İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULONLU ÇELİK KOLON KİRİŞ BİRLEŞİM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökçe ŞENYUVA

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER

EKİM 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULONLU ÇELİK KOLON KİRİŞ BİRLEŞİM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökçe ŞENYUVA
(501061045)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 EYLÜL 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 EKİM 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erdal ŞAFAK (BÜ)
Yrd. Doç. Dr. Özden ÇAĞLAYAN (İTÜ)

EKİM 2010

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, bulonlu kolon kiriş birleşim analizi, sonlu elemanlar modeli kullanılarak yapılmıştır. 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 ÇAĞLAYAN'a ve bugüne kadar bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2010

Gökçe ŞENYUVA

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Çelik Malzemenin Özellikleri 3
1.3 Hesap Yöntemleri 5
1.3.1 Emniyet gerilmeleri metodu 6
1.3.2 Taşıma gücü metodu 7
2. MOMENT AKTARAN BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN PLASTİK HESABI **11**
2.1 Kiriş Kolon Malzemesinin ST37 (Fe37) Olması Durumu 15
2.1.1 Alın levhası malzemesinin ST37 (Fe37) olması durumu 19
2.2 Kiriş Kolon Malzemesinin ST52 (Fe52) Olması Durumu 21
2.2.1 Alın levhası malzemesinin ST52 (Fe52) olması durumu 23
2.2.2 Alın levhası malzemesinin ST44 (Fe44) olması durumu 24
2.2.3 Alın levhası malzemesinin ST37 (Fe37) olması durumu 25
3. FEMAP NX NASTRAN PROGRAMINDA KURULAN MODEL HAKKINDA AÇIKLAMALAR **26**
4. BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMİNİN PLASTİK DÖNME KAPASİTESİ **41**
4.1 Kiriş Kolon Malzemesinin ST37 (Fe37) Olması Durumu 41
4.2 Kiriş Kolon Malzemesinin ST52 (Fe52) Olması Durumu 46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **51**
KAYNAKLAR **53**
EKLER **55**

KISALTMALAR

bkz. : Bakınız
b_p : Alın levhası genişliği
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılıcak Yapılar Hakkında Yönetmelik
d_c : Kolon kesit yüksekliği
d_p : Kiriş kesit yüksekliği
E : Elastisite modülü
FEMA : Federal Emergency and Management Agency
g : Bulon sıraları arasındaki yatay mesafe
Ķ : Eğrilik
L : Kiriş boyu
Mp : Plastik moment
P : Tekil yük
p_f : Bulon merkezlerinin kiriş başlığına olan mesafesi
SDL : Scher – Lochleibungsverbindungen
t_b : Kiriş başlık kalınlığı
t_c : Kolon başlık kalınlığı
t_p : Alın levhası kalınlığı
v : Poisson oranı
ε_k : Kopma anındaki deformasyon değeri
ε_p : Plastik deformasyon değeri
σ : Gerilme
σ_a : Akma gerilmesi
σ_e : Elastik sınır gerilmesi
σ_k : Kopma sınır gerilmesi
σ_p : Orantılı sınır gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Minimum 0.03 radyan plastik dönme kapasitesi için alın levhalı bulonlu kiris-kolon birleşim detayının taşıması gereken özellikler (AISC) 3
Çizelge 1.2 : Alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşim detayının uygulama sınırları (DBYBHY) 3
Çizelge 1.3 : Yapı çeliği malzeme özellikleri 5
Çizelge 2.1 : Yük analizi 11
Çizelge 2.2: D_a artırma katsayıları 15
Çizelge 2.3: IPEA270 kiriş kesiti plastik moment hesabı (ST37) 15
Çizelge 2.4: IPEA270 kiriş kesiti plastik kesme kuvveti hesabı (ST37) 16
Çizelge 2.5: Kolon başlığında oluşan moment hesabı (ST37) 16
Çizelge 2.6: Kolon gövdesinde oluşan moment hesabı (ST37) 16
Çizelge 2.7: Bulonlara gelen çekme kuvveti hesabı 17
Çizelge 2.8: Bulonların kesme kuvvati nedeni ile yük taşıma kaybı kontrolü 18
Çizelge 2.9: Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanabilicek minimum kolon başlık kalınlığı (ST37) 19
Çizelge 2.10: Eğilmeye bağlı alın levhası hesabı (ST37) 20
Çizelge 2.11: Kaymaya bağlı alın levhası hesabı (ST37) 20
Çizelge 2.12: IPEA270 kiriş kesiti plastik moment hesabı (ST52) 21
Çizelge 2.13: IPEA270 kiriş kesiti plastik kesme kuvveti hesabı (ST52) 21
Çizelge 2.14: Kolon başlığında oluşan moment hesabı (ST52) 21
Çizelge 2.15: Kolon gövdesinde oluşan moment hesabı (ST52) 21
Çizelge 2.16: Bulonlara gelen çekme kuvveti hesabı 22
Çizelge 2.17: Bulonların kesme kuvvati nedeni ile yük taşıma kaybı kontrolü 22
Çizelge 2.18: Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanabilicek minimum kolon başlık kalınlığı (ST52) 22
Çizelge 2.19: Eğilmeye bağlı alın levhası hesabı (ST52) 23
Çizelge 2.20: Kaymaya bağlı alın levhası hesabı (ST52) 23
Çizelge 2.21: Eğilmeye bağlı alın levhası hesabı (ST44) 24
Çizelge 2.22: Kaymaya bağlı alın levhası hesabı (ST44) 24
Çizelge 2.23: Eğilmeye bağlı alın levhası hesabı (ST37) 25
Çizelge 2.24: Kaymaya bağlı alın levhası hesabı (ST37) 25
Çizelge 4.1 : Yükleme isimleri ve değerleri 44
Çizelge 4.2 : Maksimum gerilme ve deformasyon değerleri. 44
Çizelge 4.3 : Yükleme isimleri ve değerleri. 47
Çizelge 4.4 : Maksimum gerilme ve deformasyon değerleri. 48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı 2
Şekil 1.2 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı. 4
Şekil 1.3 : Çelik kirişin tipik moment-rotasyon ilişkisi. 9
Şekil 1.4 : Kiriş kesit değerleri. 10
Şekil 2.1 : Yük hesabında referans alınan kat planı..... 11
Şekil 2.2 : Kolon kiriş elemanlarının kesit özellikleri. 12
Şekil 2.3 : Plastik.mafsalların sistemde oluşması beklenen yerleri 13
Şekil 2.4 : Plastik momentlerin ve plastik kesme kuvvetlerinin gösterilişi..... 14
Şekil 2.5 : Öngermeli SLP bulonlarının birleşimdeki yerleşimi..... 17
Şekil 3.1 : NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi. 27
Şekil 3.2 : NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi. 28
Şekil 3.3 : NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi berkitme ve panel bölgesi takviyesi 29
Şekil 3.4 : 10.9 kalitesindeki yüksek mukavemetli bulonların gerilme şekil değiştirme diyagramı..... 30
Şekil 3.5 : ST37 malzemesi gerilme şekil değiştirme diyagramı 30
Şekil 3.6 : ST52 malzemesi gerilme şekil değiştirme diyagramı 31
Şekil 3.7 : Gelişmiş non-lineer analiz yönteminde malzeme özelliklerinin fonksiyon olarak atanması 32
Şekil 3.8 : NX NASTRAN programındaki modelin meshleme sistemi 33
Şekil 3.9 : NX NASTRAN programındaki modelin meshleme sistemi 34
Şekil 3.10 : NX NASTRAN programındaki bağlayıcı eleman özelliği..... 35
Şekil 3.11 : NX NASTRAN programındaki bağlanma alanları 36
Şekil 3.12 : NX NASTRAN programındaki bağlayıcı elemanları 37
Şekil 3.13 : NX NASTRAN programındaki örümcek mesh sistemi ve rijitlik özellikleri 38
Şekil 3.14 : NX NASTRAN programındaki ön germe girilen kiriş elemanı özellikleri 39
Şekil 3.15 : NX NASTRAN programındaki ön germe girilen kiriş 39
Şekil 3.16 : SLP M27 öngermeli bulonların kolon başlığı ve alın levhası arasındaki yerleşimi 40
Şekil 3.17 : NASTRAN programındaki yükleme fonksiyonu..... 41
Şekil 4.1 : IPEA270 kirişinin (ST37) deformasyon dağılımı 45
Şekil 4.2 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı..... 45
Şekil 4.3 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı..... 47
Şekil 4.4 : IPEA270 kirişinin (ST52) deformasyon dağılımı 49
Şekil A.1 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) P1 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 57

Şekil A.2 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) P2 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 57
Şekil A.3 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) P3 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 58
Şekil A.4 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli P3 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 58
Şekil A.5 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli P4 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 59
Şekil A6 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli P5 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 59
Şekil A7 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli P6 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 60
Şekil A8 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli P7 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 60
Şekil A9 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli panel bölgesi takviyeli P7 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 61
Şekil A10 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) P1 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 61
Şekil A11 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) P2 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 62
Şekil A12 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) P3 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 62
Şekil A13 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P4 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 63
Şekil A14 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P5 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 63
Şekil A15 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P6 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 64
Şekil A16 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P7 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 64
Şekil A17 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P8 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 65
Şekil A18 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli panel bölgesi takviyeli P8 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı 65
Şekil A19 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli panel bölgesi takviyeli Pkopma yüklemesi bulon Von-Mises gerilme diyagramı 66
Şekil A20 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli panel bölgesi takviyeli Pkopma yüklemesi bulon Von-Mises gerilme diyagramı 66

BULONLU ÇELİK KOLON KİRİŞ BİRLEŞİM ANALİZİ

ÖZET

Northidge Depremi'nde ve diğer depremlerde meydana gelen maddi ve manevi kayıplar depreme dayanıklı yapı kavramının önemini ortaya çıkarmıştır. Depremlerde meydana gelen hasarların çoğunun detay hatalarından kaynaklandığı gözlenmiştir.

Depreme dayanıklı taşıyıcı sistem boyutlandırma yaklaşımı, büyük depremlerde çerçeve elemanlarda inelastik davranışa izin vermektedir. Deprem hareketinin enerjisi bu inelastik deformasyon ile harcanır. Elastik olmayan deformasyonun yeterli miktarda oluşabilmesi ve güvenli olarak gerçekleşebilmesi için birleşimin plastik teoriye göre tasarlanmış olması gereklidir.

Plastik teoriye göre hesap yapılırken malzemesi elastoplastik olan elemanlar, kapasitelerine göre boyutlandırılır. Plastik teoride; kesite yapılan yüklemelerin sürekli artırılması durumunda gerilme maksimum değere (akma sınır değerine) ulaştıktan sonra artış göstermez ancak deformasyonlar çok büyük değerlere ulaşabilir. Kesitin tüm lifleri ile akma sınır gerilmesine ulaştığı durumda kesit üzerinde meydana gelen momente plastik moment denir. Gerçekte yayılı olan plastikleşmiş kiriş bölgesi, teoride plastik momentin oluştuğu noktada meydana geldiği kabul edilir. Plastik moment oluştukan sonra yük aktarımına devam edilir ise; plastik momentin oluştuğu noktada plastik mafsal oluşur.

Plastik mafsalların; kirişlerin birleşim noktalarından belli mesafe uzaklıkta oluşması istenmektedir. Bunun amacı birleşimin yeterince rijit olmasını sağlıyarak yapılarda ani göçmelerin oluşmasını önlemektir. Plastik deformasyonların kolonlardan çok kirişlerde oluşmasını sağlanarak; kat mekanizması oluşması geciktirilir.

İkinci bölümde; FEMAP NX NASTRAN programında modellenen kesitlerin, plastik moment taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Modellenen birleşimin; birleşim elemanlarının tahkikleri plastik teoriye göre yapılmıştır.

Üçüncü bölümde; NX NASTRAN programında kurulan model tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde; Kiriş, kolon ve alın levhası malzeme kalitesi değiştirilerek oluşan birleşimlerin plastik dönme kapasiteleri araştırılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde çalışma boyunca yapılan analiz sonuçlarına ve bu sonuçlar doğrultusunda; malzeme seçimi hakkında tavsiyelere yer verilmiştir.

BOLDED STEEL BEAM COLUMN CONNECTION ANALYSYS

SUMMARY

Material and immaterial damages of Earthquakes especially Northridge Earthquake which is accepted as a milestone of Modern Steel Industry, were exposed the importance of Earthquake Resistant Building. It is observed that, the damage in earthquake hazards are mainly caused due to structural detail mistakes.

Earthquake Resistant Structural System Design Methodology allows inelastic behavior in large earthquakes. The energy of earthquake is absorbed with this inelastic deformation. In order to have an inelastic deformation being formed enough and being happen secure, steel connections should be designed as per plastic theory.

When making calculation according to the plastic theory, elements which have a nonelinear materials are designed as per their capacities. In plastic theory, in the events of load increasing in sections, tensions are not increasing after reaching maximum limits.(yield stress value) . However, deformations could be at maximum values. The calculated moment when the section is completely yielded is called plastic moment. Distributed plastical beam region in real, is accepted as being occured in a point of plastic moment. Whether loading continues after plastic moment is being occurred, plastic hinge will be happen in a point of plastic moment.

There should be a distance between plastic hinge and beam connections. The reason of that is providing rigid connections and preventing failures in structures. Plastic deformations are preferred to be formed at beams instead of columns to prevent story mechanism.

In Section two, Plastic Moment Bearing Capacities of sections which are modelled in FEMAP NX NASTRAN, are calculated. Connection detail analysis are done as per plastic theory.

In Section three, NX NASTRAN model is presented.

In Section four, by the help of changing material grades of beam, column and end plate; plastic rotation capacity are being examined.

In Section five, some result effected recommendations about end material selection and analysis results are presented.

1. GİRİŞ

19. yüzyılda yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanan dökme çelik, 20. yüzyılın sonlarında meydana gelen Northridge Depremi sonrasında modern yapı endüstrisinde yerini almıştır.

Northidge Depremi'nde, moment aktaran çerçeve sistem bulunan hiçbir binada yıkılma meydana gelmezken, ekonomik kayıplar oluşmuştur. Ölçülen yer sarsıntıları, standartlarda beklenenden az olmasına rağmen, hasarların meydana gelmesi; mühendisleri moment aktaran bu birleşimlerin üzerinde araştırma yapmaya yönlendirmiştir. Northidge öncesi kullanılan moment aktaran birleşimlerin; sünek bir yapıya sahip olmadıkları, beklenen plastik dönme miktarına ulaşamadıkları, yeterli lineer olmayan deformasyonu yapamadıkları görülmüştür.

Deprem hareketinin enerjisi bu elastik olmayan deformasyonlar ile harcanır. Kaliforniya yapı mühendisleri birliği, büyük deprem etkilerinde kolonlardan çok kirişlerde plastik mafsal oluşumunu tavsiye etmiştir. Bunun amacı kat mekanizması oluşumunu geciktirmektir. Birleşimde kullanılan kaynak ve bulonlar sünek olmadığından, boyutlandırmada, birleşim araçlarında herhangi bir plastikleşmeye izin verilmez.

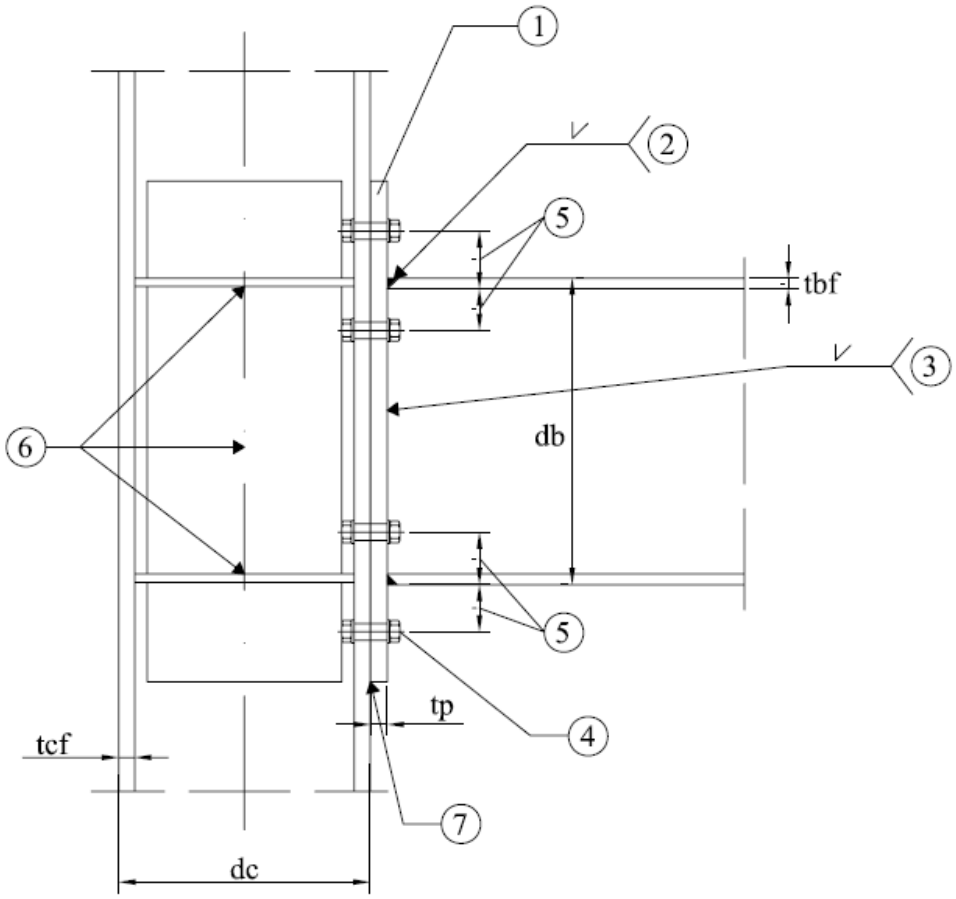
Northidge depremi sonrasında kolon- kiriş birleşimlerinde oluşmuş problemler için çok sayıda çözüm üretilmiştir. Günümüze kadar süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerin, kolon kiriş birleşimleri için geliştirilmiş kaynaklı, bulonlu birleşimlere ait bilgiler içeren rapor düzenlenmiştir (FEMA,2000). FEMA raporlarında yer alan bu araştırmalar tüm dünya mühendislerinin kullanımlarına sunulmuştur. Pek çok ülke standartlarını bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda yenilemiştir.

Moment aktaran çerçevelerde kiriş kolon birleşim detayları altı çeşit olarak verilmiştir (DBYBHY,2007).

1.1 Tezin Amacı

Ele alınan bu çalışmada; süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemler için geliştirilmiş, Şekil 1.1 ve Çizelge 1.1'de görülen (FEMA, 2000) ve Şekil 1.1 ve Tablo 1.2'de belirtilen (DBYBHY, 2007) birleşim detayı FEMAP NX NASTRAN programında modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile non-lineer analiz yapılmıştır. Alın levhalı bulonlu kolon kiriş birleşimi; Northidge Depremi sonrası geliştirilmiş olup, yapılan testler ile en az 0,03 radyan plastik dönme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (AISC,1995).

FEMAP NX NASTRAN modelinde; kiriş, kolon, alın levhası malzemeleri çeşitli kombinasyonlar ile değiştirilerek plastik dönme kapasiteleri araştırılmıştır.



Şekil 1.1 : Alın levhalı,bulonlu kolon-kiriş birleşimi (FEMA, 2000).

Şekil 1.1' de ifade edilen; bir numaralı poz; alın levhasını, iki numaralı poz; derin birleşim nüfuziyetli yarım küt kaynak dikişini göstermektedir. Bu kaynak dikişinin kalitesi kontrol edilmelidir. Köşe kaynağı üç numaralı poz ile ifade edilmiştir. Tam öngermeli 8,8 ve 10,9 kalitesindeki yüksek mukavemetli bulonlar dört pozu ile verilmiştir. Beş pozu bulon aralıklarını göstermektedir. Bu değer alın levhası boyutlandırılması sırasında belirlenir. Gerektiğinde birleşimde; altı pozunda gösterilmekte olan süreklilik ve kayma bölgesi takviyesi levhaları kullanılır. Gerekmesi durumunda yedi pozunda ifade edilen şim kullanılabilir (FEMA, 2000).

Çizelge 1.1: Minimum 0,03 radyan plastic dönme kapasitesi için alın levhalı bulonlu kiris-kolon birleşim detayının taşıması gereken özellikler (AISC, 1995)

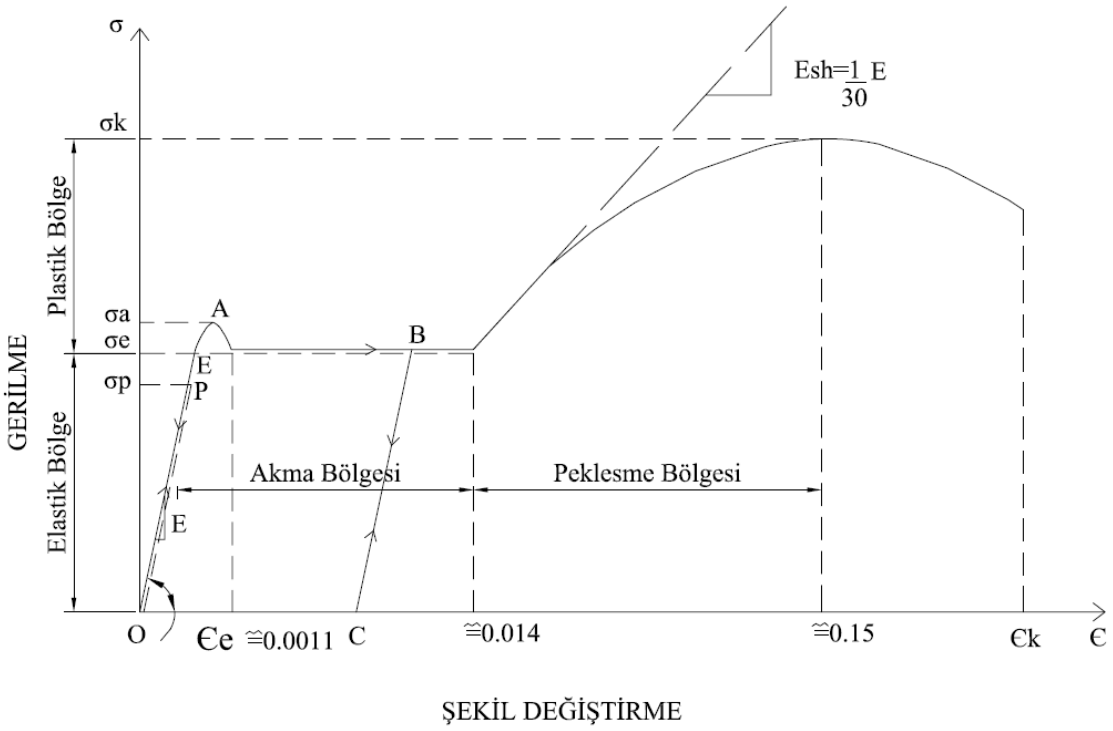
Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş ve kolon için izin verilen malzeme sınıfı	St52 (Fe52), eşdeğeri ve üzeri
Kiriş en kesit yüksekliği	≤750mm
Kiriş açıklığı/en kesit yükseklik oranı	≥7
Kiriş başlık kalınlığı	≤20mm
Kolon en kesit yüksekliği	≤600mm
Bulon sınıfı	8.8 veya 10.9
Bulon öngerme koşulları	Tam öngerme
Alın levhası malzeme sınıfı	St37 (Fe37)
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak
Plastik mafsalın kolon eksenine uzaklığı	$dc/2 + t_{PL} + db/3$

Çizelge 1.2: Alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşim detayının uygulanma sınırları (DBYBHY, 2007)

Birleşim Detayı Parametreleri	**Uygulama Sınırları**
Kiriş en kesit yüksekliği	≤750mm
Kiriş açıklığı/en kesit yükseklik oranı	≥7
Kiriş başlık kalınlığı	≤20mm
Kolon en kesit yüksekliği	≤600mm
Bulon sınıfı	8.8 veya 10.9
Bulon öngerme koşulları	Tam öngerme
Alın levhası malzeme sınıfı	St37 (Fe37)
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

1.2 Çelik Malzemenin Özellikler

Yapılarda, kullanılan çelik malzemenin kristal bir bünyesi vardır, izotrop ve homojendir. Çelik bir numuneye çekme deneyi uygulanırsa Şekil 1.2' de görülen gerilme deformasyon diyagramı elde edilir.



Şekil 1.2 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Numuneye sıfırdan başlıyarak yavaş yavaş artırılan bir F kuvveti uygulanır. Numunede oluşan gerilme değeri ($\sigma = F/A$) orantılı sınır gerilmesine (σ_P) ulaşıncaya kadar malzeme lineer-elastiktir ve Hook kanunu geçerlidir ($\varepsilon = \sigma/E$). Gerilme orantılı sınır gerilmesi (σ_p) ile elastik gerilme (σ_e) arasında kaldığı sürede malzeme Hook kanununa uymamasına ragmen elastiktir. Malzemede plastik deformasyonlar elastik gerilme (σ_e) değerinin aşılmasından sonra başlar. Akma sınırı gerilmesine (σ_a) gelindiğinde, malzeme çözülür, büyük deformasyonlar oluşur, fakat sonrasında malzeme kendini toparlar ve kopma, kopma sınır gerilmesine ulaşıldığında gerçekleşir. Plastik deformasyon oluşmaya başladıktan sonra malzemeye uygulanan kuvvet B noktasında sıfırlansa bile malzeme eski haline geri dönemez. Gerilme şekil değiştirme eğrisi OP doğrusuna paralel BC doğrusunu takip ederek deformasyon geri dönüşümünü tamamlar. Kuvvetin sıfırlandığı ana kadar oluşan plastic deformasyon malzemede kalırken, elastik deformasyon kaybolur.

Elastik deformasyonun oluşmasını sağlayan enerjiye elastik deformasyon enerjisi denir. Plastik deformasyonun oluşmasını sağlayan enerjiye ise histerik enerji denir. Elastik deformasyon enerjisi geri dönüşümü olan, histerik enerji ise geri dönüşümü olmayan yani harcanmış enerjidir.

Çelik malzemenin en önemli özelliği; sünekliği ve inelastik yükleme altında enerji yutma kapasitesidir. Depremler yapılara dış enerji uygular. Bu enerjinin karşılığı ise sistemde harcanan plastik enerji ile depolanan deformasyon enerjisi ve kinetik enerjidir **(1.1)**.

$$E_D = E_H + E_e + E_K \qquad \textbf{(1.2)}$$

Bu denklem de bulunan semboller aşağıda açıklanmıştır.

E_D: deprem enerjisi

E_K: kinetik enerji

E_e: elastik deformasyon enerjisi

E_H: harcanan plastik enerji

Bu durum çelik yapıların yüksek enerji yutma kapasitesinin, deprem etkisi altında yapının dinamik tepkisi olan kinetik ve elastik enerji birikimini azalttığını, yani yapıların deprem yükü etkisi altında dayanıklılığını artırdığını gösterir.

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 1.3: Yapı çeliği malzeme özellikleri (TS648, 1980).

Malzeme	Kopma Gerilmesi (kg/cm^2)	Akma Gerilmesi (kg/cm^2)
St37-2 (Fe37)	3700	2400
St44-2 (Fe44)	4400	2800
St52-2 (Fe52)	5200	3600

1.3 Hesap Yöntemleri

Emniyet gerilmeleri esasına göre çelik yapılar boyutlandırılırken, gerilmeler orantılı sınır gerilmelerinin altında kaldığından, malzemenin davranışı lineer elastiktir. Taşıyıcı sistemin hesabı da elastisite teorisine dayanan statik yöntemlerden biri ile yapılabilir. Kesitlerde oluşan gerilmenin emniyet gerilmesini aşmaması ve şekil değiştirmelerin belirlenmiş sınırlar içinde kalması sağlanıcak şekilde hesap yapılır.

Taşıma yükü esasına göre hesap yapılırken; taşıyıcı sistemi göçme durumuna götürücek olan yük saptanır. Bu yük bir güvenlik katsayısına bölünerek sistemin taşıyabileceği yük belirlenir. Bu yöntemde çeliğin plastik bölgede çalışabilmesinin, sistemin taşıyabileceği yüke katkısı vardır.

1.3.1 Emniyet gerilmeleri metodu

Emniyet gerilmeleri metoduna gore hesap yapılırken; malzemenin elastik sınır gerilmesi güvenlik kat sayısına bölünerek emniyet gerilmesi bulunur ve kesitlerin boyutlandırılmasında kullanılır.

Emniyet gerilmesi metodunda yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

- Malzeme lineer elastiktir.
- Yer değiştirmeler çok küçüktür.Birinci mertebe teorisi geçerlidir.
- Sistemin boyutları yükleme ile değişmez, tepki kuvvetleri çift yönlüdür.

Taşıyıcı sistem elastik hesap yönetmeliklerine göre ele alındığında, çeşitli yüklemeler altında, yapılan kontrollerde aşağıdaki durumlar gösterilmelidir.

- Elastik sınır gerilmesinin sistemin hiçbir noktasında aşılmadığı.
- Yorulma kırılmalarının oluşmadığı
- Birleşim dayanım sınırlarının aşılmadığı.
- Yerel ve tümsel kararsızlığın oluşmadığı.
- Şekil değiştirmelerin belli sınırlar içinde kaldığı.

1.3.2 Taşıma gücü metodu

Kapasiteye gore boyutlandırma yapılırken; şiddetli deprem etkisi göz önüne alınır. Şiddetli deprem etkisi altında sistemde inelastik davranış oluşması beklenir. Sistemde önemli kayıplar meydana gelmeden, büyük plastikleşmenin sağlanabileceği, plastik mafsal bölgeleri seçilir.Bu bölgelerde boyutlandırma ve detaylandırma yapılırken; plastikleşmenin oluşmasına engel olucak erken yük taşıma kapasitesi yük kayıpları (yerel, yanal, ve eğilmeli burkulma) önlenir. Plastikleşicek bölge dışında kalan kısımlar gerekenden daha büyük seçilerek, plastikleşicek bölge belirlenmiş olur. Plastikleşen bu bölge plastik mafsal olarak tanımlanır, geri dönüşümü olmayan dönmelerin meydana geldiği kısımdır. Plastikleşme momenti; kesitin plastik mafsal durumuna dönüşmesini sağlayan moment değeridir.

Plastik mafsalın oluşabileceği kısımlar aşağıda belirtilmiştir.

- Elemanların düğüm noktasına birleştiği ucları,
- Tekil yüklerin etkidiği kısımlar,
- Yayılı yük altında maksimum moment değerinin oluştuğu kısımlar.

Yapı sistemlerinde oluşabilicek olan plastik mafsal sayısı; sistemin hiperstatiklik derecesine bağlıdır. Oluşturulan her plastik mafsalda hiperstatiklik derecesi bir azalır. İzostatik sisteme dönüştürülene kadar mafsal eklendikten sonra, yeni bir mafsal oluşturulduğu taktirde, plastik mafsallar arasında kalan elemanlar ekstra yük gerekmeksizin hareket edebilirler. Taşıyıcı sistemlerin bu durumuna mekanizma denir.

Mekanizmalar bağımsız ve birleşik olmak üzere iki gruba ayrılır. Kiriş mekanizması ve çerçeve mekanizması bağımsız mekanizmalardır. Kiriş mekanizması, taşıyıcı sisteme ait doğrusal bir elemanda yeterli sayıda plastik mafsal oluşumu sonucu ortaya çıkar ve bölgesel çökmelere neden olur. Çerçeve mekanizması ise, çerçevede yeteri kadar plastik mafsal oluşumundan sonra, sistemin yanal deplasman yapması ile çökmesine neden olur.

Birleşik mekanizmalar; bağımsız mekanizmaların birleşimden meydana gelir. Birleşik mekanizmaları oluşturmaktaki neden; diş yüklerin işini mümkün olduğu kadar büyütmek, iç kuvvetlerin işini de mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Böylece en küçük plastic taşıma gücüne ulaşılır.

Plastik taşıma yükü analizinde yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir.

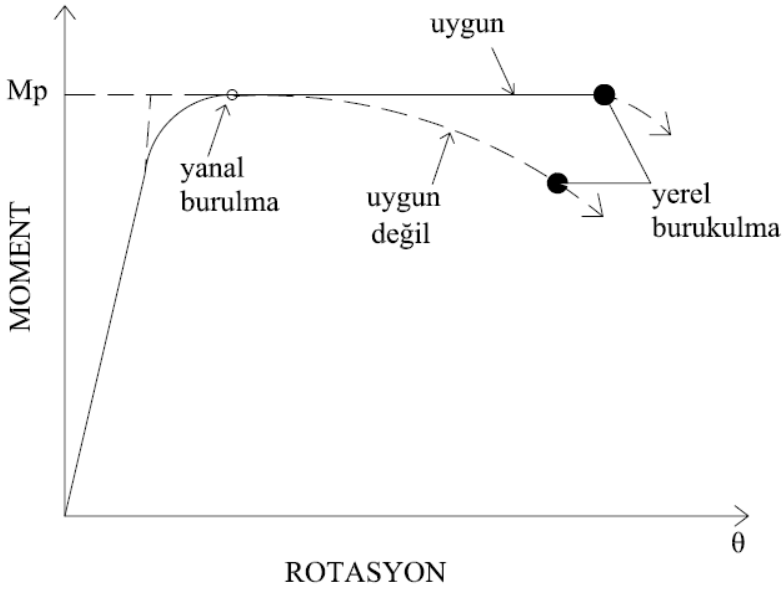
- Malzeme sünektir.
- Yükleme orantılıdır.
- Yer değiştirmeler küçük olduğundan, denge denklemlemleri şekil değiştirmemiş sistem üzerinden yazılır.
- Plastikleşme momenti hesaplanırken; normal kuvvet ve kesme kuvveti dikkate alınmaz.
- Plastik taşıma yüküne ulaşılmadan hiçbir kararsızlık durumu oluşmamalıdır.
- Taşıyıcı sistem ve yükler aynı düzlem içerisinde yer alır.
- Mevcut birleşimler plastikleşme momentini (M_p) aktarabilicek şekilde dizayn edilmelidir.

Plastik analiz yönteminin sağlaması gereken koşullar aşağıda belirtilmiştir.

- Mekanizma koşulu : Göçme yüküne bir mekanizma olduğunda ulaşılır.
- Denge koşulu : Statik denge sağlanmalıdır.
- Plastik moment koşulu : Taşıyıcı sistemde; kesitin plastik moment kapasitesi aşılmamalıdır.

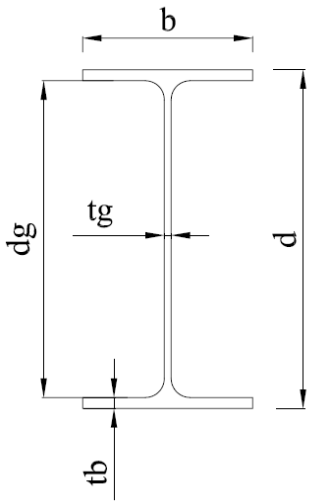
Plastik hesaba gore; kesitin taşıma gücüne kesit tamamen plastikleştiğinde ulaşılabilir. Herhangi bir kesitte meydana gelen plastikleşme, göçmeye neden olmaz aksine sistemin yük taşıma kapasitesini artırır (Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö., 2008).

Plastik teoriye gore hesap yapılırken; şiddetli deprem etkisinde kirişe ait moment rotasyon eğrisi Şekil 1.4' de göründüğü üzere; uzun bir plato oluşturabilmelidir. Kesikli çizgide görüldüğü gibi moment taşıma kapasitesinde düşüş gözlenmemelidir.



Şekil 1.3 : Çelik kirişin tipik moment- rotasyon ilişkisi

Çelik kirişlerde yük taşıma kapasitesi kaybı; kiriş başlıklarında, gövde levhasında meydana gelen yerel burkulma ve yanal burkulma nedeni ile oluşur.Yük taşıma kapasitesi kayıpları daha çok yerel burkulmalar nedeni ile meydana gelir. Eğilme deformasyonları esas alındığında, eğilme sünekliğini olabildiğince yüksek tutmak için kiriş en kesit oranları uygun seçilmelidir. Yerel burkulmalar yük taşıma kapasitesi kayıplarında birince derece rol oynadıklarından, Şekil 1.5' de görünen en kesit oranları öyle olmalıdır ki; local (yerel) burkulma büyük en kesit değerlerinde oluşsun. Uygun bir süneklik seviyesine ulaşılabilmesi için b / t_b oranı St 37 çeliği için 17, St 52 çeliği için 14'ten küçük olmalıdır. d_g / t_g oranı ise St37 çeliği için 44'den, St 52 çeliği için 36'dan küçük olmalıdır (TS 4561, 1985).

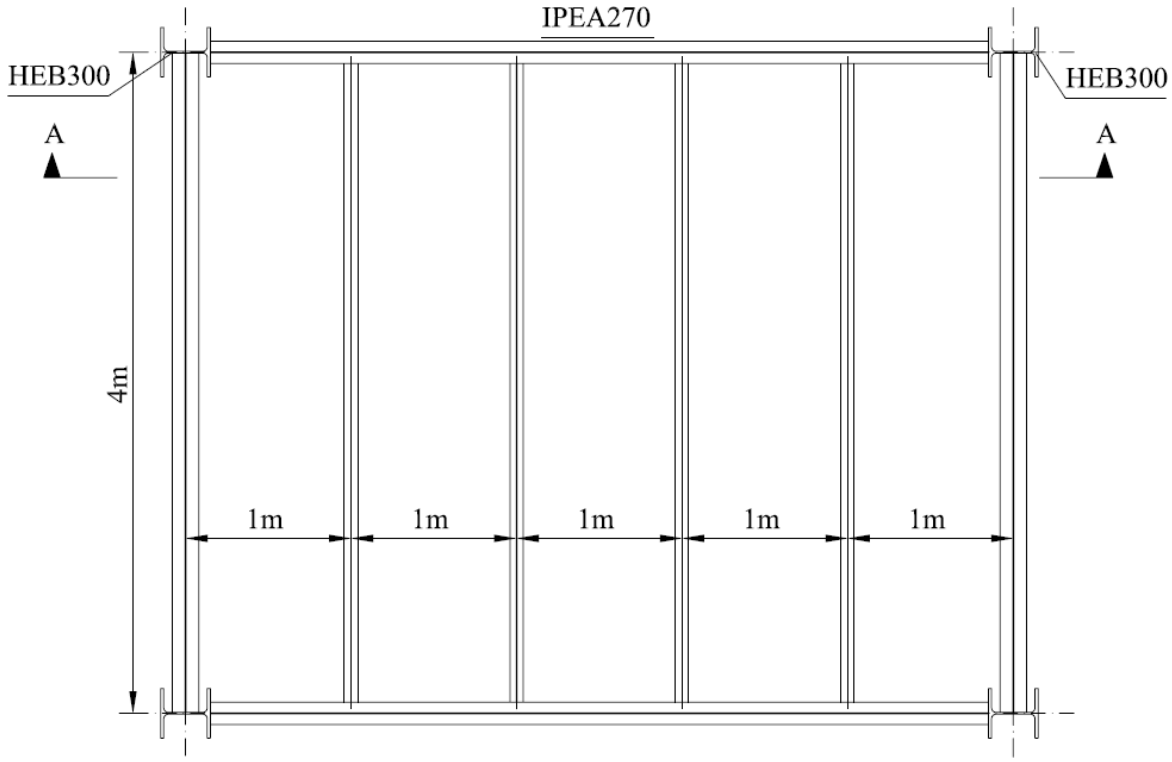


Şekil 1.4 : Kiriş kesit değerleri.

Kolon kiriş birleşiminin görevi; birleştiği kirişte plastik deformasyon oluşurken, yük taşıma kapasitesini sürdürmesidir. Bu amaçla deprem standartları birleşimin yük taşıma kapasitesinin kirişinkinden daha büyük olmasını öngörür. Birleşimlerde kullanıllan kaynak ve bulonlar sünek olmadığından, boyutlandırmada birleşim araçlarından herhangi birinde plastikleşmeye izin verilmez. Birleşimler yeterli sünekliğe ve plastik şekil değiştirme özelliğine sahip olmalıdır (Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö., 2008).

2. MOMENT AKTARAN BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMİ PLASTİK HESABI

Kiriş kolon birleşimine gelen yükü belirlemek amacı ile; Şekil 2.1'de görüldüğü gibi aks açıklıkları 5 m ye 4m olan örnek bir kat planı oluşturulmuştur. Sistemde kiriş kesitleri IPEA270, kolon kesitleri ise HEB300 olarak seçilmiştir.

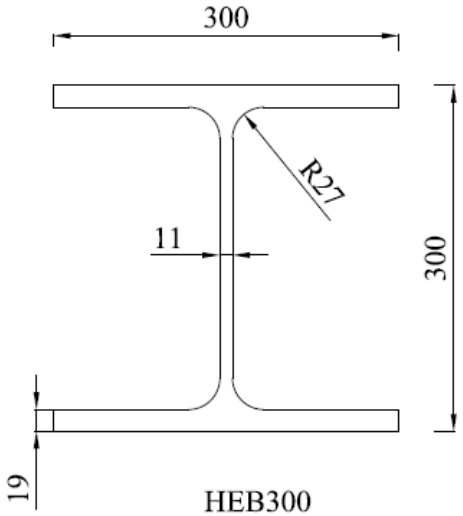


Şekil 2.1 : Yük hesabında referans alınan kat planı.

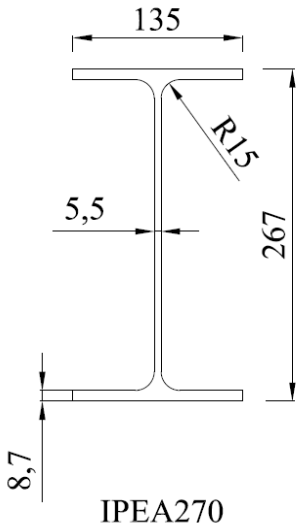
Çizelge 2.1: Yük analizi.

Yük Cinsi	Yük Değeri (kg/cm^2)
Hareketli Yük	250
Ölü Yük	300
∑	550

IPEA 270 kirişine gelen çizgisel yük değeri kendi ağırlığı (Sw) da dikkate alınarak hesaplandığında; 1.131 t/m değeri elde edilmiştir.



a)



b)

Şekil 2.2 : Kolon, kiriş elemanlarının kesit özellikleri.

Plastik mafsalın yeri hesaplanırken; alın levhası kalınlığı henüz belli olmadığından aşağıda belirtilen; **Denk.(2.1a)** yerine **Denk.(2.1b)** kullanılmış ve 27.48cm sonuç elde edilmiştir.

$$S_h = d_c/2 + d_b/3 + t_f \qquad \textbf{(2.3a)}$$

$$S_h = d_c/2 + d_b'/2 \qquad \textbf{(2.1b)}$$

Bu denklemler de bulunan semboller aşağıda açıklanmıştır.

S_h: kolon aksından plastik mafsal noktasına olan mesafe

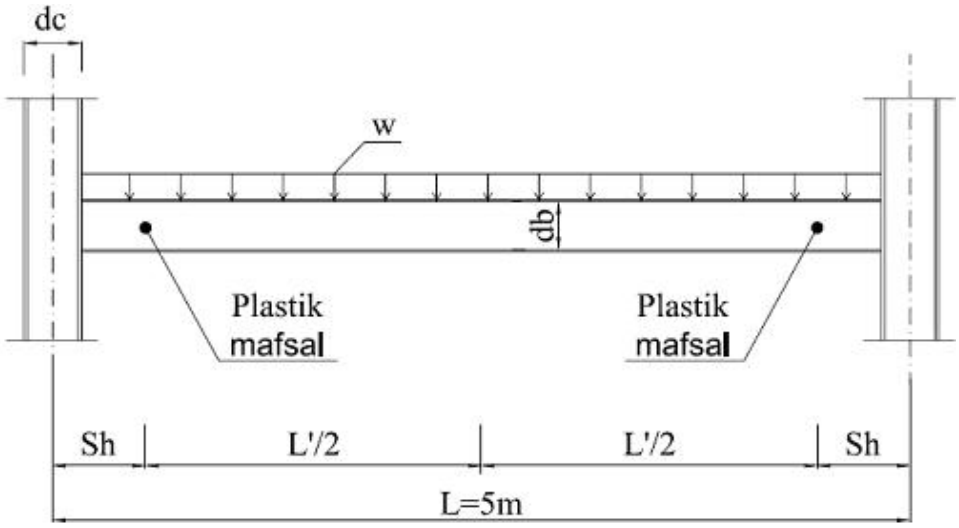
d_c: kolon yüksekliği

d_b: kiriş yüksekliği

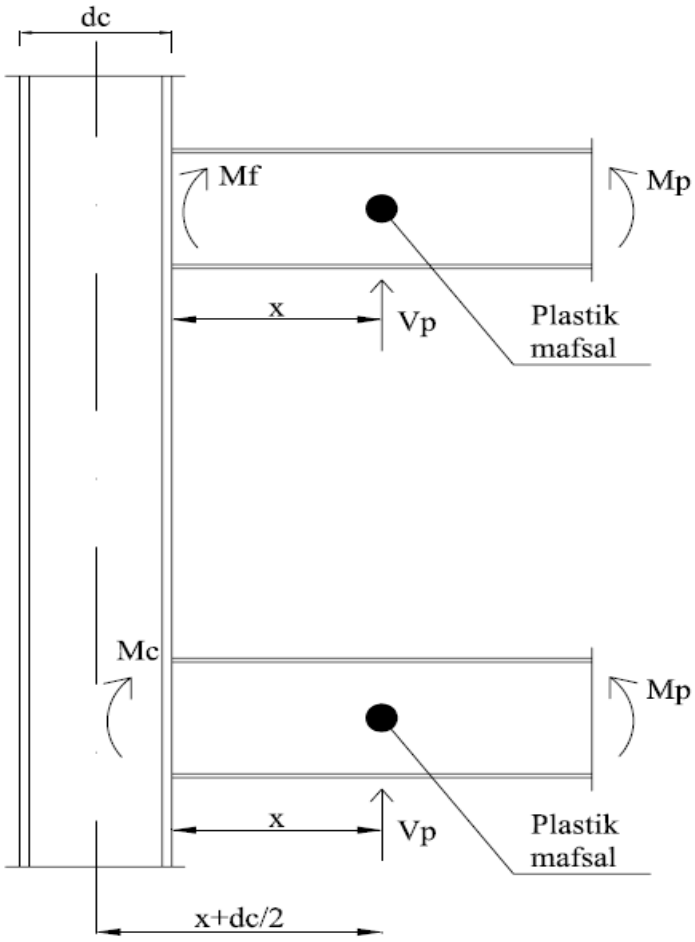
d_b': kiriş gövde yüksekliği

t_f: alın levhası kalınlığı

Plaka kalınlığının 2 olduğu varsayımında; ise **Denk.(2.1b)** kullanılmış ve 25.9 cm sonuç elde edilmiştir.



Şekil 2.3 : Plastik mafsalların sistemde oluşması beklenen yerleri.



Şekil 2.4 : Plastik momentlerin ve plastik kesme kuvvetinin gösterilişi.

Şekil 2.4' de gösterilen plastik kesme kuvveti; **Denk.(2.2)** ile hesaplanmıştır.

$$Vp = \frac{\left(M_{pr} + M_{pr}\right) + P * \frac{L'}{2} + \frac{w.(L')^2}{2}}{L'} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Bu denklemler de bulunan semboller aşağıda açıklanmıştır.

V_P: plastik kesme kuvveti

M_{pr}: kiriş kesiti plastik moment kapasitesi

P: noktasal yük

L': plastik mafsal noktaları arası mesafe

w: çizgisel yük

Kirişin plastik moment kapasitesi; **Denk.(2.3)** ile hesaplanmıştır.

$$M_{pr}=1,1*D_a*w_{xp}*\sigma_a \quad \textbf{(2.3)}$$

Bu denklemler de bulunan semboller aşağıda açıklanmıştır.

D_a: arttırma katsayıları

W_{xp}: kiriş mukavemet momenti

σ_a: akma gerilmesi

Çizelge 2.2 : D_a arttırma katsayılar (DBYBHY, 2007).

Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü	D_a
Fe 37 çeliğinden imal edilen hadde profilleri	1,2
Diğer yapı çeliklerinden imal edilen hadde profilleri	1,1
Tüm yapı çeliklerinden imal edilen levhalar	1,1

Kolon başlık yüzeyindeki moment; **Denk.(2.4)** ile hesaplanmıştır.

$$M_f=M_{pr}+V_P*x \quad \textbf{(2.4)}$$

Kolon ağırlık ekseni üzerindeki moment**; Denk.(2.5)** ile hesaplanmıştır.

$$M_c=M_{pr}+V_P(x+d_c/2) \quad \textbf{(2.5)}$$

2. 1 Kiriş Kolon Malzemesinin St37 (Fe37) Olması Durumu

İlk olarak; IPEA270 kesitinin plastik moment kapasitesi hesaplanır. St37 (Fe37) malzemesinin akma gerilmesi; 2,4 t/cm^2'dir. IPEA270 kesitinin mukavemet momenti; 412,5 cm^3'dür. Da St37 (Fe37) malzemesi için 1,2 'dir (DBYBHY, 2007).

Çizelge 2.3: IPEA270 kiriş kesiti plastik moment hesabı.

Denklem	$M_{pr}=1,1*D_a*w_{xp}*\sigma_a$
Hesaplama	$M_{pr}=1,1*1,2*412,5*2,4=1306,8$tcm

Çizelge 2.4: IPEA270 kiriş kesiti plastik kesme kuvveti hesabı.

Denklem	$Vp = \frac{\left(M_{pr} + M_{pr}\right) + P * \frac{L'}{2} + \frac{w.(L')^2}{2}}{L'}$
Hesaplama	$Vp = \frac{\left(1306,80 + 1306,80\right) + \frac{0,01131*(222,52')^2}{2}}{445,04} = 6,50t$

Çizelge 2.5: Kolon başlığında oluşan moment hesabı.

Denklem	$M_f = M_{pr} + V_P * x$
Hesaplama	$M_f = 1306,8 + 6,50*12,48 = 1387,92tcm$

Çizelge 2.6: Kolon başlığında oluşan moment hesabı.

Denklem	$M_c = M_{pr} + V_P(x + d_c/2)$
Hesaplama	$M_c = 1306,80 + 6,50(12,48 + 15/2) = 1485,42tcm$

Bulonlara gelen çekme kuvveti**; Denk.(2.6)** ile hesaplanmıştır.

$$M_f < 2Tub(d_0 + d_1) \quad \textbf{(2.6)}$$

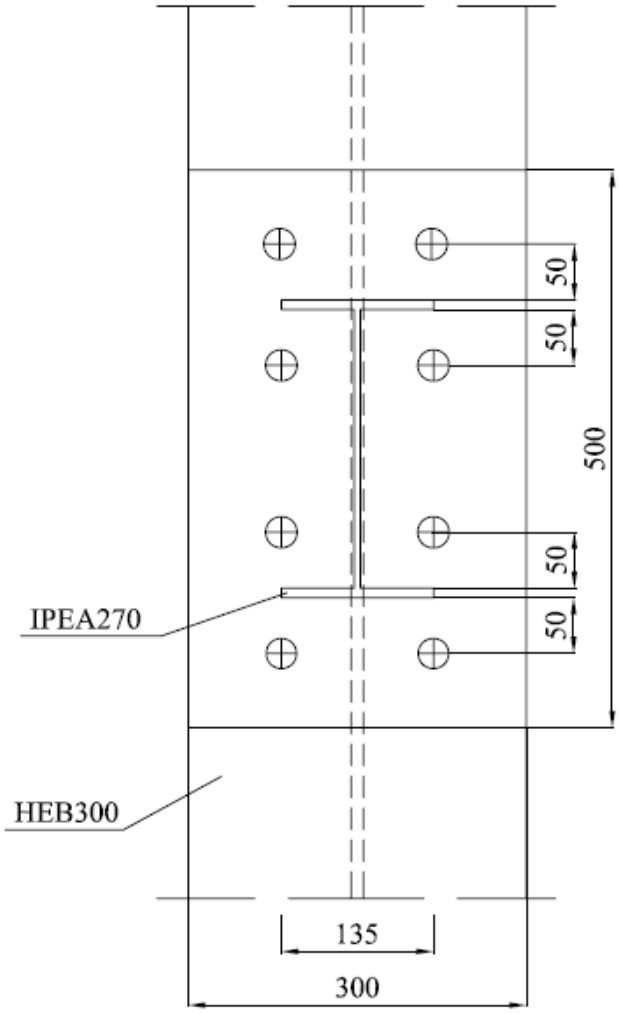
Tub; bir bulonun diş dibi enkesiti ile taşıyabilceği maksimum çekme kuvvetidir ve **Denk.(2.7)** ile hesaplanır. Şekil 2.5'de d_0 ve $d_1$değerleri gösterilmektedir.

$$Tub = \sigma_{em} * A_S \quad \textbf{(2.7)}$$

σ_{em}: emniyet gerilmesi

A_s: gerilme enkesitleri

Emniyet gerilmesi değeri (σ_{em}) 3.6 t/cm^2 olarak alınmıştır. Şekil 2.5'den yararlanılarak; d_1 değeri 21,265cm, d_0 değeri ie 31,265cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.5 :Önergermeli SLP bulonlarının birleşimdeki yerleşimi.

Çizelge 2.7: Bulonlara gelen çekme kuvveti hesabı.

Denklem	$M_f < 2Tub(d_0+d_1)$
Hesaplama	1387,92< 2*Tub*(21,265+31,265) 13.21t < Tub

Birleşimde 10,9 kalitesinde öngermeli SLP bulonları kullanılıcaktır. M27'lik bir bulonun çekme kapasitesi 16,25t olarak hesaplanmıştır. Birleşim için sekiz adet M27 öngermeli SLP bulonu seçilmiştir. A_b bulon en kesiti tararfından **Denk.(2.8)** sağlandığında seçilen bulon uygundur ve kesme nedeni ile yük taşıma kapasitesi kaybı söz konusu değildir.

$$A_b \geq \frac{\frac{2*M_f}{L-d_c}+Vg}{n*\tau_{em}} \qquad \textbf{(2.8)}$$

A_b : bulon gövde en kesit alanı

L: kolon geometrik eksenleri arasındaki mesafe

V_g: kolon başlık yüzeyinde gravistasyonel yüklerden oluşan kesme kuvveti

dc: kolon kesit yüksekliği

τ_{em} :bulona ait kayma emniyet gerilmesi

n :birleşimdeki bulon sayısı

10,9 kalitesinde öngermeli bulonların kayma emniyet gerilmesi 2.4 t/ cm^2'dir.

Çizelge 2.8: Bulonlarda kesme kuvveti nedeni ile yük taşıma kaybı kontrolü.

Denklem	$A_b \geq \frac{\frac{2*M_f}{L-d_c}+Vg}{n*\tau_{em}}$
Hesaplama	$A_b \geq \frac{\frac{2*1387,92}{500-30}+2,83}{8*2,4}$ $5,75\ cm^2 \geq 0,46\ cm^2$

Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanıcak minimum kolon başlık kalınlığı (t_{cf})**;** **Denk.(2.9)** ile hesaplanmıştır.

$$t_{cf} = \sqrt{\frac{\frac{M_f}{d_b - t_{bf}}*c_1}{2 * \sigma_{ac} * c}} \qquad \textbf{(2.9)}$$

$c_1 = g/2 - k_1$

σ_{ac}: kolonun akma gerilmesi sınırı

d_b: kiriş yüksekliği

t_{bf}: kiriş başlık et kalınlığı

g :yatay iki bulon arasındaki mesafe

k_1: kolon kesiti; boyun bölgesi yarı çapı ile gövde kalınlığının yarısı toplamıdır. Ağırlık merkezinden boyun eğriliğinin son bulduğu noktaya olan yatay mesafedir.

c: başlık iç ve dışlarında kalan 2 bulon arası düşey mesafedir.

Çizelge 2.9: Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanıcak minimum kolon başlık kalınlığı hesabı.

Denklem	$t_{cf} = \sqrt{\frac{M_f}{d_b - t_{bf}} * c_1}{2 * \sigma_{ac} * c}$ $c_1 = g/2 - k_1$
Hesaplama	$t_{cf} = \sqrt{\frac{1387,92}{26,7 - 0,87} * 3,5}{2 * 2,4 * 10,87} = 1,89$ cm

1.9 cm olan kolon başlık kalınlığı yeterli bulunmuştur.

2.1.1 Alın levhası malzemesinin St37 (Fe37) olması durumu

Alın levhasında eğilmeden kaynaklanan akmaları önlemek için, gerekli tp minimum alın levhası kalınlığı **Denk.(2.10)** ile hesaplanmıştır.

$$t_p = \sqrt{\frac{M_f}{0,8 * \sigma_{ap}\left[\left(d_b - p_f\right) * \left[\frac{b_p}{2} * \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s}\right) + \left(p_f + s\right) * \frac{2}{g}\right] + \frac{b_p}{2} * \left(\frac{d_b}{p_f} + \frac{1}{2}\right)\right]}} \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$s = \sqrt{b_p * g}$$

M_f : kolon flanş hizasındaki moment

σ_{ap}: alın levhası akma sınır gerilmesi

g : bulon sıraları arasındaki yatay mesafe

p_f : kiriş flanş yuzeyinden bulona olan duşey mesafe

Çizelge 2.10: Eğilmeye bağlı alın levhası kalınlığı hesabı.

Denklem	$t_p = \sqrt{\dfrac{M_f}{0,8*\sigma_{ap}\left[\left(d_b - p_f\right)*\left[\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{1}{p_f}+\dfrac{1}{s}\right)+\left(p_f+s\right)*\dfrac{2}{g}\right]+\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{d_b}{p_f}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$ $s = \sqrt{b_p * g}$
	$s = \sqrt{b_p * g} = \sqrt{30*13,5} = 20,125\text{cm}$
Hesaplama	$t_p = \sqrt{\dfrac{1387,92}{0,8*2,4\left[\left(26,7-5\right)*\left[\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{1}{5}+\dfrac{1}{20,13}\right)+\left(5+20.13\right)*\dfrac{2}{13,5}\right]+\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{26,7}{5}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$
	$t_p = \sqrt{\dfrac{1387,92}{199,71*2,4}} = 1,70\text{cm}$

Alın levhasında kaymadan dolayı akma oluşmaması için, gerekli minimum tp değeri **Denk.(2.11)** denklem ile hesaplanır.

$$t_p = \frac{M_f}{1.1*\sigma_{ap}*b_p*\left(d_b - t_{bf}\right)} \qquad \textbf{(2.11)}$$

M_f : kolon flanş hizasındaki moment

σ_{ap}: alın levhası akma sınır gerilmesi

bp: alın levhası genişliği

Çizelge 2.11: Kaymaya bağlı levhası kalınlığı hesabı.

Denklem	$t_p = \dfrac{M_f}{1.1*\sigma_{ap}*b_p*\left(d_b - t_{bf}\right)}$
Hesaplama	$t_p = \dfrac{1387,93}{1,1*2,4*30*\left(26,7-0,87\right)} = 0,68\text{cm}$

Alın levhası et kalınlığı 2cm olarak seçilmiştir.

2.2 Kiriş Kolon Malzemesinin St52 (Fe52) Olması Durumu

İlk olarak; IPEA270 kesitinin plastik moment kapasitesi hesaplanır. St52 (Fe52) malzemesinin akma gerilmesi; 3,6 t/cm^{2}'dir. IPEA270 kesitinin mukavemet momenti; 412,5 cm^{3}'dür. Da St52 (Fe52) malzemesi için 1,1 'dir (DBYBHY, 2007).

Çizelge 2.12: IPEA270 kiriş kesiti plastik moment hesabı.

Denklem	$M_{pr}=1,1*D_a*w_{xp}*\sigma_a$
Hesaplama	$M_{pr}=1,1*1,1*412,5*3,6=1796,85tcm$

Çizelge 2.13: IPEA270 kiriş kesiti plastik kesme kuvveti hesabı.

Denklem	$Vp=\dfrac{\left(M_{pr}+M_{pr}\right)+P*\dfrac{L'}{2}+\dfrac{w.(L')^2}{2}}{L'}$
Hesaplama	$Vp=\dfrac{(1796,85+1796,85)+\dfrac{0,01131*(222,52')^2}{2}}{445,04}=8,70t$

Çizelge 2.14: Kolon başlığında oluşan moment hesabı.

Denklem	$M_f=M_{pr}+V_P*x$
Hesaplama	$M_f=1796,85+8,70*12,48=1905,43tcm$

Çizelge 2.15: Kolon başlığında oluşan moment hesabı.

Denklem	$M_c=M_{pr}+V_P(x+d_c/2)$
Hesaplama	$M_c=1796,85+8,70(12,48+15/2)=2035,93tcm$

Bulonlara gelen çekme kuvveti**; Denk.(2.6)** ile hesaplanmıştır.

Çizelge 2.16: Bulonlara gelen çekme kuvveti hesabı.

Denklem	$M_f < 2Tub(d_0+d_1)$
Hesaplama	$1905,43 < 2*Tub*(21,265+31,265)$ $18.14t < Tub$

Birleşimde 10,9 kalitesinde öngermeli SLP bulonları kullanılıcaktır. M30'luk bir bulonun çekme kapasitesi 20,20t olarak hesaplanmıştır. Birleşim için sekiz adet M30 öngermeli SLP bulonu seçilmiştir.

Çizelge 2.17: Bulonlarda kesme kuvveti nedeni ile yük taşıma kaybı kontrolü.

Denklem	$A_b \geq \frac{\frac{2*M_f}{L-d_c}+Vg}{n*\tau_{em}}$
Hesaplama	$A_b \geq \frac{\frac{2*1905,43}{500-30}+2,83}{8*2,4}$ $7,07\ cm^2 \geq 0,57\ cm^2$

Çizelge 2.18: Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanıcak minimum kolon başlık kalınlığı hesabı .

Denklem	$t_{cf} = \sqrt{\frac{\frac{M_f}{d_b - t_{bf}}*c_1}{2 * \sigma_{ac} * c}}$ $c_1 = g/2 - k_1$
Hesaplama	$t_{cf} = \sqrt{\frac{\frac{1905,43}{26,7 - 0,87}*3,5}{2 * 3,6 * 10,87}} = 1,82\ cm$

1.9 cm olan kolon başlık kalınlığı yeterli bulunmuştur.

2.2.1 Alın levhası malzemesinin St52 (Fe52) olması durumu

Çizelge 2.19: Eğilmeye bağlı alın levhası kalınlığı hesabı .

Denklem	$t_p = \sqrt{\dfrac{M_f}{0,8*\sigma_{ap}\left[\left(d_b - p_f\right)*\left[\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{1}{p_f}+\dfrac{1}{s}\right)+\left(p_f+s\right)*\dfrac{2}{g}\right]+\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{d_b}{p_f}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$ $s = \sqrt{b_p * g}$
	$s = \sqrt{b_p * g} = \sqrt{30*13,5} = 20,125\text{cm}$
Hesaplama	$t_p = \sqrt{\dfrac{1905,43}{0,8*3,6\left[\left(26,7-5\right)*\left[\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{1}{5}+\dfrac{1}{20,13}\right)+\left(5+20.13\right)*\dfrac{2}{13,5}\right]+\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{26,7}{5}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$ $t_p = \sqrt{\dfrac{1905,43}{199,71*3,6}} = 1,63\text{cm}$

Çizelge 2.20: Kaymaya bağlı levhası kalınlığı hesabı.

Denklem	$t_p = \dfrac{M_f}{1.1*\sigma_{ap}*b_p*\left(d_b - t_{bf}\right)}$
Hesaplama	$t_p = \dfrac{1905,43}{1,1*3,6*30*\left(26,7-0,87\right)} = 0,62\text{cm}$

Alın levhası et kalınlığı 2cm olarak seçilmiştir.

2.2.2 Alın levhası malzemesinin St44 (Fe44) olması durumu

Çizelge 2.21: Eğilmeye bağlı alın levhası kalınlığı hesabı .

Denklem	$t_p = \sqrt{\frac{M_f}{0,8*\sigma_{ap}\left[\left(d_b - p_f\right)*\left[\frac{b_p}{2}*\left(\frac{1}{p_f}+\frac{1}{s}\right)+\left(p_f+s\right)*\frac{2}{g}\right]+\frac{b_p}{2}*\left(\frac{d_b}{p_f}+\frac{1}{2}\right)\right]}}$ $s = \sqrt{b_p * g}$
	$s = \sqrt{b_p * g} = \sqrt{30*13,5} = 20,125\text{cm}$
Hesaplama	$t_p = \sqrt{\frac{1905,43}{0,8*2,8\left[\left(26,7-5\right)*\left[\frac{30}{2}*\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{20,13}\right)+\left(5+20.13\right)*\frac{2}{13,5}\right]+\frac{30}{2}*\left(\frac{26,7}{5}+\frac{1}{2}\right)\right]}}$
	$t_p = \sqrt{\frac{1905,43}{199,71*2,8}} = 1,85\text{cm}$

Çizelge 2.22: Kaymaya bağlı levhası kalınlığı hesabı .

Denklem	$t_p = \frac{M_f}{1.1*\sigma_{ap}*b_p*\left(d_b - t_{bf}\right)}$
Hesaplama	$t_p = \frac{1905,43}{1,1*2,8*30*\left(26,7-0,87\right)} = 0,80\text{cm}$

Alın levhası et kalınlığı 2cm olarak seçilmiştir.

2.2.3 Alın levhası malzemesinin St37 (Fe37) olması durumu

Çizelge 2.23: Eğilmeye bağlı alın levhası kalınlığı hesabı .

Denklem	$t_p = \sqrt{\dfrac{M_f}{0,8*\sigma_{ap}\left[\left(d_b - p_f\right)*\left[\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{1}{p_f}+\dfrac{1}{s}\right)+\left(p_f+s\right)*\dfrac{2}{g}\right]+\dfrac{b_p}{2}*\left(\dfrac{d_b}{p_f}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$ $s = \sqrt{b_p * g}$
	$s = \sqrt{b_p * g} = \sqrt{30*13,5} = 20,125\text{cm}$
Hesaplama	$t_p = \sqrt{\dfrac{1905,43}{0,8*2,4\left[\left(26,7-5\right)*\left[\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{1}{5}+\dfrac{1}{20,13}\right)+\left(5+20.13\right)*\dfrac{2}{13,5}\right]+\dfrac{30}{2}*\left(\dfrac{26,7}{5}+\dfrac{1}{2}\right)\right]}}$ $t_p = \sqrt{\dfrac{1905,43}{199,71*2,4}} = 1,99\text{cm}$

Çizelge 2.24: Kaymaya bağlı levhası kalınlığı hesabı .

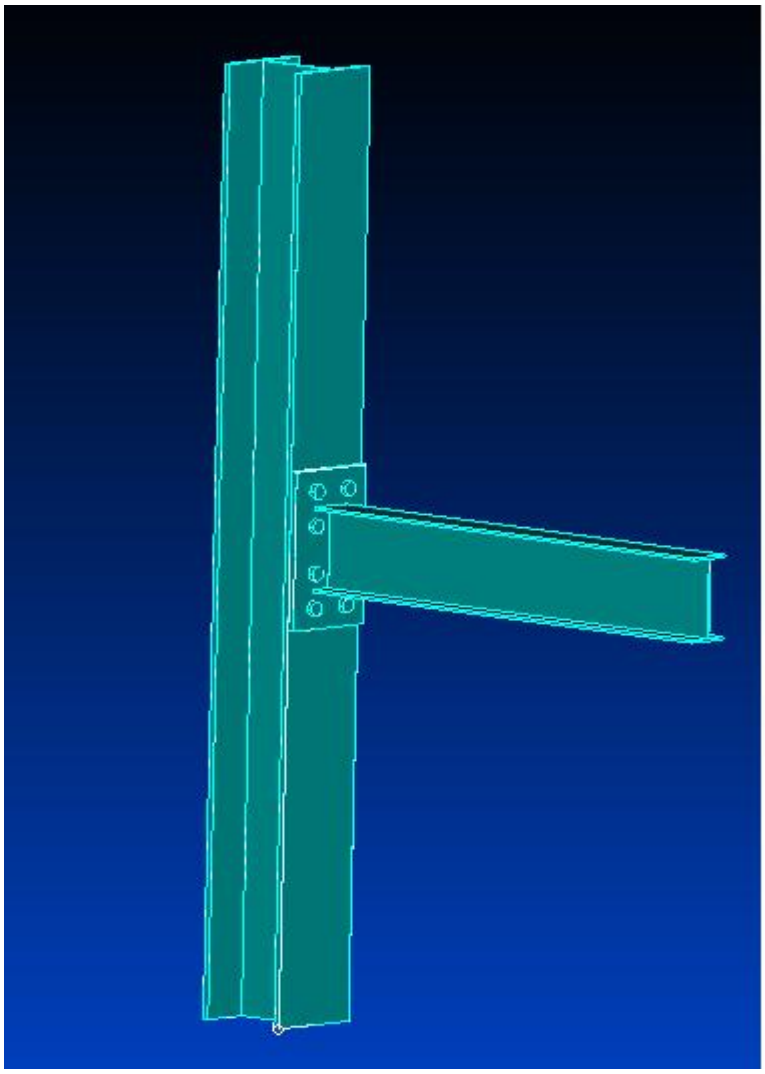
Denklem	$t_p = \dfrac{M_f}{1.1*\sigma_{ap}*b_p*\left(d_b - t_{bf}\right)}$
Hesaplama	$t_p = \dfrac{1905,43}{1,1*2,4*30*\left(26,7-0,87\right)} = 0,93\text{cm}$

Alın levhası et kalınlığı 2cm olarak seçilmiştir.

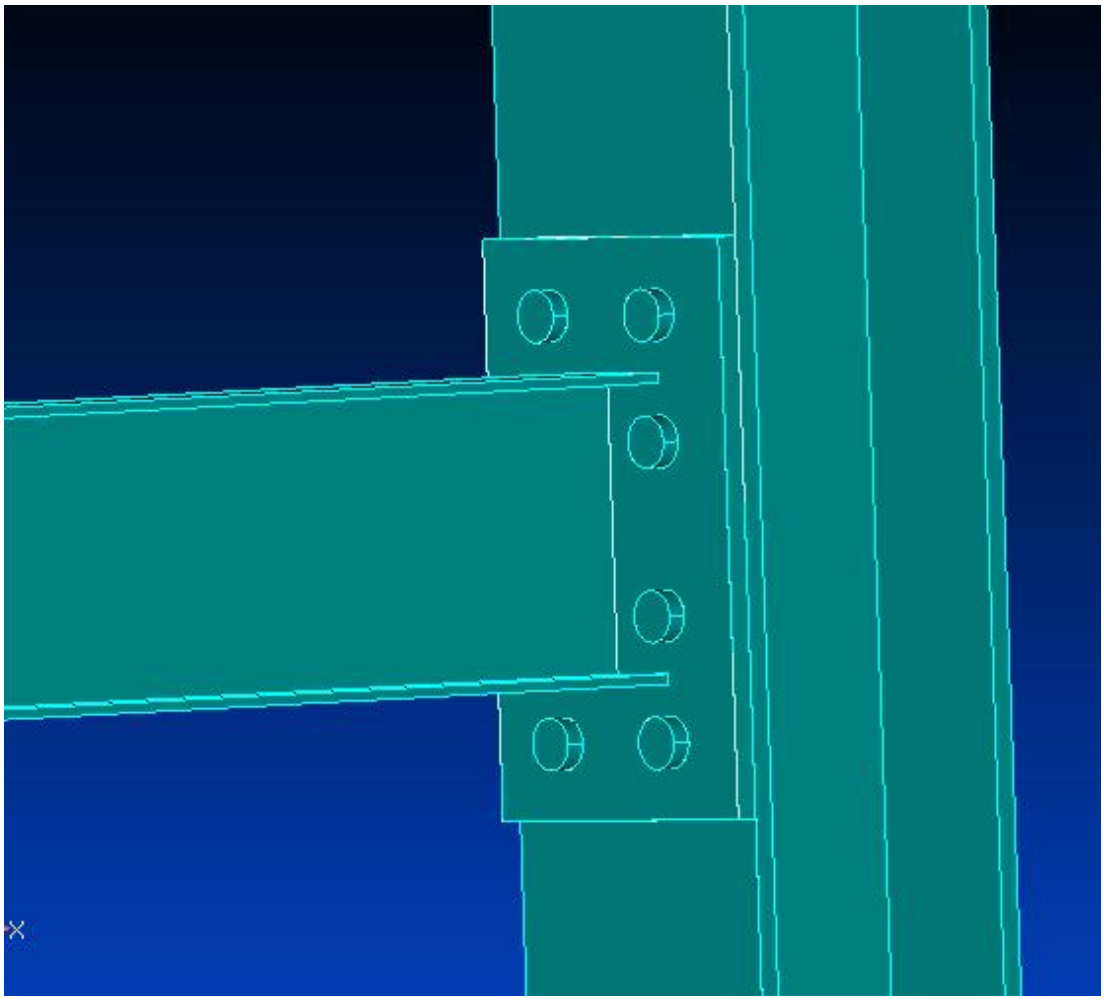
3. FEMAP NX NASTRAN PROGRAMINDA KURULAN MODEL HAKKINDA AÇIKLAMALAR

Sonlu elemanlar yöntemine gore çalışan FEMAP NX NASTRAN programında, hazırlarlanan bulonlu kiriş kolon birleşimi bu bölümde tanıtılacaktır. Modelin geometrik özelliklerine ve yapılış aşamalarına değinilmiştir.

Kurulan model ana hatları ile Şekil 3.1, Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Kat yüksekliğinin 3m olduğu bir sistemde, ardışık iki katın orta noktalarından kesildiği varsayılarak model oluşturulmuştur. Konsol boyu 1,5m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 : NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi



Şekil 3.2 : NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi.

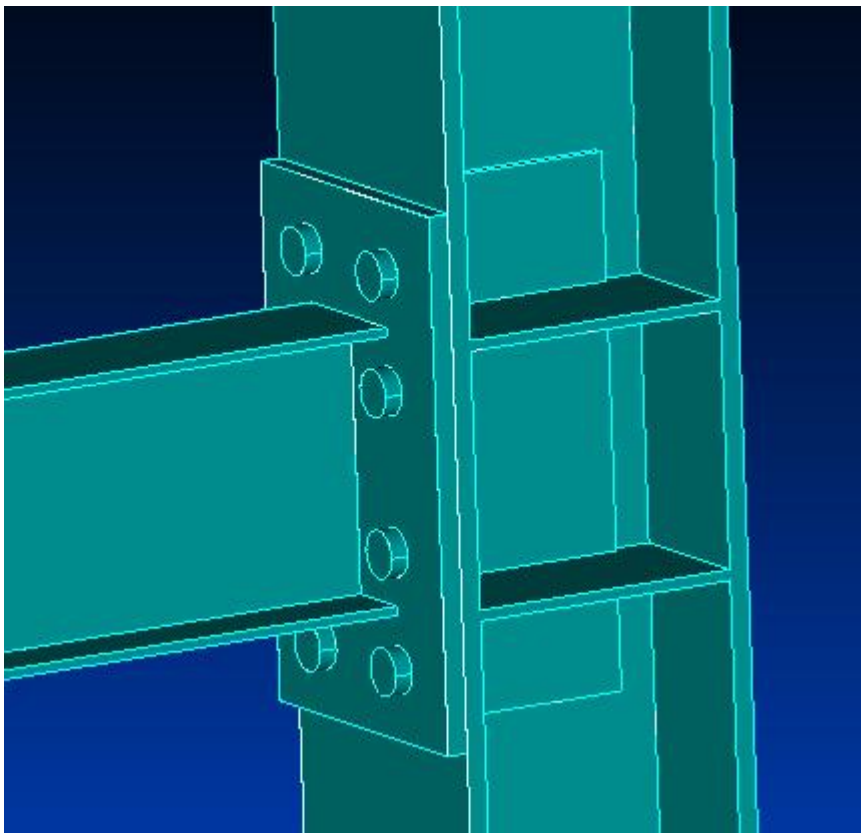
Yapılan modellemede; malzeme özellikleri tanımlanarak; kiriş, kolon, alın levhası geometrileri oluşturuldu. Kolon başlığına ve alın levhasına bulon delikleri açıldı. Bulon gövdesi, bulon başlığı ve somun elemanları modellendi. Yapılan modellemede solid elemanlar kullanıldı. Bulonların kolon başlığı ve alın levhasına, alın levhasının ise kolon başlığına bağlantısında sadece basınç ve çekme alabilen elemanlar tanımlandı. Kolon ve kiriş uçları moment aktarabilecek şekilde mesnetlendirildi. Kiriş üzerine yükleme yapıldıktan sonra model analiz edildi. Modellemede plak elemanlar yerine solid elemanların tercih edilmesi ile üç eksen doğrultusunda da gerilme şekil değiştirme değerleri okunabilmiştir.

Kiriş elemanı IPEA270, kolon elemanı ise HEB300 referans alarak modellenmiştir, ancak boyun bölgesi ovalliği ihmal edilmiştir. Malzeme özellikleri dikkate alındığında iki farklı model tanımlanmıştır;

- kiriş, kolon, alın levhası malzeme özelliği St37 ‘dir.

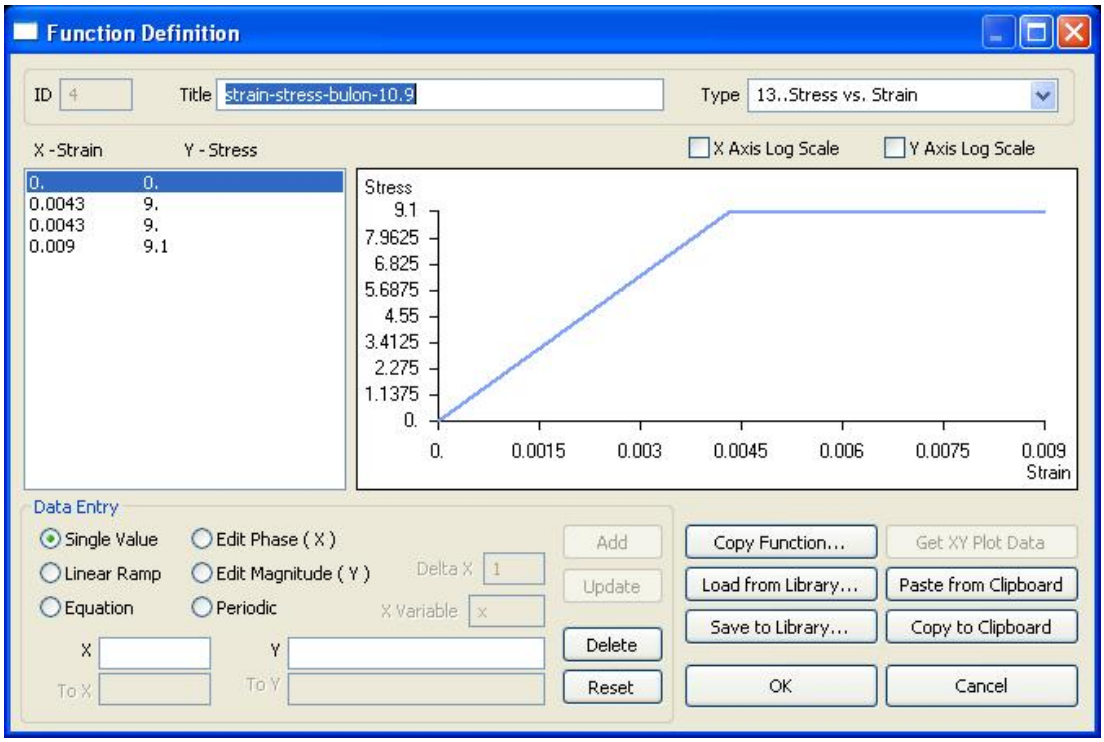
- kiriş, kolon, alın levhası malzeme özelliği S52 ‘dir.

Her iki malzemedeki sisteme de zamana bağlı yükleme yapılmıştır. Yüklemelerdeki artış ile beraber, birleşimin kolon elemanına, kiriş başlığı doğrultusunda berkitmeler yerleştirilmiştir. Gerekli durumlarda Şekil 3.3 ’de görüldüğü gibi panel bölgesi de levha ile desteklenmiştir.

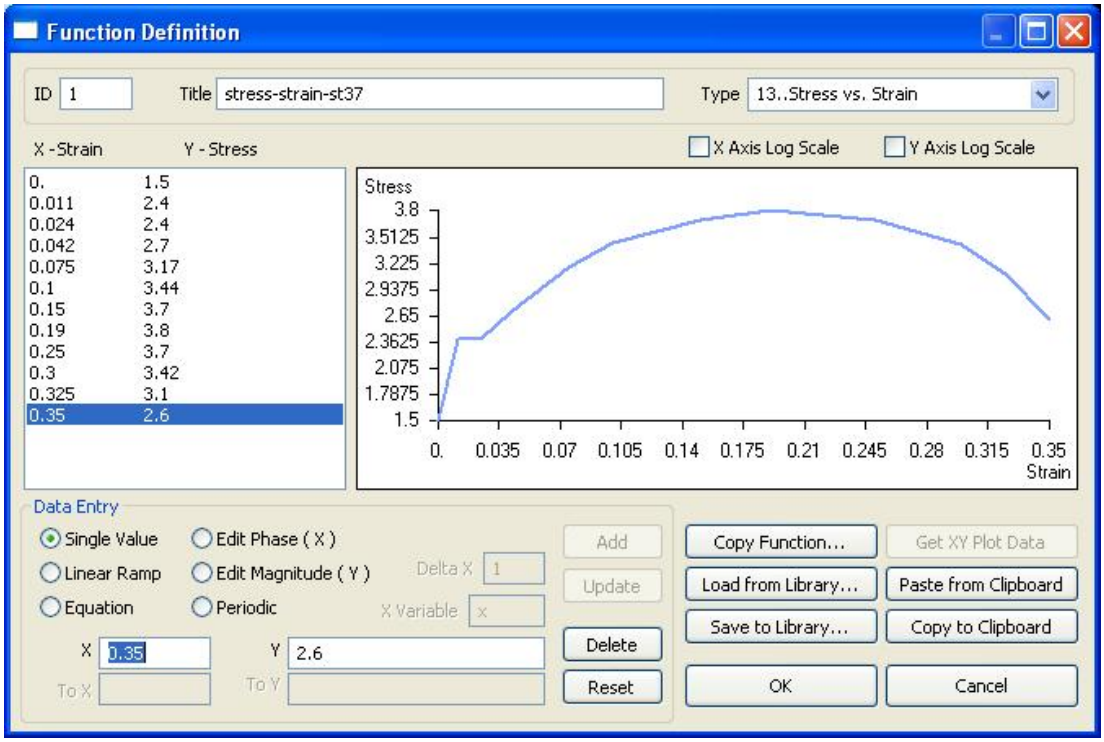


Şekil 3.3 : NX Nastran programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi berkitme ve panel bölgesi takviyesi.

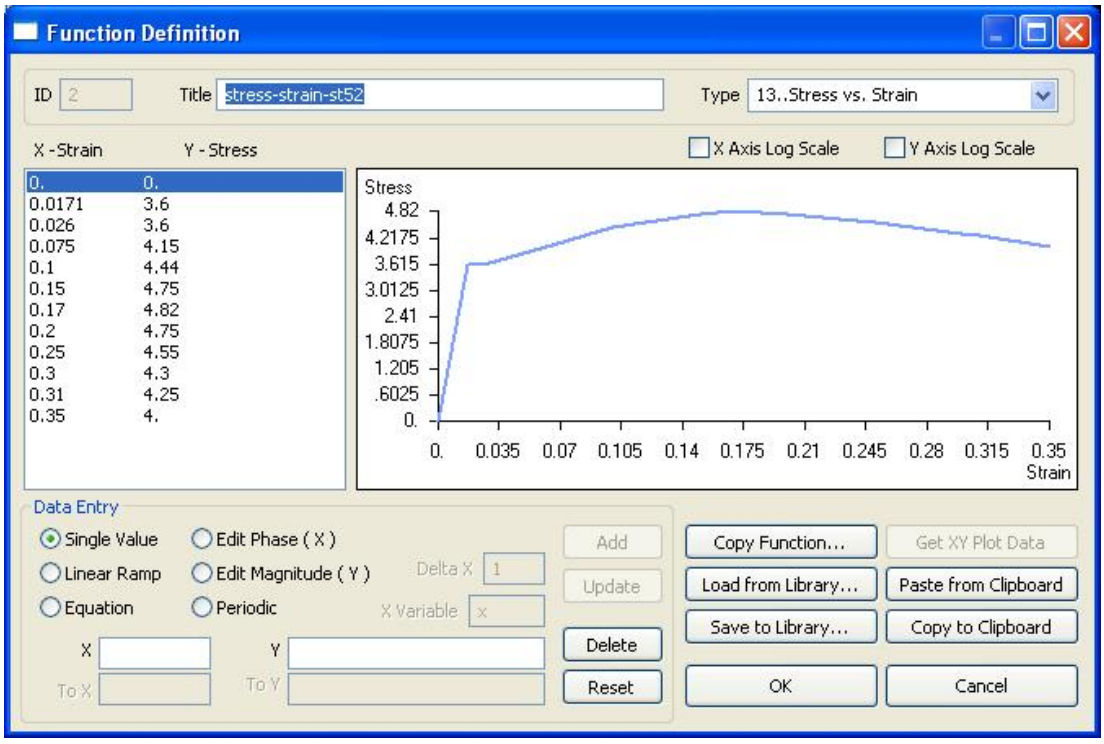
Tüm çelik kalitelerinde elastisite modülü E=210000 N/mm^2, poisson oranı v = 0.3 olarak alınmıştır. Tüm bulonlar öngermeli olup 10.9 kalitesindedir. Kiriş kolon kesitlerinin malzemesi St37 ve St44 iken M27, St52 iken ise M30 boyutunda SLP yüksek mukavemetli ön germeli bulon kullanılmıştır. Non-lineer çözüm yapabilmek için malzemelerin gerilme şekil değiştirme diyagramları, sonlu elemanlar modelinde tanımlanmıştır. 10.9 kalitesindeki yüksek mukavemetli bulonların gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 3.4, ST37 malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramı; Şekil 3.5, ST52 malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramı; Şekil 3.6’de görülmektedir.



Şekil 3.4 : 10.9 kalitesindeki yüksek mukavemetli bulonların gerilme şekil değiştirme diyagramı (Salmon, C., Johnson, J. 1980).

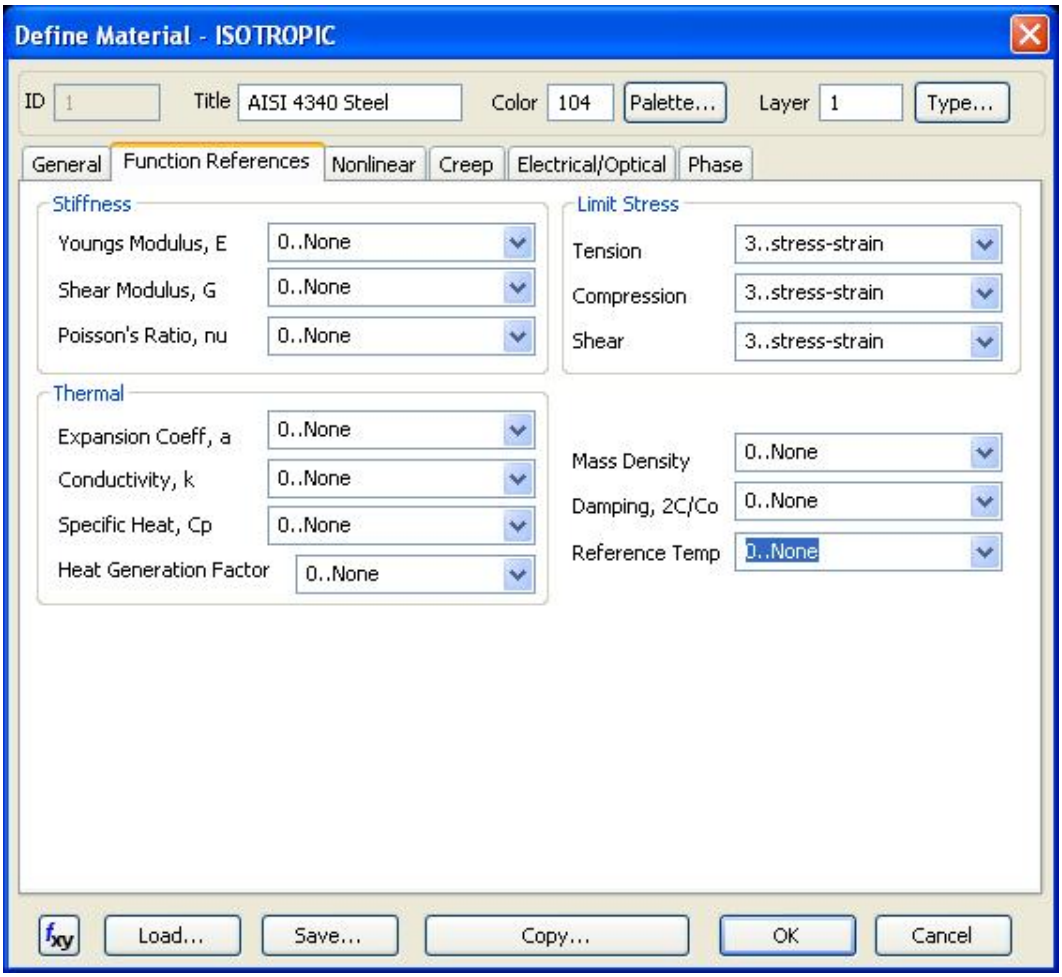


Şekil 3.5 : ST37 malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramı (Salmon, C., Johnson, J. 1980).



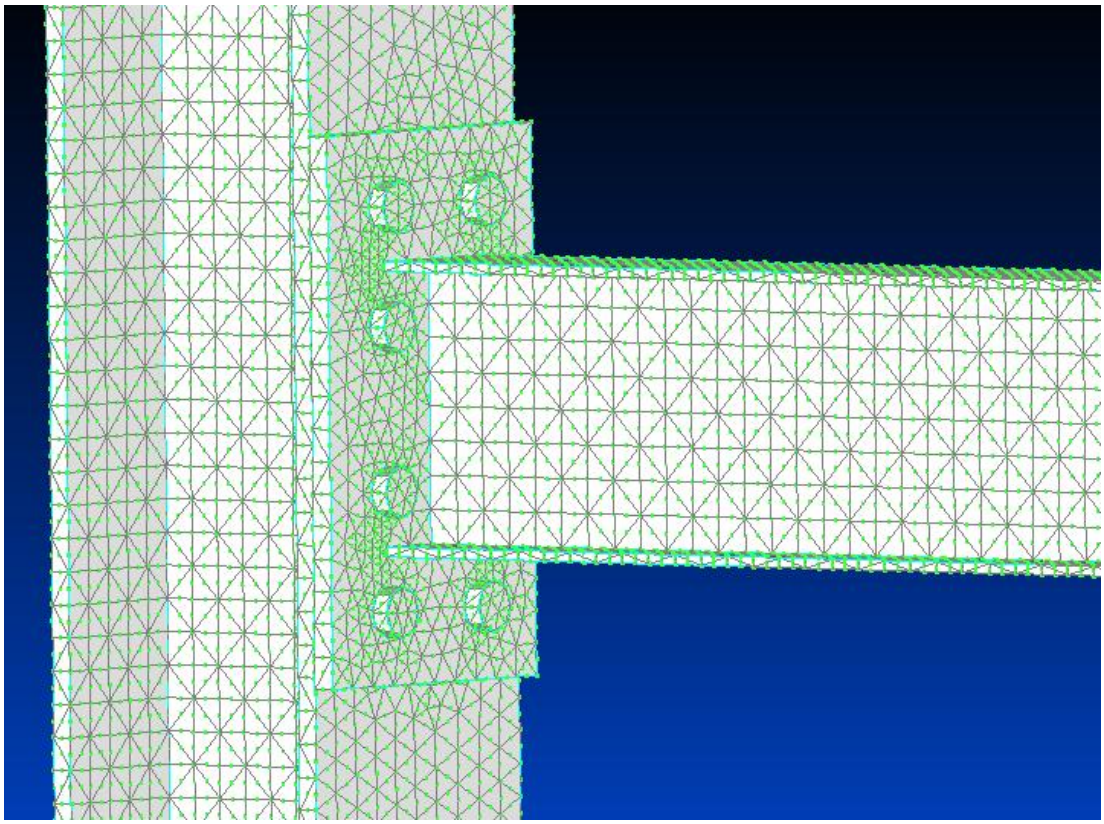
Şekil 3.6 : ST52 malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramı (Salmon, C.,Johnson, J. 1980).

NX Nastran programında yapılan modelde connector elemanları kullanıldığından nonlineer çözüm analizi; advanced nonelinear analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem kullanılırken, malzemenin nonlineer tanımlanabilmesi amacıyla Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da belirtilen diyagramlar, tanımlanan malzemenin gerilme fonksiyonları olarak Şekil 3.7 de görüldüğü şekilde atanmıştır.

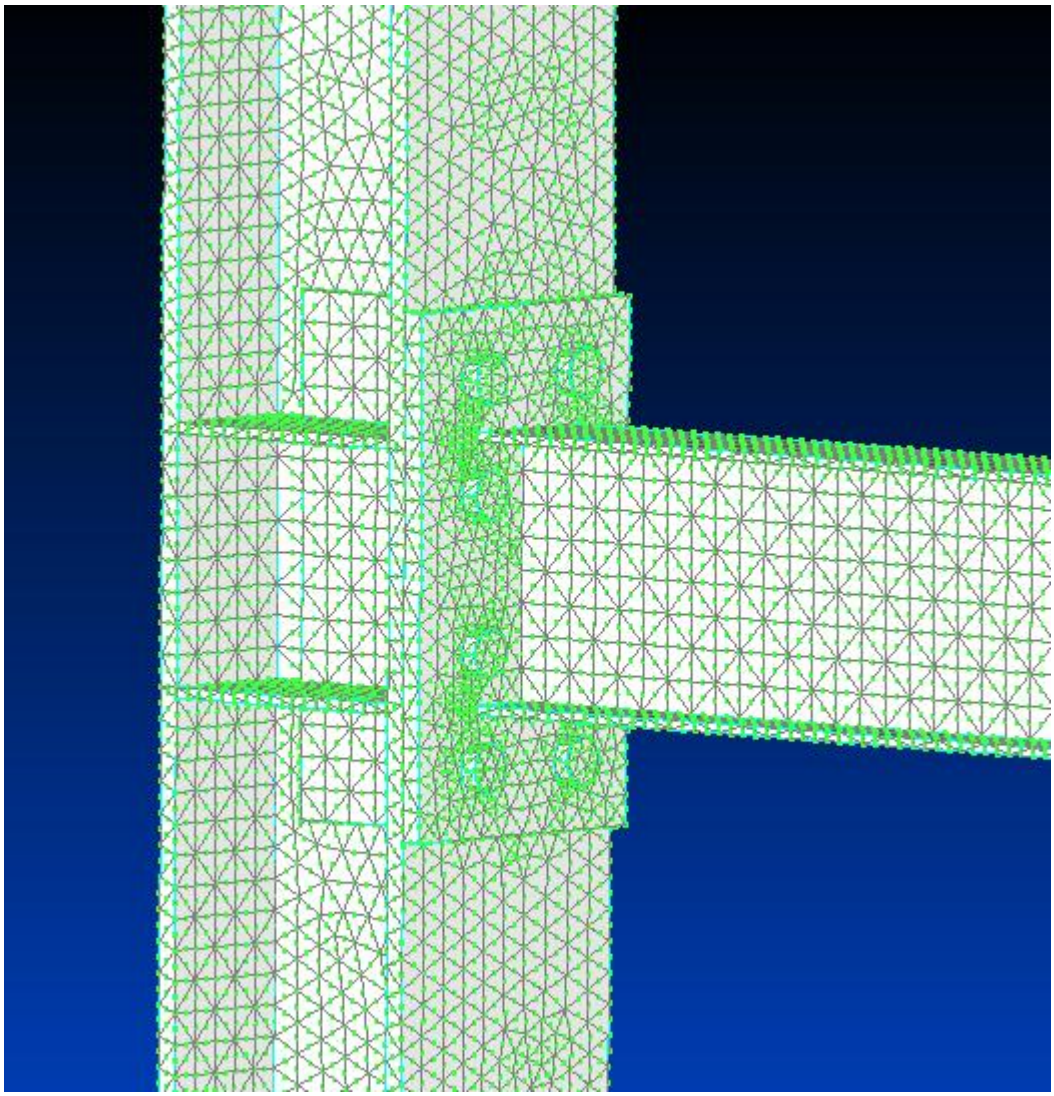


Şekil 3.7 : Gelişmiş non-lineer analiz yönteminde malzeme özelliklerinin fonksiyon olarak atanması.

Sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan FEMAP NX Nastran programında oluşturulan modelde, gerilme değerlerini daha gerçekçi elde etmek amacı ile meshleme yapılmış ve maksimum mesh değeri 3 cm olarak alınmıştır. Meshleme sistemi oluşturulurken; elemanların birbirleri ile temas ettikleri noktalarda mesh uçlarının (nodeların) birbirleri ile denk gelmesine özen gösterilmiştir. Denk gelmeme ihtimaline karşı; program içerisindeki kontrol mekanizması yardımı ile birbirlerini tutmayan çok çok yakın mesafedeki nodeların teması sağlanmıştır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da birleşimin meshleme sistemi gösterilmiştir.

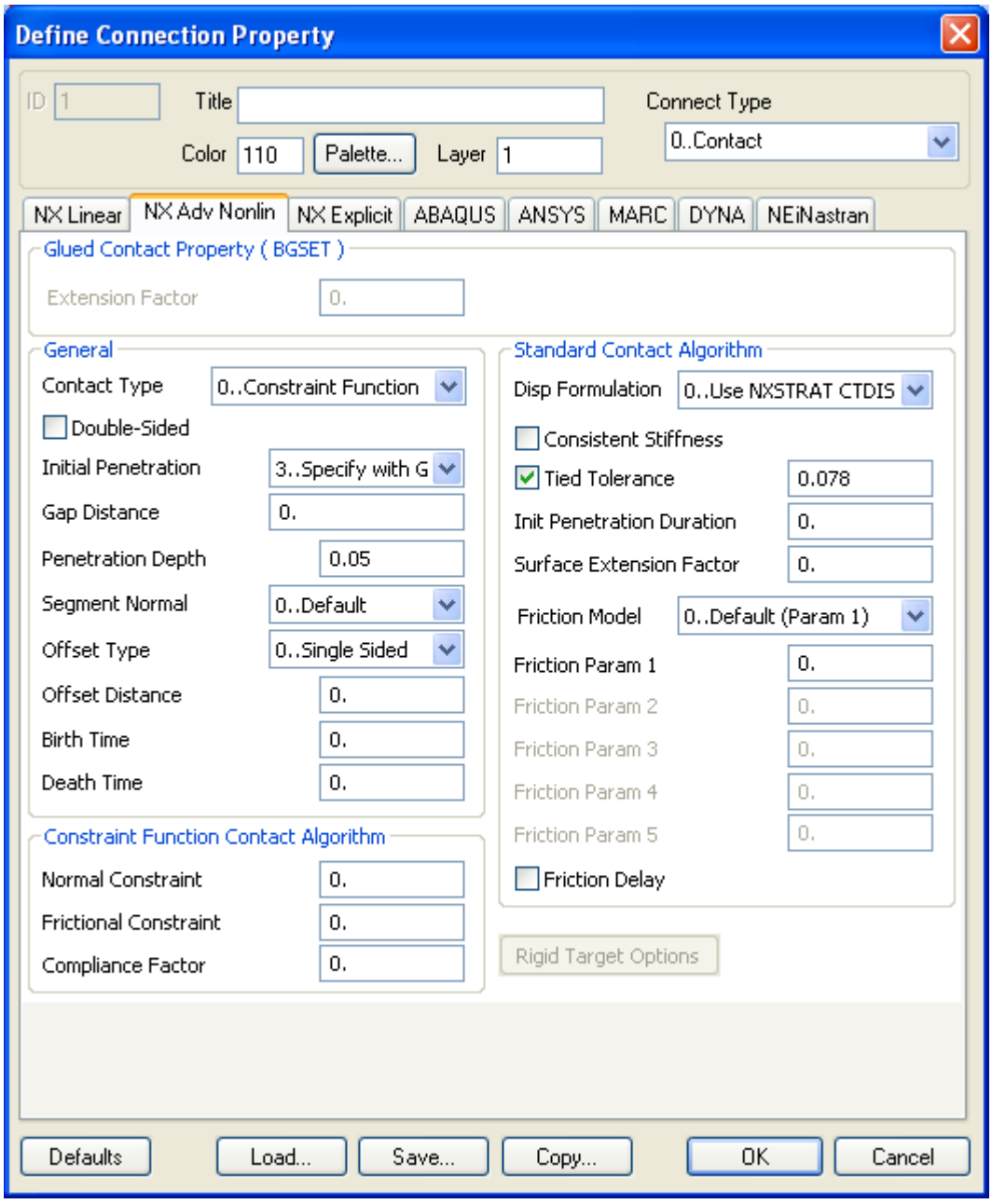


Şekil 3.8 : NX NASTRAN programındaki modelin meshleme sistemi.



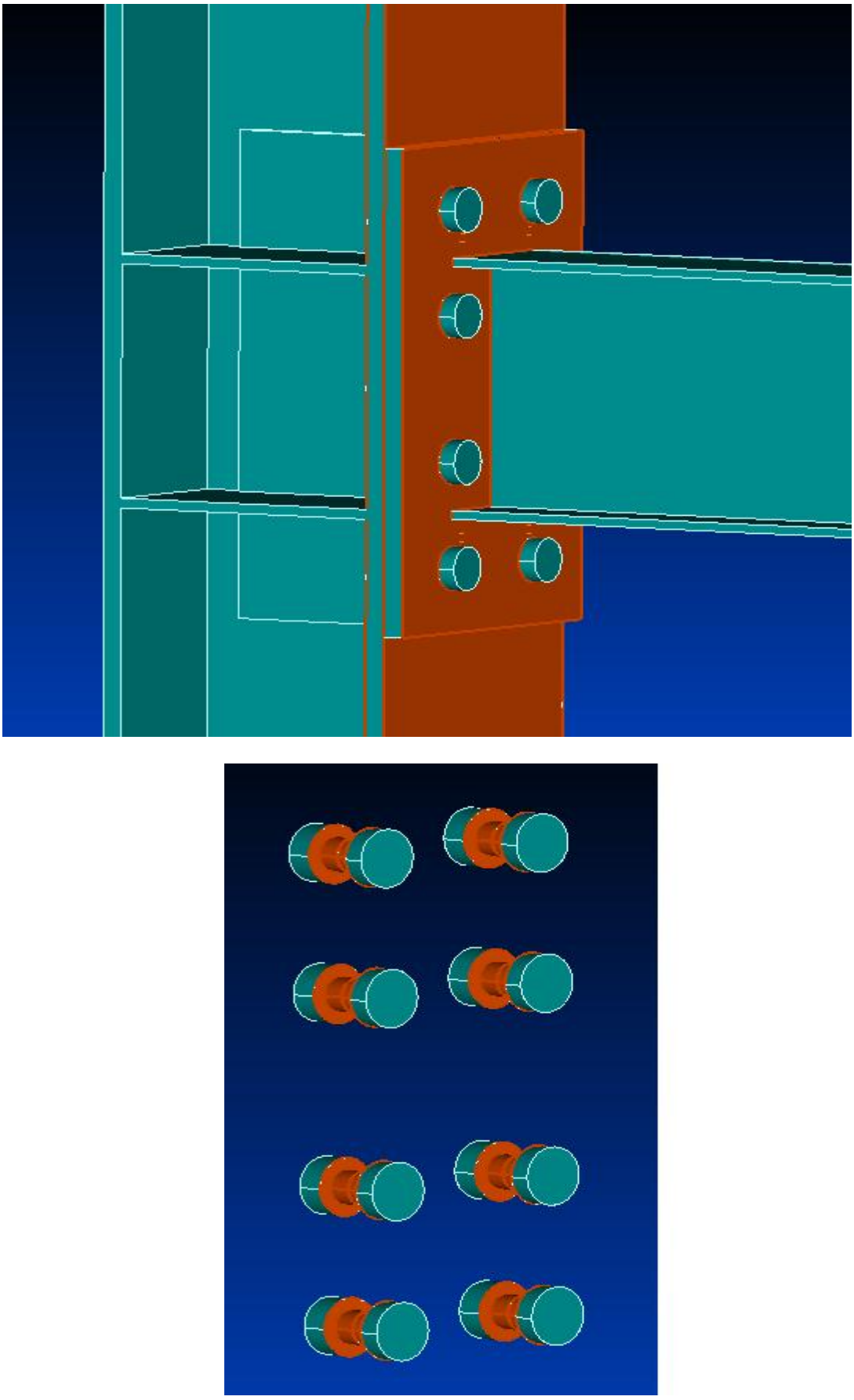
Şekil 3.9 : NX NASTRAN programındaki modelin meshleme sistemi.

Modelleme yapılırken, alın levhası ile kolon başlığı arasında 0.5mm boşluk bırakılmıştır. Connector alanları tanımlanmış ve basınç kuvvetinde aktif duruma geçicek, çekme kuvvetinde ise devre dışı kalıcak şekilde connector elemanları atanmıştır. Aynı özellikteki connector alan ve elemanları; bulon delikleri ile bulon gövdesi arasına, somunlar ile kolon başlığı arasına, yine somunlar ile alın levhası arasına da atanmıştır. Gelişmiş non-lineer analiz yöntemi için kullanılan bağlayıcı eleman özelliği Şekil 3.10 da, Şekil 3.11 de sistemin bağlanma alanı tutuncu renkler ile ve Şekil 3.12 de sistemin bağlayıcıları gösterilmiştir.

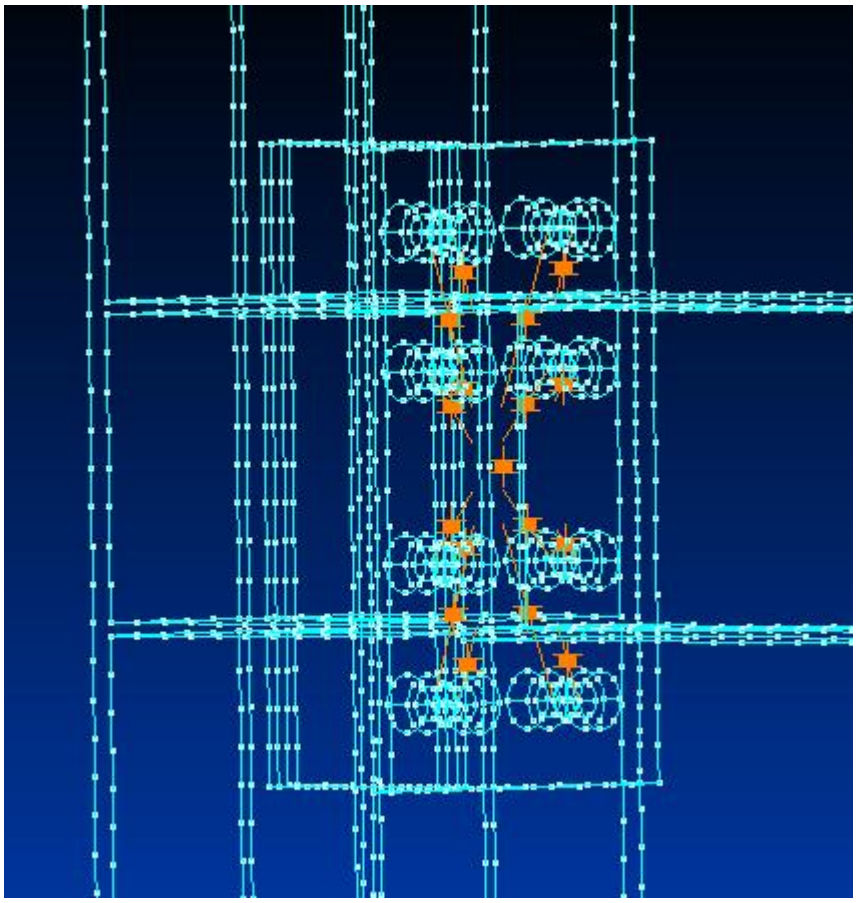


Şekil 3.10 : NX NASTRAN programındaki bağlayıcı eleman özelliği.

Bağlayıcı eleman özelliğinde belirtilen tied tolerans değeri; bağlanma oluştururken ‘sorulan ne kadar mesafeye kadarki elemanlar birbirleri ile bağlansın’ sorusuna girilen değerin iki katıdır. Penetration depth değeri ise mevcut toleransı ifade etmektedir. İki eleman arasında tolerans bulunduğu initial penetration seçeneğinde belirtilmiştir.

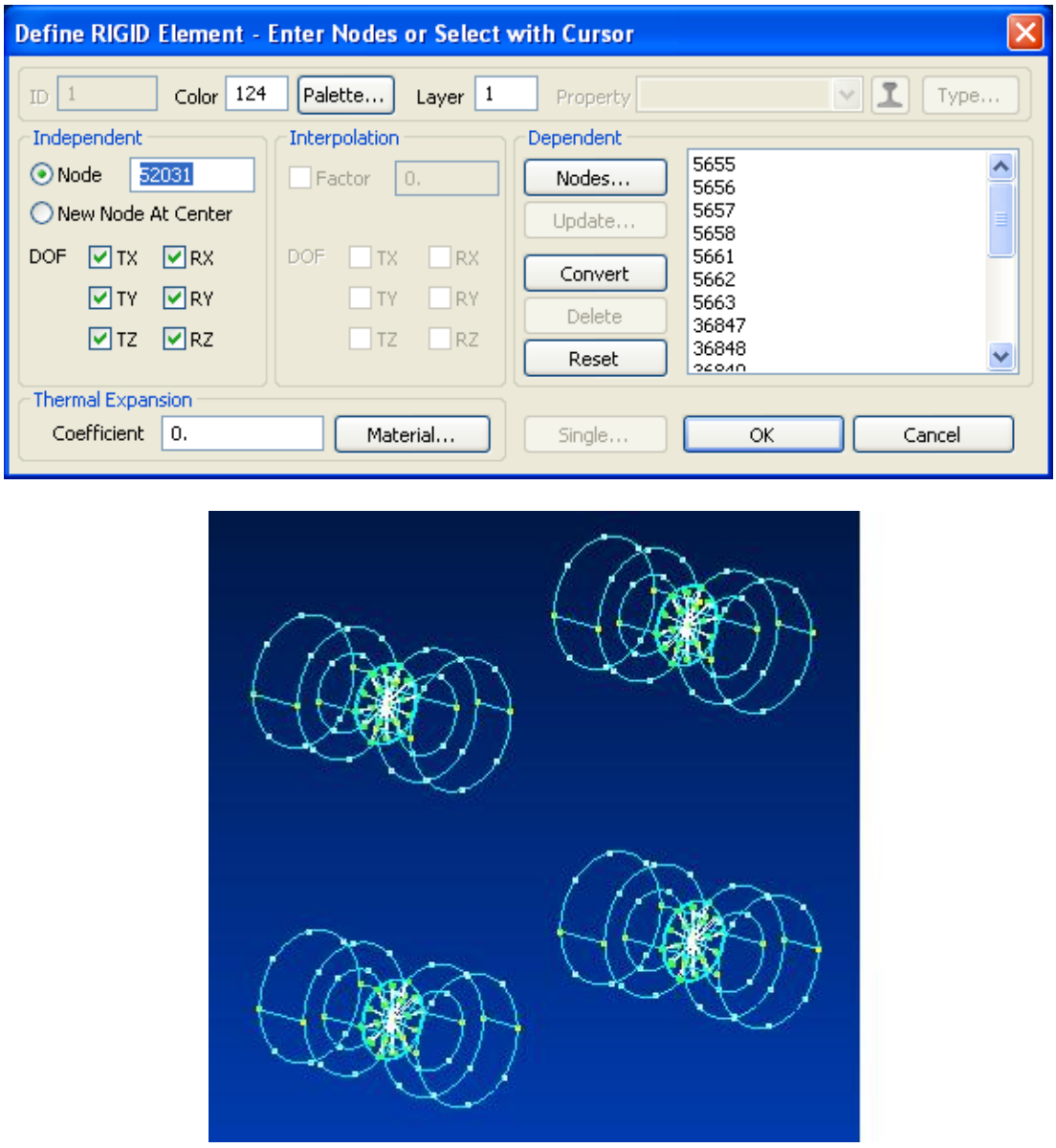


Şekil 3.11 : NX NASTRAN programında tanımlanan bağlanma alanları.

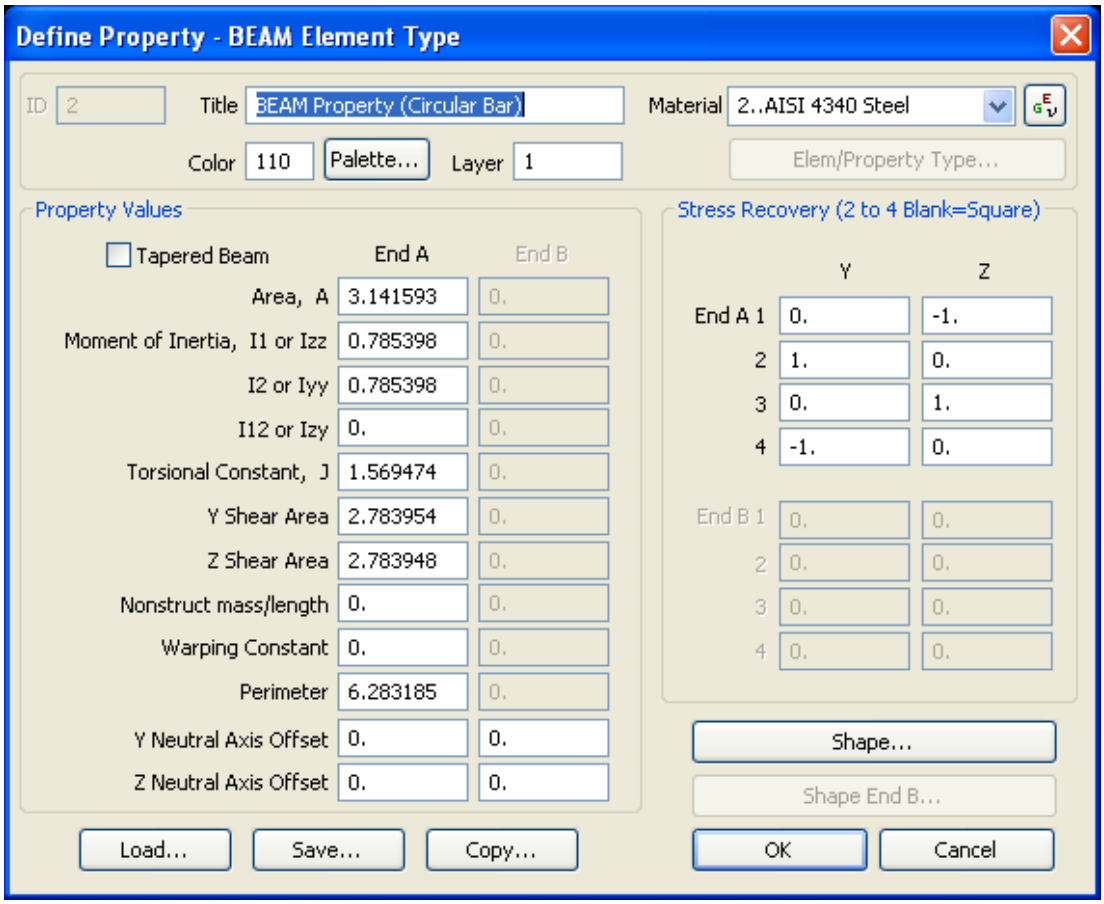


Şekil 3.12 : NX NASTRAN programındaki bağlayıcı elemanları.

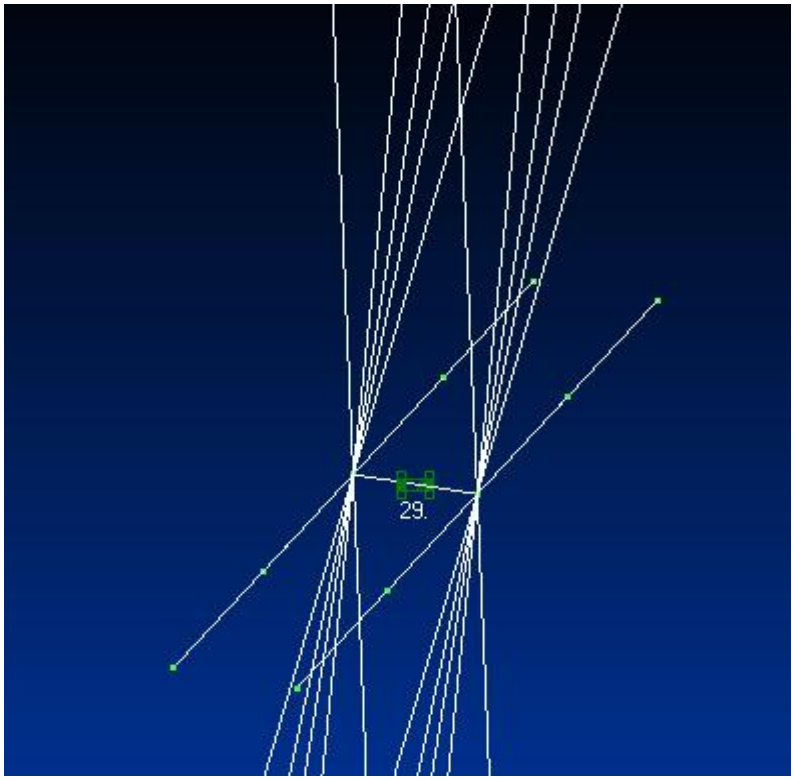
NX Nastran modelinde kullanılan bulonlar 10.9 kalitesinde ve yüksek mukavemetlidir.10.9 kalitesindeki M27 bulonu için ön germe kuvveti (Pv) 29 ton'dur. 10.9 kalitesindeki M30 bulonu için ön germe kuvveti (Pv) ise 35.1 ton'dur. Bulonlar iki parça halinde solid olarak modellenmiştir. İki parça arasında 0.5 mm tolerans bırakılmıştır. Bulonun toleransa bakan solid yüzeyleri spider mesh ile meshlenmiş ve mesh sistemi her doğrultuda tutularak rijitleştirilmiştir. Oluşturulan spider mesh rijit sistemi ve rijitlik özellikleri Şekil 3.13' de gösterilmiştir. Rijit mesh sistemi arasına bulon çapı ölçülerinde dairesel kiriş elemanı tanımlanmıştır. Kiriş elemanı özellikleri Şekil 3.14' de verilmiştir. Şekil 3.15'de gösterildiği gibi tanımlanan kiriş elemanına bulon ön germe kuvveti uygulanmıştır. Şekil 3.16' da bulonun alın levhası ile kolon başlığı arasındaki yerleşimi gösterilmektedir.



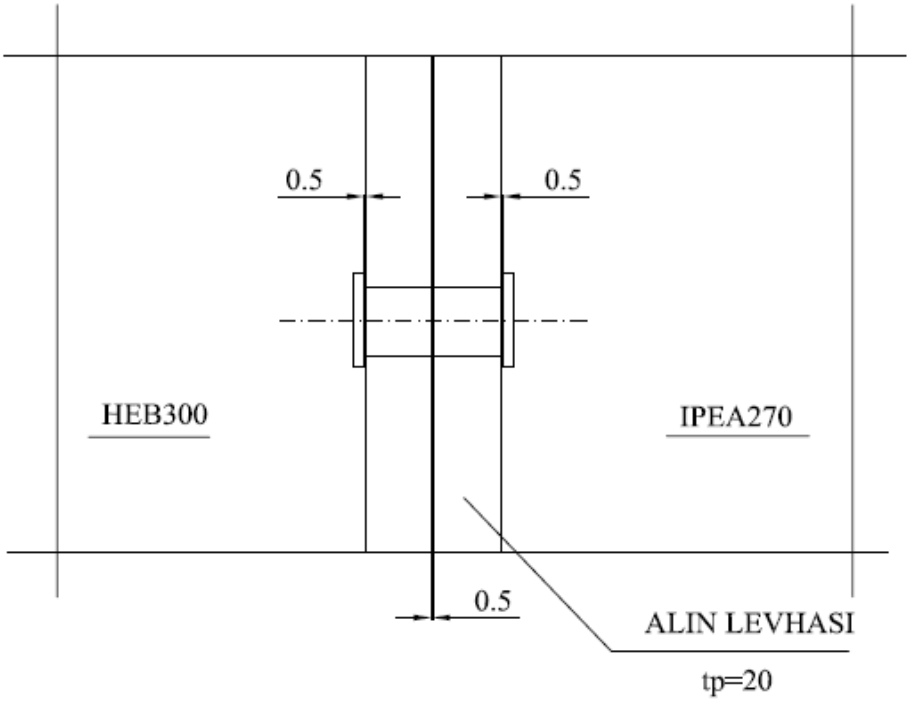
Şekil 3.13 : NX NASTRAN programındaki örümcek mesh sistemi ve rijitlik özellikleri.



Şekil 3.14: NX NASTRAN programındaki ön germe girilen kiriş elemanı özellikleri.

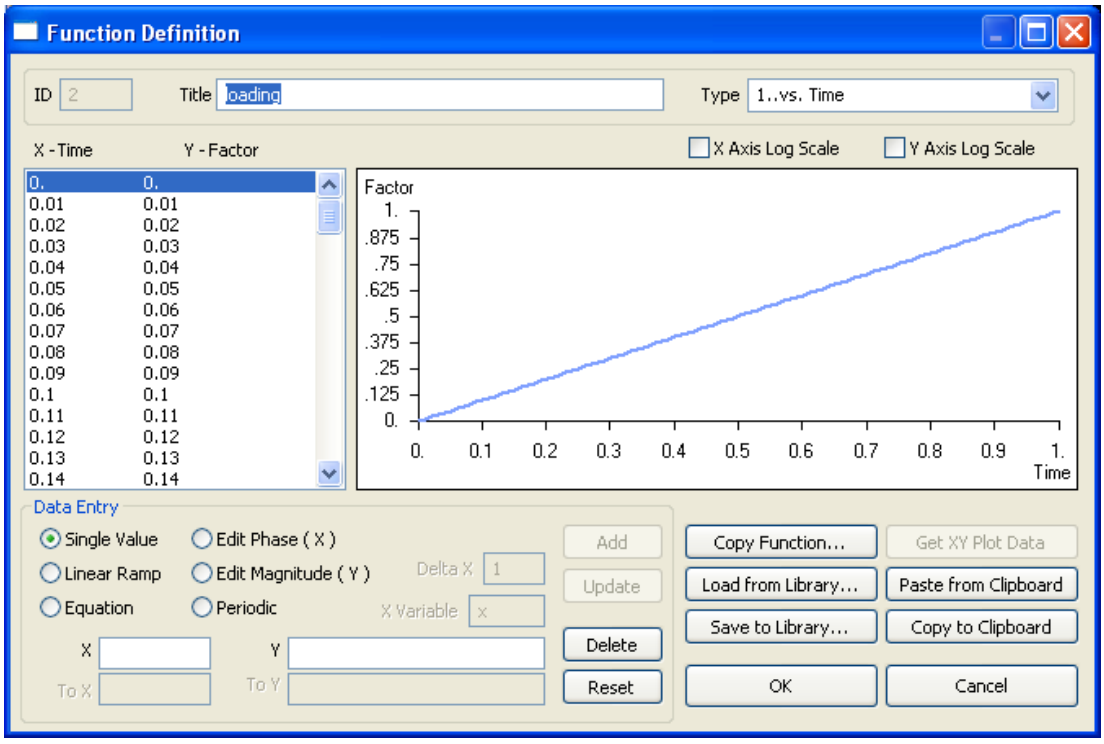


Şekil 3.15: NX NASTRAN programındaki ön germe girilen kiriş.



Şekil 3.16 : SLP M27 öngermeli bulonların kolon başlığı ve alın levhası arasındaki yerleşimi.

NX NASTRANmodelinde zamana bağlı yük fonsiyonu tanımlanmıştır. Uygulanan yüklerin bu fonksiyon ile sisteme etkitilmesi sağlanmıştır. Düzenlenen fonksiyon Şekil 3.17 de görüldüğü gibi en sonunda yükün tamamını sisteme vermektedir.



Şekil 3.17 : NX NASTRAN programındaki yükleme fonksiyonu.

4. BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN PLASTİK DÖNME KAPASİTESİ

FEMAP NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşim detayı; ST37 ve ST52 malzemeleri kullanılarak ve geometrisi non-lineer olucak şekilde analiz edilmiştir.

Sünekliğin ölçüsü olarak kabul edilen plastik dönme kapasitesi; bu çalışmada incelenen birleşim detayı için araştırılmıştır. Bulonlu kiriş kolon birleşimi; ‘’FEMA 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings (2000)’’ isimli raporda yayınlanmış olan ve ‘’Deprem Bölgelerinde Yapılıcak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007’’ ‘de gösterilen konstrüktif kurallara uyularak, malzeme kalitesi A572 (ST52) kullanılarak dizayn edildiğinde en az 0,03 radyan plastik dönme kapasitesine sahip olduğu araştırılmıştır (AISC,1995).

Yerel ve yanal burkulmalar çelik elemanların dönme kapasitesini azaltmada önemli rol oynar. Kesitin yeterli dönme kapasitesine sahip olabilmesi için; yerel burkulma elastik bölgede oluşmamalıdır. Kesit özellikleri burkulmanın plastik bölgede oluşmasını sağlıyabilmelidir. Kesitte plastik moment oluştuktan sonra, kesit yeterli dönme kapasitesine ulaştığı taktirde; sistemde plastik mekanizma meydana gelir.

4. 1 Kiriş Kolon Malzemesinin St37 (Fe37) Olması Durumu

FEMAP NX NASTRAN programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi malzeme özelliği ST37 olucak şekilde, Bölüm 3’de belirtildiği üzere hazırlanmıştır. 10.9 kalitesinde 8 adet M27 yüksek mukavemetli bulon kullanılmıştır. Bulonlara tam öngerme uygulanmıştır. Ön germe kuvveti 29 ton’dur. Çizelge 4.1’de gösterilen yükleme değerleri 1.5 m uzunluğundaki konsol kirişe düşey doğrultuda etkitilmiştir.

Çizelge 4.1: Yükleme isimleri ve değerleri.

Yükleme İsmi	Yük Değeri (ton)
P1	2
P2	3
P3	4
P4	5
P5	6
P6	7
P7	8
Pkopma	15

Yapılan yüklemelerden P1, P2 etkisi altında sistemin hiçbir noktasında akma meydana gelmememiştir. P3 yüklemesinde ise kiriş başlığı doğrultusunda gerilme değerlerinde artış meydana gelmiş, sistemin daha düzenli çalışması adına kiriş başlığı doğrultusunda kolona berkitme elemanları yerleştirilmiştir. P3 yüklemesi berkitmeli ve berkitmesiz sistemde uygulanmıştır. P4, ,P5, P6 yüklemeleri altında kolonun panel bölgesinde akma meydana gelmezken, P7 yüklemesi durumunda kolon panel bölgesinde akma gerilmesine ulaşılmıştır. Panel bölgesi 1 cm et kalınlığında levhalar ile güçlendirilerek P7 yüklemesi tekrar edilmiştir. Pkopma yüklemesi yapıldığında da panel bölgesi takviyesi yeterlidir. Yapılan bu yüklemelerin ortalama Von – Misses gerilme grafikleri ekler kısmında Şekil A1 ~ A10'da verilmiştir. Bu yüklemeler altında oluşan maksimum gerilme ve deformasyon değerleri Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Maksimum gerilme ve deformasyon değerleri.

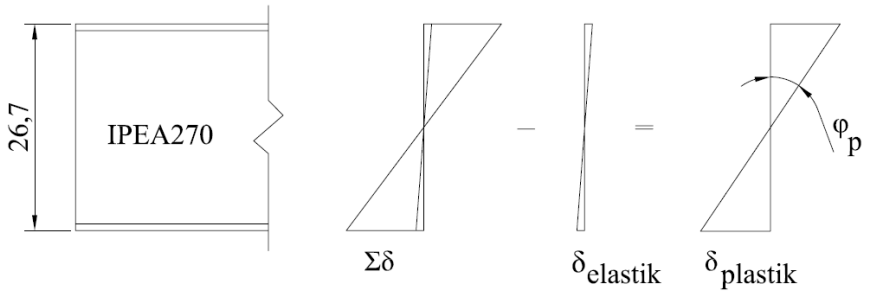
Sistem özelliği	Yükleme ismi	Maksimum gerilme (t/ cm^2)	Plastik mafsal yeri (cm)	Maksimum deformasyon		
				Elastic	Toplam	plastic dönme (radian)
Normal	P1	1	-	0.0043	0.0043	-
Normal	P2	1.6	-	0.0069	0.0069	-
Normal	P3	2.2	-	0.0094	0.0094	-
Berkitmeli	P3	2.2	-	0.0094	0.0094	-
Berkitmeli	P4	2.3	-	0.0100	0.0100	-
Berkitmeli	P5	2.6	26	0.0100	0.1000	0.0067
Berkitmeli	P6	2.9	26	0.0100	0.1500	0.0104
Berkitmeli	P7	3.1	26	0.0100	0.2100	0.0150
Berkitme+	P7	3.1	26	0.0100	0.2100	0.0150
Berkitme+	Pkopma	3.8	26	0.0100	0.3700	0.0270

Normal: kiriş, kolon birleşim modeli

Berkitmeli: kiriş, kolon birleşiminde kolonun kiriş başlığı doğrultusunda berkitme ile güçlendirildiği model

Berkitmeli +: kiriş, kolon birleşiminde kolonun kiriş başlığı doğrultusunda berkitme ile güçlendirildiği ve panel bölgesi takviye edilen model

Plastik mafsal yeri : kolon aksı refere edilerek verilmiştir.



Şekil 4.1 : IPEA270 kirişinin (ST37) deformasyon dağılımları.

$\sum \delta$: toplam deformasyon

$\delta_{elastik}$: elastik deformasyon

$\delta_{plastik}$: plastik deformasyon

σ_k: kopma anındaki gerilme değeri

Toplam deformasyon değeri kopma anındaki uzama olarak alınmıştır.Elastik uzama değeri kesit akma gerilmesine ulaştığı zaman ölçülmüştür.Kirişin toplam deformasyon değeri; **Denk.(4.1)** ile gösterilmektedir.

$$\sum \delta = \delta_{elastik} + \delta_{plastik} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Hook kanuna uyan elastik kısım için şekil değiştirme; **Denk.(4.2)** ile hesaplanır.

$$\varepsilon = \sigma / E \qquad \textbf{(4.2)}$$

Birleşimin plastik donme kapasitesi; **Denk.(4.3)** ile hesaplanır.

$$\varphi_p = \delta_{plastik} / db/2 \qquad \textbf{(4.3)}$$

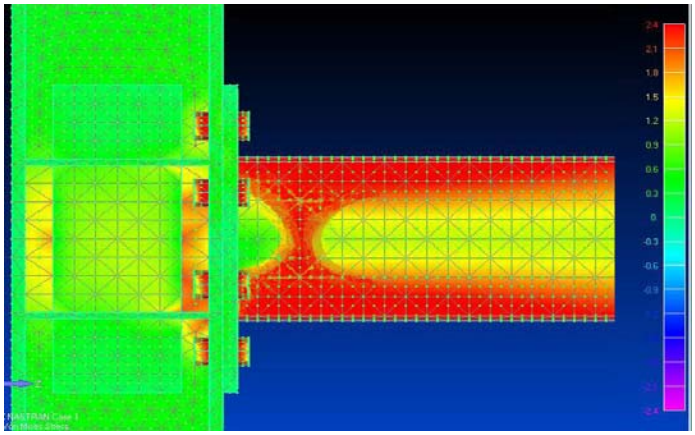
φ_p: plastik dönme kapasitesi

db: kiriş yüksekliği

a: kiriş başlangıcından plastik mafsal noktasına kadar olan kiriş kesit uzunluğu

Birleşim sistemi için a değeri 9cm 'dir. P_{kopma} yüklemesi altında toplam deformasyon ($\sum \delta$); 0.370cm olarak görülmüştür. Bu değerden elastik deformasyon değeri olan 0.010cm çıkarıldığında plastik deformasyon ($\delta_{plastik)}$ değeri 0.360cm olarak hesaplanmıştır. **Denk.(4.3)** ile plastik dönme miktarı (φ_p) 0.0270 radyan olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu analiz sonucunda P_{kopma} yüklemesi altında, kesit gerilmesi 2.6 t/cm^2 değerinde iken 0.027 radyan plastik dönme sistemde hesaplanmıştır. ST37 malzemesi ile oluşturulan sistemde 0.03 radyan plastik dönme kapasitesine ulaşılamamıştır.



Şekil 4.2 : NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.

Sistemde plastik mafsal Şekil 4.3'de gösterildiği gibi 26.cm' de oluşmuştur. **Denk.(4.4)** ile hesaplandığında 25.9cm sonucuna ulaşılmıştır (FEMA, 2000). 'FEMA 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings (2000)'' isimli raporda verilen plastik mafsal yerine çok yakın bir değer elde edilmiştir.

$$Sh = d_c / 2 + d_b / 3 + t_f \qquad \textbf{(4.4)}$$

Sh: kolon aksından itibaren plastik mafsal yeri

d_c: kolon yüksekliği

$d_{b:}$ kiriş yüksekliği

t_f : alın levhası et kalınlığı

4. 2 Kiriş Kolon Malzemesinin St52 (Fe52) Olması Durumu

FEMAP NX Nastran programında modellenen bulonlu kiriş kolon birleşimi malzeme özelliği ST52 olucak şekilde, Bölüm 3'de belirtildiği üzere hazırlanmıştır. 10.9 kalitesinde 8 adet M30 yüksek mukavemetli bulon kullanılmıştır. Bulonlara tam öngerme kuvveti uygulanmıştır. Uygulanan öngerme kuvveti 35.1 ton'dur.Çizelge 4.1' de gösterilen yükleme değerleri 1.5 m uzunluğundaki konsol kirişe düşey doğrultuda etkitilmiştir.

Çizelge 4.3: Yükleme isimleri ve değerleri.

Yükleme İsmi	Yük Değeri (ton)
P1	4
P2	5
P3	6
P4	7
P5	8
P6	9
P7	10
P8	11
Pkopma	21

Yapılan yüklemelerden P1, P2 etkisi altında sistemin hiçbir noktasında akma meydana gelmememiştir. P3 yüklemesinde ise kiriş başlığı doğrultusunda gerilme değerlerinde artış meydana gelmiş, sistemin daha düzenli çalışması adına kiriş başlığı doğrultusunda kolona berkitme elemanları yerleştirilmiştir. P3 yüklemesi berkitmeli ve berkitmesiz sistemde uygulanmıştır. P4, ,P5, P6, P7 yüklemeleri altında kolonun panel bölgesinde akma meydana gelmezken, P8 yüklemesi durumunda kolon panel bölgesinde akma gerilmesine ulaşılmıştır. Panel bölgesi 1 cm et kalınlığında levhalar ile güçlendirilerek P8 yüklemesi tekrar edilmiştir. Pkopma yüklemesi yapıldığında da panel bölgesi takviyesi yeterlidir. Yapılan bu yüklemelerin ortalama Von – Misses gerilme grafikleri ekler kısmında Şekil A11 ~ A20'de verilmiştir. Bu yüklemeler

altında oluşan maksimum gerilme ve deformasyon değerleri Çizelge 4.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Maksimum gerilme ve deformasyon değerleri.

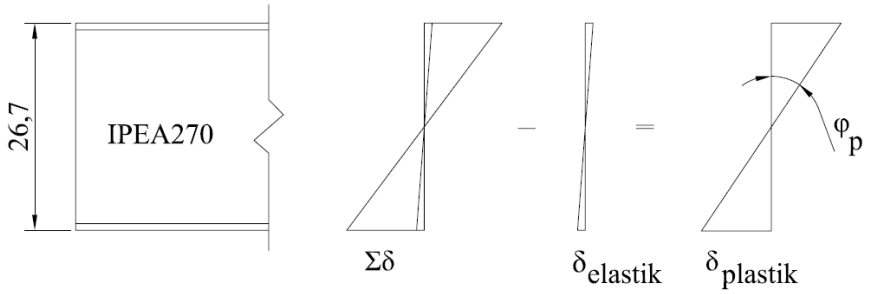
Sistem Özelliği	Yükleme ismi	Maksimum gerilme (t/ cm^2)	Plastik mafsal yeri (cm)	Maksimum deformasyon		
				Elastic	Toplam	Plastic dönme (radian)
Normal	P1	1.5	-	0.0027	0.0027	-
Normal	P2	2.0	-	0.0090	0.0090	-
Normal	P3	30	-	0.0135	0.0135	-
Berkitmeli	P3	3.0	-	0.0135	0.0135	-
Berkitmeli	P4	3.3	-	0.0144	0.0144	-
Berkitmeli	P5	3.6	-	0.0150	0.1200	0.0078
Berkitmeli	P6	3.9	26	0.0150	0.1700	0.0116
Berkitmeli	P7	4.1	26	0.0150	0.2200	0.0153
Berkitmeli	P8	4.3	26	0.0150	0.2700	0.0191
Berkitme+	P8	4.3	26	0.0150	0.2700	0.0191
Berkitme+	Pkopma	4.82	26	0.0150	0.4150	0.0299

Normal: kiriş, kolon birleşim modeli31

Berkitmeli: kiriş, kolon birleşiminde kolonun kiriş başlığı doğrultusunda berkitme ile güçlendirildiği model

Berkitmeli +: kiriş, kolon birleşiminde kolonun kiriş başlığı doğrultusunda berkitme ile güçlendirildiği ve panel bölgesi takviye edilen model

Plastik mafsal yeri: kolon aksı refere edilerek verilmiştir.



Şekil 4.3 : IPEA270 kirişinin (ST52) deformasyon dağılımları.

$\sum \delta$: toplam deformasyon

$\delta_{elastik}$: elastik deformasyon

$\delta_{plastik}$: plastik deformasyon

Toplam deformasyon değeri kopma anındaki uzama olarak alınmıştır.Elastik uzama değeri kesit akma gerilmesine ulaştığı zaman ölçülmüştür.Kirişin toplam deformasyon değeri; **Denk.(4.5)** ile gösterilmektedir.

$$\sum \delta = \delta_{elastik} + \delta_{plastik} \qquad \textbf{(4.5)}$$

Hook kanuna uyan elastik kısım için şekil değiştirme; **Denk.(4.6)** ile hesaplanır.

$$\varepsilon = \sigma / E \qquad \textbf{(4.6)}$$

Birleşimin plastik donme kapasitesi; **Denk.(4.7)** ile hesaplanır.

$$\varphi_p = \delta_{plastik} / db/2 \qquad \textbf{(4.7)}$$

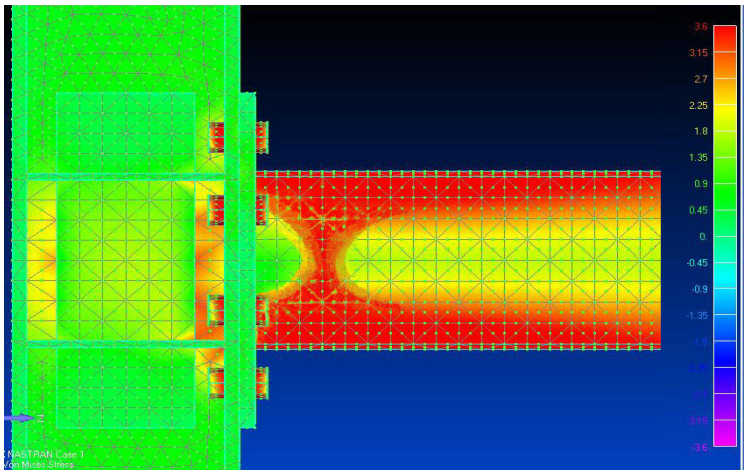
φ_p: plastik dönme kapasitesi

db: kiriş yüksekliği

a: kiriş başlangıcından plastik mafsal noktasına kadar olan kiriş kesit uzunluğu

Birleşim sistemi için a değeri 9cm 'dir. P_{kopma} yüklemesi altında toplam deformasyon ($\sum \delta$); 0.415cm olarak görülmüştür. Bu değerden elastik deformasyon değeri olan 0.015cm çıkarıldığında plastik deformasyon ($\delta_{plastik)}$ değeri 0.400cm olarak hesaplanmıştır. **Denk.(4.7)** ile plastik dönme miktarı (φ_p) 0.0299 radyan olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu analiz sonucunda P_{kopma} yüklemesi altında, kesit gerilmesi 4.0 t/cm^2 değerinde iken 0.030 radyan plastik dönme sistemde hesaplanmıştır. ST52 malzemesi ile oluşturulan sistemde 0.03 radyan plastik dönme kapasitesine ulaşılmıştır.



Şekil 4.4: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.

Sistemde plastik mafsal Şekil 4.3'de gösterildiği gibi 26.cm' de oluşmuştur. **Denk.(4.8)** ile hesaplandığında 25.9cm sonucuna ulaşılmıştır (FEMA, 2000). 'FEMA 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings (2000)'' isimli raporda verilen plastik mafsal yerine çok yakın bir değer elde edilmiştir.

$$Sh = d_c / 2 + d_b / 3 + t_f \qquad \textbf{(4.8)}$$

Sh: kolon aksından itibaren plastik mafsal yeri

d_c: kolon yüksekliği

d_b: kiriş yüksekliği

t_f : alın levhası et kalınlığı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapıların depreme dayanıklı olarak dizayn edilmesinde kiriş kolon birleşim bölgelerinin önemi büyüktür. Kesitler ne kadar büyük olursa olsun, birleşim bölgeleri kesit tesirlerinin geçiş noktaları olduğundan, yetersiz kaldıklarında hasarlar kaçınılmazdır. Kiriş üzerinde oluşması beklenen plastik moment birleşim tarafından taşınabilmeli ve sünek olmadıkları kabul edilen bulon, kaynak gibi birleşim elemanlarında plastikleşme meydana gelmiycek şekilde dizayn edilmelidir.

Bu yüksek lisans tezinin konusu; ‘’FEMA 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings (2000)’’ isimli raporda yayınlanmış olan ve ‘’Deprem Bölgelerinde Yapılıcak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007‘de gösterilen bulonlu kolon kiriş birleşimi, konstrüktif kurallara uyularak ve malzeme kalitesi A572 (ST52) olarak dizayn edildiğinde ‘’AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings’’ isimli standardın öngördüğü en az 0.03 radyan plastik dönme kapasitesine sahip olduğunun FEMAP NX Nastran modeli ile gösterilmesidir.

İlk olarak; ikinci bölümde farklı malzemelerden oluşan bulonlu kiriş kolon birleşiminin kesitleri ve birleşim elemanları plastik teoriye gore hesaplanmıştır. İkinci aşamada hesaplanan elemanlar NX NASTRAN programında modellenmiştir. Üçüncü bölümde yapılan modelleme ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkmış olan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Dördüncü bölümde yapılan analizler sonucunda; ‘’FEMA 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings (2000)’’ isimli raporda yayınlanmış olan bulonlu kolon kiriş birleşimi, konstrüktif kurallara, malzeme kalitesine (A572 (ST 52)) uyularak dizayn edildiğinde ‘’AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings’’ isimli standardın öngördüğü en az 0,03 radyan plastik dönme kapasitesine sahip olduğunu, plastik mafsalın FEMA raporlarında belirtilen bölgede oluştuğu gösterilmiştir (bkz Şekil4.4) .

- ‘’Deprem Bölgelerinde Yapılıcak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007‘de gösterilen bulonlu kolon kiriş birleşiminde ST37 malzemesinin kullanabilirliği belirtilmişken, dördüncü bölümde yapılan analizler sonucunda; ST37 (A36) malzemesi ile elde edilen plastik moment kapasitesi 0.027 radyan olarak belirlenmiş ve ’AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings’’ isimli standardın öngördüğü en az 0,03 radyan plastik dönme kapasitesine ulaşamadığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

AISC, 1995. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, *American Institude of Steel Constrıction Inc.*

DBYBHY, 2007. *Deprem Bölgelerinde Yapılıcak Binalar Hakkında Yönetmelik*, İnşaat Mühendisleri Odası*,* İstanbul

Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö. 2008. *Çelik Yapılar*, Çağlayan Kitabevi*,* İstanbul

FEMA, 2000. 350-Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings.

FEMAP NX NASTRAN Vesion 9.3, Help Guide, Examples Guide.

Odabaşı, Y., 1992. *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.*,* İstanbul

Salmon, C., Johnson, J. 1980. *Steel Structures Design and Behavior*, Harper and Row Publishers*.,* New York

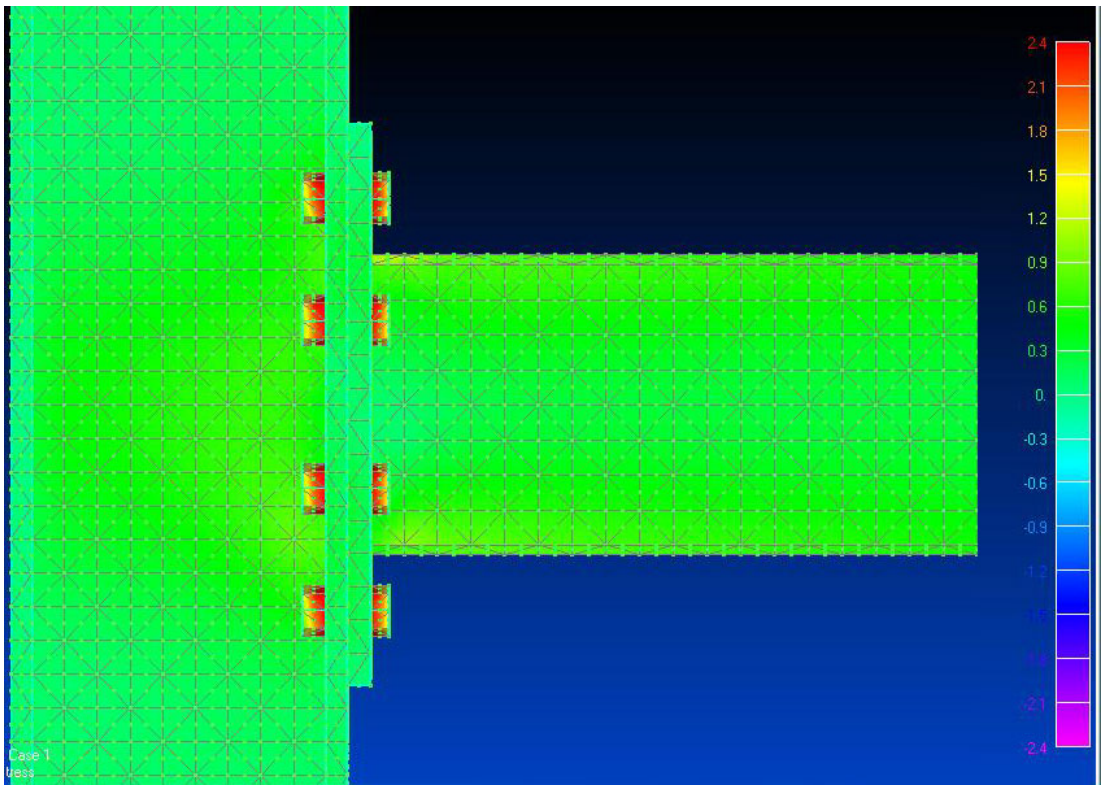
TS 648, Aralık 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS-40561, 1985. Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

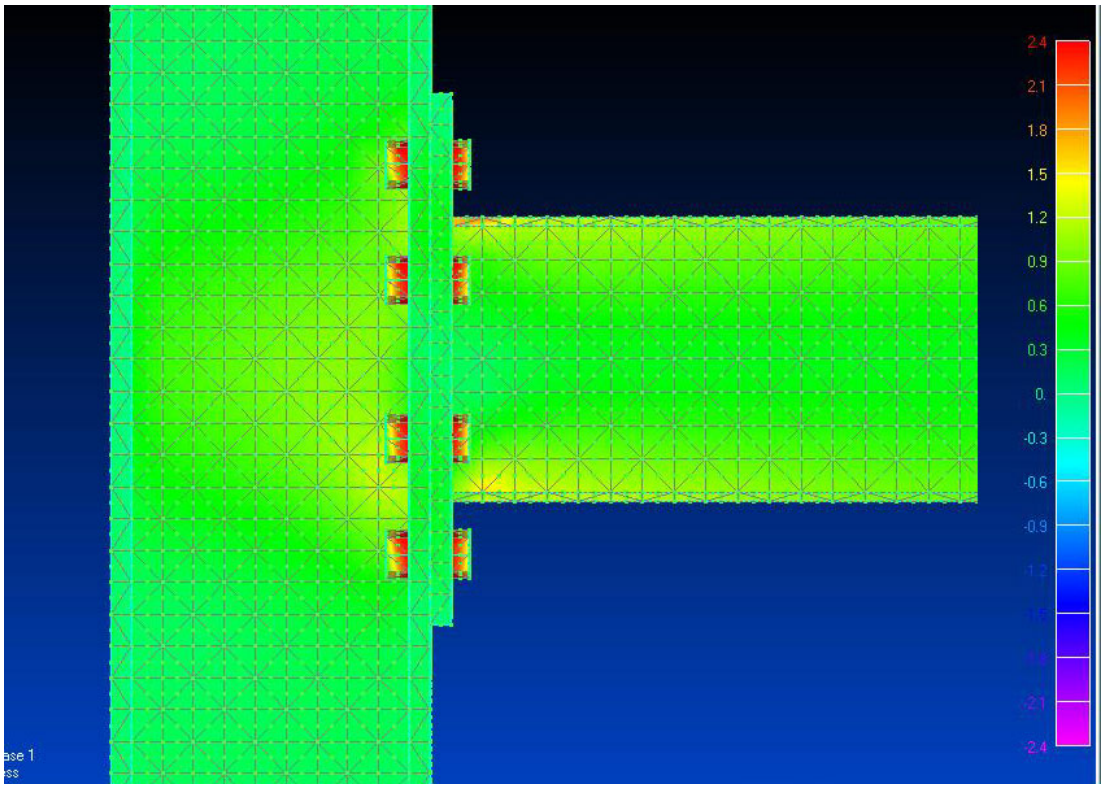
EKLER

EK A.1 : FEMAP NX NASTRAN analiz sonuçları

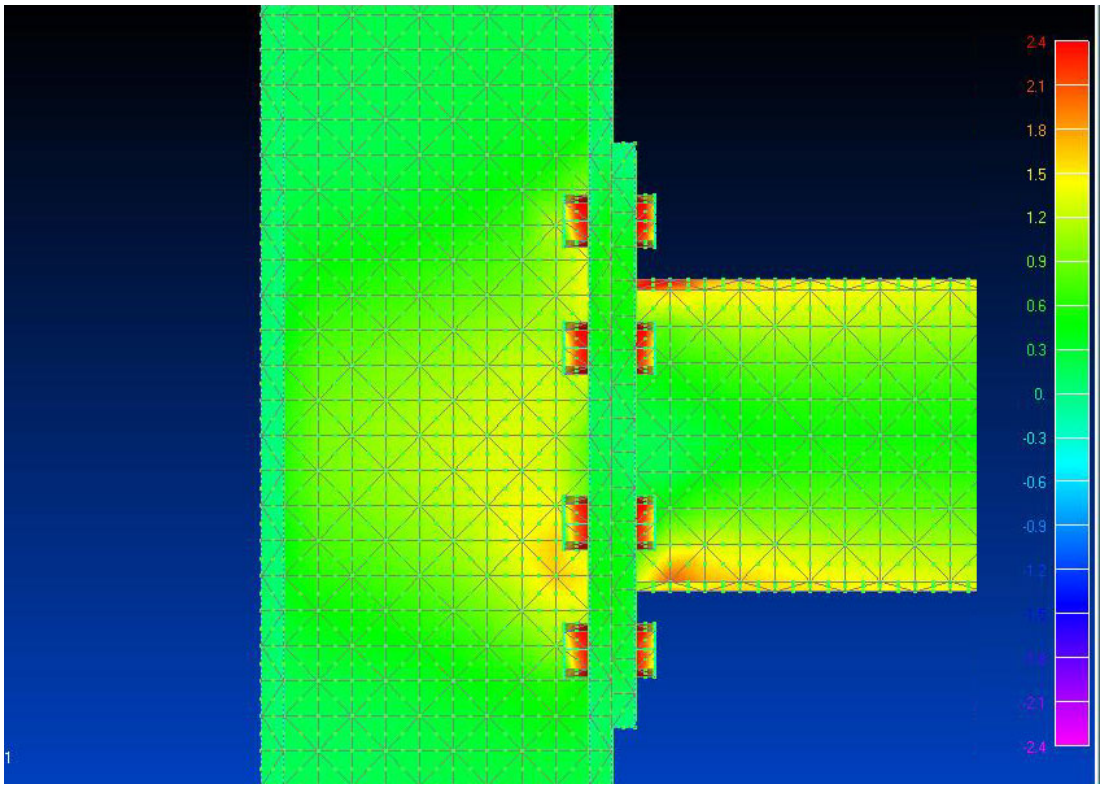
EK A.1



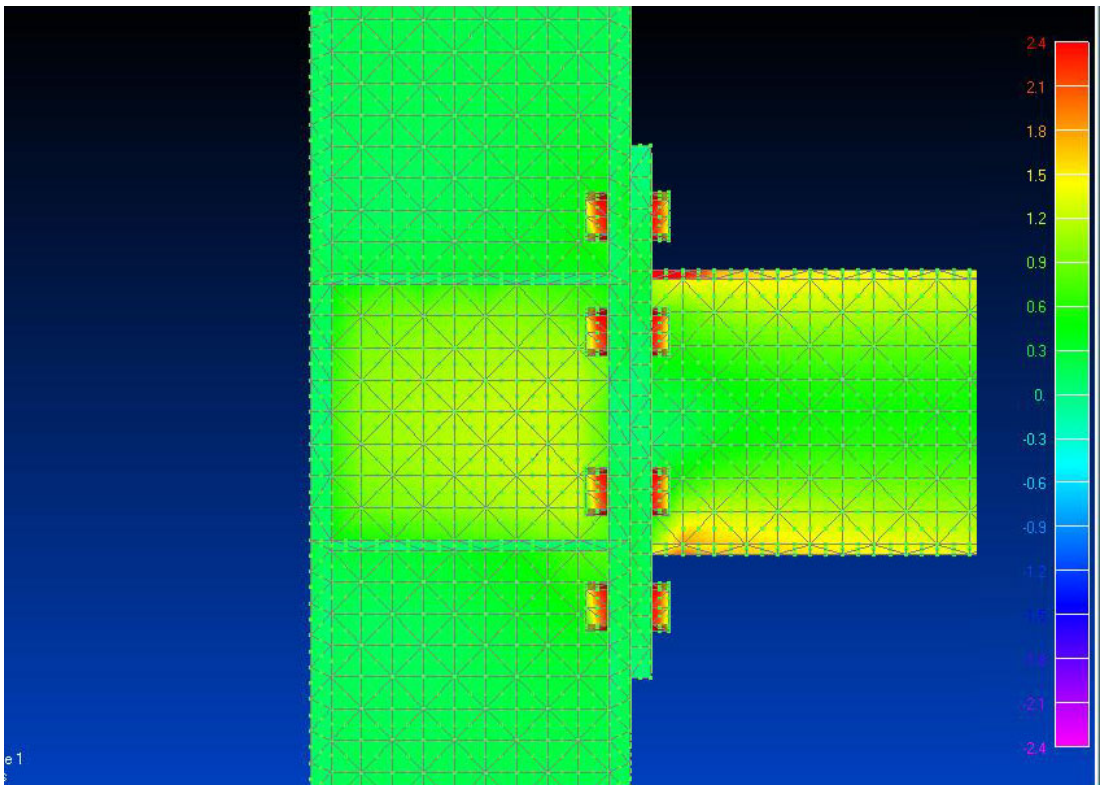
Şekil A.1: NX Nastran birleşim modeli (ST37) P1 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



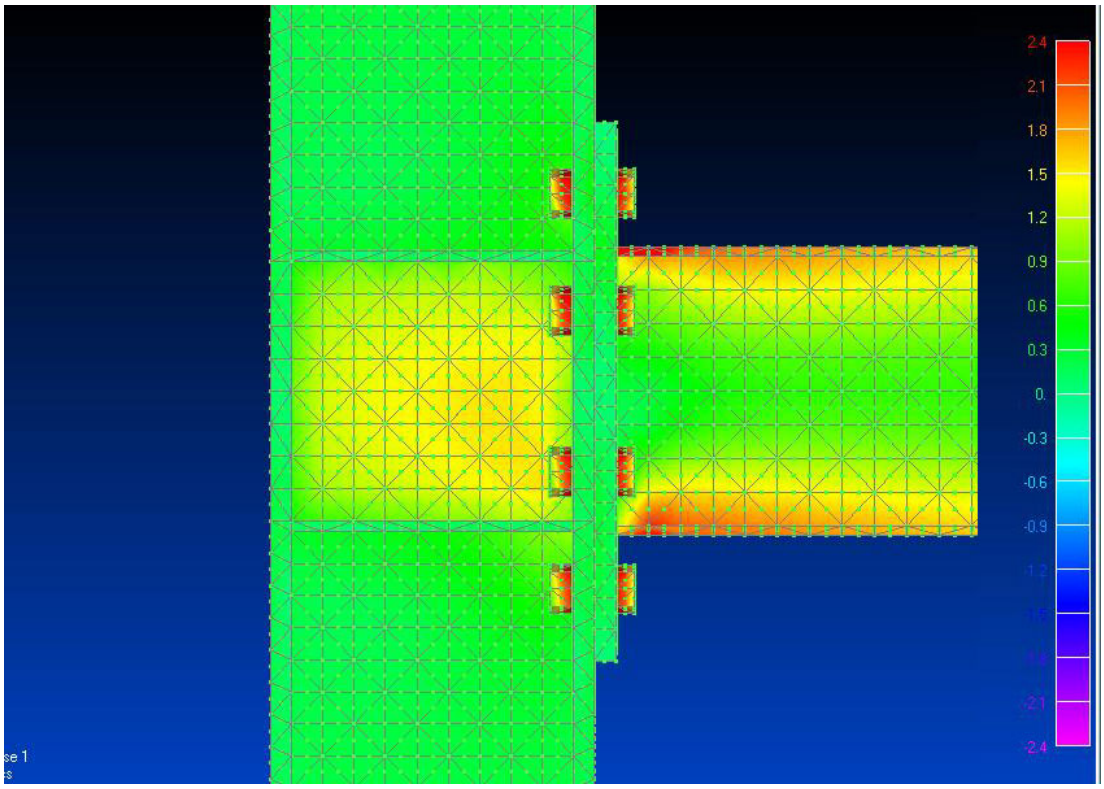
Şekil A.2: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) P2 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



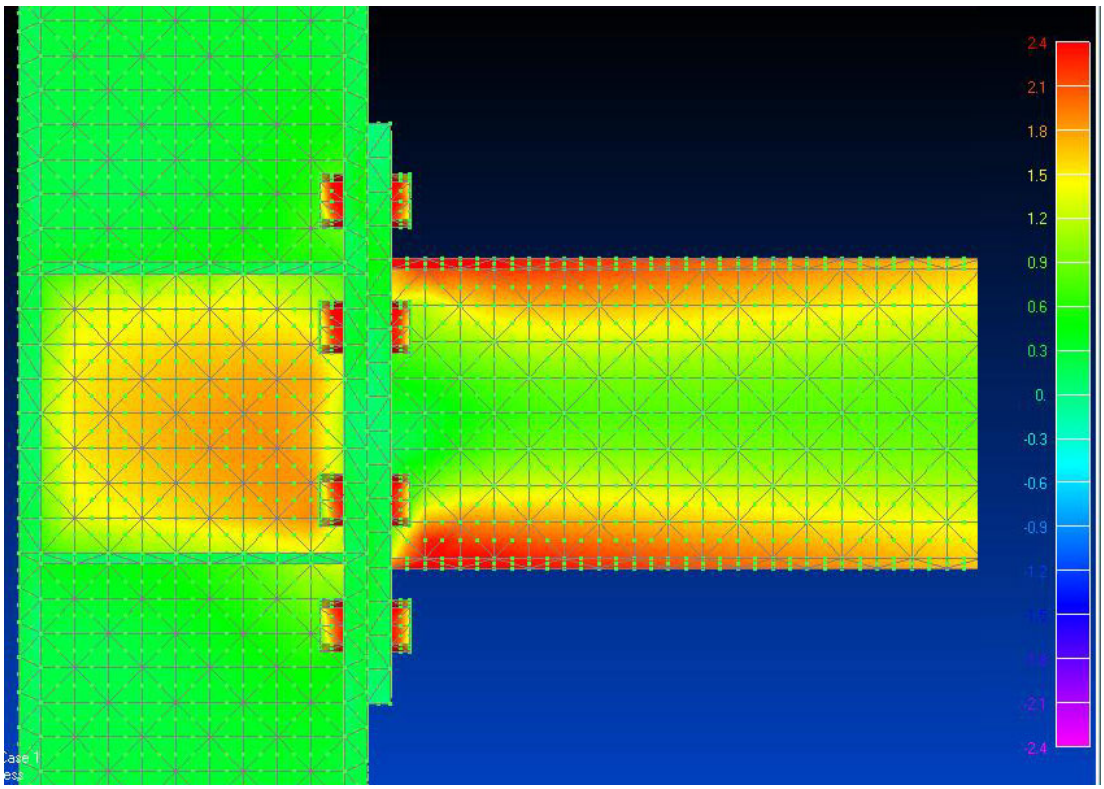
Şekil A.3: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) P3 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



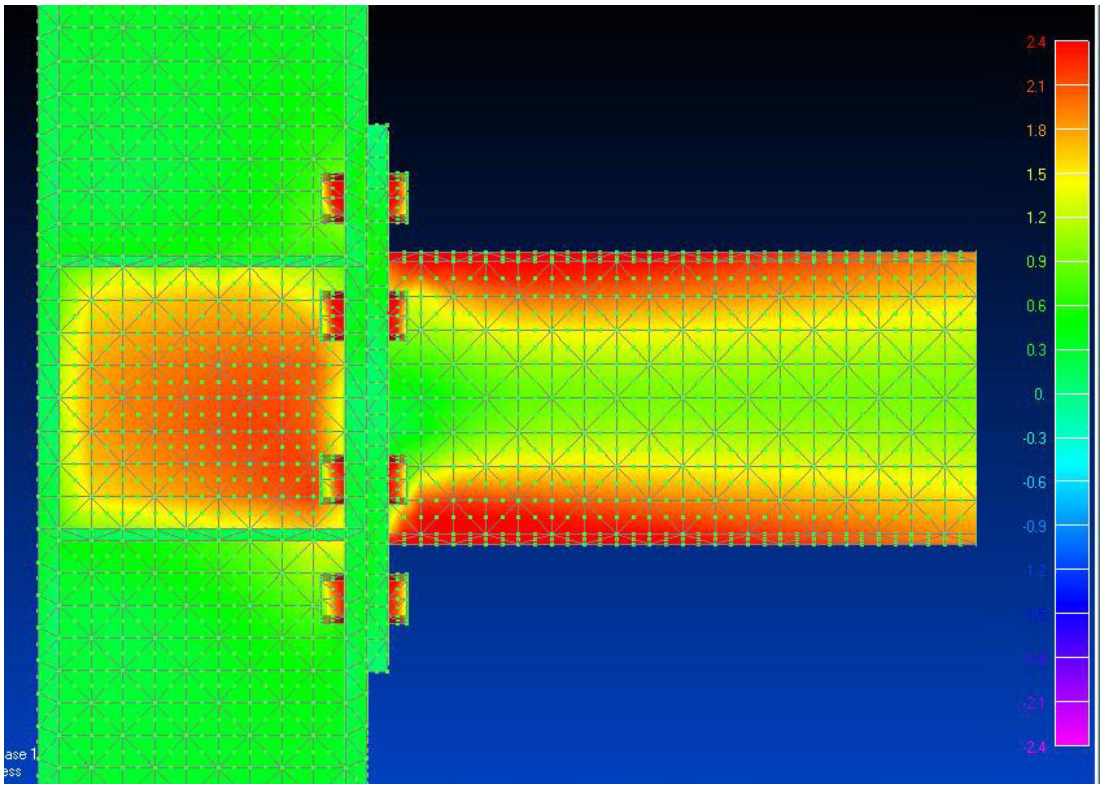
Şekil A.4: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli sistem P3 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



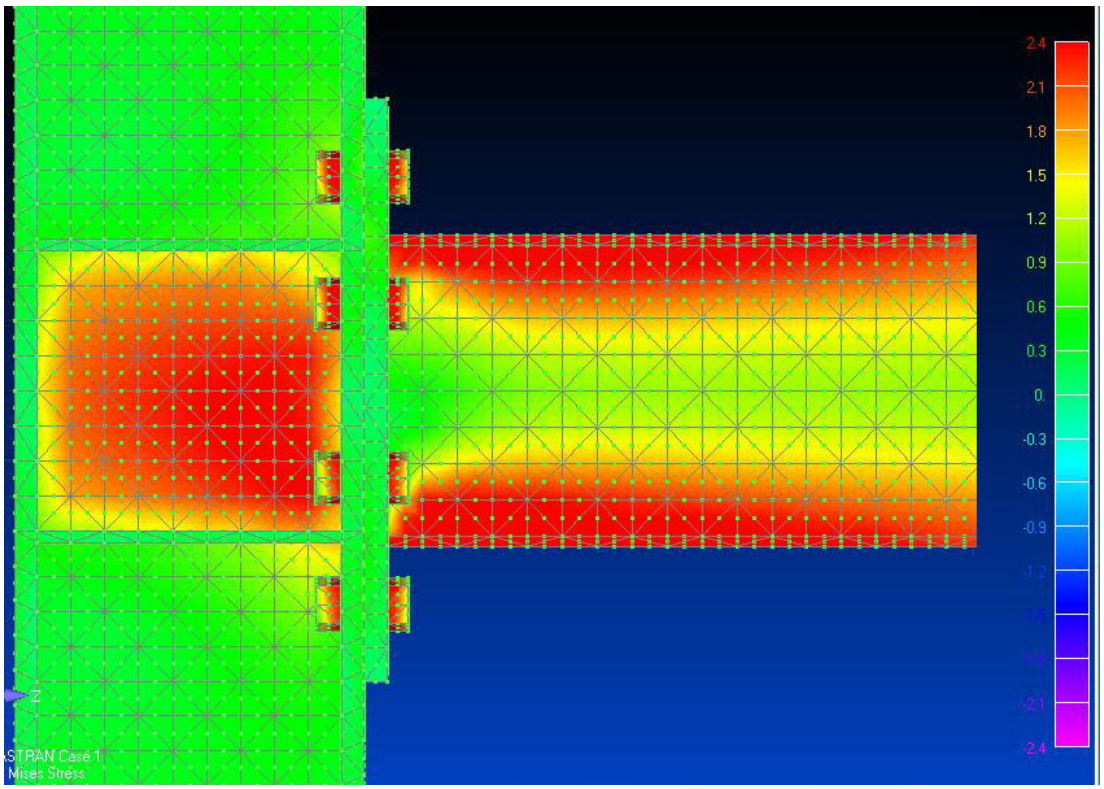
Şekil A.5: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli sistem P4 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



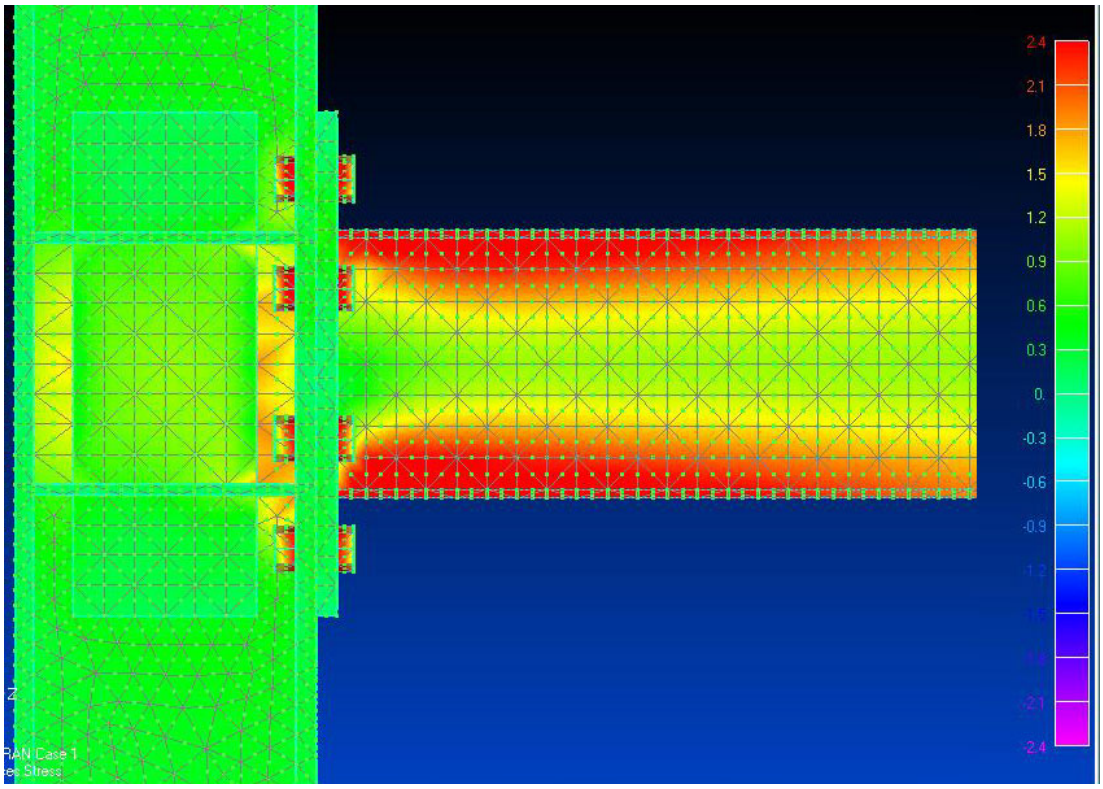
Şekil A.6: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli sistem P5 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



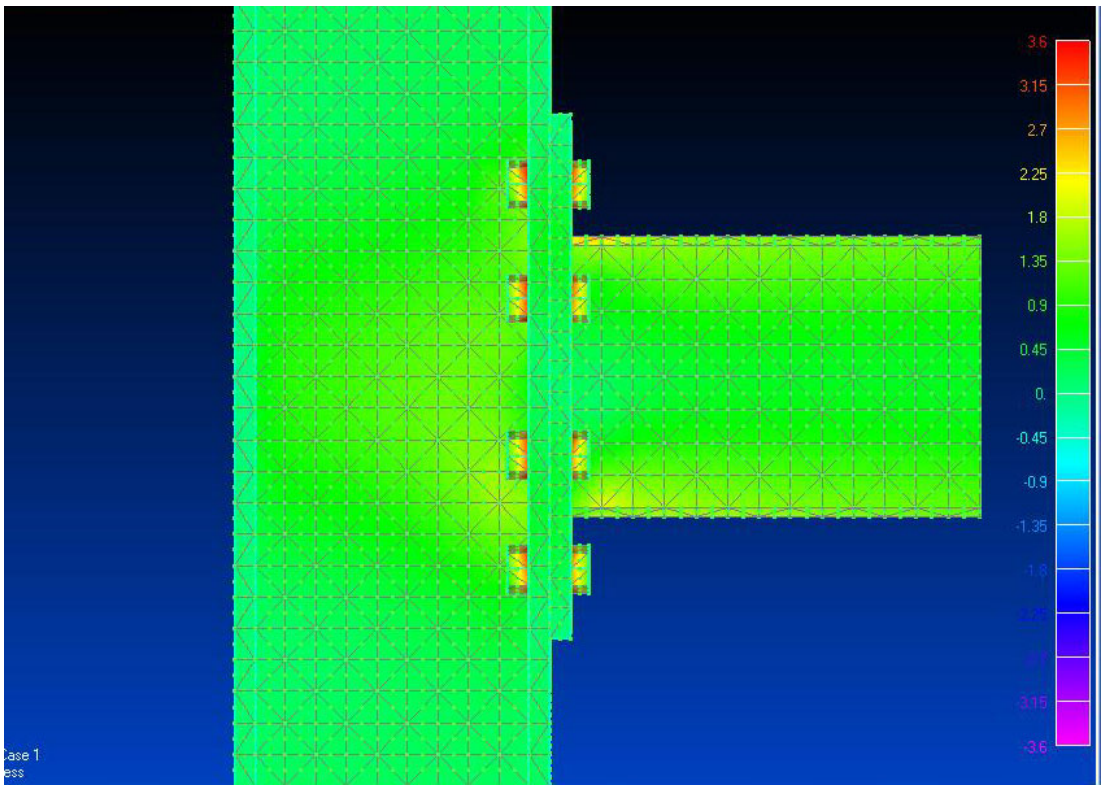
Şekil A.7: NX NASTRANbirleşim modeli (ST37) berkitmeli sKistem P6 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



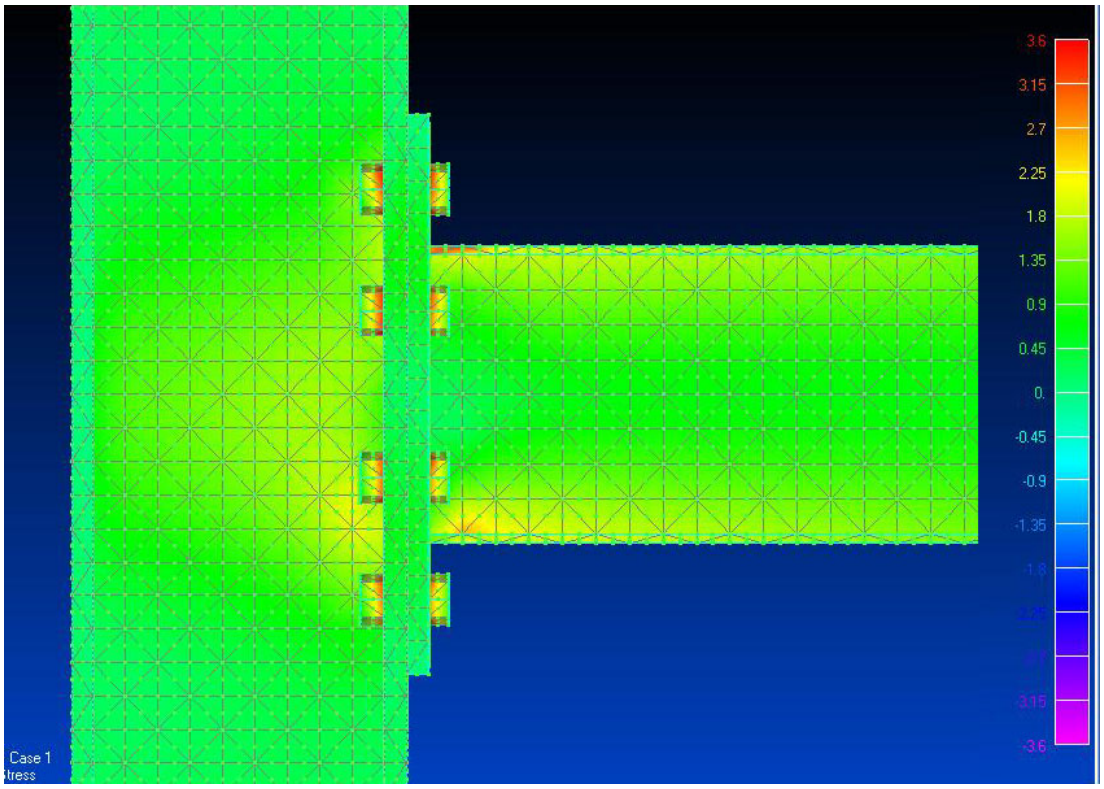
Şekil A.8: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli sistem P7 yüklemesi Von-Mises gerilme diyagramı.



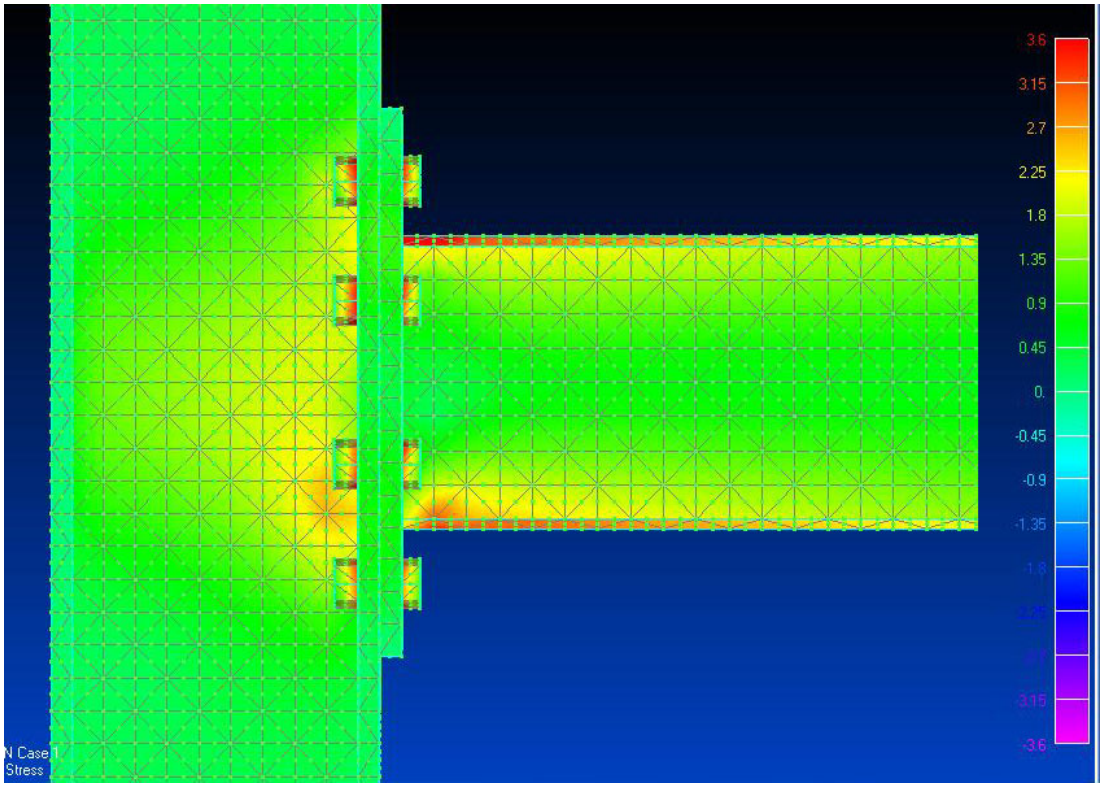
Şekil A.9: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli sistem P7 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı



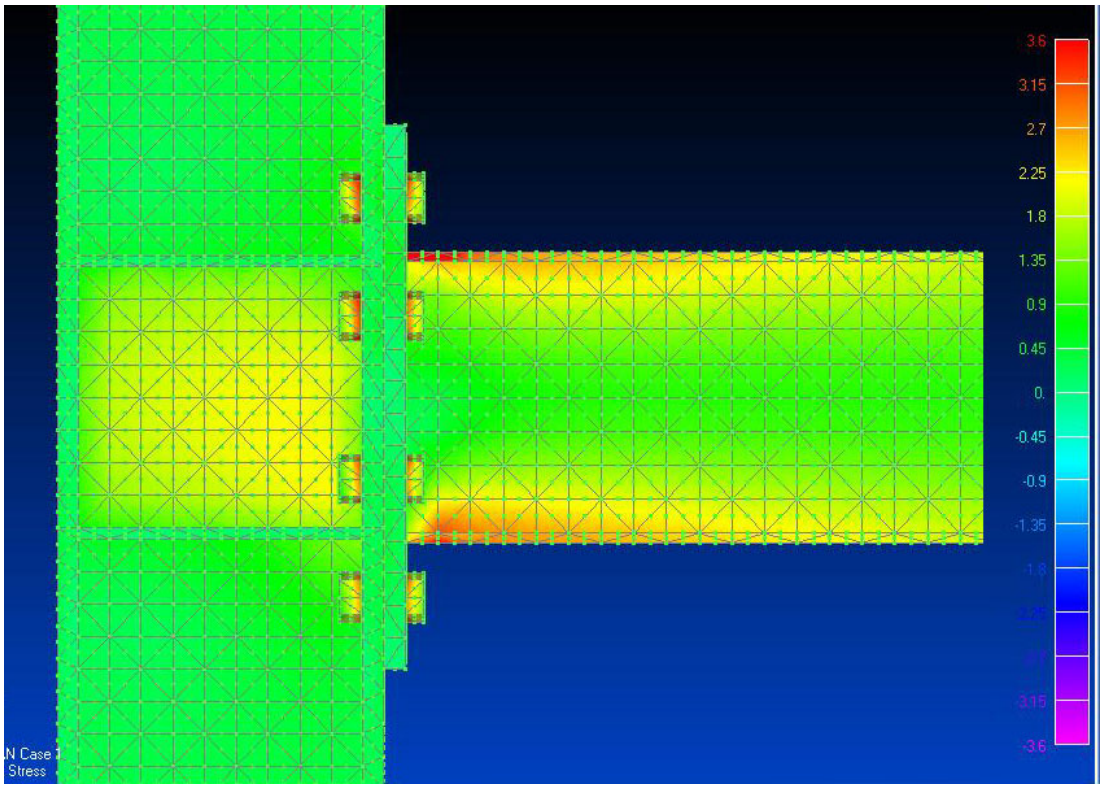
Şekil A.10: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) P1 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



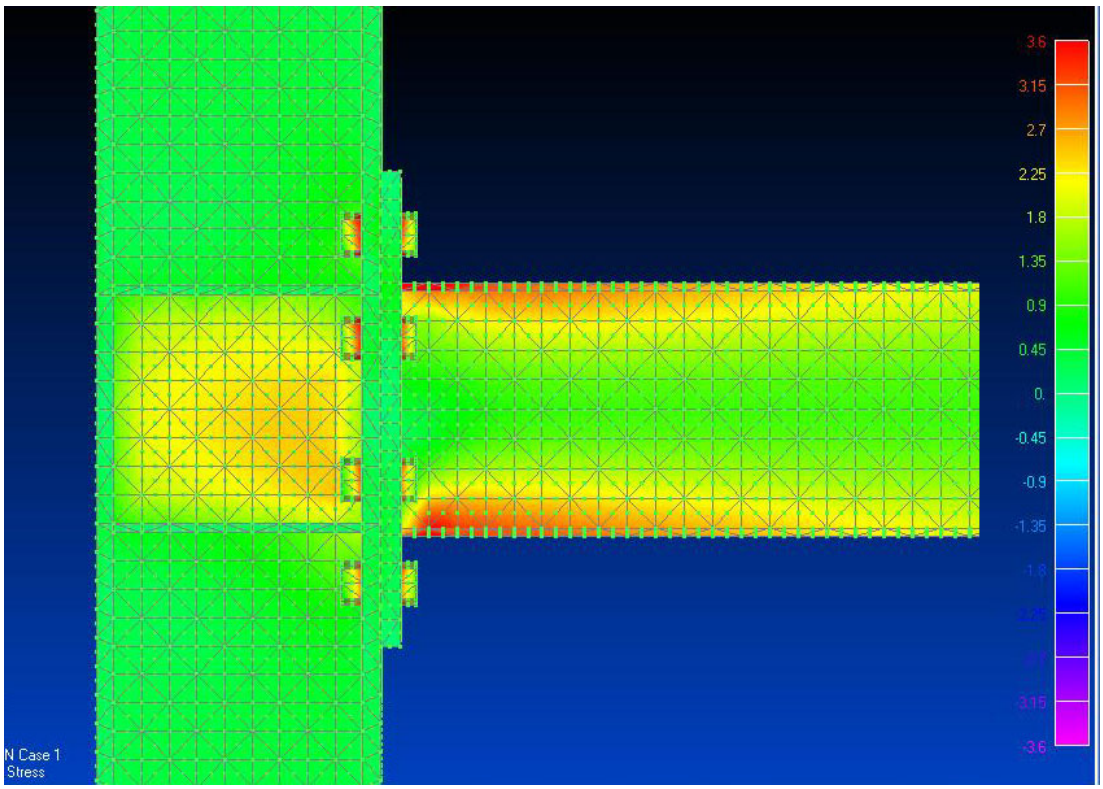
Şekil A.11: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) P2 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



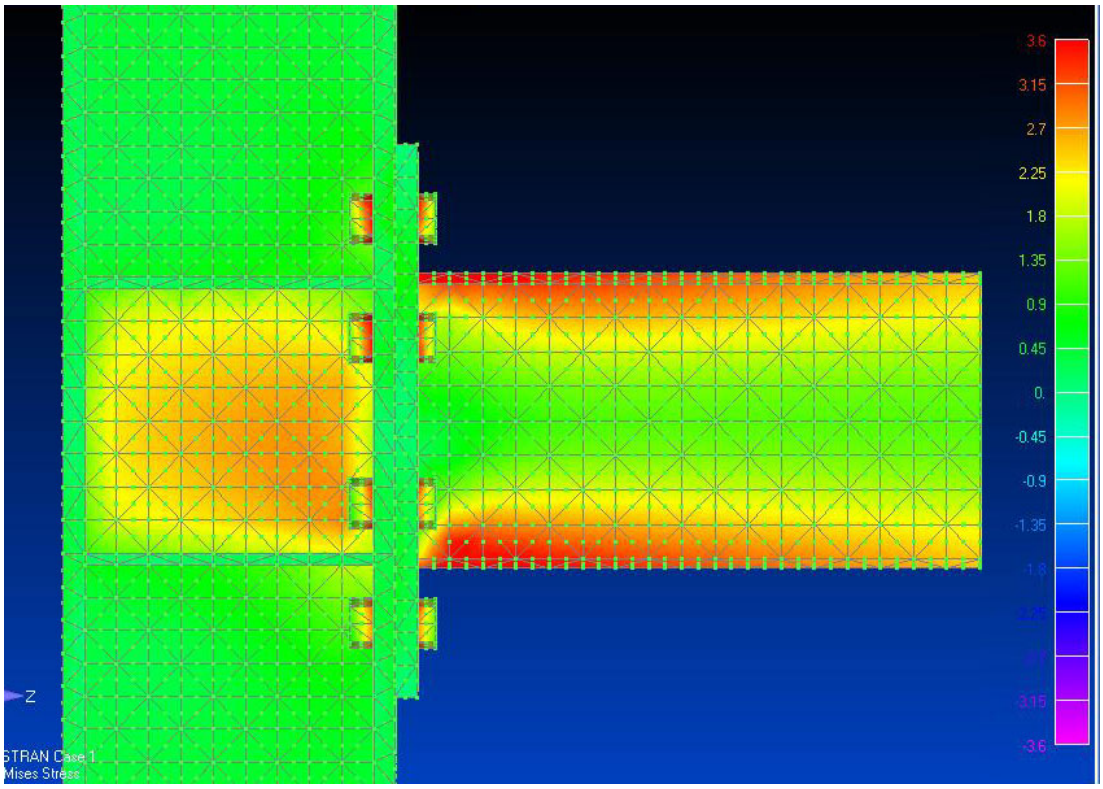
Şekil A.12: NX NASTRANbirleşim modeli (ST52) P3 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



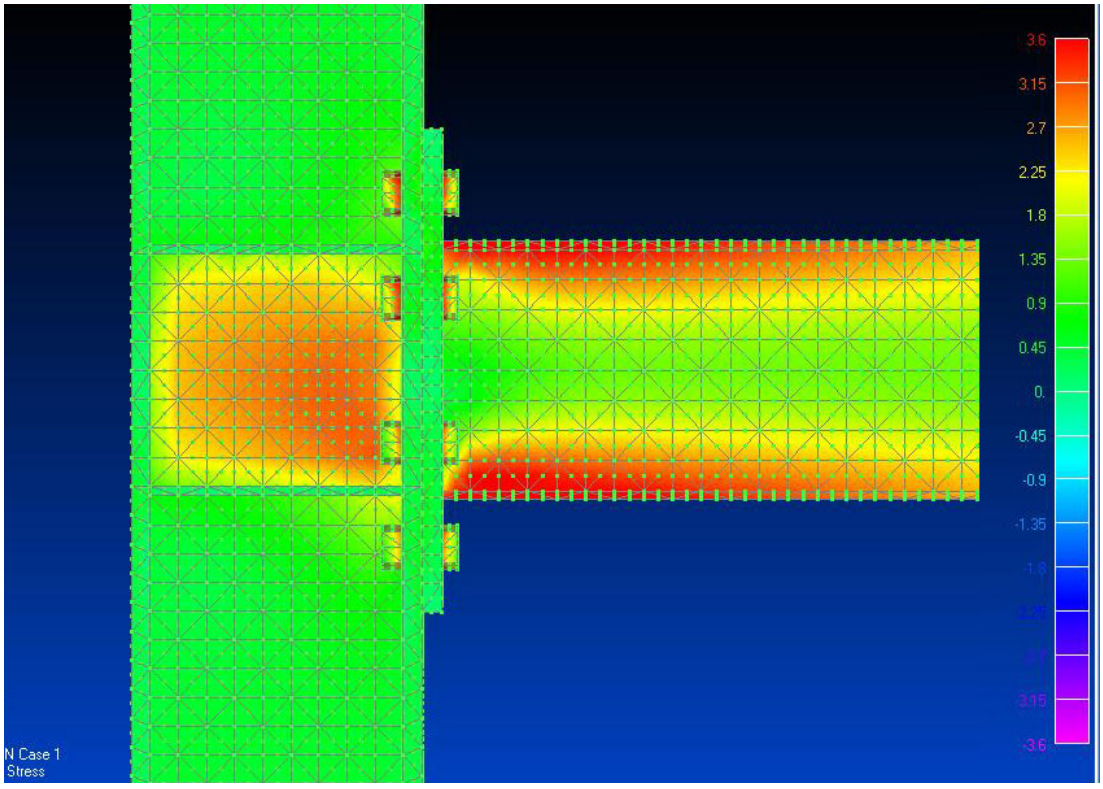
Şekil A.13: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P4 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



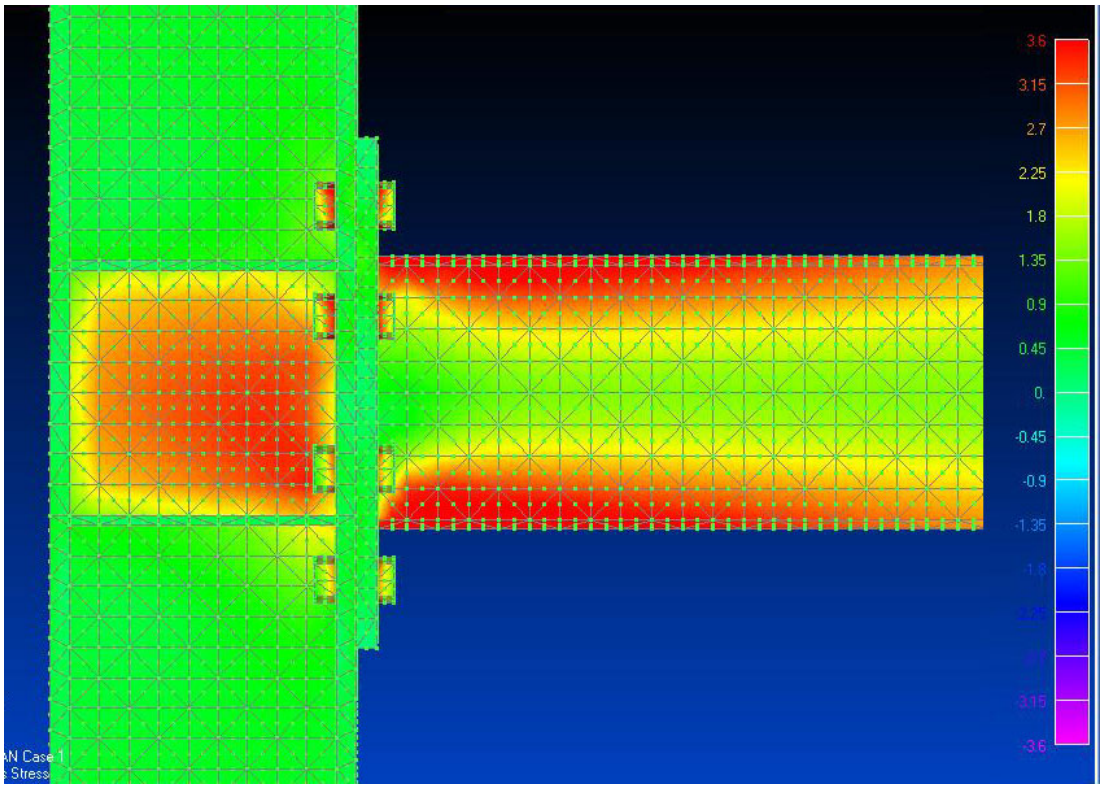
Şekil A.14: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P5 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



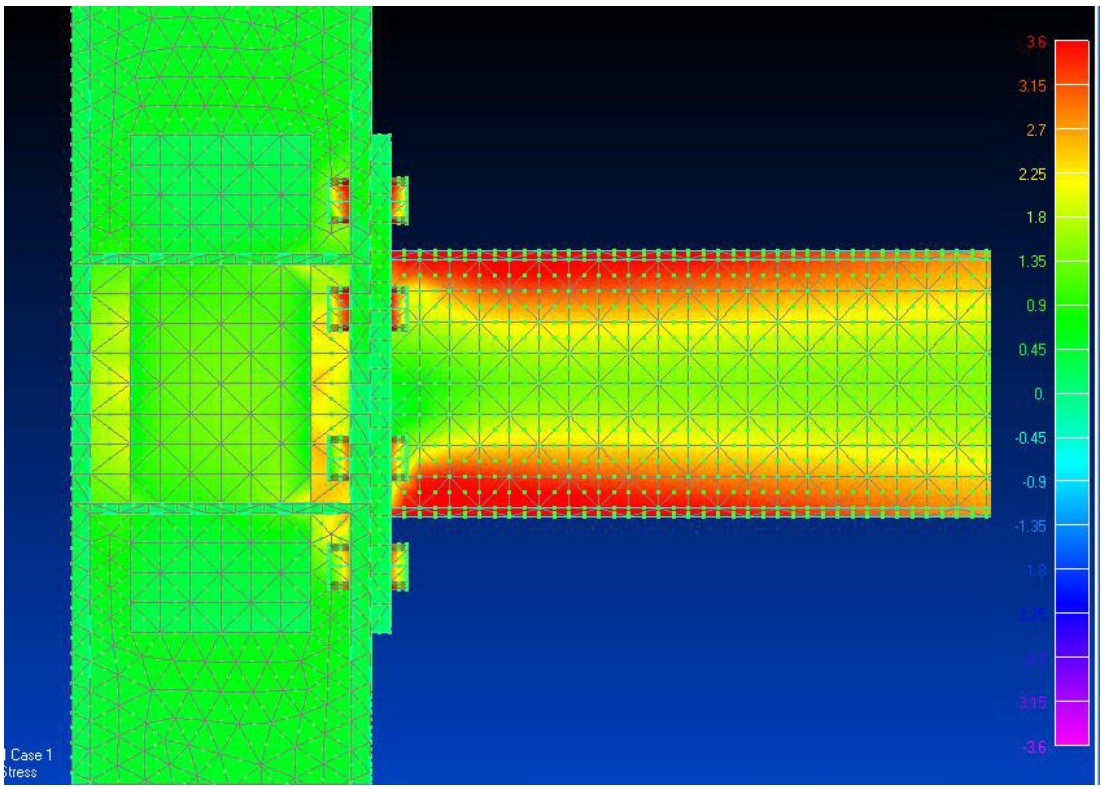
Şekil A.15: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P6 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



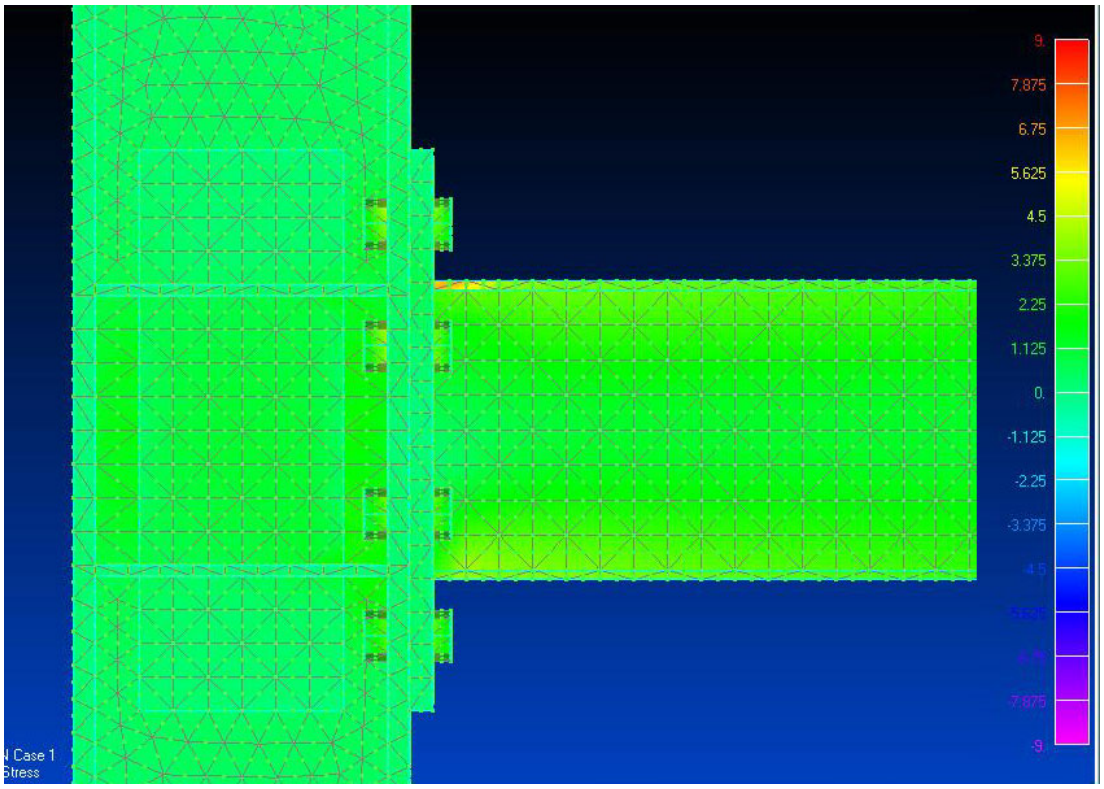
Şekil A.16: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P7 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



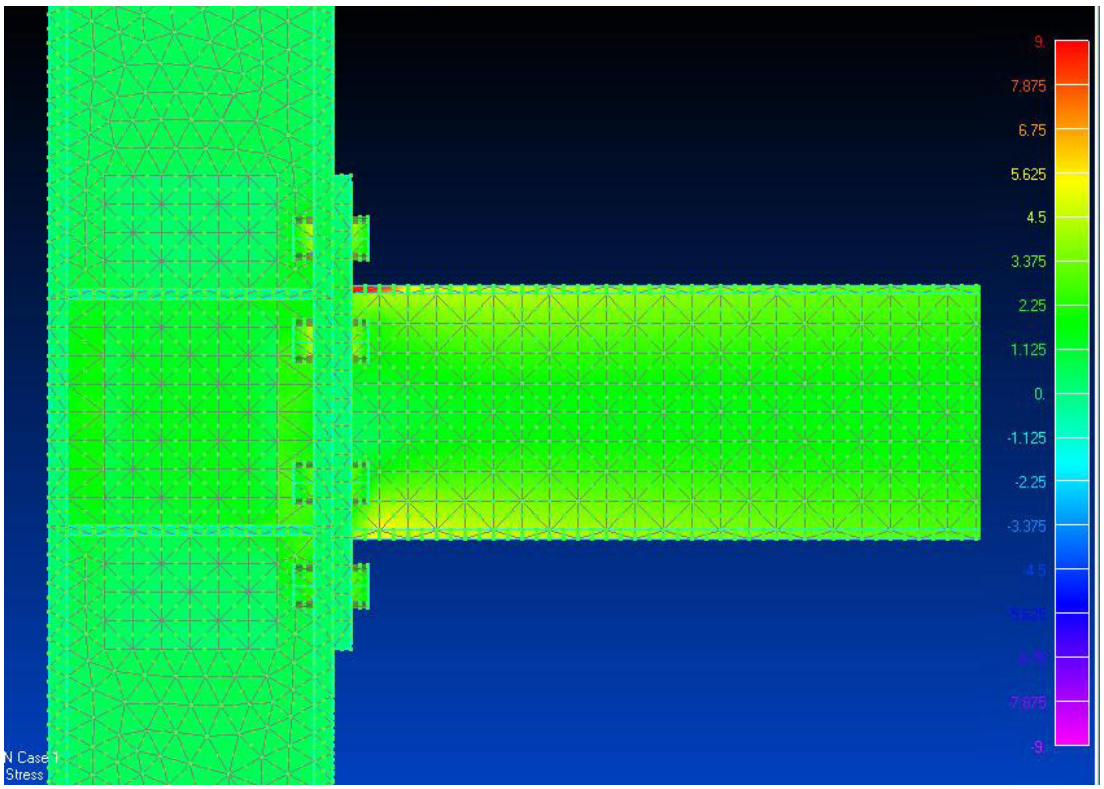
Şekil A.17: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli P8 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.



Şekil A.18: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli P8 yüklemesiVon-Mises gerilme diyagramı.

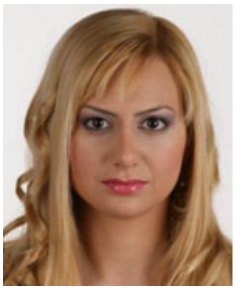


Şekil A.19: NX NASTRAN birleşim modeli (ST37) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesi bulon Von-Mises gerilme diyagramı.



Şekil A.20: NX NASTRAN birleşim modeli (ST52) berkitmeli, panel bölgesi takviyeli P_{kopma} yüklemesi bulon Von-Mises gerilme diyagramı.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **:** Gökçe Şenyuva

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 11.05.1983

Adres **:** Şahika Sok. Filiz Apt. No38/19 Göztepe/İST

Lisans Üniversite **:** İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi **:**