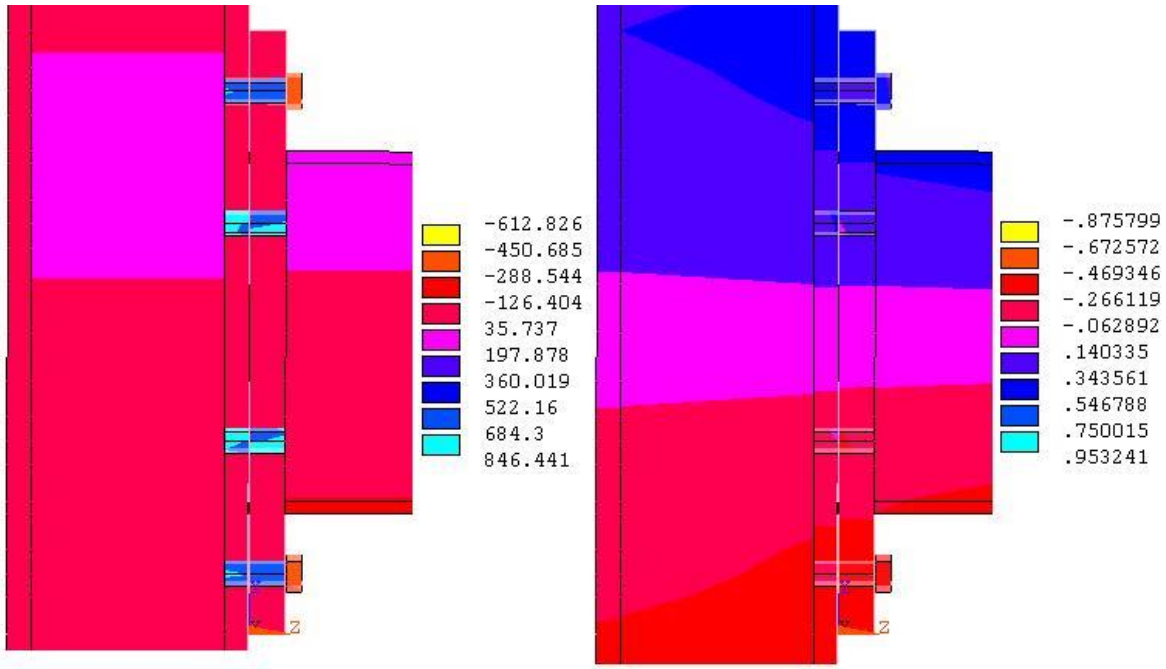
Şekil A.30 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



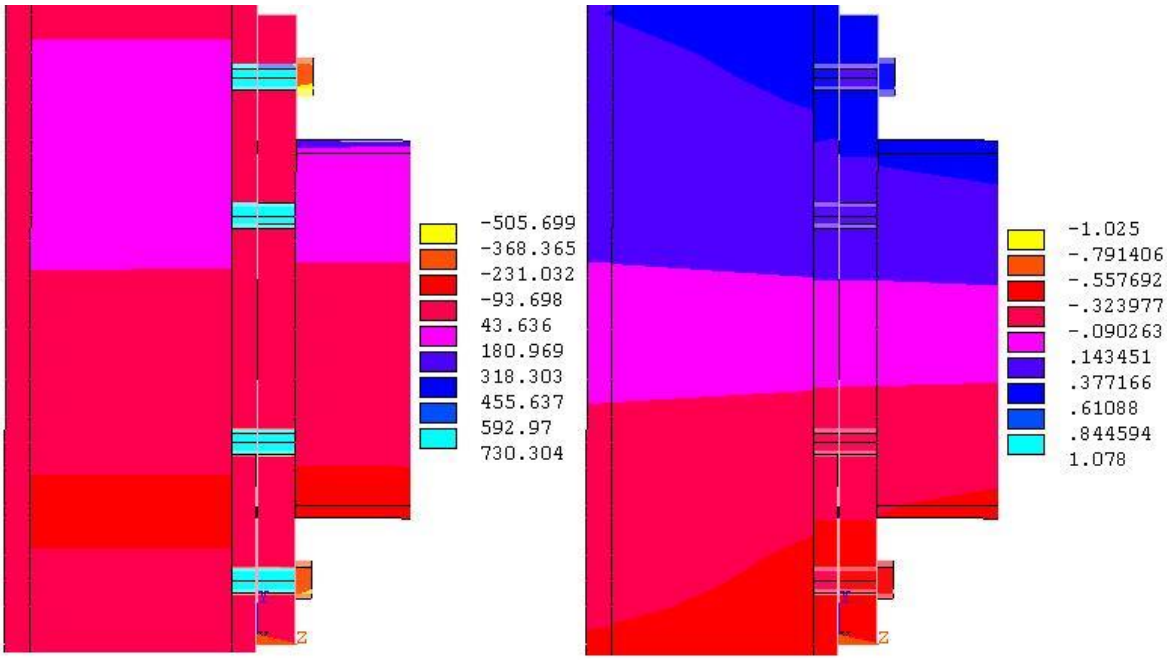
Şekil A.31 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



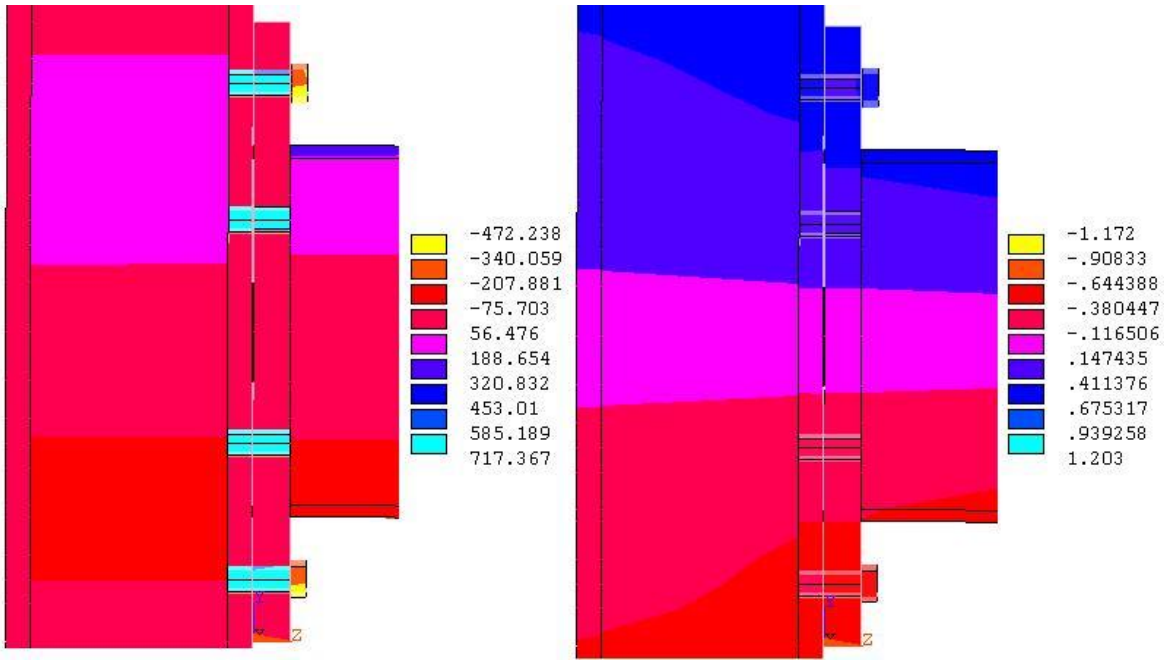
Şekil A.32 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



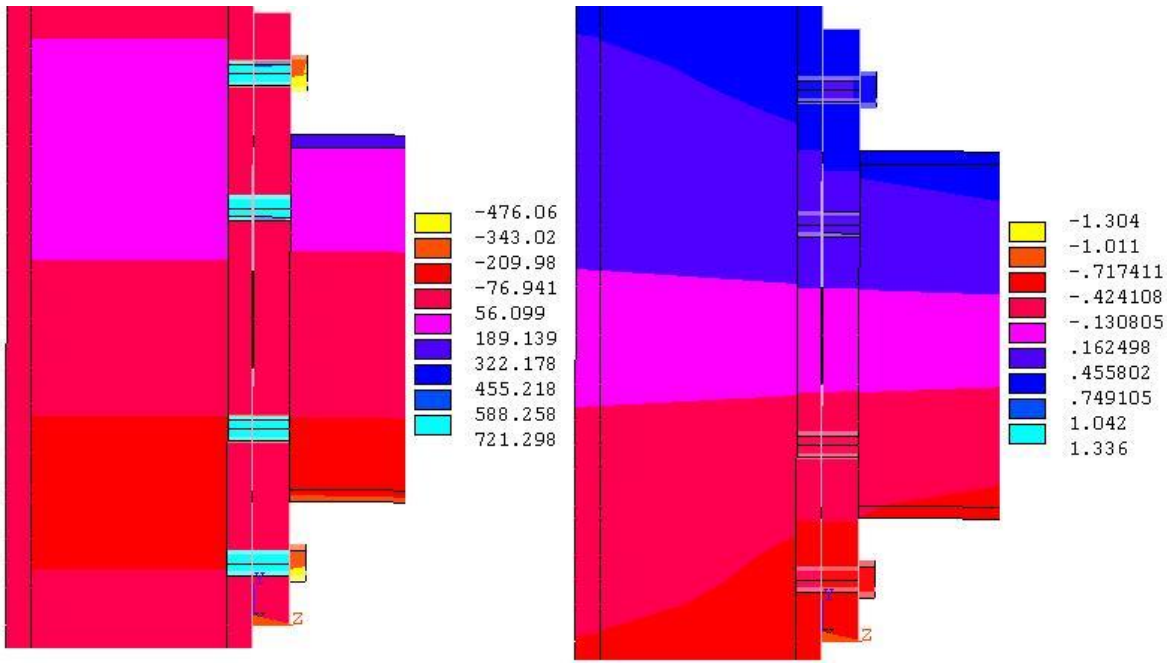
Şekil A.33 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



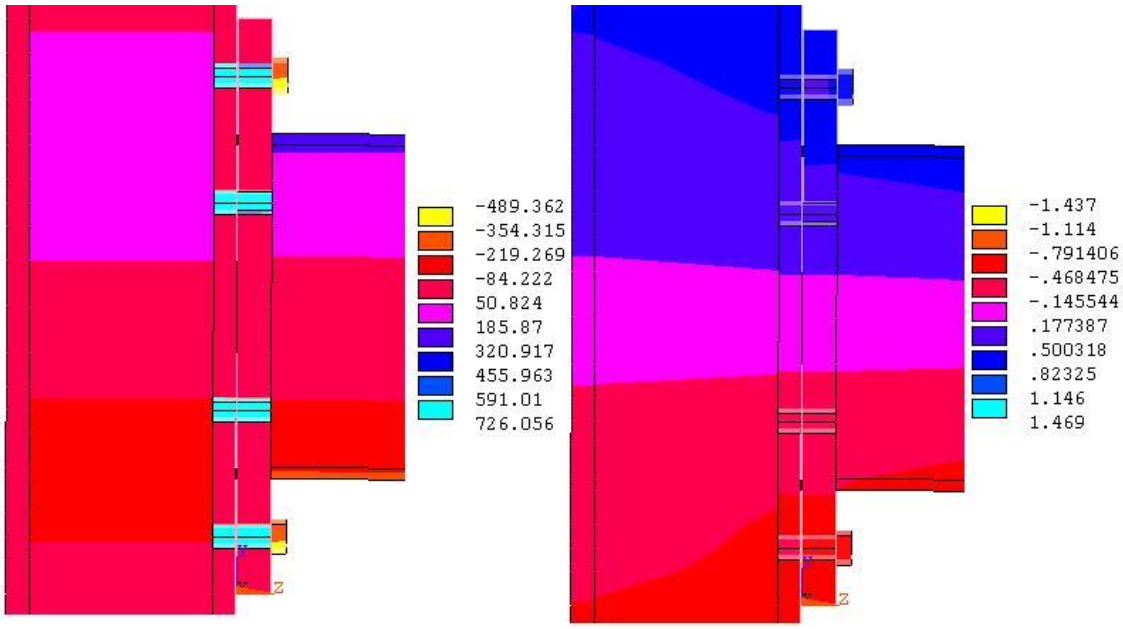
Şekil A.34 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



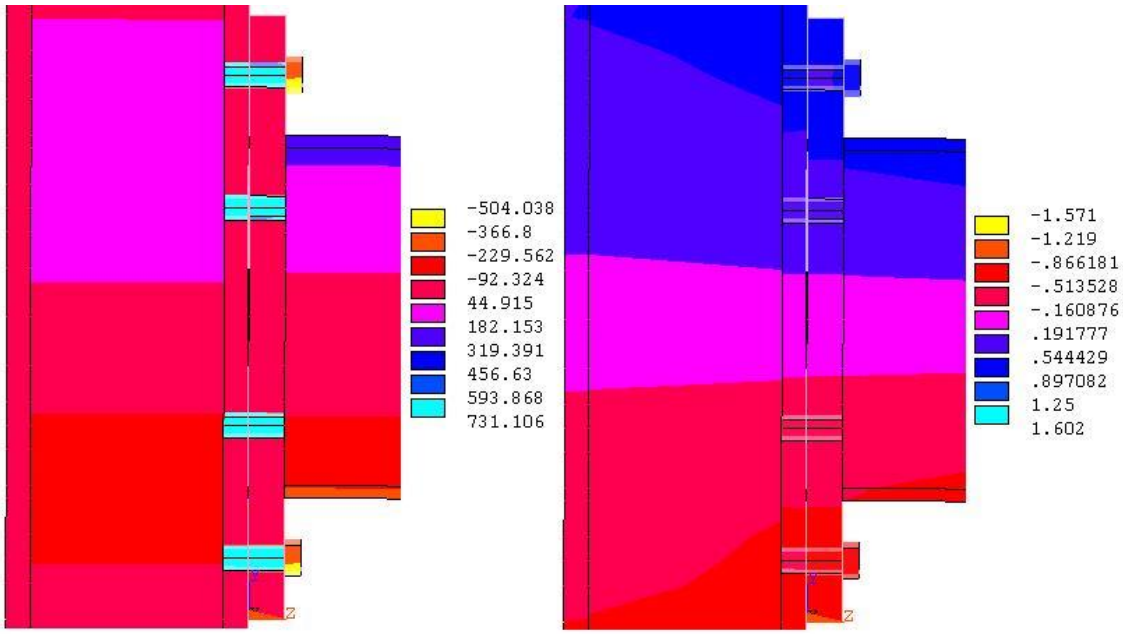
Şekil A.35 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



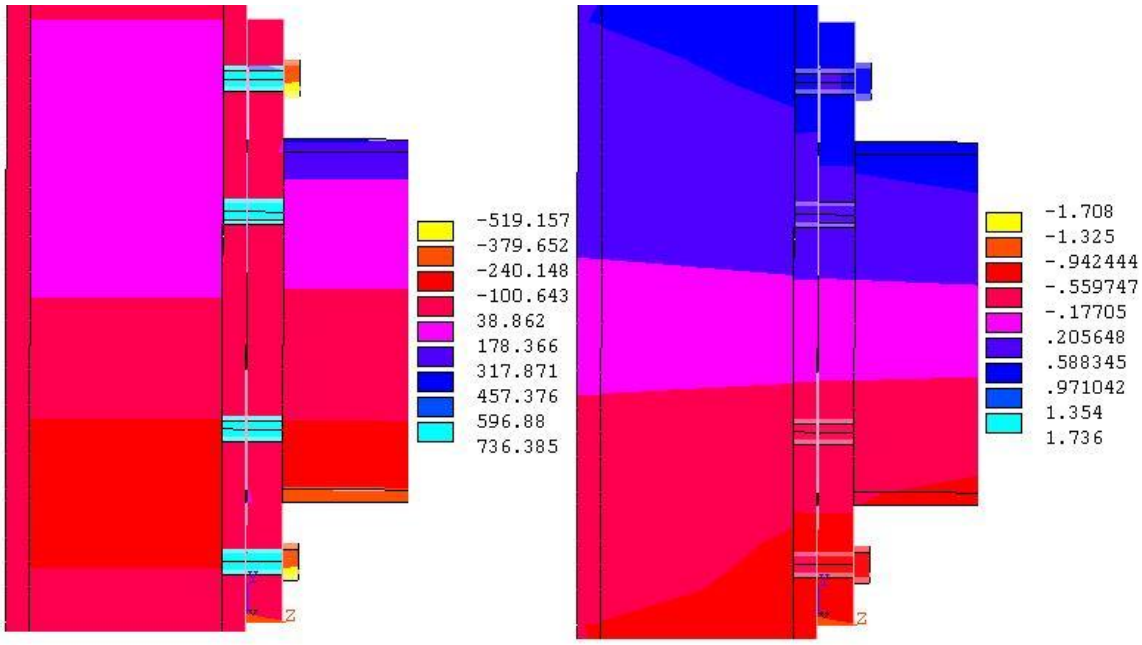
Şekil A.36 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



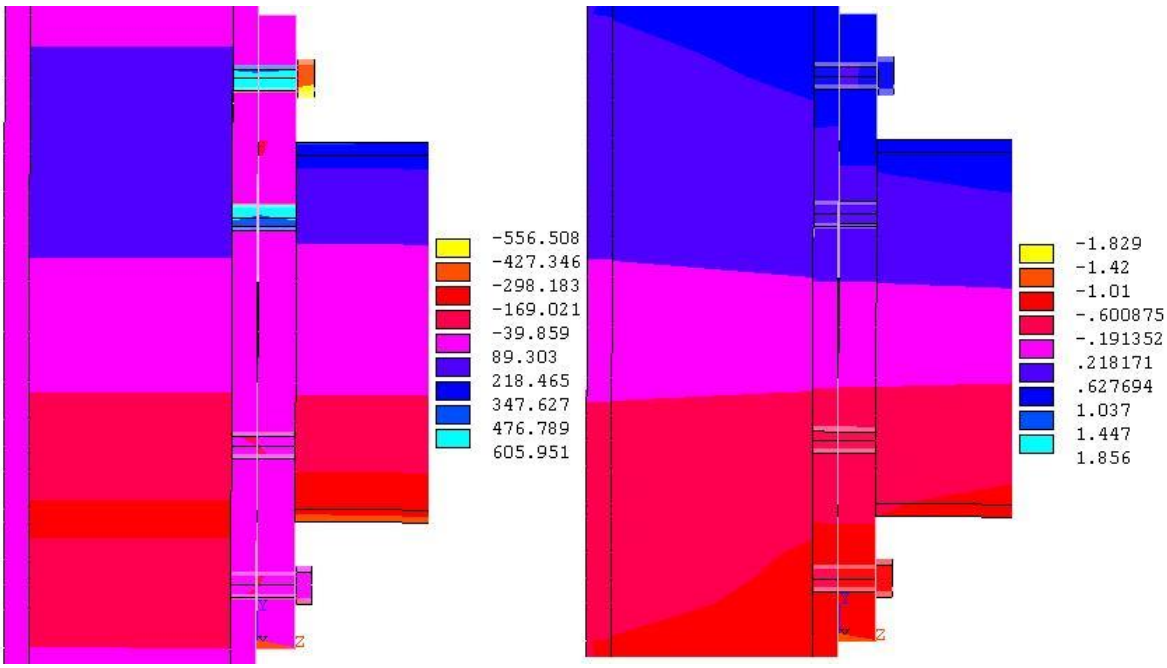
Şekil A.37 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



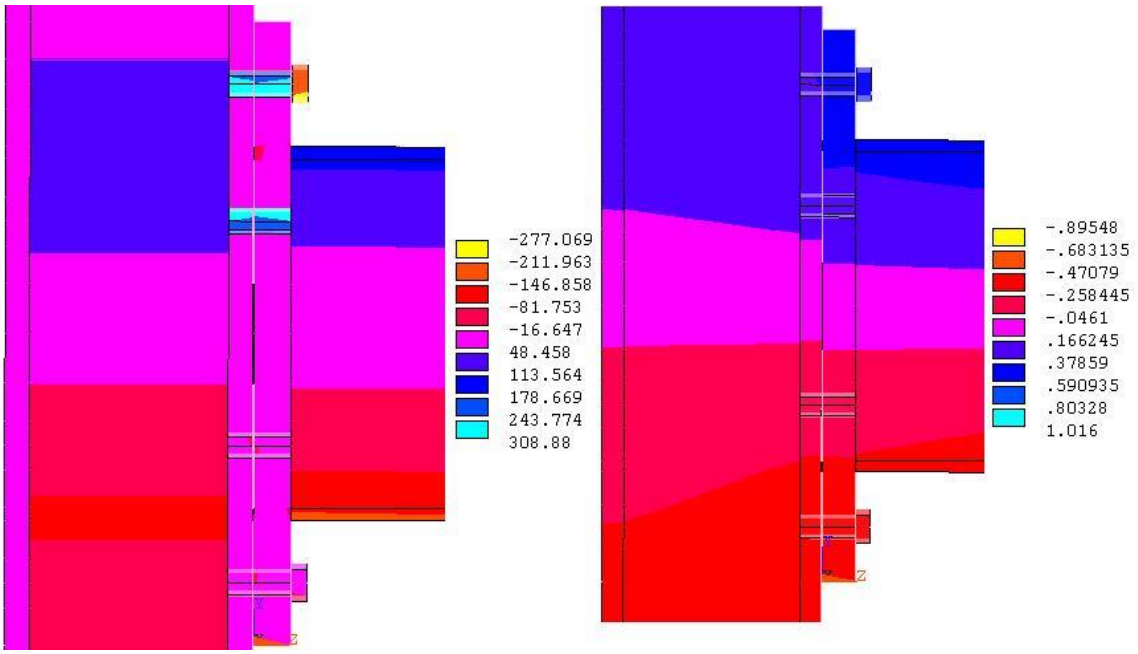
Şekil A.38 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



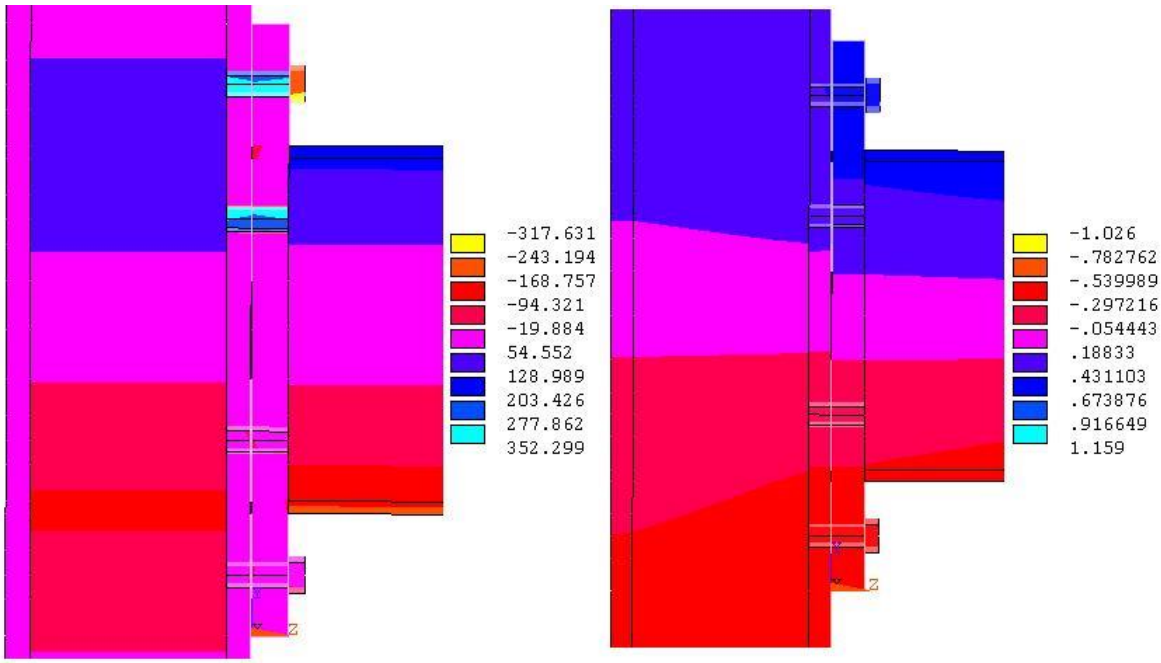
Şekil A.39 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



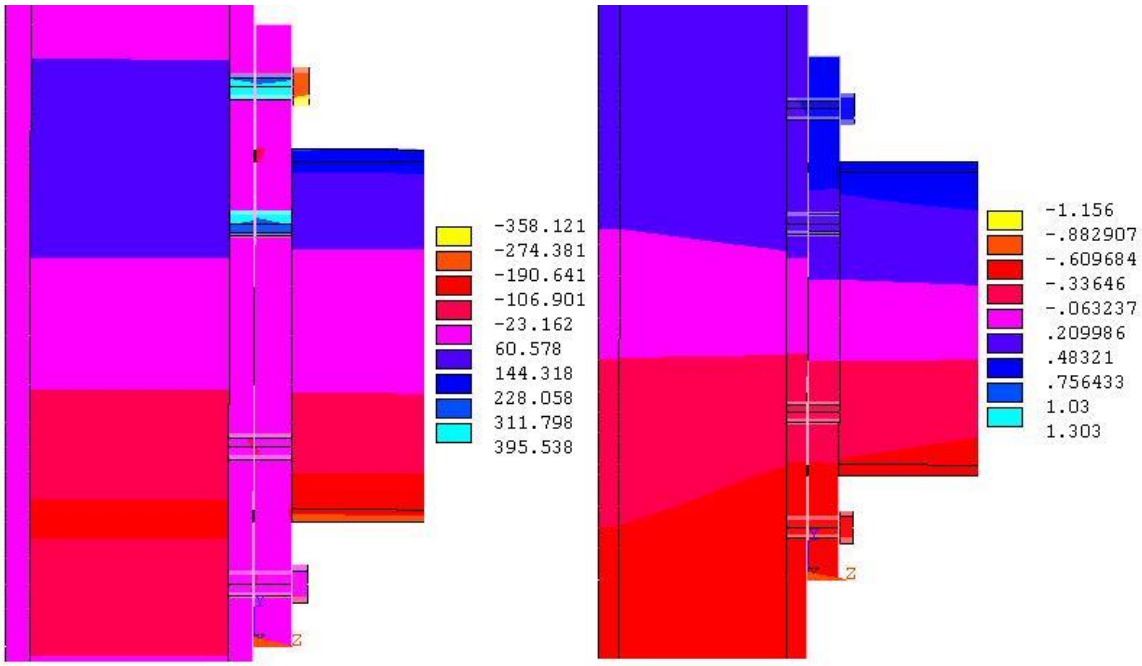
Şekil A.40 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



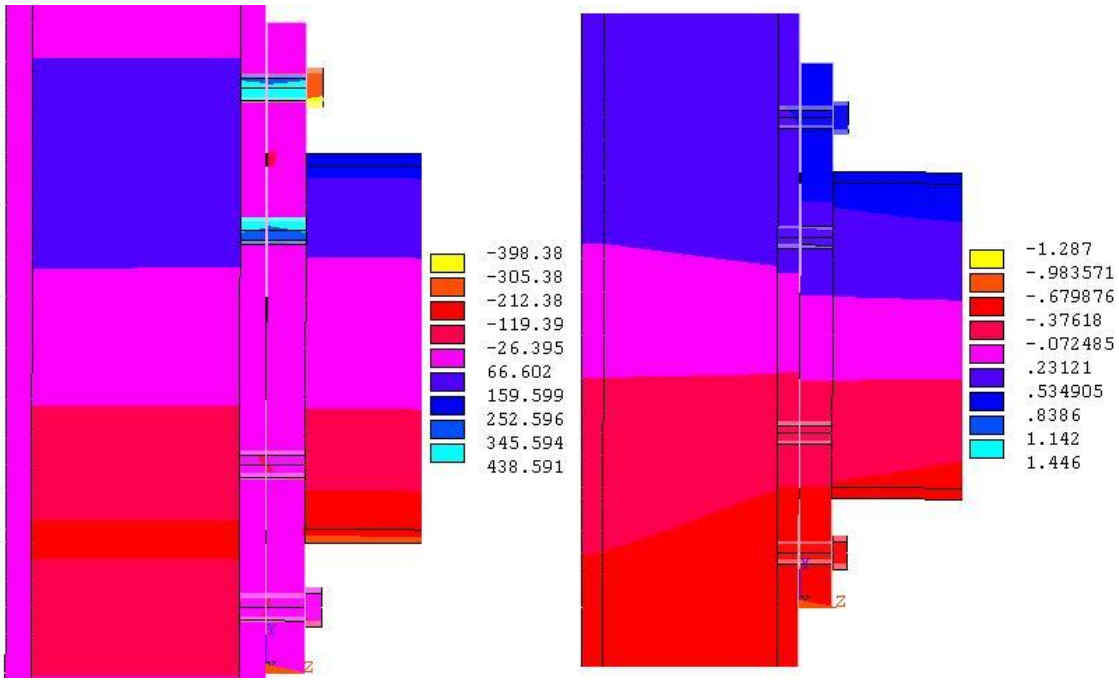
Şekil A.41 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 140 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



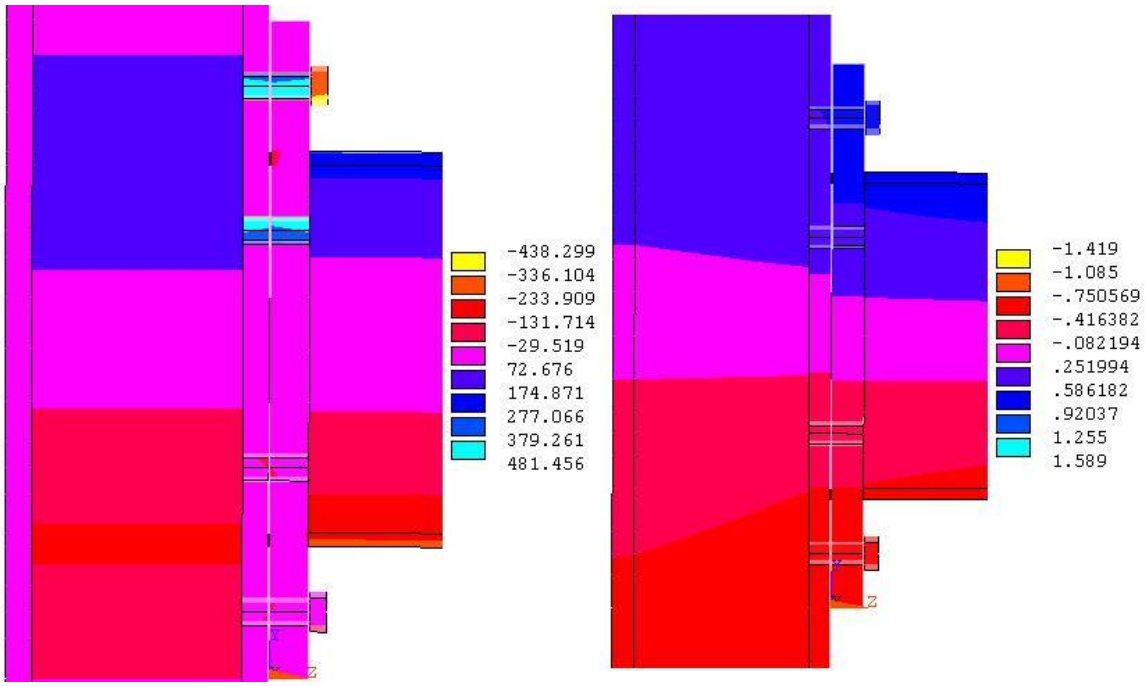
Şekil A.42 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 160 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



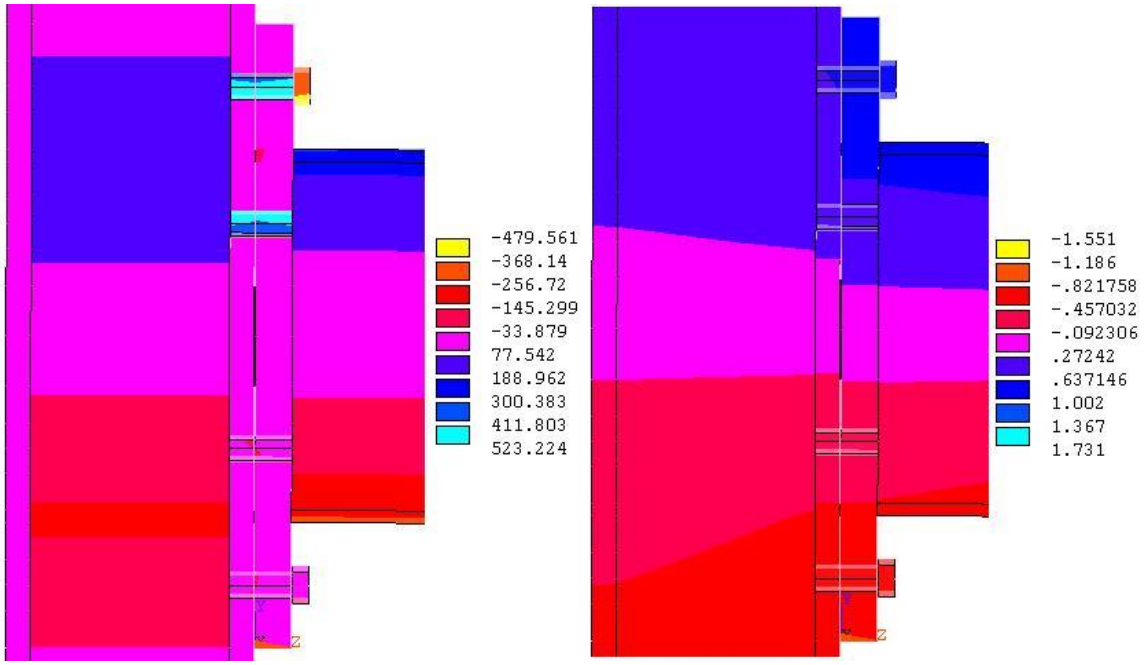
Şekil A.43 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 180 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



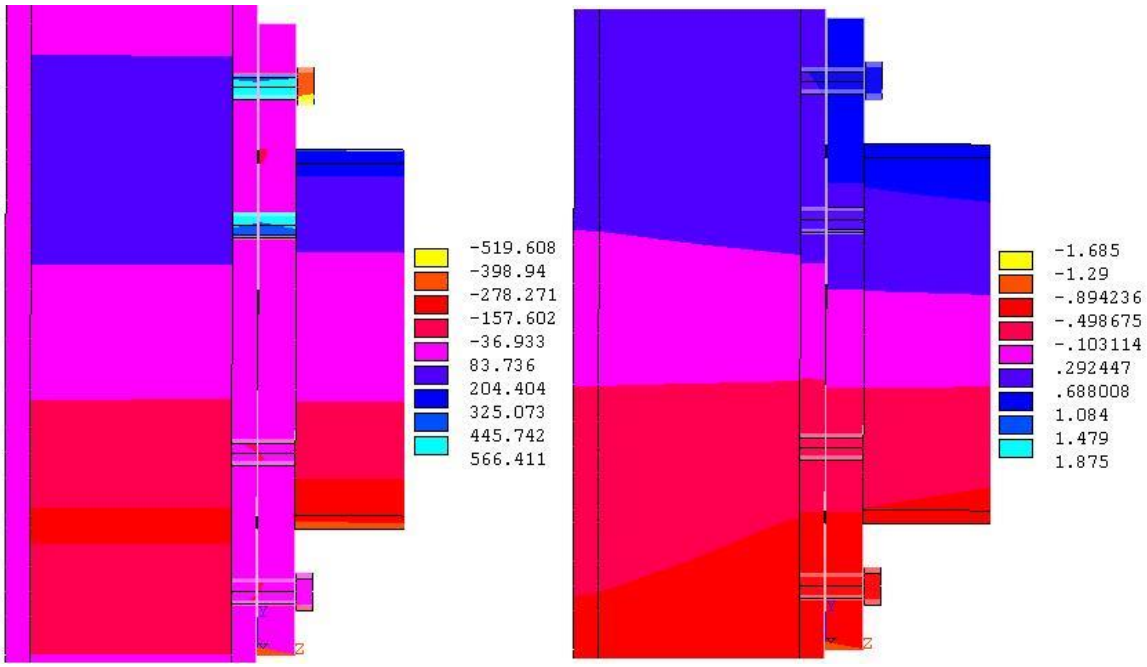
Şekil A.44 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 200 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



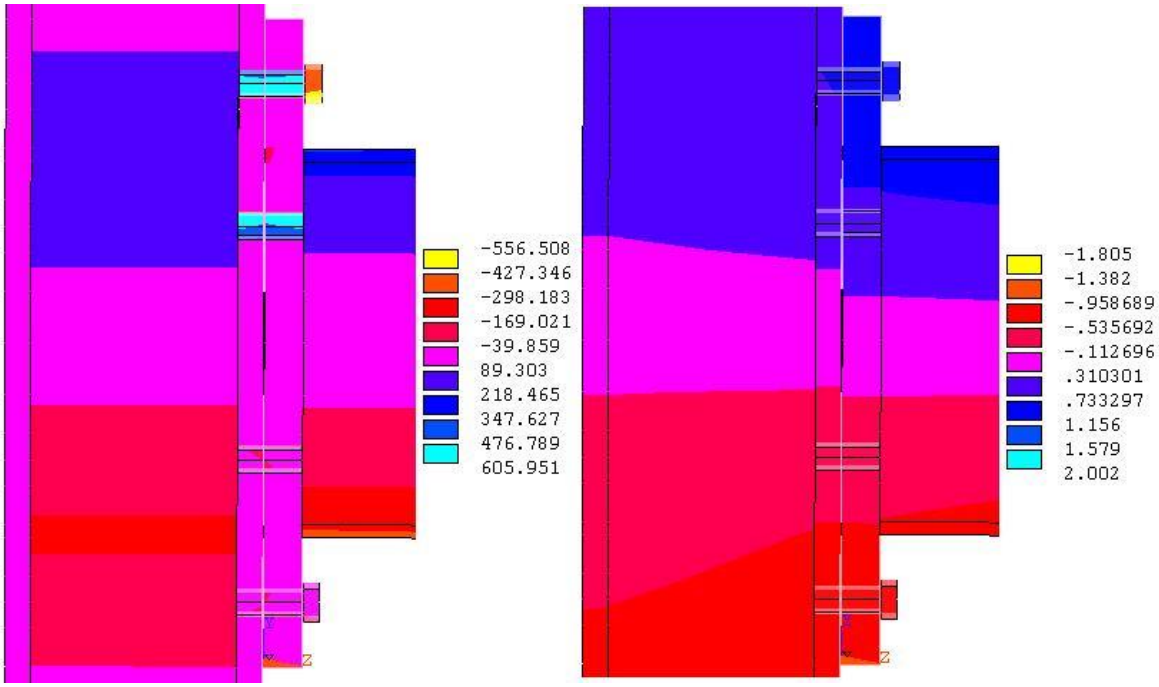
Şekil A.45 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 220 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



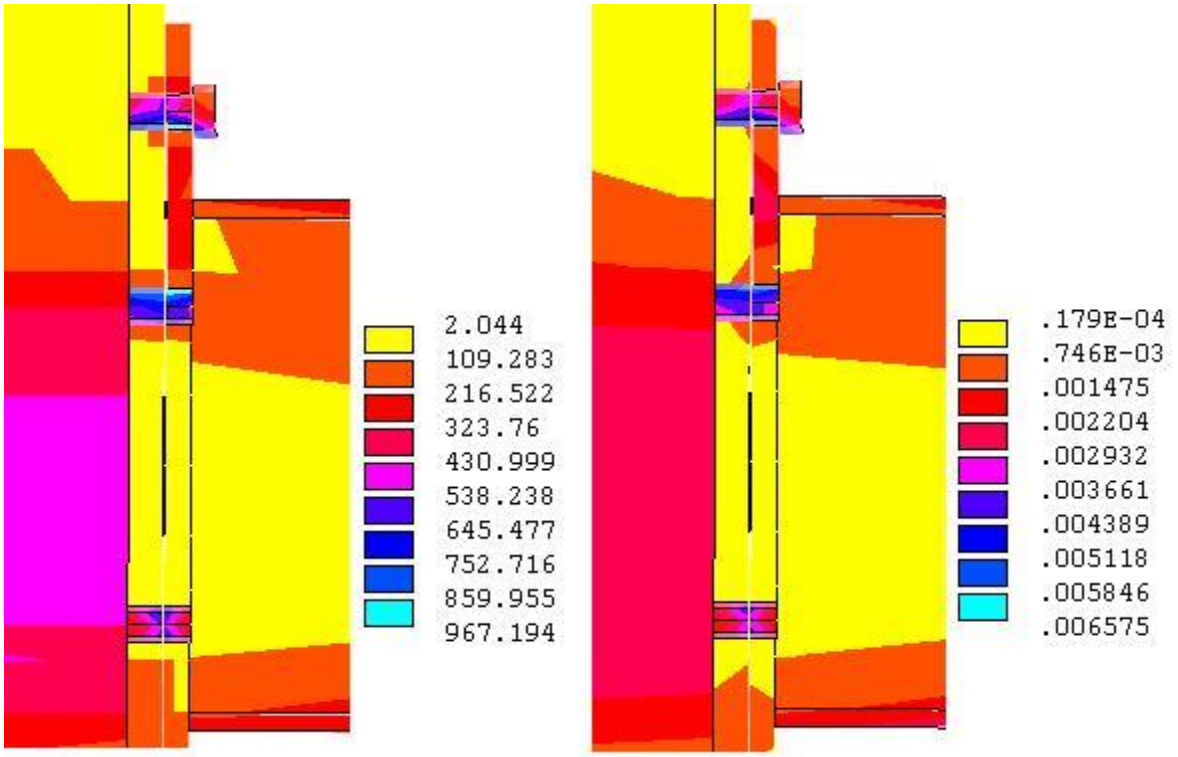
Şekil A.46 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 240-1 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



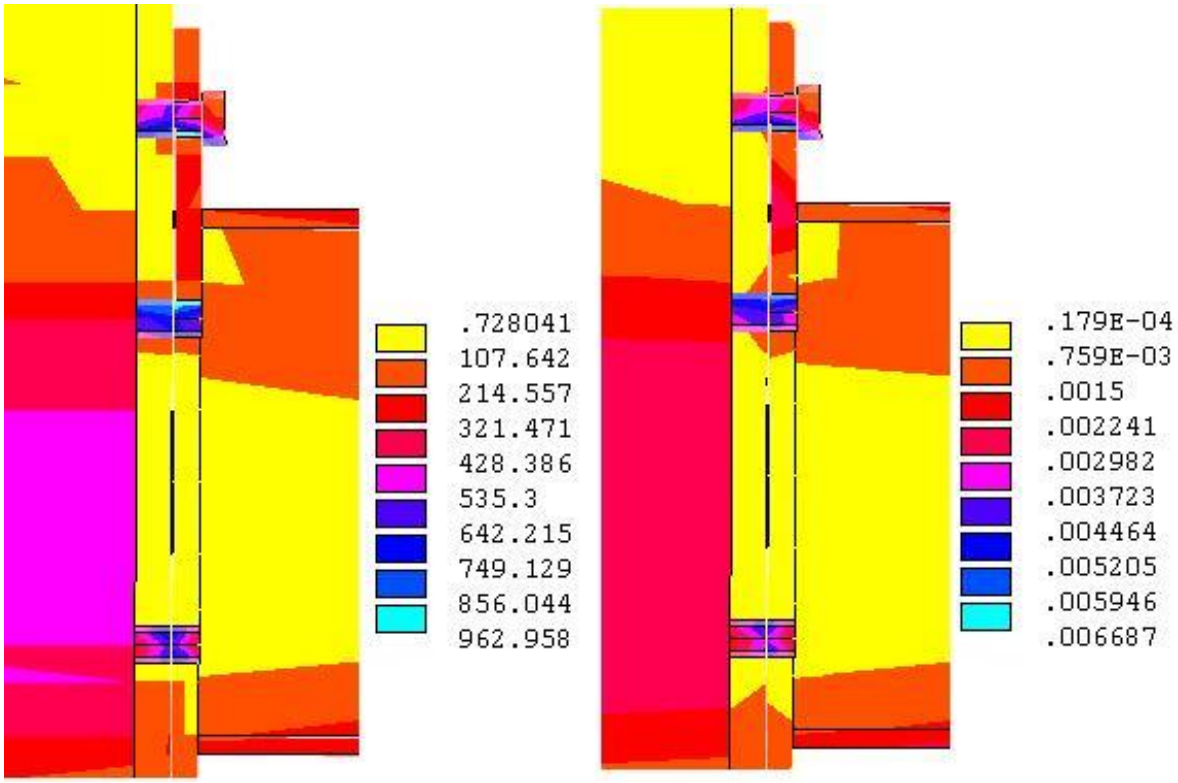
Şekil A.47 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 240-2 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



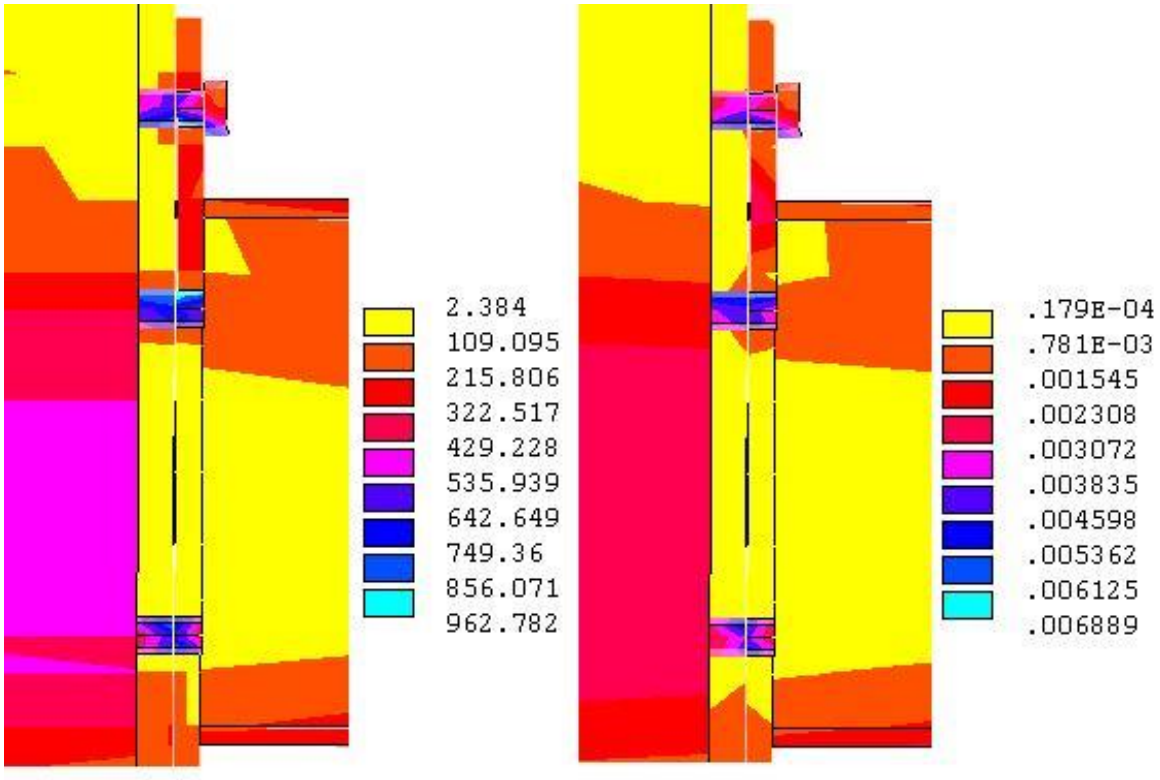
Şekil A.48 Bulonlara öngerme uygulanmadan, kirişe 240-3 MPa gerilme verilmesi durumunda, bulonda oluşan gerilmeler ve alın levhasındaki yer değiştirmeler



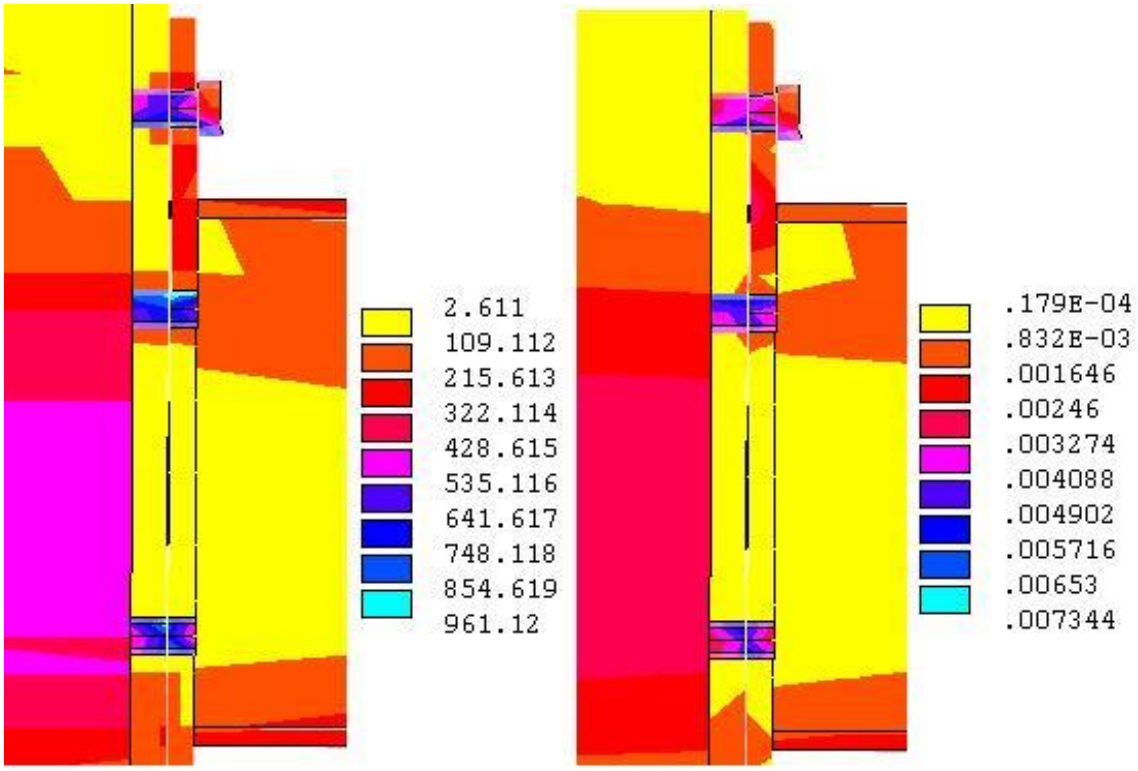
Şekil A.49 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



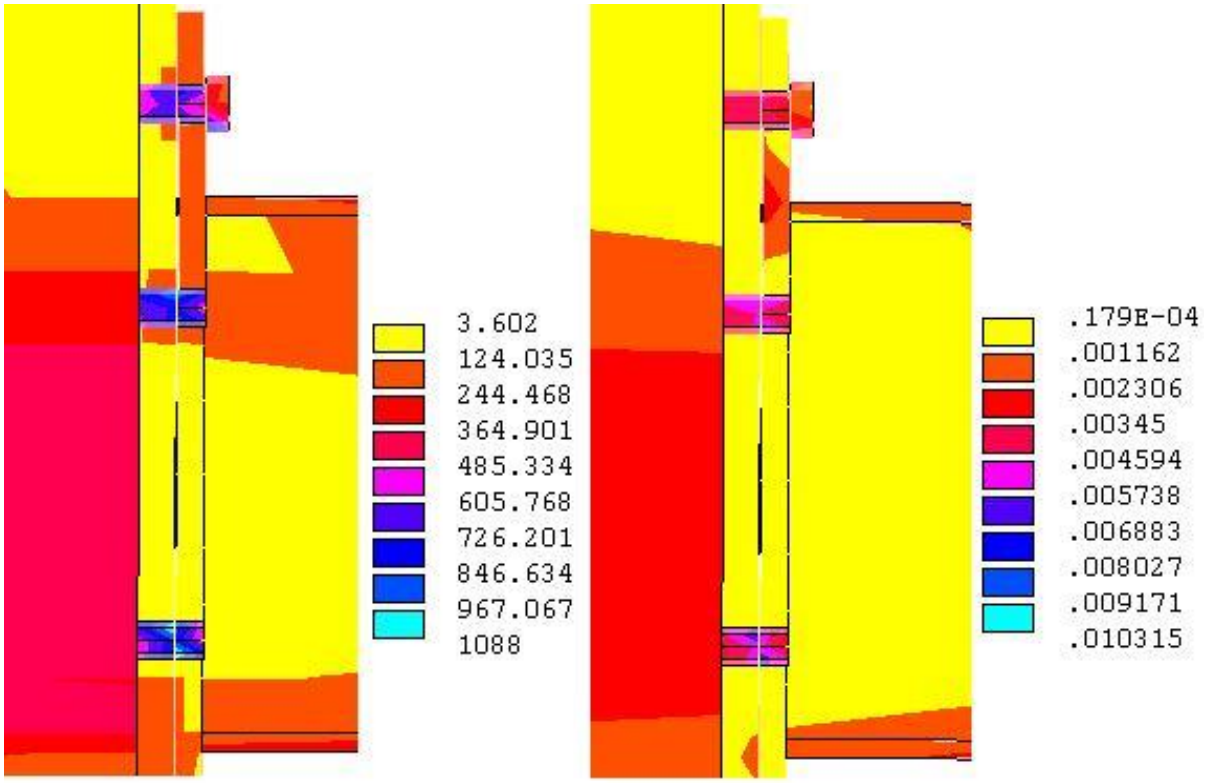
Şekil A.50 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



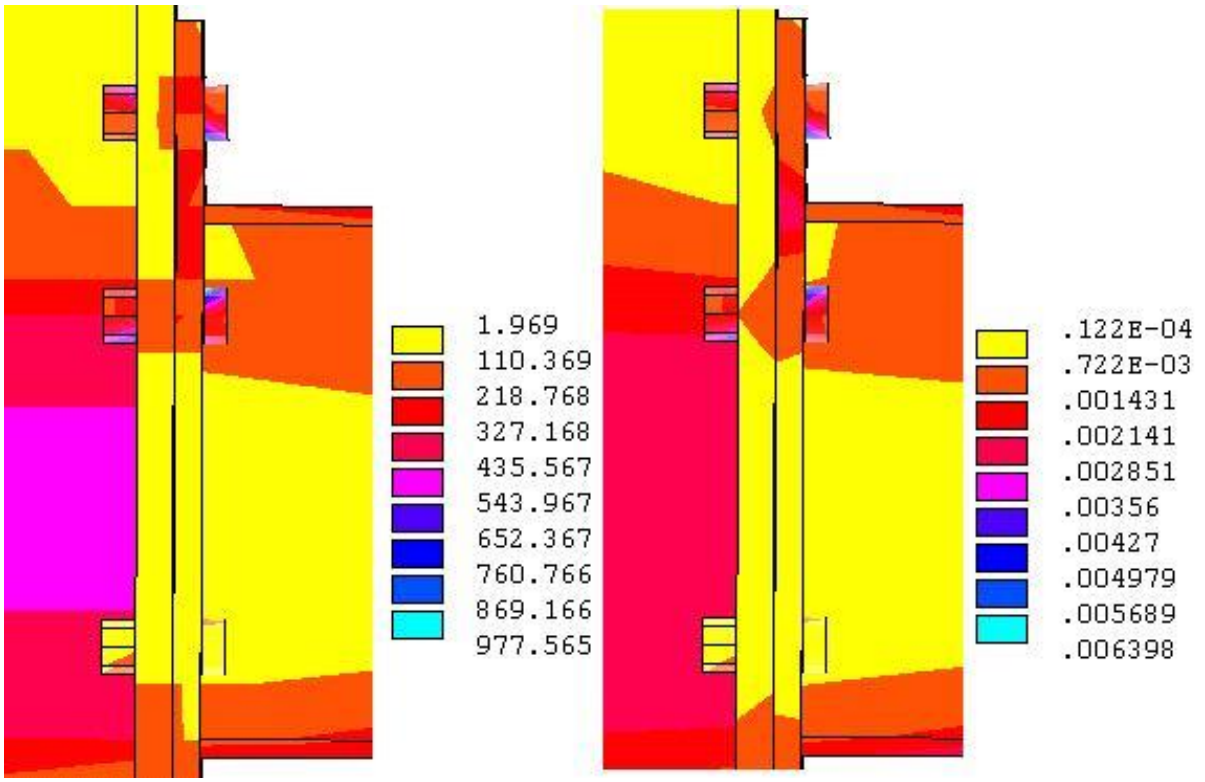
Şekil A.51 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



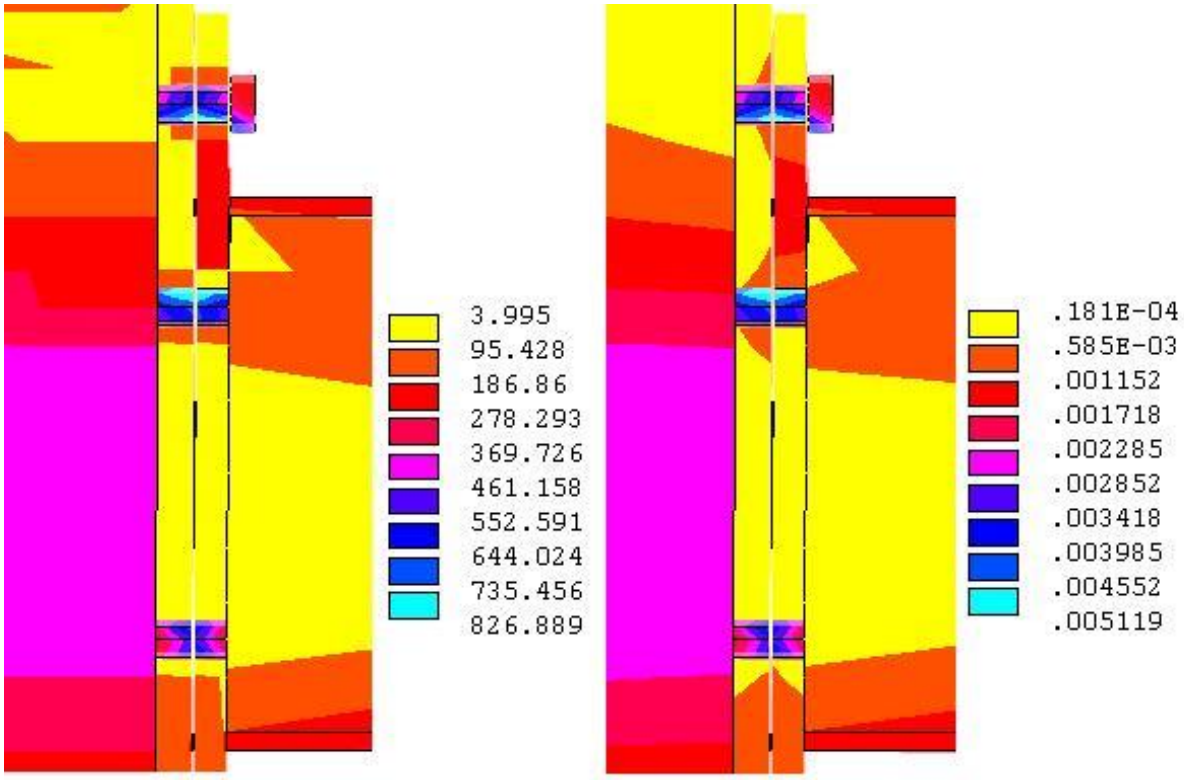
Şekil A.52 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



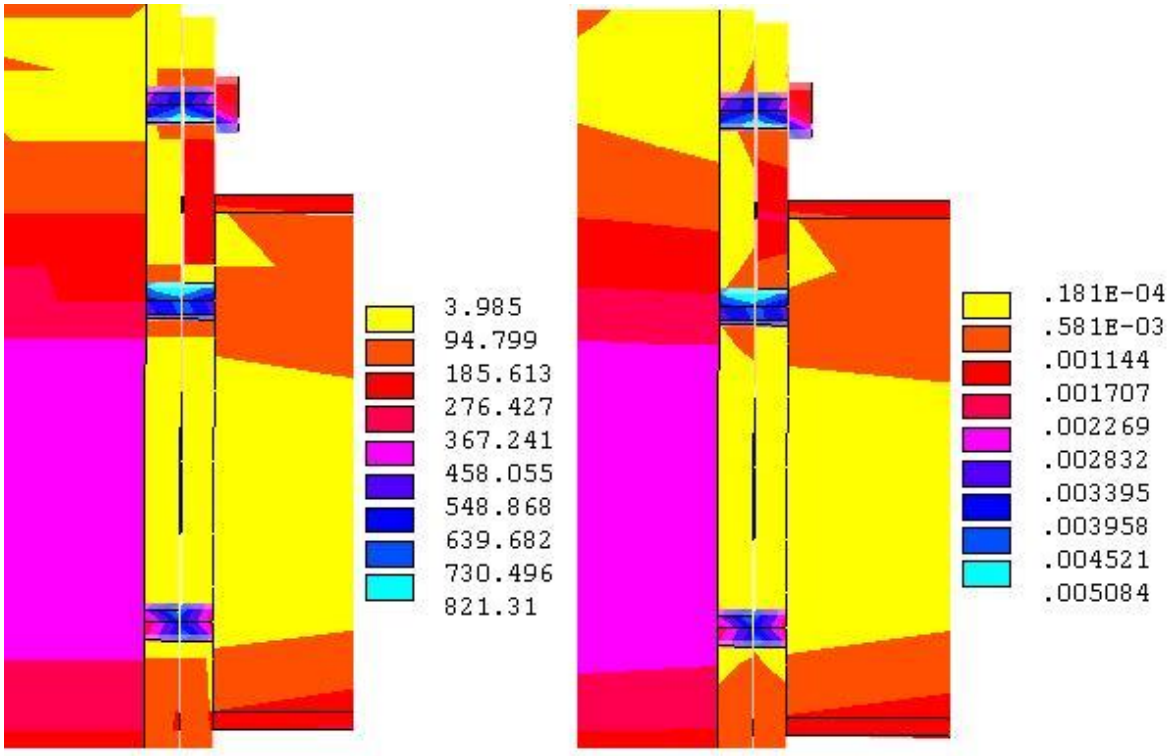
Şekil A.53 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



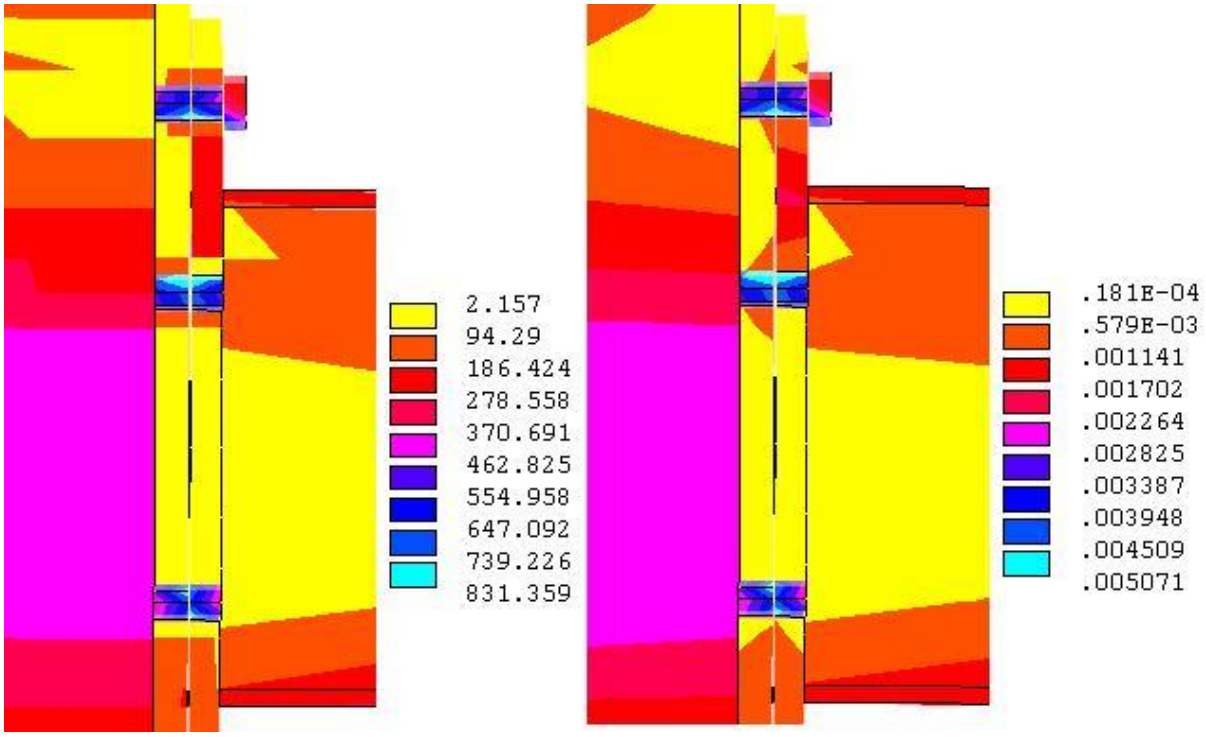
Şekil A.54 Bulonlara öngerme kuvveti uygulanmadan, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 15mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



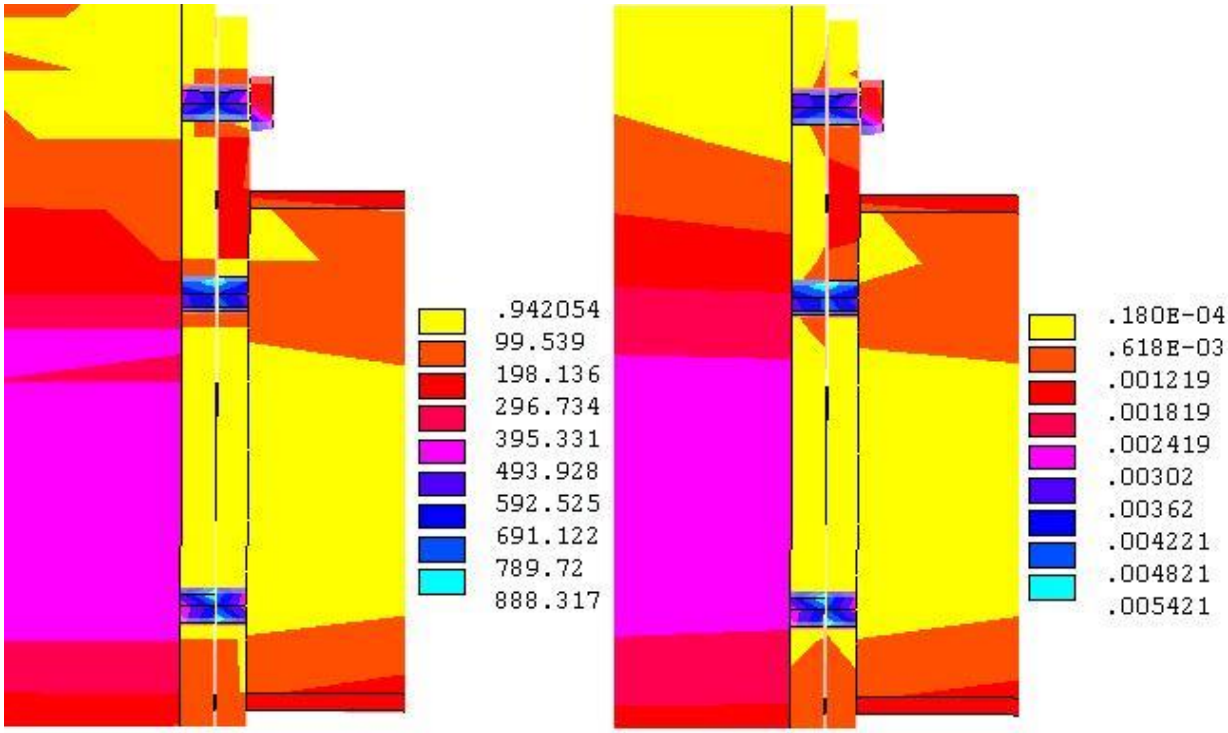
Şekil A.55 Bulonlara 0,5 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



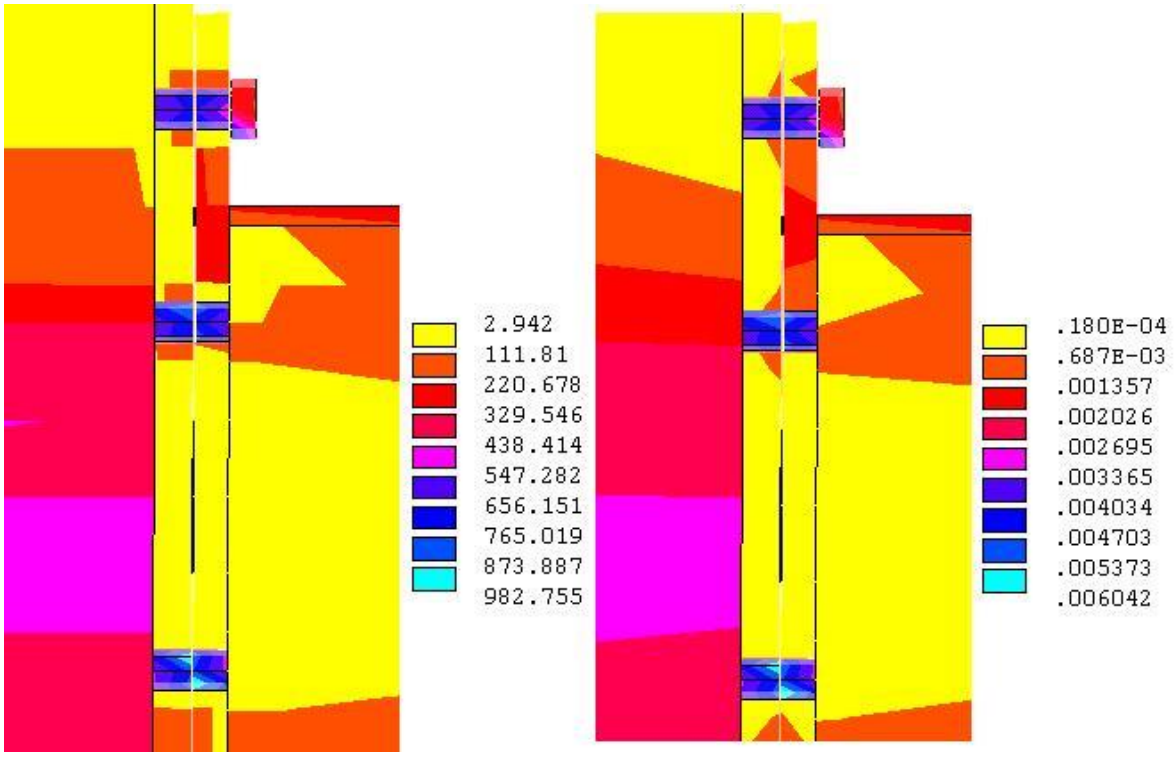
Şekil A.56 Bulonlara 0,6 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



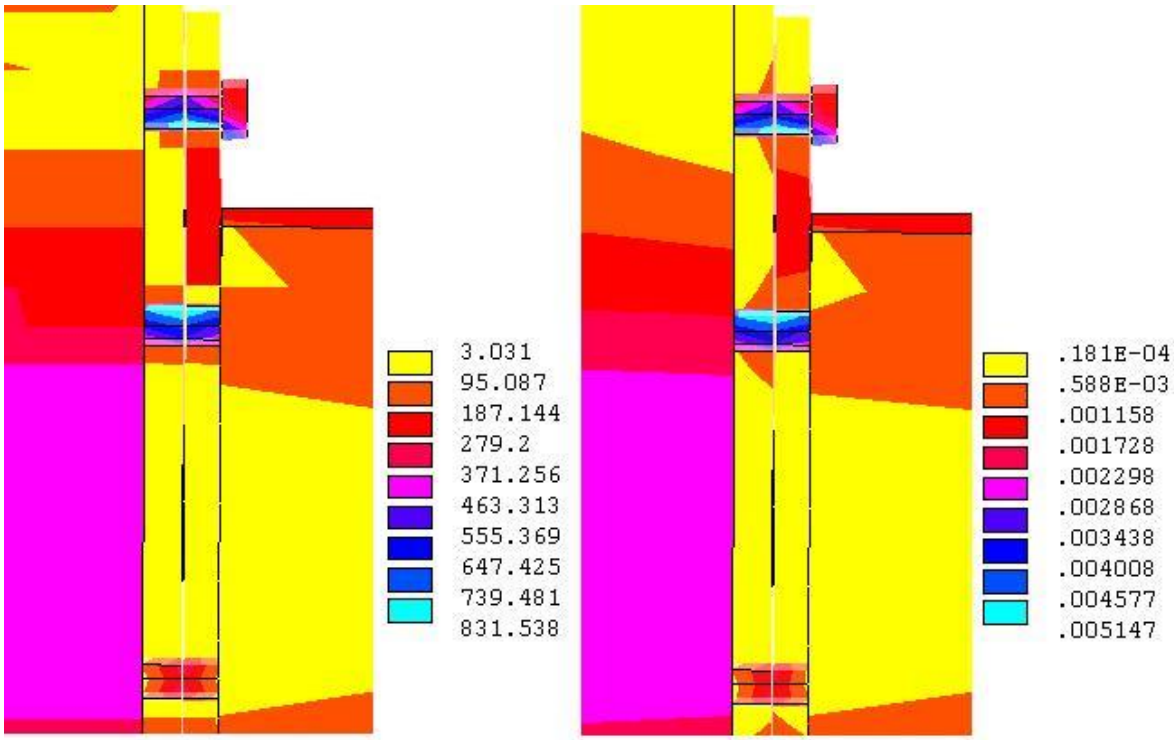
Şekil A.57 Bulonlara 0,7 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



Şekil A.58 Bulonlara 0,8 oranında öngerme kuvveti, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



Şekil A.59 Bulonlara öngerme kuvvetinin tamamı, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.



Şekil A.60 Bulonlara öngerme kuvveti uygulanmadan, kirişe 240 MPa gerilme verilmesi durumunda, 18mm kalınlığındaki alın levhasında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler.

ÖZGEÇMİŞ

H. Erdinç Dikbayır, 1978 yılında İzmir'de doğmuştur. İlkokulu Rıza Özmenoğlu İlköğretim okulu, ortaokulu Güzelyalı Ortaokulu ve liseyi Bursa Ali Osman Sönmez Fen Lisesinde tamamlamıştır. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2000 yılında İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Yapı Anabilim Dalı, Yapı Analizi Programına girmeye hak kazanarak yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.