

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAFES KİRİŞLİ PORTAL KREN ANA KİRİŞİNİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bedirhan ERKEN**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

ŞUBAT 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAFES KİRİŞLİ PORTAL KREN ANA KİRİŞİNİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bedirhan ERKEN
(503071205)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (İÜ)**

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ'ye, Transport Tekniği Kürsüsünden Prof. Dr. C. Erdem İMRAK'a, Pak Arge A.Ş. firması genel müdürü Yük. Mak. Müh. Levent PAK'a, Gemi İnşa. Müh. Orkun AKTAŞ'a, gerilme analizi konusunda yardımlarından dolayı Yük. Mak. Müh. Said BEDİR'e, Makine Fakültesi'nin değerli mensupları hocalarıma, ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2008

Bedirhan ERKEN

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAFES SİSTEMLER	3
2.1 Giriş	3
2.2 Düzlem Kafes Sistemler	3
2.3 Basit Kafes Sistemler	4
2.4 Bileşik Kafes Sistemler	5
2.5 Karmaşık Kafes Sistemler	6
2.6 Düzlem Kafes Sistemlerin Rijitliği	6
2.6.1 Düğüm metodu	6
2.6.2 Kesme metodu.....	7
2.6.3 İndis gerilme metodu	8
2.7 Uzay Kafes Sistemler	9
2.8 Kafes Sistemin Portal Kren Ana Kirişlerinde Uygulanması	10
3. KAFES ANAKİRİŞLİ PORTAL KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	13
3.1 Teknik Özellikler.....	13
3.2 F.E.M Standartlarına Göre Gruplandırma	13
3.3 Tahrik Sistemleri	13
3.4 Kaldırma Grubu	14
3.5 Vinç Yürütme Grubu	14
4. SONLU ELEMANLAR METODU	15
4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi	15
4.2 Uygulama Alanları	16
4.3 Problemlerde Uygulanması.....	16
4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri	17
4.5 Abaqus/CAE Sonlu Elemanlar Paket Programı.....	18
4.5.1 Programın bölümleri.....	18
4.5.2 Ön işlem süreci (Preprocessor)	20
4.5.3 Programın çalıştırılması.....	21
4.5.4 Katı modelin oluşturulması.....	22
4.5.5 Malzeme girişi.....	23
4.5.6 Adım (Step) menüsü.....	24
4.5.7 Etkileşim (Interaction) tanımlanması	25
4.5.8 Sınır şartların ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması.....	26
4.5.9 Parçanın küçük parçalara (Mesh) bölünmesi	26
4.5.10 İş (Job) menüsü	28
4.5.11 Analiz sonrası işlemler (Postprocessor) menüsü	29
5. KAFES ANA KİRİŞLİ PORTAL KRENİN MUKAVEMET HESAPLARI .31	
5.1 Krenin Maruz Kaldığı Kuvvetler	31
5.1.1 Zati ağırlıklar.....	31

5.1.2 Çalışma yükü.....	31
5.1.3 Dinamik yükler.....	32
5.1.4 Rüzgâr yükü	32
5.1.5 Halat makarasından doğan yükler	32
5.2 Ana Kirişin FEM Şartnamesine Göre Mukavemet Hesabı.....	33
5.2.1 Ana kiriş zati ağırlığı etkisi.....	38
5.2.2 Alt başlıkta araba tesiri	40
5.2.3 Maksimum tesisler toplamı.....	41
5.2.4 Üst başlık kontrolü	42
5.2.5 Alt başlık kontrolü.....	43
5.2.6 2 x 275 ton sehim hesabı kontrolü	45
5.2.7 Ana kiriş çaprazlarının mukavemet kontrolü.....	47
5.2.8 Arabalar rijit bacağa yanaşırken.....	52
5.2.9 Arabalar ana kiriş ortasındaiken.....	53
5.2.10 Arabalar mafsalsal bacağa yanaşırken	54
5.2.11 Çubukların rijit bacak ekseninden uzaklıkları ve çubuk kuvvetleri.....	54
5.2.12 Kren çarpılma tesiri	55
5.2.13 Çubuk hesabı.....	57
6. KAFES ANAKİRİŞİN MODELLENMESİ.....	60
6.1 Giriş.....	60
6.2 Ana Kiriş Genel Kesiti	60
6.3 Çubuk Kesitlerin Modellenmesi	61
6.4 Üst Kirişin Modellenmesi.....	62
6.5 Alt Kirişin Modellenmesi	64
6.6 Rijit Bacak Üst Kutusunun Modellenmesi	65
6.7 Ana Kiriş Mafsalsal Kutusunun Modellenmesi	67
6.8 Buruşma Perdelerinin Kesitleri.....	70
6.9 Diğer Elemanların Modellenmesi	71
6.10 Üç Boyutlu Montaj Resmi	74
7. ANAKİRİŞİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	77
7.1 Giriş.....	77
7.2 Krenin Meshlenmesi.....	77
7.3 Ana Kirişin Sonlu Elemanlara Hazırlanması.....	79
7.3.1 Çubukların meshlenmesi	79
7.3.2 Rijit bacak kutusunun meshlenmesi	81
7.3.3 Üst kirişin meshlenmesi.....	84
7.3.4 Alt kirişin meshlenmesi	86
7.3.5 Mafsalsal kutusunun meshlenmesi	89
7.3.6 Meshlenmiş ana kiriş montajı	92
7.4 Modele Malzeme Bilgisinin Atanması.....	94
7.5 Analiz Tipi	94
7.6 Analiz Sırasında Dikkat Edilen Husular.....	94
7.7 Analiz Sonuç İsteği	95
7.8 Sınır Koşulların Atanması	95
7.9 Yüklemler.....	96
7.10 Yüklerin Konumları ve Yönleri	98
7.10.1 Krenin zati ağırlığı.....	99
7.11 Bulgular	104
7.11.1 Ana kiriş sehiminin tespiti	104
7.11.2 Ana kirişte oluşan gerilmeler	109

7.11.3 Rijit bacak üst kutusunda meydana gelen gerilmeler	111
7.11.4 Ana giriş mafsalsal kutusunda meydana gelen maksimum gerilmeler.....	114
7.11.5 Ana giriş kafes kısmında meydana gelen gerilmeler.....	119
7.11.6 Çubukların yuvarlak köşeli modellenmesi	126
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	134
KAYNAKLAR.....	138
EK A.....	139
EK B.....	144
EK C.....	145
EK D.....	154
EK E.....	160

KISALTMALAR

CAE	: Computer Aided Engineering
DIN	: Deutsches Institut für Normung
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : İşletme dışı rüzgar basıncı ve hızları	35
Çizelge 5.2 : Ömür faktörü	35
Çizelge 5.3 : Ömür faktörü A.37-A.42-A.52 çelikleri için gerilme değerleri	35
Çizelge 5.4 : Çubukların rijit bacadan uzaklıkları ve çubuk kuvvetleri	55
Çizelge 5.5 : Çubuklar üzerinde oluşan gerilmeler	59
Çizelge 7.1 : Yükleme kombinasyon çizelgesi	97
Çizelge 7.2 : Yükleme kombinasyonları açıklama çizelgesi	98
Çizelge 7.3 : Krenin kendi ağırlığından kaynaklanan sehim çizelgesi.....	106
Çizelge 7.4 : Kren yüklüken oluşan sehim değerleri.....	107
Çizelge 7.5 : Krenin kendi ağırlığından oluşan sehim değerleri.....	108
Çizelge 7.6 : Kren Ana kirişinin çeşitli yüklemeler altındaki düşey sehimini	109
Çizelge 8.1 : SEM analizi ile analitik hesaplamasının karşılaştırılması	135
Çizelge 8.2 : SEM analizi ile analitik hesap karşılaştırılması.....	136
Çizelge B.1 : Anakişte kullanılan renklere göre sac kalınlıkları.....	144

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Baz eleman	4
Şekil 2.2 : Basit kafes sistem	5
Şekil 2.3 : Birleşik kafes sistemin birleştirilmesi.....	5
Şekil 2.4 : Uyumlu bağlı (a) ve uyumsuz bağlı (b) birleşik kafes sistemi.....	5
Şekil 2.5 : Düğüm metoduna göre çözüm sırası	7
Şekil 2.6 : Düğüm metoduna göre çözüm sırası	7
Şekil 2.7 : Kesim metoduna göre çözüm.....	8
Şekil 2.8 : Kesim metoduna iki kesimli çözüm	8
Şekil 2.9 : İndis gerilme metoduna göre çözüm.....	9
Şekil 2.10 : Basit uzay kafes sistemi	9
Şekil 2.11 : Karmaşık uzay kafes sistemi	10
Şekil 2.12 : Kutu ana kirişli portal kren.....	11
Şekil 2.13 : Kafes ana kirişli portal kren	11
Şekil 2.14 : Ana kirişte çubukların dizilimi.....	12
Şekil 4.1 : Bir boyutlu sonlu eleman	17
Şekil 4.2 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği.....	17
Şekil 4.3 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar	18
Şekil 4.4 : Abaqus/CAE ana penceresi.....	19
Şekil 4.5 : Abaqus/CAE açılış penceresi.....	21
Şekil 4.6 : Abaqus/CAE katı model oluşturma	22
Şekil 4.7 : Abaqus/CAE çizim alanı.....	23
Şekil 4.8 : Malzeme girişi	24
Şekil 4.9 : Adım (Step) menüsü	25
Şekil 4.10 : Etkileşim Menüsü	26
Şekil 4.11 : Yükleme ve sınır şartlar menüleri	26
Şekil 4.12 : Parçanın dilimlenmesi.....	27
Şekil 4.13 : Eleman tipi seçme menüsü.....	28
Şekil 4.14 : İş menüsü	29
Şekil 4.15 : Sonuçların görüntülenmesi menüsü.....	30
Şekil 5.1 : Kafes ana kirişli portal vincin genel ölçüleri	33
Şekil 5.2 : Kren tipine uygun darbe faktör seçim.....	34
Şekil 5.3 : FEM'e göre lambda seçimi	34
Şekil 5.4 : Arabaların yük etkisinden oluşan moment tesiri	37
Şekil 5.5 : Ana kiriş zati ağırlığı serbest cisim diyagramı.....	38
Şekil 5.6 : Araba fren etkisinden oluşan momentin gösterimi.....	39
Şekil 5.7 : Üst başlık kesiti	42
Şekil 5.8 : Alt başlık kesiti.....	43
Şekil 5.9 : Ana kiriş serbest cisim diyagramı	45
Şekil 5.10 : Ana kirişe verilen ters sehim.....	47
Şekil 5.11 : Ana kiriş kesiti.....	48
Şekil 5.12 : Bir çaprazın X – Y – Z eksen takımındaki konumu	49

Şekil 5.13 : Ana kirişe etkiyen kuvvetler ve kesme kuvvet diyagramı	50
Şekil 5.14 : Ana kiriş zati ağırlığının tesiri ve oluşan kesme kuvveti diyagramı	51
Şekil 5.15 : Arabaların fren tesiri	51
Şekil 5.16 : Fren tesirinin maksimum tesir noktası	51
Şekil 5.17 : Çapraz kuvvetleri diyagramı	52
Şekil 5.18 : Arabalar rijit bacağa yanaşırken etkiyen kuvvetlerin konumu	53
Şekil 5.19 : Arabalar ana kirişin ortasındaiken etkiyen kuvvetlerin konumu	53
Şekil 5.20 : Arabalar rijit bacağa yanaşırken etkiyen kuvvetlerin konumu	54
Şekil 5.21 : Çarpılan bacak tekerlerine etkiyen tepki kuvvetleri	56
Şekil 5.22 : Ana kirişe etkiyen yatay çarpılma kuvveti	56
Şekil 5.23 : 1 No 'lu çubuğun kesiti	57
Şekil 6.1 : Ana kiriş genel kesiti	60
Şekil 6.2 : Ana kiriş kafes sisteminin “beam” olarak modellenmesi	61
Şekil 6.3 : Çubuğun iki boyutlu teknik resmi	62
Şekil 6.4 : Çubuğun 3D modeli	62
Şekil 6.5 : Üst kiriş kesiti	63
Şekil 6.6 : Üst kiriş 3D modeli	63
Şekil 6.7 : Alt kiriş 2D kesiti	64
Şekil 6.8 : Altkiriş 3D modeli	64
Şekil 6.9 : Altkiriş içerisindeki mukavemet elemanları dizilişi	65
Şekil 6.10 : İki boyutlu rijit bacak üst kutusunun yandan görünüşü	66
Şekil 6.11 : Rijit bacak üst kutusu 3D modeli	66
Şekil 6.12 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki takviyeler	67
Şekil 6.13 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 2D üstten görünüşü	68
Şekil 6.14 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 2D yandan görünüşü	68
Şekil 6.15 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 3D modeli	69
Şekil 6.16 : Ana kiriş mafsalsal kutusu iç detayı	69
Şekil 6.17 : Altkiriş çubuk altı takviyesinin 2D resmi	70
Şekil 6.18 : Altkiriş buruşma takviyesinin 2D resmi	70
Şekil 6.19 : Altkiriş çubuk altı takviyesinin 3D modeli	70
Şekil 6.20 : Altkiriş buruşma takviyesinin 3D modeli	71
Şekil 6.21 : Ana kiriş mafsalsal sisteminin yandan ve önden 2D görünüşleri	72
Şekil 6.22 : Ana kiriş mafsalsal sisteminin 3D modeli	72
Şekil 6.23 : Rijit bacak üst kutu halat makaraları yatağının 2D resmi	73
Şekil 6.24 : Rijit bacak üst kutu halat makaraları yatağının 3D resmi	73
Şekil 6.25 : Eğilme rijitliği sağlayan hollanda profili 2D kesit resmi	74
Şekil 6.26 : Hollanda profilinin 3D resmi	74
Şekil 6.27 : Ana kirişin montaj 3D modeli	75
Şekil 6.28 : Ana kiriş içerisinde kullanılan takviye elemanlar	75
Şekil 6.29 : Ana kiriş mafsalsal bacağa yakın olan kısımdaki takviye elemanlar	76
Şekil 7.1 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin isometrik görünüşü	78
Şekil 7.2 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin önden görünüşü	78
Şekil 7.3 : Meshlenmiş çubuk modeli	79
Şekil 7.4 : Meshlenmiş kafes yapıyı oluşturan çubuk dizisi	80
Şekil 7.5 : Çubuk dizisi aralarındaki meshlenmiş bağlantı levhaları	81
Şekil 7.6 : Meshlenmiş rijit bacak üst kutusu	82
Şekil 7.7 : Meshlenmiş rijit bacak üst kutusu takviyeleri	82
Şekil 7.8 : Rijit bacak üst kutusunun meshlenmiş buruşma takviyeleri	83
Şekil 7.9 : Rijit bacak üst kutusunun meshlenmiş eğilme takviyeleri	83
Şekil 7.10 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki meshlenmiş makara yuvaları	84

Şekil 7.11 : Ana giriş üst kutusunun meshlenmiş modeli	85
Şekil 7.12 : Kutu içerisindeki takviye levha dizilişleri	85
Şekil 7.13 : Meshlenmiş altkiriş.....	86
Şekil 7.14 : Altkiriş meshlenmiş çubuk altı takviye elemanı	87
Şekil 7.15 : Altkiriş meshlenmiş buruşma takviyesi	87
Şekil 7.16 : Altkiriş baskı takviyesinin meshlenmiş modeli.....	88
Şekil 7.17 : Geometrisi sadeleştirilerek meshlenmiş profiller	88
Şekil 7.18 : Altkiriş içerisindeki meshlenmiş takviye elemanların dizilişleri	89
Şekil 7.19 : Meshlenmiş ana giriş mafsalsal kutusunun izometrik görünüşü	90
Şekil 7.20 : Mafsalsal kutusu içerisindeki meshlenmiş takviyeler.....	90
Şekil 7.21 : Meshlenmiş mafsalsal kutusu içerisindeki makara yuvaları	91
Şekil 7.22 : Mafsalsal modelin meshlenmiş hali.....	91
Şekil 7.23 : Meshlenmiş ana giriş montajı.....	92
Şekil 7.24 : Ana girişin mafsalsal bacak tarafındaki meshlenmiş takviye detayı	92
Şekil 7.25 : Ana girişin rijit bacak tarafındaki meshlenmiş takviye detayı.....	93
Şekil 7.26 : Ana girişin orta kısmının meshlenmiş takviye detayı.....	93
Şekil 7.27 : Kren tekerlerinin mesnetlenme yöntemi	96
Şekil 7.28 : Krenin zati ağırlığının yönü (Global Y yönünde)	99
Şekil 7.29 : Krenin zati ağırlığından kaynaklı atalet kuvveti	100
Şekil 7.30 : Arabaların ana girişin ortasında olduğu durum	101
Şekil 7.31 : Arabaların girişin ortasındayken rijit bacağa doğru hareketi	102
Şekil 7.32 : Arabaların girişin ortasındayken mafsalsal bacağa doğru hareketi	102
Şekil 7.33 : Krenin hareketinden dolayı arabaların atalet etkisi	103
Şekil 7.34 : Sonlu elemanlar yöntemiyle ana giriş sehiminin ölçülmesi.....	104
Şekil 7.35 : Vincin yüksüz durumdayken ana giriş düşey sehimini	105
Şekil 7.36 : Vinç yüklüken ana girişin düşey sehimini	106
Şekil 7.37 : Vincin zati ağırlığından kaynaklanan düşey sehim	108
Şekil 7.38 : Ana giriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı	110
Şekil 7.39 : Ana giriş üzerinde gerilme dağılımı	111
Şekil 7.40 : Rijit bacak üst kutusundaki çekme ve basma kuvvetleri akışı.....	112
Şekil 7.41 : Rijit bacak üst kutusundaki gerilme dağılımı.....	112
Şekil 7.42 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki gerilme dağılımı	113
Şekil 7.43 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki gerilme dağılımı	114
Şekil 7.44 : Ana giriş mafsalsal kutusu üzerindeki kuvvet akış dağılımı.....	115
Şekil 7.45 : Ana giriş mafsalsal kutusu üzerindeki gerilme dağılımı.....	116
Şekil 7.46 : Ana giriş mafsalsal kutusu içerisindeki kuvvet akışı.....	117
Şekil 7.47 : Ana giriş mafsalsal kutusu içerisindeki gerilme dağılımı	118
Şekil 7.48 : Ana giriş kafes bölümünün 3 farklı kısma ayrılarak incelenmesi	119
Şekil 7.49 : Basmaya ve çekmeye maruz kalan çubuk çifti	119
Şekil 7.50 : Ana giriş kafes bölge I 'deki gerilmeler dağılımı.....	120
Şekil 7.51 : Ana giriş bölge I deki giriş içerisinde oluşan gerilemeler	121
Şekil 7.52 : Alt giriş üzerindeki kuvvet dağılımı	121
Şekil 7.53 : Ana giriş bölge II ' deki gerilme dağılımı.....	122
Şekil 7.54 : Üst giriş üzerindeki kuvvet dağılımı.....	123
Şekil 7.55 : Anakiriş bölge II deki giriş içlerindeki oluşan gerilemeler.....	123
Şekil 7.56 : Ana giriş bölge III ' deki gerilme dağılımı	124
Şekil 7.57 : Ana giriş bölge II deki giriş içlerindeki oluşan gerilemeler.....	125
Şekil 7.58 : Noktasal gerilmeler.....	125
Şekil 7.59 : Yuvarlak köşeli çubuk modelinin uç kesitleri.....	127
Şekil 7.60 : Yuvarlak köşeli çubuk modeli.....	127

Şekil 7.61 :	Yuvarlak köşeli çubuk modeli ile keskin köşeli çubuğun görünümü...	128
Şekil 7.62 :	Yuvarlak köşeli keskin köşeli çubuğun kesitleri	128
Şekil 7.63 :	Çubukların birbirilerine bağlanma şekli	129
Şekil 7.64 :	Çubukların alt kirişe montajlanması.....	129
Şekil 7.65 :	Çubuk montajının sonlu eleman analizi.....	130
Şekil 7.66 :	Çubuk montajı üzerindeki çekme ve basma kuvveti akışı	130
Şekil 7.67 :	Keskin köşeli çubuk montajı üzerinde oluşan gerilmeler	131
Şekil 7.68 :	Keskin ve yuvarlak köşeli çubukların üzerinde oluşan gerilemeler	132
Şekil 7.69 :	Keskin köşeli çubukların üzerinde oluşan gerilemeler	132
Şekil A.1 :	Çubuk kesitleri (No:15, 16, 13, 12)	139
Şekil A.2 :	Çubuk kesitleri (No:17, 11, 10, 18, 09)	139
Şekil A. 3 :	Çubuk kesitleri (No:20, 19, 08, 07, 21, 06, 05)	140
Şekil A. 4 :	Çubuk kesitleri (No: 23, 22, 04, 26, 25, 24, 03, 02)	140
Şekil A. 5 :	Çubuk kesitleri (No: 28, 27, 01).....	141
Şekil A.6 :	Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin yandan görünüşü	142
Şekil A.7 :	Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin üstten görünüşü	143
Şekil C.1 :	Araba, kanca ve yükün rijit bacak tarafındaki konumu	145
Şekil C.2 :	Araba, kanca ve yükün mafsalsal bacağa yakın konumu	146
Şekil C.3 :	Arabaların rijit bacağa doğru hareketi	147
Şekil C.4 :	Arabaların mafsalsal bacak tarafındayken rijit bacağa doğru hareketi	148
Şekil C.5 :	Arabaların rijit bacak tarafındayken mafsalsal bacağa doğru hareketi	149
Şekil C.6 :	Arabaların mafsalsal bacak tarafındayken mafsalsal bacağa doğru hareketi	150
Şekil C.7 :	Krenin hareketinden dolayı arabaların atalet etkisi	151
Şekil C.8 :	Arabalar mafsalsal bacağa yanaşırken arabaların atalet etkisi.....	152
Şekil C.9 :	Halat yüklerinin krene etkiltilmesi	153
Şekil D.1 :	Rijit bacak tarafından 1 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı.....	154
Şekil D.2 :	Rijit bacak tarafından 2 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı.....	155
Şekil D.3 :	Rijit Bacak tarafından 3 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı	156
Şekil D.4 :	Rijit bacak tarafından 4 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı.....	157
Şekil D.5 :	Rijit bacak tarafından 5 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı.....	158
Şekil D.6 :	Rijit bacak tarafından 6 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı.....	159
Şekil E. 1 :	Keskin ve yuvarlak köşeli çubuklar	160
Şekil E. 2 :	Keskin ve yuvarlak köşeli çubukların alt kirişe montajı	161
Şekil E. 3 :	Yuvarlak köşeli çubuklu ana kiriş modelinin sonlu eleman analizi	162
Şekil E. 4 :	Keskin köşeli çubukların sonlu eleman analizi	162
Şekil E.5 :	Ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı (Komb. 121).....	163
Şekil E.6 :	Ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı (Komb. 123).....	164
Şekil E.7 :	Yuvarlak çubuk modeli ana kiriş alt kirişindeki gerilme dağılımı	165
Şekil E. 8 :	Keskin köşeli çubuk üst montaj levhalarında kuvvet akışı	166
Şekil E. 9 :	Ana kiriş mafsalsal kutusundaki kuvvet akışı.....	167

SEMBOL LİSTESİ

Q	Ana giriş ağırlığı [kg]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
k_1, k_2, k_3	Darbe katsayıları
p	Tekerlek yüklemelerinin mesnet aralığı [mm]
a	Tekerlek aralığı [mm]
L	Ray açıklığı [mm]
h	Araba ray kotu [mm]
q_w	Rüzgar yükü dağılımı [N/mm^2]
Q_w	Yatay rüzgar yükü [N]
k_{dw}	Rüzgar hızı katsayısı
c	Aerodinamik direnç katsayısı
A	Rüzgar etki alanı [mm^2]
ψ	Titreşim katsayısı
V_s	Rüzgar hızı [m/s]
M_m	Eğilme momenti [Nmm]
W	Kesitin mukavemet momenti [mm^3]
σ_k	Burkulma gerilmesi [N/mm^2]
λ	Narinlik derecesi
i	Eylemsizlik (Jirasyon) yarıçapı [mm]
σ_ζ	Çekme gerilmesi [N/mm^2]
σ_x	x ekseninde boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
σ_y	y ekseninde boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
E	Elastiklik modülü [N/mm^2]
I_x	x-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
I_y	y-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
λ	Narinlik derecesi
d	Halat çapı [mm]
P_{afr}	Fren yükü
M_T	Halat momenti
γ_c	Ömür faktörü
γ_e	Emniyet faktörü

KAFES KİRİŞLİ PORTAL KREN ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ

ÖZET

Gün geçtikçe önem kazanan ağır sanayide, yapılar büyüdükçe, bu yapıların kaldırılması ve taşınması zorlaşmaktadır. Ağır sanayilerden biri olan gemi inşa tersanelerinde gemi parça bloklarını montaj hattına naklederken büyük tonajlı krenlerden faydalanılmaktadır. Krenlerin ağır blokları kaldırırken hasar görmemeleri için mukavemet hesapları yapılmakta, daha sonra bu hesaplar sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada kafes sistemlerle ilgili literatür bilgisi verilerek kafes sisteminin portal kren ana kirişinde uygulanışı ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kafes ana kirişli yapının kutu anakirişli tasarımıyla olan farklıları anlatılıp, her iki tasarımında imalat sonrası montaj safhalarına yer verilmiştir. Kafes ana kirişli portal krenin teknik özelliklerine değinilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ve Abaqus/CAE paket programı hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. FEM ve DIN normlarına uygun olarak teknik özellikleri belirlenen kren ana kirişinin mukavemet hesapları ele alınmıştır. Teknik resimlerle birlikte kren ana kirişinin modelleme safhaları anlatılmıştır. Oluşturulan model kullanılarak Abaqus/CAE programı yardımıyla ana kirişin sonlu elemanlar yöntemine göre analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlarla Abaqus/CAE paket programı kullanılarak sonlu elemanlar metoduyla tespit edilen gerilme ve sehim değerleri karşılaştırılarak, sonlu elemanlar metodunun bu problemde doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucu elde edilen verilere göre, krenin zayıf noktaları mukavemet açısından güçlendirilmiş, gereğinden fazla mukavemetli kısımları ise maliyet değerlerini düşürmek amacıyla hafifletilmiştir. Bu optimizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra tekrar kesit kontrolleri yapılmıştır.

FINITE ELEMENT ANALYSIS AND MODELING OF THE MAIN GIRDER OF THE CAGE STRUCTURAL GANTRY CRANE

SUMMARY

In heavy industries, while constructions are getting heavier the transportation of these constructions become a problem. In shipyards, is one of the heavy industries, the transportation of the ship parts to the assembly line are done by using gantry cranes. In order to prevent damage of the cranes during lifting heavy loads, strength calculations of the cranes are being investigated and are comparing with the results that are being obtained from finite element analysis. The literature about cage systems has been described and it has been given detailed information about applications of the cage systems on gantry cranes. The technical specifications of the cage-main girder gantry crane has been given. It has been given information in short about finite elements methods and Abaqus/CAE software. In this study, the strength of the main girder has been calculated according to FEM and DIN standards. And the steps of modelling of the main girder beam has been explained. Finite element analysis of the main girder beam has been investigated by using Abaqus/CAE software. At the end of this study it has been comparing results of the analytical calculation with the results that were obtained by finite element methods. After optimization processes are being done by using this final results, all construction edges are controlled.

1. GİRİŞ

Krenler, genellikle şantiyelerde, tersanelerde ve ağır yüklerin kaldırılması ve nakledilmesi gereken yerlerde sabit ya da hareketli bir taşıyıcı üzerinde ağır yüklerin yatayda ve düşeyde taşınmasını sağlayan çelik strüktürdeki makinelerdir. Krenlerin birçok tipi bulunmaktadır. Bunların sıklıkla kullanılanları, portal krenler, gezer köprü krenler, jib krenler ve kule krenleri'dir.

Portal krenler daha çok gemi inşa tersanelerinde gemi parça blokların kaldırılması ve nakledilmesi sırasında kullanılmaktadır. Portal krenler ana kiriş yapıları itibariyle kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. kafes ana kirişli ve kutu ana kirişli portal krenler.

Kafes ana kirişli portal krenlerin, kutu ana kirişli krenlere göre üstünlüğü, rüzgar yüklerine nispeten az maruz kalmaları ve daha hafif konstrüksiyona sahip olmalarıdır. Diğer yandan, karmaşık bir konstrüksiyona sahip bu krenlerin imalatının kutu ana kirişli krenlere nazaran daha zor ve zahmetli olması ve hesaplarının daha karmaşık olması bu krenlerin en büyük dezavantajı olarak bilinmektedir.

Kafes ana kirişli portal krenler birçok elemandan oluştukları için, her elemanın mukavemeti kren sisteminde büyük önem taşımaktadır. Yükün kaldırılarak yatay ve düşey yönde taşınmasını sağlayan kafes ana kiriş, portal krenin en önemli kısımlardan biridir. Ağırlıkların kaldırılması sırasında ana kirişe muazzam yükler etkimektedir. Bu yükler ana kiriş üzerinde bulunan kafes yapıları oluşturan çubuklar vasıtasıyla taşınmaktadır.

Bu çalışmada, kafes ana kirişli portal vincin ana kirişi hakkında detaylı bilgi verilerek, sistemin modellenmesi ve analizi konusunda araştırılması hedeflenmektedir. Kafes ana kiriş sistemi incelenirken, sistemi oluşturan, her bir parça hakkında da bilgi verilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, kafes sistemler hakkında literatür bilgisi verilerek bu kafes sistemin portal krenlerde uygulandığı anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, incelenecek olan kafes ana kirişli portal krenin teknik özelliklerine değinilmiştir. Bu çalışmada ki hesaplamalar ve sonlu elemanlar analizinde, bu bölümdeki veriler kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde sonlu elemanlar yöntemi ve Abaqus/CAE paket programı hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Bu bölümde ayrıca Abaqus/CAE paket programının basit bir şekilde analiz için gerekli olan temel özellikleri anlatılmıştır.

Çalışmanın esas bölümünü oluşturan bölümler sırasıyla beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci bölümlerdir.

Çalışmanın beşinci bölümünde krene etkiyen kuvvetler detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde ana kirişin mukavemet hesapları yapılmıştır. Yapılan bu mukavemet hesapları doğrultusunda kren parçalarının kesit kontrolleri yapılmıştır.

Altıncı bölümde iki boyutlu ana kiriş elemanlarının teknik resimleri kullanılarak Autocad ve Solidworks programlarından faydalanılarak parçaların üç boyutlu modelleri hazırlanmıştır. Modelleri hazırlanan parçalar daha sonra birleştirilerek kafes ana kiriş montajı oluşturulmuştur.

Çalışmanın yedinci bölümünde ise ana kirişin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi detaylı bir şekilde işlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine geçilmeden önce üç boyutlu modeli hazırlanan ana kiriş parçaları sadeleştirilerek Hypermesh programıyla meshlenmiştir. Daha sonra Abaqus/CAE programı kullanılarak meshlenen model üzerine yük kombinasyonları uygulanarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonunda ise analitik metotla elde edilen sonuçlarla Abaqus/CAE paket programı kullanılarak sonlu elemanlar metodu'yla tespit edilen gerilme ve sehim değerleri karşılaştırılarak, sonlu elemanlar metodunun bu problemde doğruluğu araştırılmış ve gerekli öneriler verilmiştir.

2. KAFES SİSTEMLER

2.1 Giriş

Ev çatıları, köprüler, uçak kanatları, petrol kuyusu kuleleri, bazı fabrika aksamaları, yüksek voltaj elektrik direkleri, birçok rijit doğru parçası çubukların üçgenler teşkil edecek tarzda kafes sistem oluşturmaları ile meydana getirilirler. Böyle çubuklarla meydana getirilen bir kafes, örneğin bir vinç kolu, tek parça bir kirişten daha hafif ve sağlam olur. Kafes sistemler düzlem kafes sistemler ve uzay kafes sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır.[1]

2.2 Düzlem Kafes Sistemler

Kafes sisteminin çubukları genellikle 3 boyutlu uzayda yer alır. Buna uzay kafes sistemi denir. Bir kafes sisteminin çubuklarının eksenlerinin hepsi aynı düzlem içinde bulunuyorsa bu düzlem kafes sistemi'dir. Düzlem kafes sisteminde, aynı düzlem içinde, birbirine uçlarından mafsallanmış çubuklar oynak olmayan bir sistem teşkil etmektedir.[1]

Kafes sisteminde iki ya da daha çok çubuğun birleştiği noktaya "Düğüm" denir. Bir düğüm gerçekte çubukların köşe parçası ile perçinlenerek meydana gelir ise de çubuklarda meydana gelen eksenel kuvvetler çok büyük olup çubuktaki momentler ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan düğümler sürtünmesiz mafsallı kabul edilirler. Bütün kuvvetlerin bu mafsaldaki pürüzsüz mile uygulandığı düşünülür. Ayrıca çubukların ağırlıkları da çubuk eksenel kuvvetleri yanında küçük olduğundan çubuklar, ağırlıksız çubuklar olarak, moment meydana getirmezler. Bütün çubuk kuvvetleri eksenel kuvvetlerdir. Böyle bir çubuğun eksenel kuvveti iki türlü olur. [1]

- Çubuk herhangi bir noktasından kesildiğinde atılan kısmın kalan kısma etkisi çubuğu uzamaya zorluyorsa çubuk çekmeye çalışıyor denir.
- Eğer kısaltmaya zorluyorsa çubuk basmaya çalışıyor denir.

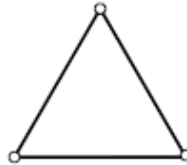
Bir çubuk için yapılan hesapta çubuk kuvveti çekme olarak kabul edilip sonuç negatif çıkarsa, o çubuğun basmaya çalıştığı anlaşılır. Bütün bunlara göre kafes sistemi için yapılan kabulleri şöyle özetleyebiliriz; [1]

- Kafes sistemler doğru parçalarının birleştirilmesi ile elde edilirler.
- Çubukların eksenleri bir noktada kesişir. Bu noktaya "Düğüm" denir ve çubukların eksenleri aynı düzlem içindedir. (Kafes düzlemi)
- Çubuklar, düğüm noktalarında birbirine sürtünmesiz mafsalla birleştirilir.
- Bütün dış kuvvetler düğümlere uygulanır ve bu kuvvetler kafes düzlemi içindedir.
- Her çubuk ancak iki ucundan iki düğüme mafsallıdır.

Düzlem kafes sistemi kendi içerisinde üç gruba ayrılır, bunlar, basit, birleşik ve karmaşık kafes sistemleri'dir.

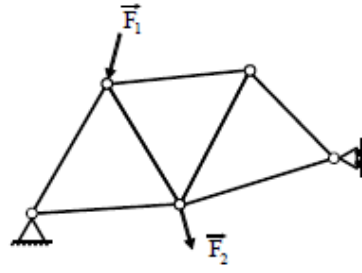
2.3 Basit Kafes Sistemler

Şekil 2.1' de görülen rijit çerçeve (baz eleman) en az sayıda çubuk ve düğüm noktası ile elde edilen ve düğüm noktalarının birbirlerine göre yer değiştirmeleri sıfır olan kafes sistemlerdir [2].



Şekil 2.1 : Baz eleman

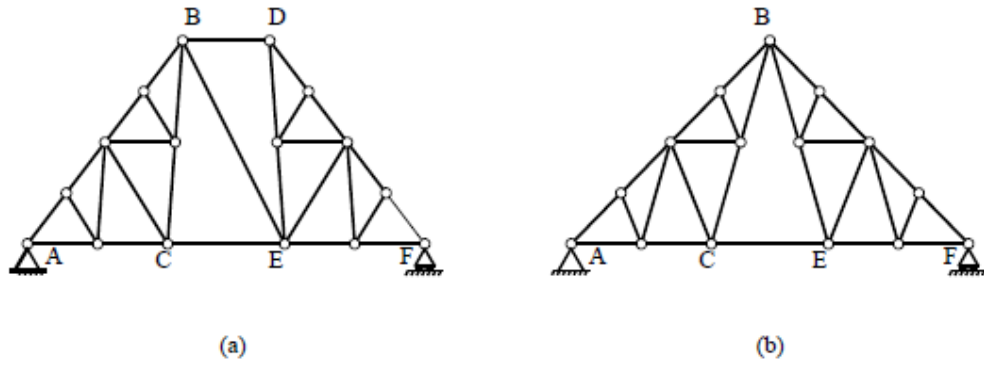
Rijit çerçeveye her bir adımda iki çubuk ve bir düğüm noktası ilave edilerek elde edilen kafes sistemlere basit kafes sistemler denir, Şekil 2.2.



Şekil 2.2 : Basit kafes sistem

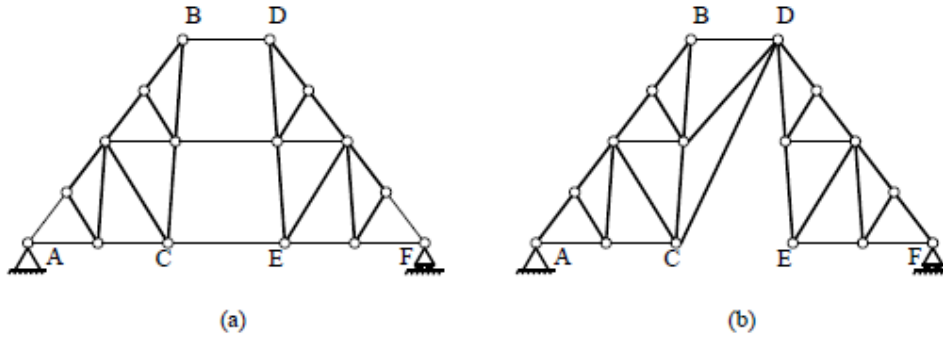
2.4 Bileşik Kafes Sistemler

Şekil 2.3' deki gibi birden fazla basit kafes kirişin üç çubuk, veya bir çubuk ve bir mafsal ile birleştirilmesine bileşik kafes sistemler denir.



Şekil 2.3 : Birleşik kafes sistemin birleştirilmesi

Şekil 2.4' deki gibi, bileşik kafeslerde üç çubuk birbirlerine paralel olacak şekilde bağlanırsa uyumlu bağlı, bir noktada kesişecek şekilde olursa uyumsuz bağlı kafes sistem oluşur [2].



Şekil 2.4 : Uyumlu bağlı (a) ve uyumsuz bağlı (b) birleşik kafes sistemi

2.5 Karmaşık Kafes Sistemler

Karmaşık kafes sistemlerde, bilinen bir kurala göre çubuk bağlantısı yapılmamaktadır. Basit ya da birleşik kafesle, bir sistem kurulduktan sonra bir veya birkaç çubuğun yerinin değiştirilerek karmaşık kafes sisteme geçilebilir [2].

2.6 Düzlem Kafes Sistemlerin Rijitliği

Bir kafes sistemi içerisindeki çubuklara etkiyen tüm kuvvetlerin toplamı sıfıra eşdeğer olduğundan kafes sistemi rijit olur. Düzlem kafes sisteminde, çubuk sayıları n ile düğüm sayıları k arasında; [1]

$$n = 2k - 3 \quad (2.1)$$

bağıntısı vardır. Düzlem kafes sistemindeki durum denklem (2.2)' deki gibi ise çubuk sayısı eksik anlamına gelir. Bu ise sistemin rijit olmaması anlamına gelir.

$$n < 2k - 3 \quad (2.2)$$

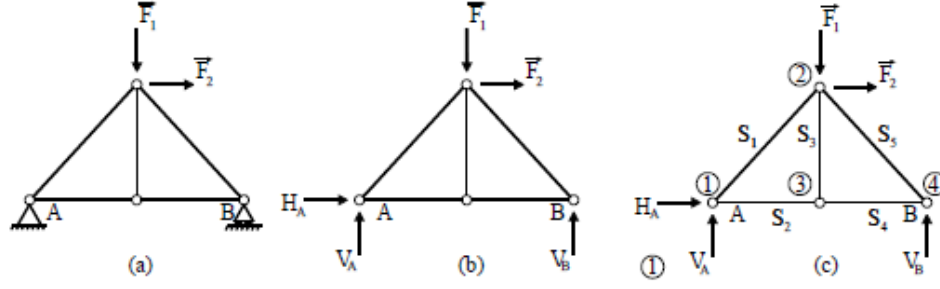
Diğer taraftan, eğer denklem (2.3)' deki durum varsa, o halde birleşik kafes sistemde gereğinden fazla çubuk kullanılmıştır. Yani, sistem aşırı rijittir.

$$n > 2k - 3 \quad (2.3)$$

Kafes sistemlerinde sıkça kullanılan "Sistemin Analizi" terimi, kafes sistemi oluşturan çubuk kuvvetlerinin hesaplanmasına denir. Kafes sistemin analizi birkaç metotla yapılabilir [1].

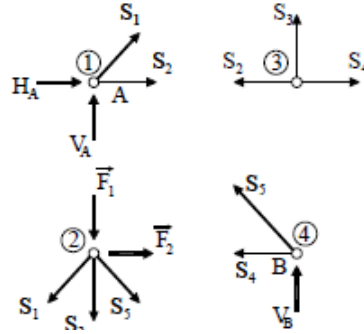
2.6.1 Düğüm metodu

Düğüm metodunda, kafes sistemdeki, mesnet tepkilerinin koordinatları bulunduğundan sonra, öncelikle, çubuklardaki bütün kuvvetlerin çekmeye çalıştığı farz edilerek kuvvetler mesnetlere uygulanır. Daha sonra, çubuklara önceden verilmiş numaralarla çubuk kuvvetleri; $S_1, S_2, \dots, S_n$ olarak gösterilir. Denge denklemi gereği, her çubuğun iki uç düğümüne uygulanmış tam zıt iki kuvvet koyulur. Bu yöntemde, az sayıda çubuğun bağlandığı mesnet düğümler için denge denklemleri yazılır. Daha önceden bulunan " r " mesnet koordinatı için n tane bilinmeyen yazılır. Düğümlerdeki bilinmeyenler için " $k - 1$ " düğüm için yazılan denklemlerle çözülür [1].



Şekil 2.5 : Düğüm metoduna göre çözüm sırası

Düğüm metodunda çözüm sırası özetlenecek olursa; Öncelikle, iki çubuğun kesiştiği bir düğümden başlanır. Düğüm noktasından başlanarak bu noktanın serbest cisim diyagramı çizilir. Serbest cisim diyagramı çizilen bu düğüm için denge denklemleri kullanılarak çubuk kuvvetleri bulunur. Şekil 2.5 ve 2.6' da düğüm metoduna göre çözüm aşamaları gösterilmiştir.



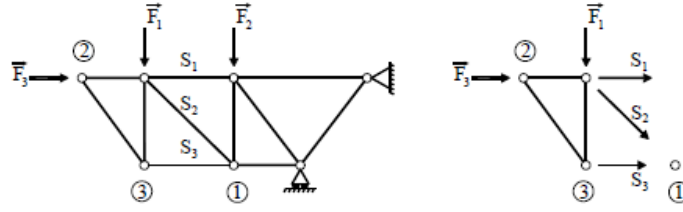
Şekil 2.6 : Düğüm metoduna göre çözüm sırası

Kafes sisteminde, önceden bulunan düğümün ardından seçilecek düğüm noktasında da yine bilinmeyen çubuk sayısı en fazla iki olacak şekilde seçilir. Daha öncede anlatıldığı gibi, düğüm noktasında bilinmeyen çubuk kuvvetleri çekme kuvvetleri olarak alınır. Bu kuvvetler düğüm noktasından dışarıya doğru olur ve işareti (+)' dir. Çubuk basınç çubuğu ise işareti (-) olur. Bulunan her kuvvet, komşu düğüm kuvvetlerinin çözümünde, bu kuvvetlerin işaretleri de dikkate alınarak istenen düğüm noktasına bilinen kuvvetler olarak etkililir [2].

2.6.2 Kesme metodu

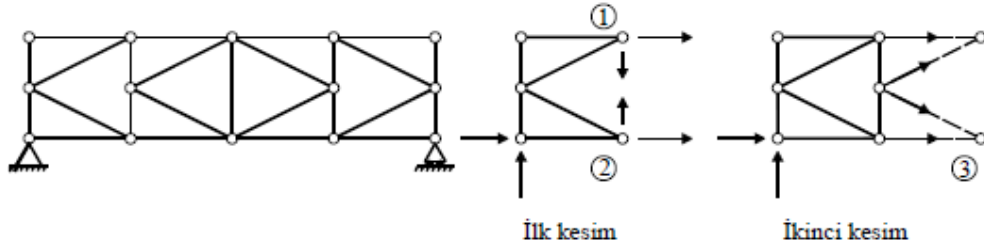
Kesme metodunda, bir düzlem kafes sisteminde mesnet tepkileri hesaplanmış olsun. En fazla üç çubuğu içine alan bir kesim yapılarak çubuk kuvvetleri hesaplanır. Kesilen her çubuğa, önce çekmeye çalışan çubuk kuvvetleri koyularak, çubuğun

diğer kısmı atılır. Şekil 2.7' de görüldüğü gibi çubuğun kalan kısmı, rijit bir cisim gibi kabul edilerek, çubuk kuvvetleri hesaplanır [2].



Şekil 2.7 : Kesim metoduna göre çözüm

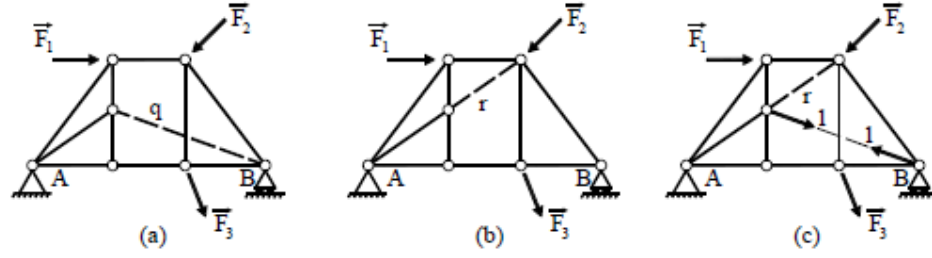
Bir kafes sisteminde, kafes yapının çözümü için kesilen çubuk sayısı üçten az olması durumunda, çubuk denklemlerindeki bilinmeyenler çözülemeyeceği için, sistemde ikinci bir kesim yapılmalıdır. Şekil 2.8' de bu durum gösterilmiştir [2].



Şekil 2.8 : Kesim metoduna iki kesimli çözüm

2.6.3 İndis gerilme metodu

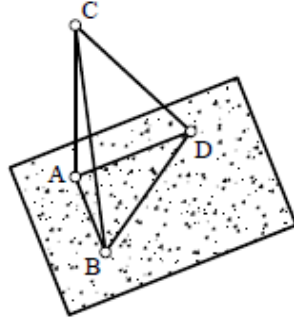
Düğüm metoduyla kafes sistemin çözümü, Şekil 2.9' da ki gibi yatayda aynı açıyla eğik olan çubuk sistemine sahip paralel kirişlerde çok pratik bir yoldur. Yatayda paralel olan eğik çubukların olması durumunda, çubukların hepsinde $\text{Cosec}\alpha$ ve $\text{Cotg}\alpha$ çarpanı bulunur. Düşey çubuklarda ise bir trigonometrik ilişki bulunmamaktadır. İndis gerilme metodunda, trigonometrik oranın başındaki sayı o çubuğa indis olarak yazılır ve bir eğik çubuk için Ie , indis gerilmesi olarak yazılırsa, bu o çubuktaki gerilme kuvvetinin düşey bileşeni demektir [2].



Şekil 2.9 : İndis gerilme metoduna göre çözüm

2.7 Uzay Kafes Sistemler

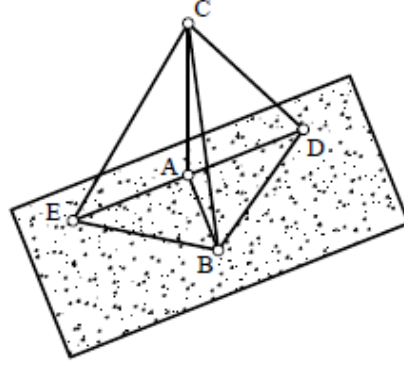
Uzay kafes sistemler, çubukların üç boyutlu bir biçim oluşturacak şekilde uçlarından birbirlerine mafsallı olarak bağlanmasıyla elde edilen kafes sistemlere denir. Şekil 2.10' da basit uzay kafes sistemi görülmektedir [2].



Şekil 2.10 : Basit uzay kafes sistemi

Şekil 2.11' de görülen uzay kafes sistemlerde, altı çubuk ve dört düğüm noktası ile baz eleman oluşturulur. Uzay kafes sisteminde, bir düğüm noktasında üç çubuk bağlandığından üç adet kuvvet denge denklemleri yazılarak tüm çubuk kuvvetleri bulunur. Uzay kafes sistemlerde hiperstatiklik derecesi denklem (2.4)' deki gibidir [2].

$$h = m + r - 3.n \quad (2.4)$$



Şekil 2.11 : Karmaşık uzay kafes sistemi

2.8 Kafes Sistemin Portal Kren Ana Kirişlerinde Uygulanması

Portal krenler sanayide insan gücünün kaldıramayacağı ağırlıkta ve boyutta, devasa parçaların kaldırılması ve taşınması işlemlerinde kullanıldıkları için mukavemet hesapları ön planda tutulmaktadır. Bir krenin yüke karşı mukavemeti, tüm parçalarının analitik hesap ve sonlu elemanlar yöntemi sonucunda elde edilen verilere göre belirlenen ölçülerde ve kesitlerde olmalıdırlar.

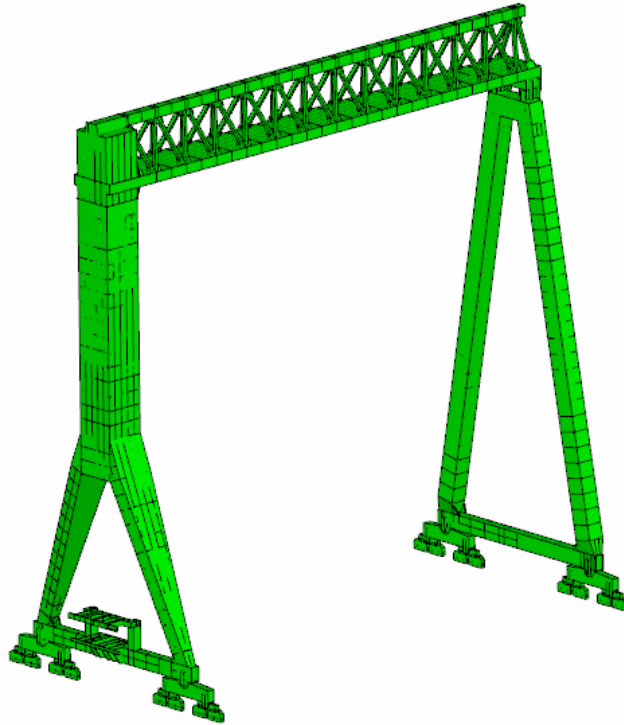
Krenlerin en önemli kısmı olan ana kiriş, vincin üzerinde çalışma yükünün taşındığı kısımdır. Ana kiriş üzerinde bulunan iki araba vasıtasıyla çalışma yükü düşey yönde kaldırılabilmekte, yatay yönde ise raya dik doğrultuda taşınabilmektedir. Ana kiriş üzerinde taşınan yükler, ana kirişte dikey ve yatay yönde yüksek gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla ana kirişin tasarımında, kirişin rüzgara, düşey ve yatay yüklere karşı mukavemeti ön planda tutularak yapılmalıdır. Günümüzde, vinç ana kirişleri kutu veya kafes sistem şeklinde yapılmaktadır. Kutu kirişli krenler, imalat açısından basit ve hızlı olmasına karşı, rüzgârın etkidiği yüzey alanı fazla olduğundan mukavemet katsayıları yüksek tutulmaktadır. Bu durum, kirişin ağırlaşmasına ve daha fazla malzeme maliyetine neden olmaktadır.

Kren maliyetlerinin tam olarak hesabı için, kren elemanlarının, kullanılan malzemelerin ve krenin montajının hesabı gerekmektedir. Bu değişken maliyetler krenin ağırlığına bağlıdır [3].



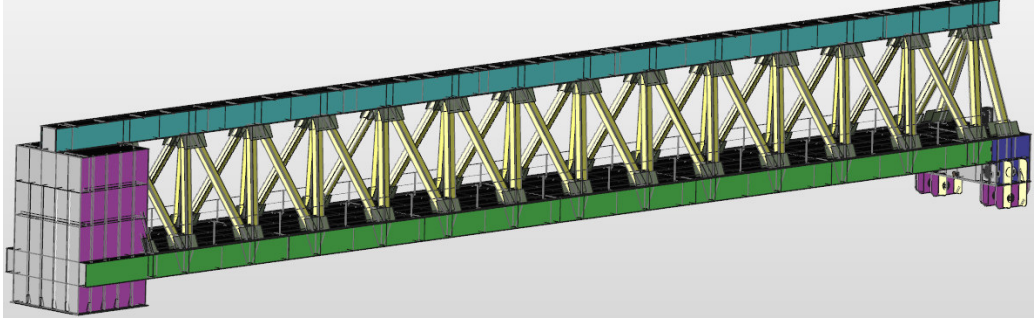
Şekil 2.12 : Kutu ana kirişli portal kren

Şekil 2.12’ de kutu ana kirişli portal vinç görülmektedir. Kafes ana kirişli vinçler yapısı itibariyle daha hafif, yüzey alanları az olduğu için rüzgar etkisi düşük olmaktadır. Diğer yandan, bu tip krenlerde tasarım ve imalat süreci daha zor ve uzundur. Şekil 2.13’ de kafes ana kirişli kren görülmektedir [4].



Şekil 2.13 : Kafes ana kirişli portal kren

Bu tip krenlerde kullanılan kafes sistemi, düzlem kafes sistemidir. İki düzlem kafes sistemi alt ve üst başlıklara kaynatılmak üzere ana kirişi oluşturulur. Çubuklar düğüm kısımlarında birbirilerine ek saclarla kaynatılmaktadır. Çubukların dizilimi sırayla ve simetrik olduğundan, bir çubuk basınç çubuğu olurken diğeri mutlaka çekme çubuğu olmaktadır. Şekil 2.14’ te çubuk dizilimi yakından görülmektedir.



Şekil 2.14 : Ana kirişte çubukların dizilimi

3. KAFES ANAKİRİŞLİ PORTAL KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada incelenen kafes ana kirişli portal vinç gemi tersanelerinin ihtiyacına yönelik tasarlandı. Bu bölümdeki veriler daha sonra mukavemet hesaplarında ve sonlu elemanlar yöntemi analizlerinde kullanılacaktır.

3.1 Teknik Özellikler

Vinç tipi	: Portal Vinç
Kaldırma kapasitesi	: (Kancalar arası 20m iken) 2 x 275.000 kg
Vinç yürüme ray açıklığı	: 52.200 mm
Kaldırma yüksekliği	: 45.000 mm
Yürüme rayı uzunluğu	: 260 m

3.2 F.E.M Standartlarına Göre Gruplandırma

Taşıyıcı konstrüksiyon	
Yükleme tekrarı	: U3
Yükleme durumu	: Q3
Grubu	: A4
Malzeme	: St 37-2 , St 44-2 , St 52-3

3.3 Tahrik Sistemleri

Ana kaldırma grubu	: M3
Yardımcı kaldırma grubu	: M5
Araba yürütme grubu	: M5
Vinç yürütme grubu	: M5

3.4 Kaldırma Grubu

Kaldırma kapasitesi	: 2 x 275.000 kg (Kancalar arası 20m iken)
Yüksekliği	: 45.000 mm
Ana kaldırma hızı	: (Frekans inverter ile) 0 ÷ 2,2 m/dak
Ana kaldırma motoru	: 2 x 1 x 132 kW
Araba yürütme freni	: 2 x 1 x 30 kg.m
Araba tipi	: Çift Raylı Alt Araba
Araba yürüme rayı	: 80 x 40 mm ²

3.5 Vinç Yürütme Grubu

Gergi kirişi mafsal açıklığı	: 20.000 mm
Tekerlek çapı	: Ø800 mm
Vinç yürüme hızı	: (Frekans inverteri ile) 0 ÷ 17 m/dak
Vinç yürütme motorları	: 16 x 15 kW

4. SONLU ELEMANLAR METODU

Çözülmesi uzun zaman alan karmaşık problemleri, daha basit ve kısa zamanda çözmek için bu problemlere eşdeğer ancak daha basit hale getirilmiş problemlerin çözümüne gidilmesi sonlu elemanlar metodunun temelindeki fikirdir. Genellikle, basitleştirmeye gidilmesi sonucunda doğru sonuç yerine, yaklaşık bir sonuç bulunmaktadır. Günümüzde, sonlu elemanlar metodların bilgisayarlarda uygulanması sonucunda hemen her problemin istenilen ölçüler arasında yaklaşık sonuçları elde edilmektedir [5].

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesi çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsi çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemleri tanımlanarak yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [5].

4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi

Günümüzde “Sonlu Elemanlar Metodu” şeklinde bilinen çözüm metodlarının arkasında bulunan temel fikirler yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin, yüzyıllar öncesinde bilim adamları çemberin çevre uzunluğunu bulmak için çemberin etrafına çizilen poligonlardan yararlanmaktaydı. Poligonların köşe sayılarının artmasıyla, sonuca daha çok yaklaşılmaktaydı. [5].

Yakın tarihimizde, sonlu elemanlar metoduna benzer bir yöntem Courant tarafından 1943’te ilk kez ortaya atılmıştır. Bu yöntemde, üçgensel bölgeler üzerinde parçasal sürekli fonksiyonlar tanımlanmaktadır [5].

Günümüzde bilinen sonlu elemanlar metodu ise, 1956 yılında Turner, Clough, Martin ve Top tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada, perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımı ele alınmıştır [5].

Çağımızın en büyük teknolojik gelişmesi olarak bilinen bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bu yönteme çok büyük katkı sağlamıştır. Günümüzün bilgisayarları,

özölmesi aylar süren problemleri, kısa zamanda çözmekte ve gerçek sonuçlara çok yakın yaklaşık sonuçlar verebilmektedirler. [5].

4.2 Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları özdeğer (eigenvalue), denge ve yayılma problemleridir. Yukarıda bahsi geçen alanların kısaca tarifleri aşağıda açıklanmıştır [6].

Denge problemlerinin bir uzantısı olan özdeğer (eigenvalue) grubuna giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve titreşimleri, lineer viskoelastik sönümleme, burkulma, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması gibi problemler en çok bilinenleridir.

Kararlı hal problemleri olarak bilinen denge problemlere makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler örnek verilebilir [6].

Yayılma problemleri ise zamana bağlı olan problem grubuna giren problemler arasında yapılarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, viskoelastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akış problemleri örnek verilebilir.

Mühendislik açısından sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizi problemidir. Gerilme analizi problemlerinde yer değişim, kuvvet ve karma yöntem gibi üç yaklaşım dikkate alınmaktadır.

Yer değişim yönteminde yer değişimler, dönmeler ve deformasyonlar; kuvvet yöntemi yaklaşımında kuvvetler ve gerilmeler; karma yönteminde ise bilinmeyen veya serbest değişkenler işlenmektedir [6].

4.3 Problemlerde Uygulanması

Elastik ve sürekli ortamlara SEM' in uygulanmasında yapının parçalara ayrılması, uygun bir interpolasyon seçimi, rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerin, eleman denklemlerinin birleştirilmesiyle toplam denge denklemlerin elde edilmesi, bilinmeyen düğömsel (nodal) yer değişimleri için çözüm yöntemlerinin kullanılması ve sonuçların bulunması adımları uygulanır [6].

4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri

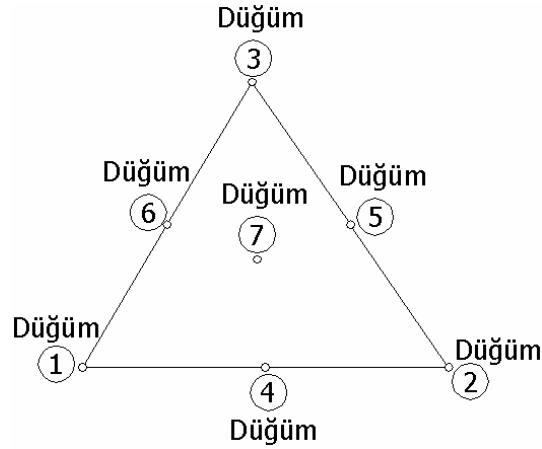
Analizi yapılacak bir parça, doğru sonuçlar alınabilmesi için en uygun şekilde sonlu elemanlara bölünmelidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun eleman şekli seçilmelidir. Seçilen sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler. Genelde, sonlu eleman sınırlarının düzgün olarak seçilmesi yanı sıra bazı durumlarda eğri sınırlı elemanlarında kullanılması gerekebilir [6].

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa Şekil 4.1’ de görülen bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir [6].



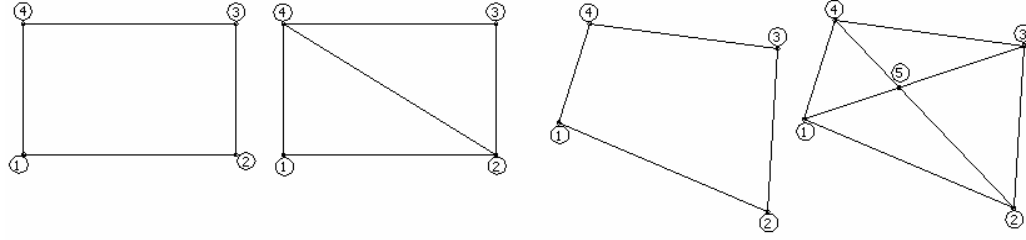
Şekil 4.1 : Bir boyutlu sonlu eleman

Birçok problem, yaklaşık olarak, iki boyutlu sonlu elemanlarla çözülebilir. İki boyutlu eleman tipleri arasında en basiti Şekil 4.2’ deki üçgen elemandır.



Şekil 4.2 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği

Birçok problemde iki boyutlu dikdörtgen, iki üçgenli dikdörtgen, dörtgen eleman ve dört üçgenli dörtgen eleman tipi sonlu elemanlar da kullanılmaktadır. Şekil 4.3’ de yukarıda bahsi geçen değişik iki boyutlu dörtgen sonlu eleman tiplerine örnekler soldan sağa doğru verilmiştir.



Şekil 4.3 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar

4.5 Abaqus/CAE Sonlu Elemanlar Paket Programı

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi karmaşık ve çözülmesi uzun zaman alan problemlerin bilgisayarlarda çözülmesi hem zaman tasarrufundan hem de işlemin daha doğru sonuçlar vermesi bakımından çok önemlidir. Bilgisayarlarda, sonlu eleman metodu çeşitli paket programlar vasıtasıyla basit bir şekilde modelleme yapılmakta, daha sonra bu modeller küçük sonlu elemanlara bölünerek analizler yapılmaktadır.

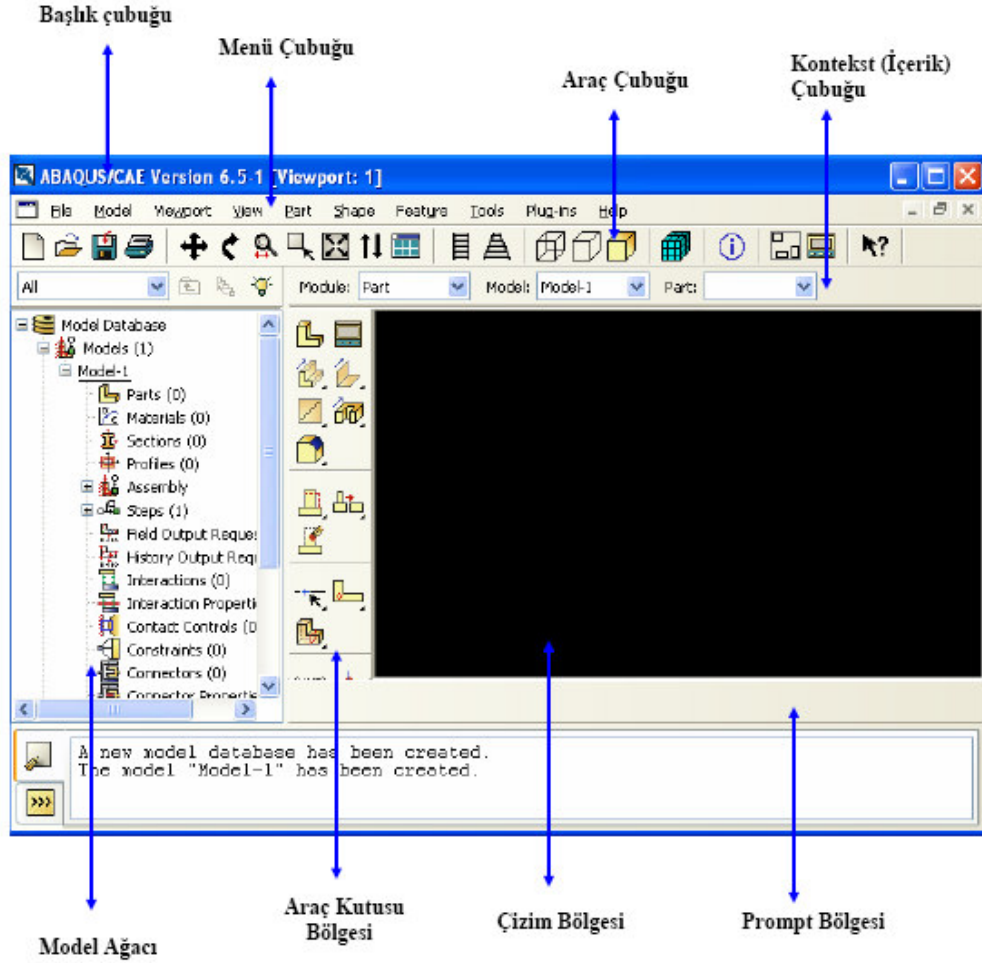
Günümüzde, SEM uygulamaları için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, Abaqus, Nastran&Patran, Abaqus/CAE dir. Bazı SEM yazılımları kendi bünyesinde modelleme paketleri bulundurmasına karşı çoğunlukla karmaşık geometrilerin modellenmesi uzun zaman almakta, bazen ise hiç yapılamamaktadır. Bundan dolayı, iki ve üç boyutlu problemlerin modellenmesi amacıyla çeşitli paket programlar hazırlanmıştır. Bunlar arasında Catia, Pro/Engineer, Solidworks, AutoCAD programları en çok bilinenleridir.

Bu tezde Abaqus/CAE programıyla çalışmak uygun görülmüştür. Bunun sebebi Abaqus/CAE 'nin tasarım kısmının çözülecek problem için yeterli olması ve bunun yanısıra SEM analizi prosesinde kullanıcı dostu olmasıdır. Ayrıca, analiz sonuçlarında hata payının çok düşük değerler arasında olması da bu programın bu problemde tercih edilmesine neden olmuştur.

4.5.1 Programın bölümleri

Abaqus/CAE başlatıldığında Şekil 4.4' te görülen ana pencere ekrana gelir. Detaylara girmeden önce Abaqus/CAE programının birkaç özelliği bilinmelidir. Öncelikle, Abaqus/CAE görsel bir şekilde bir problemin modellenerek analiz edebilmesini sağlaması yanında birde komut yazılarak çözüme verilmesi olanağını sunmaktadır. Örneğin, eğer problemin geometrisinin koordinatları, sınır şartları vs.

biliniyorsa, o halde bu problem kolaylıkla herhangi bir yazı editöründe programın kendine has komutlarıyla yazılarak analize verilebilir. Aksi halde, eğer problemin geometrisi karmaşık, sınır değerlerinin yerleri ancak modelin oluşturulmasıyla tespit edilebiliyorsa o halde program ara yüzünü çalıştırılarak sıfırdan problem modellenmeli ve analiz edilmelidir.



Şekil 4.4 : Abaqus/CAE ana penceresi

Yukarıdaki pencere, kendi altında üç ayrı pencereden oluşmaktadır. Solda “Model Ağacı” ismi verilen bir pencerede kullanıcı parçanın modellenmesinden analiz sonuçlarının görüntülenmesine kadar olan tüm işlemler tanımlanabilmektedir. Sağda “Çizim Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu pencerede kullanıcı yaptığı tüm işlemleri görsel olarak görebilmektedir. En altta ise “Promt Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu kısımda, kullanıcı yaptığı işlemlerin sonucunda program tarafında enteraktif diyalogları görebilir ayrıca “Python Script” te hazırlanmış hesap makinesini kullanabilir. Diğer kısımlar kısaca altta izah edilmiştir [7];

Başlık Çubuğu: Çalışmakta olan Abaqus/CAE' nin versiyonunu ve model veritabanının ismini belirtir.

Menü Çubuğu: Mevcut bütün menüleri içerir. Kontekst çubuğunda modül değiştirilirse menü çubuğunun da içeriği değişir, hangi modül seçildiyse o modül ile ilgili menüler gelir.

Araç Çubuğu: Çok kullanılan bazı menülere hızlı erişim sağlar.

Kontekst (içerik) Çubuğu: Yapılacak çalışmayı belirli bir düzende yapılabilmesi için kullanıcıya modüller sunar.

Örneğin, ilk olarak parça (part) modülünde parçalar modellenirse sonra özellik (property) modülüne geçerek parçaların malzeme özellikleri belirlenir. Daha sonra ise montaj (assembly) modülüne geçilerek modellenen parçaların montajı yapılır.

Model Ağacı: Yapılan çalışmanın adımlarını model ağacında görülür. Model ağacı, yapılan çalışma üzerinde değişiklik yapabilme ve modüller arasında geçişi olanaklı kılar.

Araç Kutusu Bölgesi: Bir modele girildiği zaman o modülle ilgili komutlar araç kutusu bölgesinde bulunur. Aynı komutlar, menü çubuğunda da yer alır. Fakat araç kutusu sayesinde bu komutlara çok hızlı bir şekilde ulaşılabilir.

Çizim Bölgesi: Çizimin gözüktüğü ekrandır.

Prompt Bölgesi: Bir komut seçildiği zaman o komutun kullanımı ile ilgili bilgi sahibi değilse kullanıcı, mesaj bölgesinde uyarıları takip ederek hangi adımları yapması gerektiğini görebilir.

4.5.2 Ön işlem süreci (Preprocessor)

Ön işlem sırasında analiz süreci için hazırlanması önemli olan adımlar ihtiva eder. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Modelin oluşturulması,
2. Modele malzeme tanımı yapılması,
3. Modelde işlemine göre parçaların kesitlendirilmesi
4. Her kesite daha önceden tanımlanan uygun malzemenin atanması
5. Montajın oluşturulması

6. Analiz adımlarının tanımlanması
7. Modeldeki parçalar arasındaki mekanik temasın tanımlanması
8. Sınır şartların ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması
9. Model içerisindeki her bir parçanın tek tek ufak parçalara bölünmesi (Mesh atma).
10. İş'in oluşturulması.

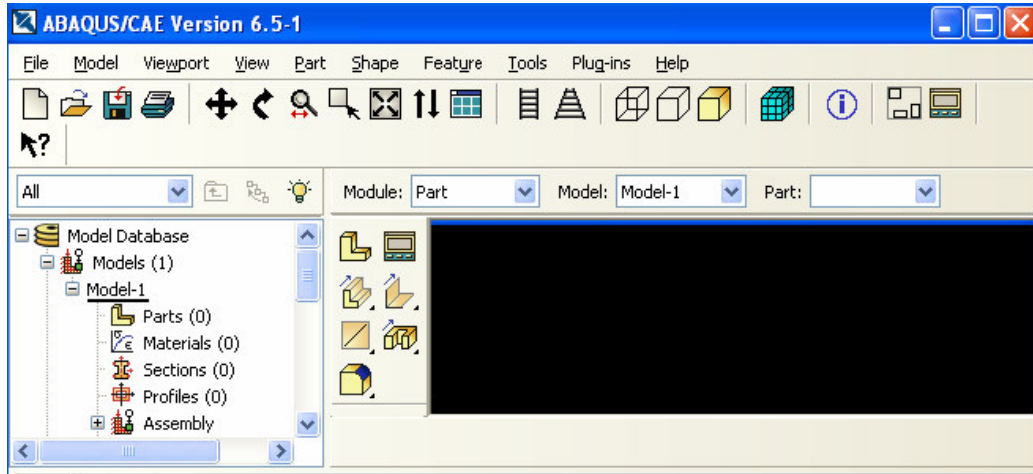
Yukarıda sıralanan adımları gerçekleştirirken en ince ayrıntılar dahi gözden geçirilmelidir. Örneğin, Mesh atma adımında eleman tipi seçimi sırasında seçilecek eleman tipi sonucun tamamen doğru yada tamamen yanlış sonuçlar doğmasına neden olacaktır.

4.5.3 Programın çalıştırılması

Abaqus/CAE programı hem komut isteminde hem de programın kısa yoluna tıklanarak çalıştırılabilir. Burada en basit şekilde nasıl çalıştırılıp probleme uyarlanması gerektiği anlatılacaktır. Öncelikle, program aşağıdaki yol izlenerek çalıştırılacaktır.

Başlat(Start) > Programlar > Abaqus 6.5-1 > Abaqus CAE

Programı çalıştırdıktan Şekil 4.5' deki ekran görüntülenir [7].

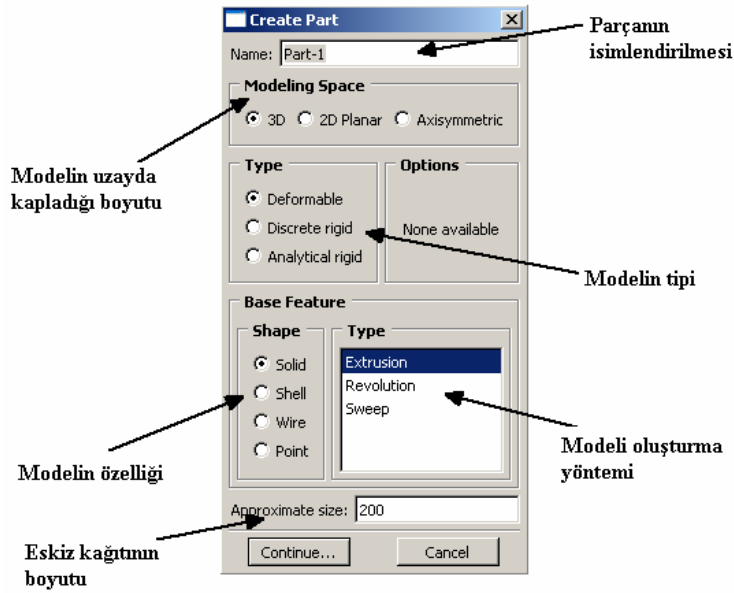


Şekil 4.5 : Abaqus/CAE açılış penceresi

4.5.4 Katı modelin oluşturulması

Yeni bir veritabanı oluşturabilmek için  (New Model Database) butonuna tıklanmalıdır. Bu butona “File > New” yolu izlenerek de ulaşılabilir.

Bu buton basıldıktan sonra “Create Part” diyalog kutusu görüntülenir. Diyalog kutusu problemin modellenebilmesi için araçlar sunmaktadır [7].



Şekil 4.6 : Abaqus/CAE katı model oluşturma

Parçanın isimlendirilmesi: Eğer model birden fazla parçadan oluşmaktaysa parçalar mantıklı bir şekilde adlandırılmasına olanak tanınmaktadır.

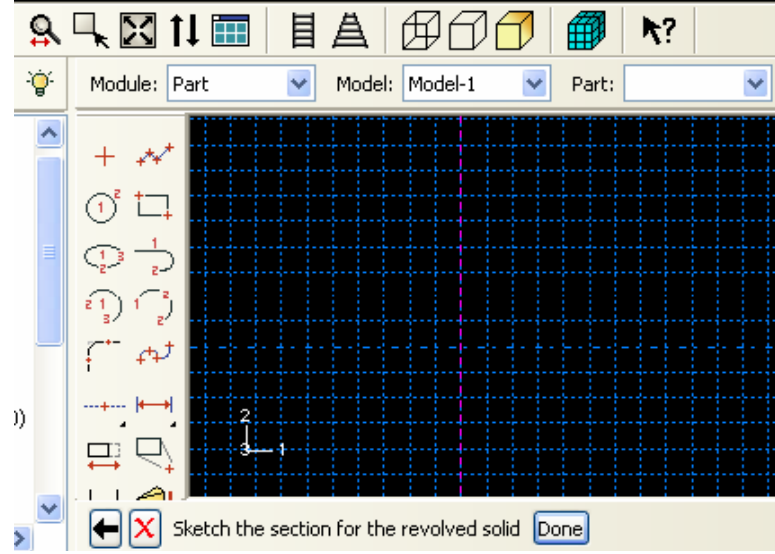
Modelin uzayda kapladığı boyut: Çalışılacak model uzayda kapladığı boyutu üç ise 3D, eğer model iki boyutluysa 2D, eğer model bir eksen etrafında simetrik ise Axisymmetric seçeneği seçilmelidir.

Modelin özelliği: Oluşturulacak modelin tipi katı ise “Solid”, kabuk ise “Shell”, çubuk veya ince kiriş ise “Wire”, eğer noktalardan oluşuyorsa “Point” seçeneği seçilmelidir.

Modeli oluşturma yöntemi: Bu kısımda program, kullanıcıya modellemenin en kolay şekilde oluşturulması olanağı sağlamaktadır.

Modelin tipi: Modelin tipi rijit veya deforme olabilen yapıya sahip olup olmadığı belirtilmelidir [7].

Eskiz kağıdının boyutu: Çizimin kolay bir şekilde yapılabilmesi için program otomatik olarak çizim alanını dilimler. Her dilim arası mesafenin ne kadar olduğunu bu kutuda girilmelidir.

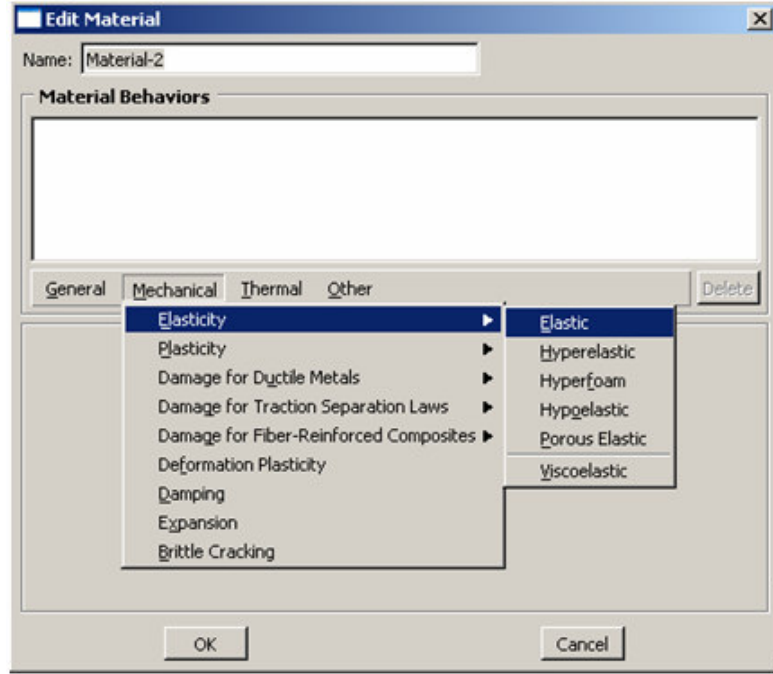


Şekil 4.7 : Abaqus/CAE çizim alanı

4.5.5 Malzeme girişi

Modelleme yapıldıktan sonra modelin malzemesi tanımlanmalıdır. Tanımlama işlemi aşağıda ki gibi yapılmaktadır.

“Create Material”  butonunu seçtikten sonra aşağıdaki pencere görüntülenir.

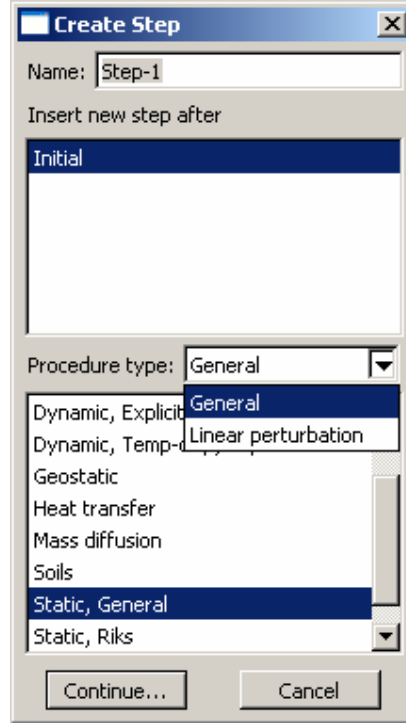


Şekil 4.8 : Malzeme girişi

Malzeme isimlendirildikten sonra malzemenin cinsi ve davranışı seçeneklerden seçilmelidir. Aynı anda malzemeye birçok özellik tanımlana bilmekte ve en ince ayrıntısına kadar malzemenin davranışı programa tanıtılabilmektedir.

4.5.6 Adım (Step) menüsü

Analiz sırasında modelin hangi analiz adımlardan geçeceği bu aşamada tanımlanmaktadır. Bu menüde aşağıda görüldüğü gibi birçok analiz amacı için seçenekler sunulmuştur.

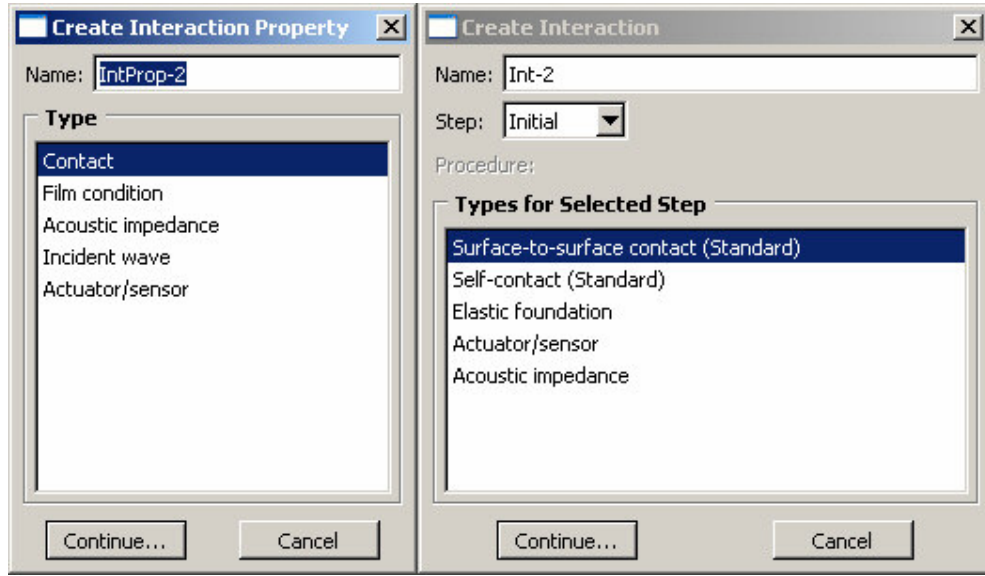


Şekil 4.9 : Adım (Step) menüsü

Step menüsü daha sonra sınır koşulları ve yüklemeler tanımlanma sırasında kullanılacaktır.

4.5.7 Etkileşim (Interaction) tanımlanması

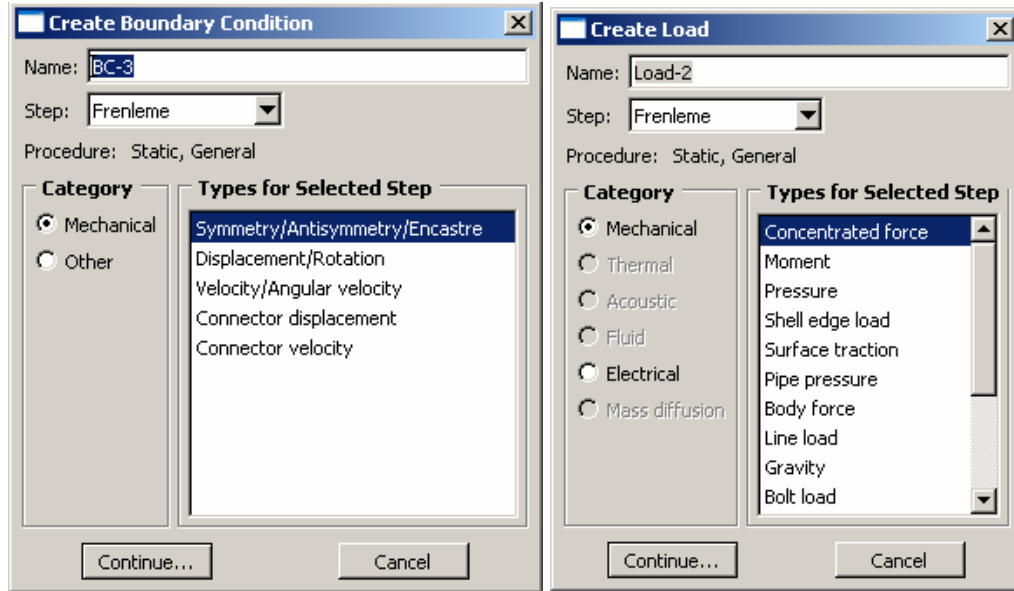
Model içerisinde birden fazla parça ihtiva edebilir. Bu parçalar analiz sırasında hareket ediyorsa veya her bir parça analiz sırasında farklı bir davranış gösteriyorsa o halde her parçanın birbiri arasındaki etkileşimleri tanımlanmalıdır. Örneğin, pim-cıvata-perno bağlantıları, herhangi iki parçanın bir biri üzerinde kayması veya itmesi [7].



Şekil 4.10 : Etkileşim Menüsü

4.5.8 Sınır şartların ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması

Aşağıdaki verilen menülerden sağdakinde yüklemelerin cinsi ve değerleri, soldakinde ise sınır şartları verilebilmektedir.

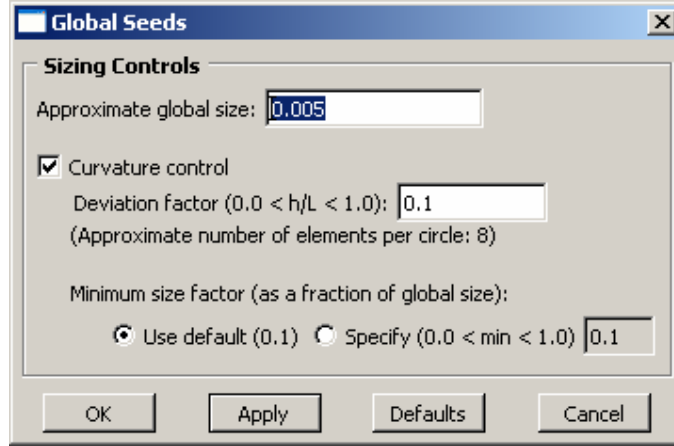


Şekil 4.11 : Yükleme ve sınır şartlar menüleri

4.5.9 Parçanın küçük parçalara (Mesh) bölünmesi

Daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz üzere Abaqus/CAE kullanıcıya otomatik olarak kendi seçtiği en küçük parçanın (mesh) boyutlarını sunmaktadır. Eğer analizin daha doğru ve kesin sonuçları vermesi istendiği takdirde en küçük yaklaşık dilimleme

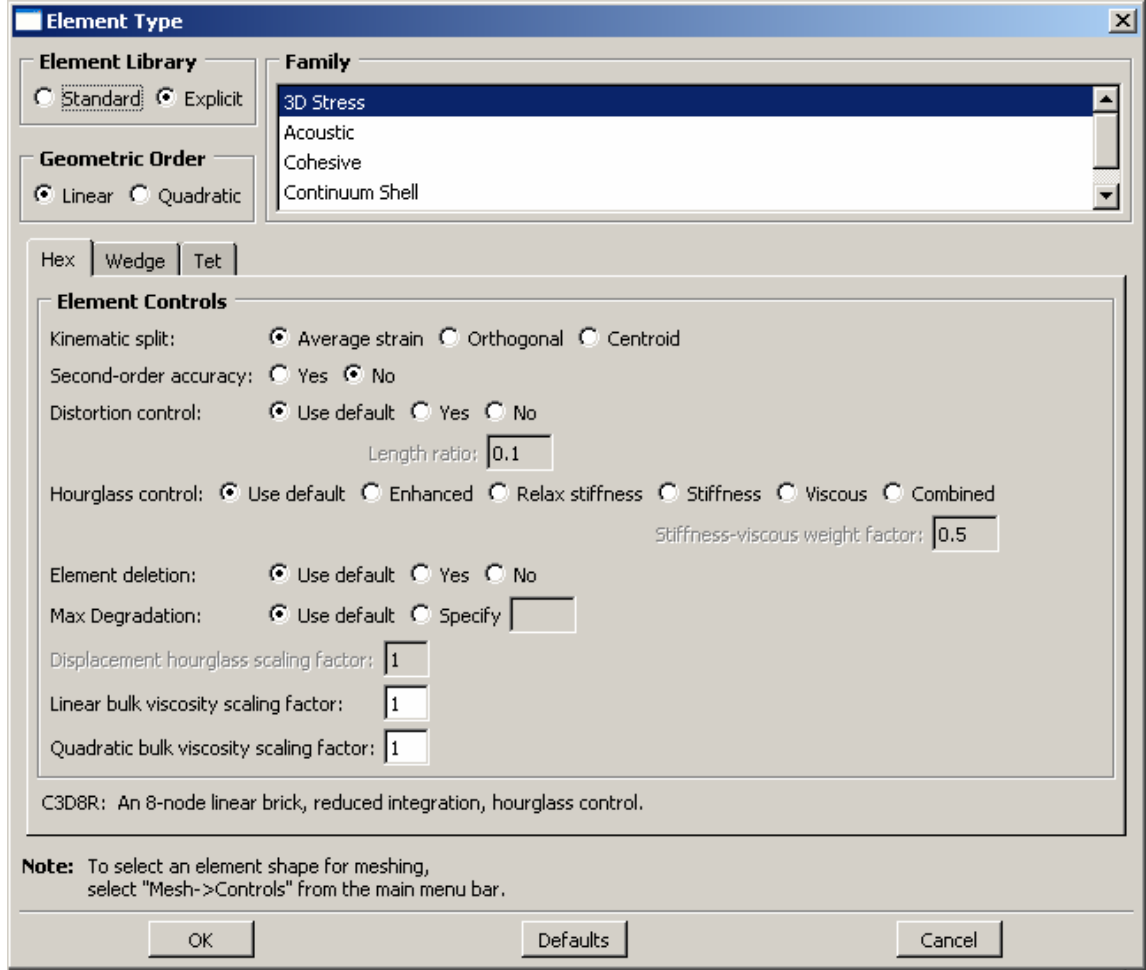
seçeneğindeki “approximate global size” değeri daha da düşürürüz. Eğer değer çok küçük olursa, bu parçadaki eleman sayısını artıracak için analizin çözülmesi uzun zaman alacağı anlamına gelir. Analiz hızı bilgisayar performansı ile doğru orantılıdır [7].



Şekil 4.12 : Parçanın dilimlenmesi

Parça dilimlendikten sonra eleman tipi kısmına geçilmelidir. Bu durumda da Abaqus/CAE programının en önemli özelliklerinden biri de akıllıca bizim seçtiğimiz model tipine uygun olan eleman tipi seçenekleri sıralamasıdır. Örneğin, yine mesh atma sırasında en uygun boyutlarda parçayı bölümleyebilmekte ve parça için seçilebilecek uygun eleman tiplerini otomatik olarak sıralamaktadır. Burada bilinmesi gereken husus, yapılacak yüklemeler sırasında parçanın maruz kalacağı deformasyonlara uygun tepki verecek eleman tiplerin seçimidir.

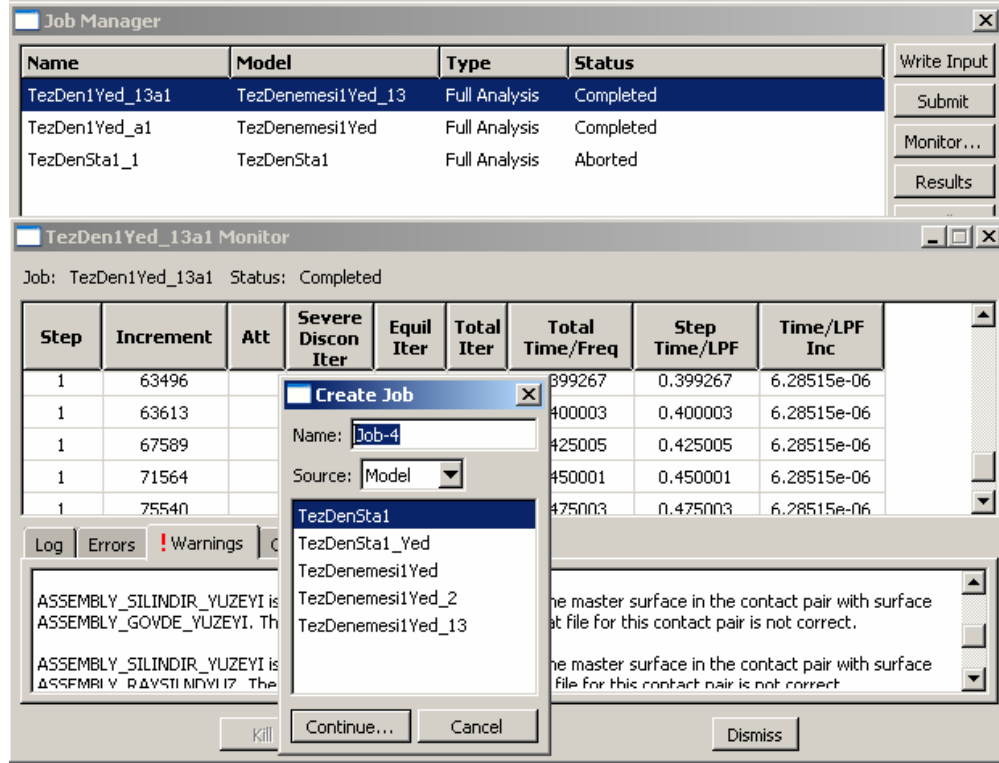
Şekil 4.13' deki menüden eleman tipi seçilir.



Şekil 4.13 : Eleman tipi seçme menüsü

4.5.10 İş (Job) menüsü

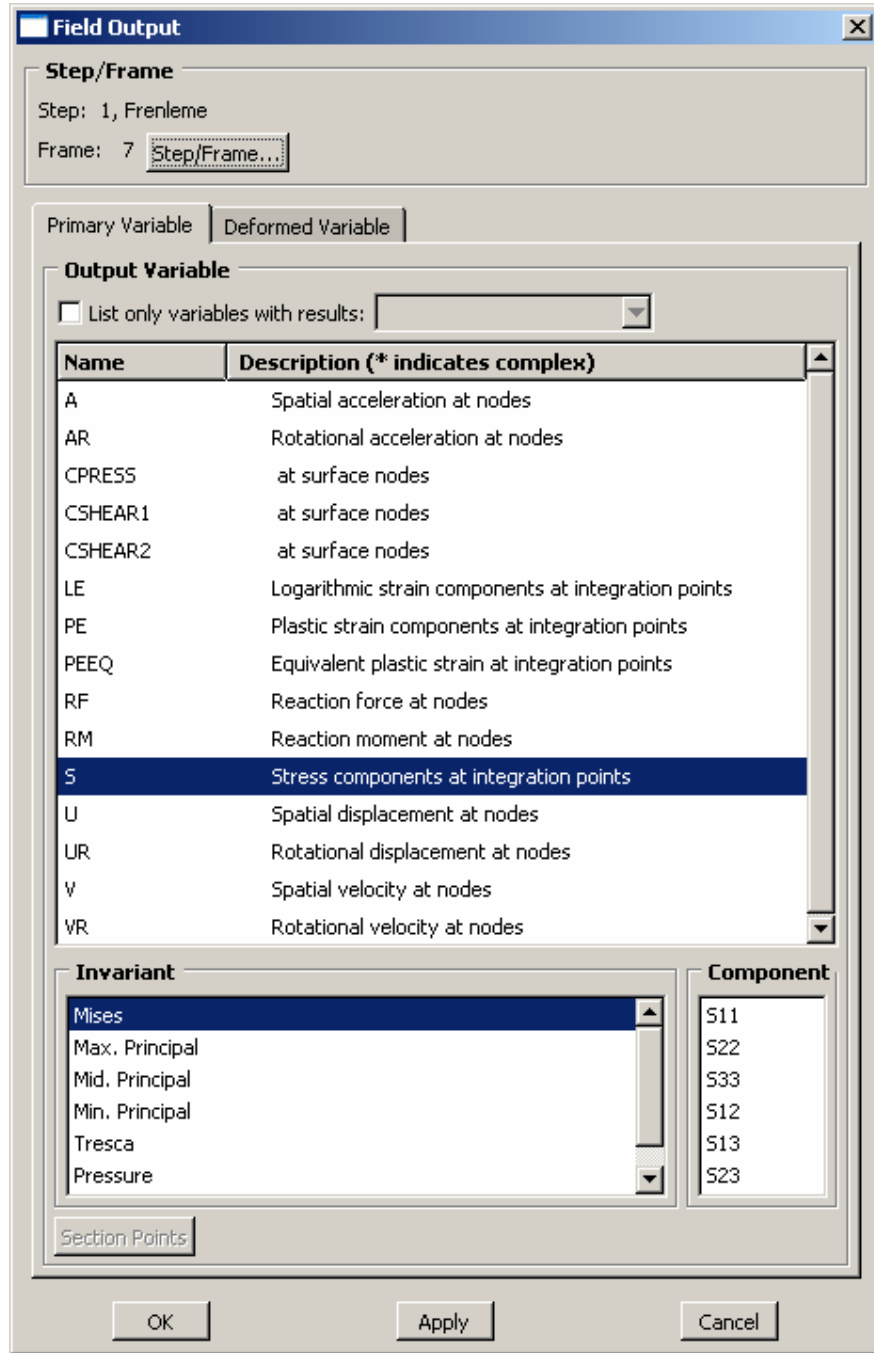
İş menüsünde analize hazır duruma getirdiğimiz modelin analize verilmesini sağlamaktayız. Bu menüde, analizin hangi durumda olduğu, analiz sırasında hataların veya uyarıların neler olduğu gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, analizin bitmesinde sonra sonucun yazı editörüne kaydedilmesi veya görüntülenmesi sağlanır. Aşağıda verilen menüden daha önce analizi yapılan bir çalışma görünmektedir.



Şekil 4.14 : İş menüsü

4.5.11 Analiz sonrası işlemler (Postprocessor) menüsü

Abaqus/CAE programının bir diğer güçlü özelliği analiz sonucunda sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması için yeterli bir görsel araçları sağlamasıdır. Postprocessing aşamasında çözümde elde edilen değerler ekrana grafik olarak yansıtılmakta, karşılaştırmalar yapılmakta ve çıktı alınmaktadır. Örneğin, çözümü yapılmış bir parçanın gerilme, ivme, sıcaklık, yer değiştirme vs. gibi önemi yüksek sonuçlar görsel olarak gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, yukarıda bahsettiğimiz sonuçların gözlenmesi sırasında parça analiz adımları süresince nasıl hareket ettiğini hareketli bir görüntü şeklinde birebir taklidi yapılmasına olanak sağlanmaktadır. Bu aşamada ayrıca çeşitli enerjilerin zamana göre dağılımları izlenebilmektedir. Aşağıda verilen menüden analiz sonrasında birçok sonucun görüntülenmesi sağlanmaktadır [7].



Şekil 4.15 : Sonuçların görüntülenmesi menüsü

5. KAFES ANA KİRİŞLİ PORTAL KRENİN MUKAVEMET HESAPLARI

Kren mukavemet hesapları DIN standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Hesaplamalar krenin maruz kaldığı kuvvetler baz alınarak yapılmaktadır. Bu bölümde öncelikle krenin çalışması esnasında etkiyen kuvvetlere değinilecektir. Daha sonra ise kafes ana kirişin mukavemet hesapları anlatılacaktır.

5.1 Krenin Maruz Kaldığı Kuvvetler

Portal kren sistemi yükleme esnasında iç ve dış yüklere maruz kalmaktadır. Kren üzerinde çalışma ve durma halinde etkiyen yükler, krenin kendi ağırlığı, taşınan yük, rüzgar yükü, kren ve arabalarının hareketleri sırasında doğan dinamik yükler olarak sıralanabilir.

5.1.1 Zati ağırlıklar

Kren tasarımında ilk göz önüne alınması gereken kren parçalarının kendi ağırlıklarıdır, çünkü bunlar her koşulda etki etmektedirler. Bunlar, krenin zati ağırlığı, araba ağırlığı ve kanca ağırlıklarıdır. Araba ve kanca ağırlıkları, ana kiriş boyunca hareket etmektedir [8].

Krenin zati ağırlığı kreni oluşturan parçalardan kaynaklanmaktadır. Bu ağırlık krenin boştayken sehim yapmasına neden olur.

Arabalar; kren ana kirişi üzerinde, raylar boyunca hareket eden iki araba yükünün yatay yönde taşınmasını sağlamaktadırlar. Her araba 8 teker üzerinde hareket eder. Araba zati ağırlığı hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.

Yükün taşınmasını sağlayan kancalar, halatlar vasıtasıyla arabalara bağlanmaktadır. Hesaplamalar sırasında kanca yükü dikkate alınmaktadır.

5.1.2 Çalışma yükü

İki arabanın her biri 275 ton yük taşıyabilmektedir. Bu yük ana kiriş boyunca hareket etmektedir. Krenin maruz kaldığı gerilmeler ve sehimler en çok bu yükten kaynaklanmaktadır. Arabalar arasındaki mesafe 20 metredir. Toplamda sisteme

etkiyen 550 ton yükün neden olduğu etki titizlikle yapılan hesaplamalarla ve sonlu eleman analizleri ile tespit edilmekte, dolayısıyla gerekli görüldüğünde sisteme takviye mukavemet parçaları eklenmektedir.

5.1.3 Dinamik yükler

Dinamik yükler ivmelenme ve frenleme sırasında oluşan yüklerdir. Bu yükler, hareket eden cismin kütlesi ile ivmenin çarpımıyla ($F = m \cdot a$) bulunabilir. Krenin ivmesi göz önünde bulundurulduğunda bu kuvvet, kren ağırlığının 1/30'una denk gelmektedir. Bu yük sadece krenin hareket yönünde uygulanmaktadır. Krenin zati ağırlığından kaynaklanan yükün yanı sıra arabaların taşıdığı yüklerin arabaların frenlenmesi esnasında oluşan atalet kuvvetleri, ana giriş boyunca etkimektedir. Bu yükün değeri taşınan yükün 1/30' u kadardır [8].

5.1.4 Rüzgâr yükü

Rüzgâr yükü yatay olarak bütün yönlerde etki edebilmektedir. Bu yük aşağıdaki denklemle bulunmaktadır [8].

$$Q_w = q \cdot k_{dw} \cdot c \cdot A \quad (5.1)$$

Bu denklemde, q rüzgâr yükü dağılımı, k_{dw} rüzgar hız katsayısı, c aerodinamik direnç katsayısı, A ise rüzgarın etkidiği alandır. Rüzgar yük dağılımının (q) rüzgar hızı ile ilişkisi [8];

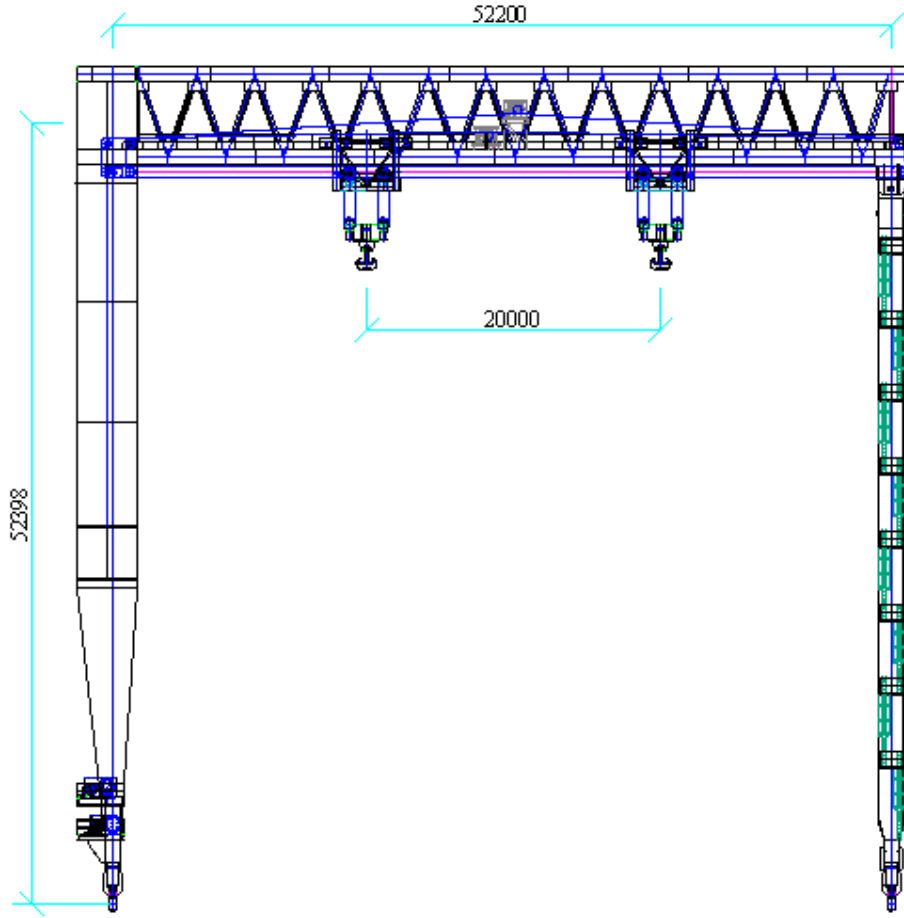
$$q = v_s^2 / 16 \quad (5.2)$$

Bu denklemde v_s rüzgar hızıdır. Bu değer, krenin çalışacağı bölgeye göre seçilir.

5.1.5 Halat makarasından doğan yükler

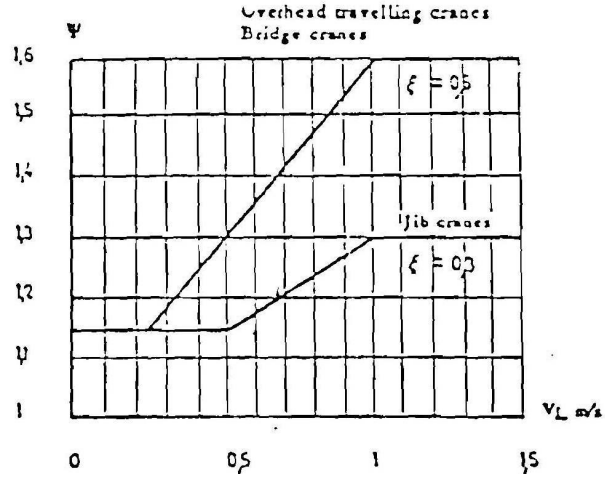
Ana giriş boyunca hareket eden araba, çelik halatlar yardımıyla çekilmekte ve bu kuvvet üç noktaya etki etmektedir. Bu kuvvetler, gergi kirişi üzerinde yukarı doğru, rijit bacağın üzerinde sağa ve aşağı doğru, mafsal bacağın üzerinden ise sola doğrudur.

5.2 Ana Kirişin FEM Şartnamesine Göre Mukavemet Hesabı



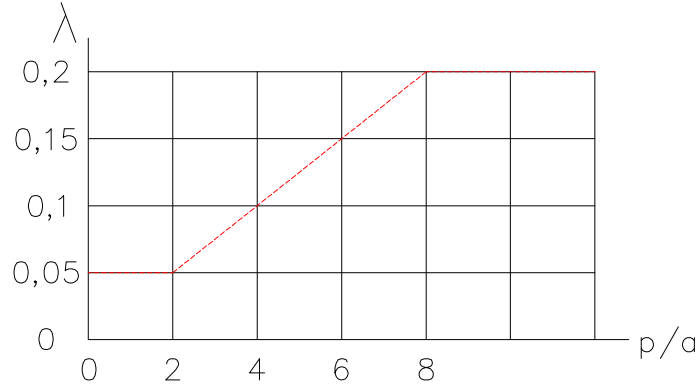
Şekil 5.1 : Kafes ana kirişli portal vincin genel ölçüleri

Kren elemanların hesabında darbe faktörlerin tespiti için F.E.M normlarından Şekil 5.2 'de verilen grafik kullanılmalıdır.



Şekil 5.2 : Kren tipine uygun darbe faktör seçim

Şekil 5.2 'de verilen grafiğe göre, $\psi = 1,15$ (titreşim katsayısı) alınmıştır. F.E.M normlarına göre bütün hareketler frekans inverter kontrollü olduğu için yatay yükleri düşey yüklerin $1/30$ 'u kadar alıyoruz. Bu normlara göre $p/a = 10/12,95 = 0,77$ olduğu için Şekil 5.3' den $\lambda = 0,05$ seçilir [8].



Şekil 5.3 : FEM'e göre lambda seçimi

Hesaplamalar sırasında kullanılan işletme rüzgar basıncı FEM normlarından $q = 250 \text{ N/m}^2 \cong 25 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır. İşletme rüzgar hızı ise $V_s = 20 \text{ m/sn} = 72 \text{ km/h}$ olarak seçilmiştir. İşletme dışı rüzgar basıncı ve hızları Çizelge 5.1 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: İşletme dışı rüzgar basıncı ve hızları

Yerden Yükseklik (metre)	Basıncı		Hız	
	N / m^2	kg / m^2	m / sn	km / h
0-20	800	80	36	130
20-100	1.100	110	42	150
+100	1.300	46	46	170

Ömür faktörü ise FEM’ den A4 grubu için Çizelge 5.2’ de $\gamma_c = 1,08$ olarak seçilmiştir [8].

Çizelge 5.2: Ömür faktörü

Grup	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
γ_c	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

FEM’ e göre A.37-A.42-A.52 çeliklerinin σ_E ve σ_a değerleri Çizelge 5.3 ‘ teki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 5.3: Ömür faktörü A.37-A.42-A.52 çelikleri için gerilme değerleri

Çelikler	Elastiklik Limiti $\sigma_E (N / mm^2)$	Mak. Gerilme değerleri: σ_a		
		1. Durum	2. Durum	3. Durum
		N / mm^2	N / mm^2	N / mm^2
E.24 (A.37, Fe 360)	240	160	180	215
E.26 (A.42)	260	175	195	240
E.36 (A.52, Fe 510)	360	240	270	325

σ_E değeri $260N/mm^2$ den büyük olan A Grade gemi inşa sacları için emniyet katsayıları aşağıdaki gibi seçildi:

Birinci Hal için: $\gamma_E = 1,5$

İkinci Hal için: $\gamma_E = 1,33$

Üçüncü Hal için: $\gamma_E = 1,1$ alınarak bulunacak σ_a 'lerle hesaplanacaktır.

Ana kiriş, rijit bacak ve mafsallı bacak birer grup olarak düşünülecek ve sertifikalarda o gruba ait en düşük akma sınırı hesaba alınacaktır.

Kayma gerilmesi için kontrol aşağıdaki formüle göre yapılmıştır [9].

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (5.3)$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen gerilmeler eşdeğer gerilme (5.4) altında toplanarak emniyet gerilmesiyle kontrol edilmektedir [9].

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \quad (5.4)$$

DIN 4114 'e de uygun olarak ;

Basınç ve eğilmeye maruz çubuklar:

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{M \cdot f \cdot v}{I} \leq \sigma_a \quad (\text{Yüklerde } \psi \text{ ve } \gamma_c \text{ var.}) \quad (5.5)$$

$$\sigma = \frac{w \cdot F}{S} + 0,9 \cdot \frac{M \cdot f \cdot v}{I} \leq \sigma_a \quad (\text{Yüklerde } \psi \text{ var, } \gamma_c \text{ yok.}) \quad (5.6)$$

şeklinde kontrol edilecektir.

Sistem değerleri ;

Ana kiriş ağırlığı $Q = 261000 \text{ kg}$

Ray açıklığı $L = 52200 \text{ mm}$

Kanca açıklığı $a = 20000 \text{ mm}$

Araba ray kotu $h = 52398 \text{ mm}$

Darbe faktörü $\psi = 1,15$

Kren grubuna göre ömür faktörü $\gamma_c = 1,08$

Kren arabaların bileşke yük tesir konumu hesabı ;

$$c = \frac{L}{2} - \frac{a}{4} = \frac{52,2m}{2} - \frac{20m}{4} = 21,1m \quad (5.7)$$

Büyütme faktörü hesabı ;

Darbe faktörü ile ömür faktörünün çarpımı büyütme faktörünü verir.

$$k = \psi \cdot \gamma_c = 1,08 \cdot 1,15 = 1,242 \quad (5.8)$$

Ana kirişe etkiyen yükler;

Ana kiriş çalışma şartlarında hem statik hem de dinamik yüklere maruz kalmaktadır. FEM normlarına göre statik yükleri önceden belirlenen büyütme faktörüne çarparak dinamik yüklere dönüştürüldü [8].

Statik halde;

Kanca kütlesi: $StKanca = 8000 \text{ kg}$

Çalışma yükü: $StYük = 275000 \text{ kg}$

Araba kütlesi: $StAraba = 25000 \text{ kg}$

Dinamik halde;

Kanca kütlesi:

$$Kanca = k \cdot Stkanca = 9936 \text{ kg} \quad (5.9)$$

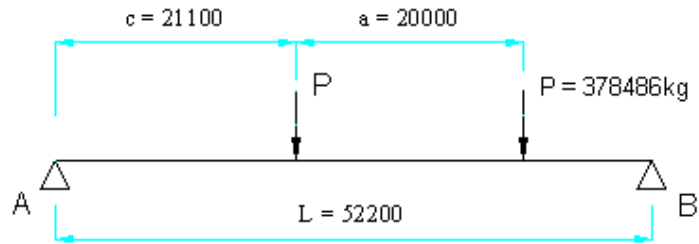
Çalışma yükü;

$$Yük = k \cdot StYük = 341550 \text{ kg} \quad (5.10)$$

Araba kütlesi;

$$Araba = \gamma_c \cdot StAraba = 27000 \text{ kg} \quad (5.11)$$

Arabaların taşıdığı yük etkisinden oluşan moment tesiri;



Şekil 5.4 : Arabaların yük etkisinden oluşan moment tesiri

Ana kirişe etkiyen yük denklem aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$P = Kanca + Yük + Araba \text{ [kg]} \quad (5.12)$$

Yukarıdaki denklemde gerçek veriler kullanıldığında, ana kiriş üzerine etkiyen düşey yük aşağıdaki gibi bulunur;

$$P = 9936 \text{ kg} + 341550 \text{ kg} + 27000 \text{ kg} = 378486 \text{ kg} \quad (5.13)$$

Basit statik denklemden, A ve B tepki kuvvetleri bulunur;

$$A = 305979 \text{ kg ve } B = 450993 \text{ kg}$$

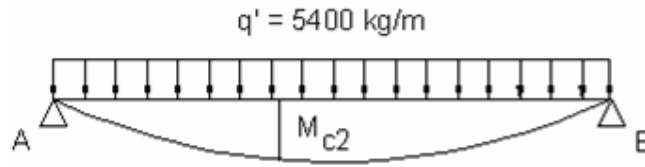
Basit mesnetli kiriş üzerine etkiyen yükün oluşturduğu moment tesiri aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$M = 2 \cdot P \frac{c^2}{L} \text{ [kgm]} \quad (5.14)$$

Denklemdeki terimler yerine veriler konulduğunda aşağıdaki sonuç bulunur;

$$M = 2 \cdot 378486 \text{ kg} \cdot \frac{(21,1 \text{ m})^2}{52,2 \text{ m}} = 6456159 \text{ kgm} \quad (5.15)$$

5.2.1 Ana kiriş zati ağırlığı etkisi



Şekil 5.5 : Ana kiriş zati ağırlığı serbest cisim diyagramı

Kiriş üzerine etkiyen yayılı yük;

$$q = \frac{Q}{L} \text{ [kg/m]} \quad (5.16)$$

Formül içerisine veriler koyulduğunda;

$$q = \frac{261000 \text{ kg}}{52,2 \text{ m}} = 5000 \text{ kg/m} \quad (5.17)$$

Birim yayılı yük ömür faktörüyle büyütüldüğünde

$$q' = \gamma_c \cdot q \text{ [kg/m]} \quad (5.18)$$

$$q' = 1,08 \cdot 5000 \text{ kg / m} = 5400 \text{ kg/m} \quad (5.19)$$

elde edilir.

Kiriş ortasına etkiye maksimum moment aşağıdaki formüle göre hesaplanır;

$$M_{c2} = q' \cdot \frac{L^2}{8} [\text{kgm}] \quad (5.20)$$

$$M_{c3} = 5400(\text{kg} / \text{m}) \cdot \frac{(52,2\text{m})^2}{8} = 1839267 \text{ kgm} \quad (5.21)$$

21,1 m ye etkileyen eğilme momenti aşağıdaki gibi bulunur;

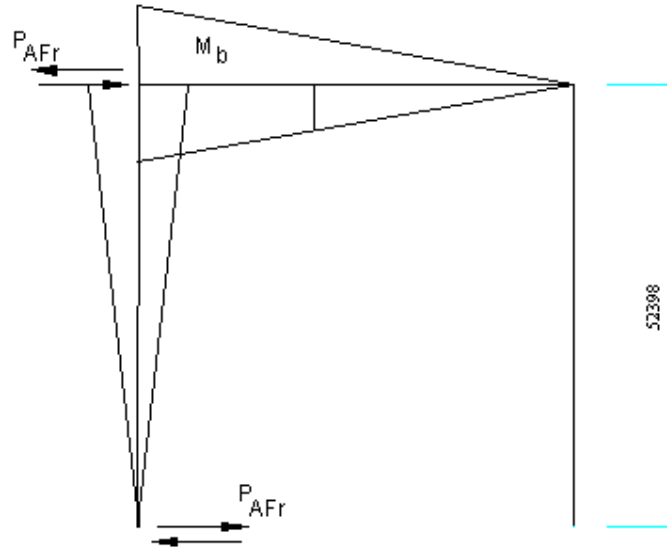
$$M_{21,1} = \frac{L \cdot q' \cdot c}{2} \cdot \left(1 - \frac{c}{L}\right) [\text{kgm}] \quad (5.22)$$

$$M_{21,1} = \frac{52,2\text{m} \cdot 5400(\text{kg} / \text{m}) \cdot 21,1\text{m}}{2} \cdot \left(1 - \frac{21,1\text{m}}{52,2\text{m}}\right) = 1771767 \text{ kgm} \quad (5.23)$$

Ömür faktörüyle büyütülmüş ana kiriş yükünden dolayı tepki kuvvetleri basit mesnetli kiriş statik hesap sonucu aşağıdaki gibi bulundu.

$$A = 140940 \text{ kg} , B = A [\text{kg}] \quad (5.24)$$

Arabanın fren etkisinden oluşan moment tesiri;



Şekil 5.6 : Araba fren etkisinden oluşan momentin gösterimi

Arabalar iki adet olduğundan fren etkisi aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P_{AFr} = 2 \cdot \frac{P}{30} [\text{kg}] \quad (5.25)$$

$$P_{AFr} = 2 \cdot \frac{378486kg}{30} = 25232 \text{ kg} \quad (5.26)$$

Fren kuvvetinden kaynaklanan moment aşağıdaki gibi bulunur;

$$M_b = h \cdot P_{AFr} \quad [\text{kgm}] \quad (5.27)$$

$$M_b = 52,398m \cdot 25232kg = 1322127 \text{ kgm} \quad (5.28)$$

Fren kuvvetinden kaynaklanan momentin 21,1 m ‘deki etkisi aşağıdaki gibi bulunur;

$$M_{21,1Fr} = \left(\frac{L-c}{L}\right) \cdot h \cdot P_{AFr} \quad [\text{kgm}] \quad (5.29)$$

$$M_{21,1Fr} = \left(\frac{52,2m-21,1m}{52,2m}\right) \cdot 52,398m \cdot 25232kg = 787704 \text{ kgm} \quad (5.30)$$

Fren kuvvetlerine karşı mesnetlerde oluşan tepki kuvvetleri;

$$A = 25328 \text{ kg} , B = A \quad [\text{kg}] \quad (5.31)$$

Kaldırma halatlarından oluşan moment tesiri;

Halatlar kanca ve yükleri taşıdıklarından, toplamda 8 adet olan halatların her birine etkiyen yük aşağıdaki gibi bulunur;

$$T_{halat} = -2 \cdot \frac{Yük + Kanca}{8} \quad [\text{kg}] \quad (5.32)$$

$$T_{halat} = -2 \cdot \frac{341550kg + 9936kg}{8} = -87872 \text{ kg} \quad (5.33)$$

Halatın neden olduğu moment;

$$M_T = h_t \cdot T_{halat} \quad [\text{kgm}] \quad (5.34)$$

$$M_T = 2,56m \cdot (-87872kg) = -224951 \text{ kgm} \quad (5.35)$$

5.2.2 Alt başlıkta araba tesiri

Alt başlık bir tarafına bir arabadan etkiyen yük;

$$P_{köşe} = \frac{P}{4} \quad [\text{kg}] \quad (5.36)$$

$$P_{köşe} = \frac{378486kg}{4} = 94622 \text{ kg} \quad (5.37)$$

Her köşeye etkiyen kuvvetin düğümlerde meydana getirdiği moment;

$$M_{dügüm} = -0,2839 \cdot P_{köşe} \cdot a_1 \text{ [kgm]} \quad (5.38)$$

$$M_{dügüm} = -0,2839 \cdot 94622 \text{ kg} \cdot 3,88 \text{ m} = -104229 \text{ kgm} \quad (5.39)$$

$$M_{açıklık} = M_{21,1} = 0,1749 \cdot P_{köşe} \cdot a_1 \text{ [kgm]} \quad (5.40)$$

$$M_{açıklık} = 0,1749 \cdot 94622 \text{ kg} \cdot 3,88 \text{ m} = 64211 \text{ kgm} \quad (5.41)$$

5.2.3 Maksimum tesisler toplamı

Ana kiriş üzerinde rijit bacağa arabalar 21,1m uzaklıkta yanaşırken, ana kiriş 21,1 m deki kesit kontrolü X ve Y eksenlerine göre hem kesme, hem de momentleri incelendi.

X eksenindeki moment tesiri;

$$\sum M_{21,1x} = M_{21,1yük} + M_{21,1ana} + M_T + M_{21,1fren} \text{ [kgm]} \quad (5.42)$$

$$\sum M_{21,1x} = 6456159 \text{ kgm} + 1771767 \text{ kgm} - 224951 \text{ kgm} + 787704 \text{ kgm} = 8790679 \text{ kgm} \quad (5.43)$$

Y eksenindeki moment tesiri;

$$\sum M_{21,1y} = \frac{M_{21,1yük} + M_{21,1ana}}{30} \text{ [kgm]} \quad (5.44)$$

$$\sum M_{21,1y} = \frac{6456159 \text{ kgm} + 1771767 \text{ kgm}}{30} = 274264 \text{ kgm} \quad (5.45)$$

Ağırlık merkezine göre moment denkleminde s kuvvetin bulunması;

$$s = \frac{\sum M_{21,1x}}{5,5m} \text{ [kg]} \quad (5.46)$$

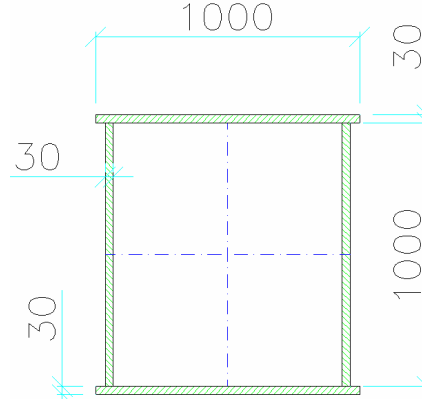
$$s = \frac{8790679 \text{ kgm}}{5,5m} = 1598305 \text{ kg} \quad (5.47)$$

Halatlar yükünden kaynaklanan gerilme;

$$\sigma_T = \frac{T_{halat}}{\sum A} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.48)$$

$$\sigma_T = \frac{-87872 \text{ kg}}{2938 \text{ cm}^2} = 30 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.49)$$

5.2.4 Üst başlık kontrolü



Şekil 5.7 : Üst başlık kesiti

Şekil 5.7' den yararlanarak üst başlık kesitiyle ilgili geometrik değerler bulunur.

X ve Y eksenindeki atalet momentleri: $J_x = 2091800 \text{ cm}^4$, $J_y = 1710056 \text{ cm}^4$

Y eksenindeki mukavemet momenti: $W_y = 34201 \text{ cm}^3$

Y eksenindeki toplam atalet momenti: $J_{ytopl} = 53137904 \text{ cm}^4$

Kesit yüzey alanı: $F = 1200 \text{ cm}^2$

Narinlik derecesi ile ilgili katsayı: $\omega = 1$

Üst başlık asal ekseninde 1 yönlü gerilme aşağıdaki gibi bulunur;

$$\sigma_1 = \frac{-s}{F} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.50)$$

$$\sigma_1 = \frac{-1598305 \text{ kg}}{1200 \text{ cm}^2} = -1332 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.51)$$

Sehimlerin eşitliği şartından;

$$M_{yüst} = \sum M_{21,1y} \cdot \frac{J_y}{J_{ytopl}} \text{ [kgm]} \quad (5.52)$$

$$M_{yüst} = 274264 \text{ kgm} \cdot \frac{1710056 \text{ cm}^4}{53137904 \text{ cm}^4} = 8826 \text{ kgm} \quad (5.53)$$

Eğilme gerilmesi aşağıdaki gibi bulunur [9];

$$\sigma_2 = \frac{-M_y}{W_y} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.54)$$

$$\sigma_2 = \frac{-8826 \text{ kgm}}{34201 \text{ cm}^3} = -26 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.55)$$

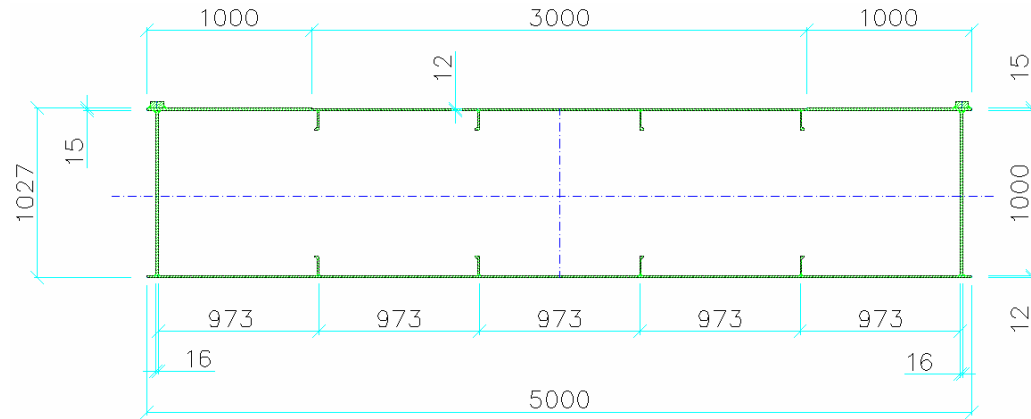
Buna göre, şuna kadar bulunan tüm gerilmeler toplanır;

$$\Sigma \sigma_{üst} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_T \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.56)$$

$$\Sigma \sigma_{üst} = -1332 \text{ kg / cm}^2 - 26 \text{ kg / cm}^2 - 30 \text{ kg / cm}^2 = -1388 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.57)$$

Bulunan bu gerilme emniyet gerilmesinden 175 MPa' dan daha küçük olduğundan üst başlık mukavemetlidir.

5.2.5 Alt başlık kontrolü



Şekil 5.8 : Alt başlık kesiti

Şekil 5.8' den yararlanarak alt başlık kesitiyle ilgili geometrik değerler bulunur.

X ve Y eksenindeki atalet momentleri: $J_x = 3830756 \text{ cm}^4$, $J_y = 51427848 \text{ cm}^4$

X ve Y eksenindeki mukavemet momentleri: $W_{x1} = 74096 \text{ cm}^3$, $W_{x2} = 69650 \text{ cm}^3$

$W_{y1} = 207370 \text{ cm}^3$, $W_{y2} = 205711 \text{ cm}^3$

Y eksenindeki ana kirişin atalet momenti: $J_{ytopl} = 53137904 \text{ cm}^4$

Kesit yüzey alanı: $F = 1738 \text{ cm}^2$

Üst başlık asal ekseninde basma gerilme aşağıdaki gibi bulunur;

$$\sigma_1 = \frac{S}{F} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.58)$$

$$\sigma_1 = \frac{-1598305kg}{1738cm^2} = 920 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.59)$$

Y ekseninde alt başlığa etkiyen eğilme momentleri toplamından;

$$M_{yalt} = \sum M_{21,1y} - M_{yüst} \text{ [kgm]} \quad (5.60)$$

$$M_{yalt} = 274264kgm - 8826kgm = 265438kgm \quad (5.61)$$

Bulunan toplam momentin neden olduğu eğilme gerilmesi aşağıdaki gibi bulunur;

$$\sigma_2 = \frac{M_{yalt}}{W_{y2}} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.62)$$

$$\sigma_2 = \frac{265438kgm}{205711cm^3} = 129 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.63)$$

Arabadan kaynaklanan gerilme;

$$\sigma_{araba} = \frac{M_{21,1}}{76663cm^3} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.64)$$

$$\sigma_{araba} = \frac{64211kgm}{76663cm^3} = 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.65)$$

Halat tesirinden dolayı oluşan gerilme;

$$\sigma_T = -30 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.66)$$

Şu ana kadar bulunan tüm gerilmelerin skaler toplanmasıyla alt başlığa etkiyen toplam gerilme bulunur;

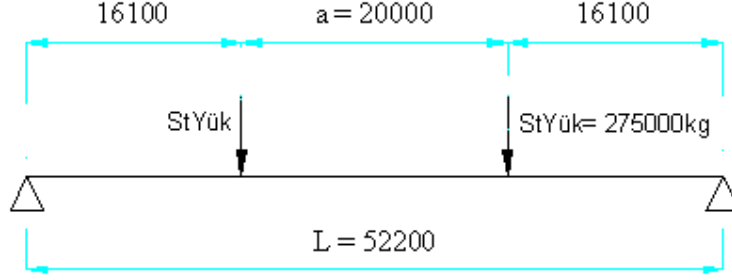
$$\sum \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_T + \sigma_{araba} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.67)$$

$$\sum \sigma = 920kg / cm^2 + 129kg / cm^2 + 84kg / cm^2 - 30kg / cm^2 = 1102 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.68)$$

Bulunan bu gerilme emniyet gerilmesinden 175 MPa' dan daha küçük olduğundan alt başlık emniyetlidir.

5.2.6 2 x 275 ton sehim hesabı kontrolü

a-) Çalışma yükünden kaynaklanan sehim:



Şekil 5.9 : Ana kiriş serbest cisim diyagramı

Sehim hesabında Şekil 5.9 ‘daki ana kiriş serbest cisim diyagramından faydalanıldı. Araba konumları ve taşıdığı yük değerleri şekilde verilmektedir. Buna göre, arabaların rijit ve mafsal bacaklara olan uzaklıkları $c = 16100$ mm, birbirine olan uzaklıkları $a = 20000$ mm ve Elastisite modülü $E = 2,1 \times 10^6$ kg/cm² ‘dir. Kirişin X eksenindeki toplam atalet momentini $J_{xtopl} = 220668681$ cm⁴ ‘dir.

Kirişlerdeki maksimum sehim formülünden, çalışma yükünden 275 Ton kaynaklanan kiriş sehimini aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\max_f = \frac{(StYük \cdot c)}{E \cdot J_{xtopl}} \cdot (3 \cdot a^2 + 8 \cdot c^2 + 12 \cdot a \cdot c) \cdot \frac{1}{24} \text{ [cm]} \quad (5.69)$$

$$\max_f = \frac{275000 \text{ kg} \cdot 16,1 \text{ m} \cdot [3 \cdot (20 \text{ m})^2 + 8 \cdot (16,1 \text{ m})^2 + 12 \cdot 16,1 \text{ m} \cdot 20 \text{ m}]}{2,1 \times 10^6 (\text{kg} / \text{cm}^2) \cdot 220668681 \text{ cm}^4 \cdot 24} = 2,84 \text{ cm} \quad (5.70)$$

FEM normu kurallarına göre ana kirişin maksimum sehim, kiriş boyunun 800’ de birinden daha küçük olmalı. Diğer değişle, ana kiriş boyunun sehime oranı 800’ den daha büyük olmalı.

$$\frac{L}{\max_f} \rightarrow \frac{52,2 \text{ m}}{2,84 \text{ cm}} = 1837 > 800 \quad (5.71)$$

Bulunan değer 800’ den daha büyük olduğundan, kiriş sehim kabul edilebilir düzeydedir.

b-) Araba, kanca ve çalışma yükünden kaynaklanan sehim;

Araba ve kancanın statik ağırlığı ile çalışma yükünün statik durumdayken ağırlığı, vinç ana kirişinde oluşturduğu sehim aşağıdaki gibi bulunur;

$$G_{st} = StAraba + StKanca + StYük \text{ [kg]} \quad (5.72)$$

$$G_{st} = 25000kg + 8000kg + 275000kg = 308000 \text{ kg} \quad (5.73)$$

Bulunan toplam statik yükün neden olduğu sehim aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$max_{f2} = \frac{G_{st} + T_{halat}}{StYük} \cdot max_f \text{ [cm]} \quad (5.74)$$

$$max_{f2} = \frac{308000kg + 87872kg}{275000kg} \cdot 2,84cm = 4,09cm \quad (5.75)$$

c-) Ana kirişin zati ağırlığından kaynaklanan sehim;

Statik olarak belirli kiriş sistemlerinde, kirişin zati ağırlığından kaynaklanan sehim aşağıdaki formüllerle bulunur;

$$f_G = \frac{Q \cdot L^3}{E \cdot J_{xtopl}} \cdot \frac{5}{384} \text{ [cm]} \quad (5.76)$$

Denklem içerisinde değerler koyulduğunda, sehim aşağıdaki gibi bulunur;

$$f_G = \frac{261000kg \cdot (52,2m)^3}{2,1 \times 10^6 (kg / cm^2) \cdot 220668681cm^4} \cdot \frac{5}{384} = 1,04 \text{ cm} \quad (5.77)$$

Madde (b) ve (c) de bulunan sehim değerleri toplamı (5,13cm), vincin çalışma esnasında ana kirişin sehim değeridir.

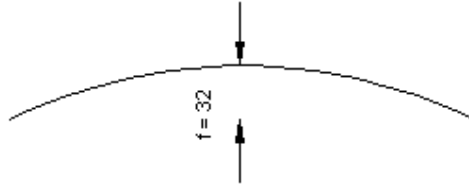
d-) Kirişe imalatla verilecek ters sehim:

Ana kirişin çalışma esnasında yaptığı sehimini önlemek için imalat safhasında ana kirişe ters sehim verilmektedir. Ters sehim verirken, kiriş zati ağırlığının yaptığı sehim ile ana kirişe etki eden araba, kanca ve çalışma yükün yaptığı sehimin üçte ikisi toplanır [10].

$$f = f_G + max_{f2} \cdot \frac{2}{3} \text{ [cm]} \quad (5.78)$$

$$f = 1,04cm + 3,18cm \cdot \frac{2}{3} = 3,16 \text{ cm} \quad (5.79)$$

Ters sehim bir parabole benzer. Şekil 5.10’ da ana kiriş imalat sehim doğrusu gösterilmektedir.

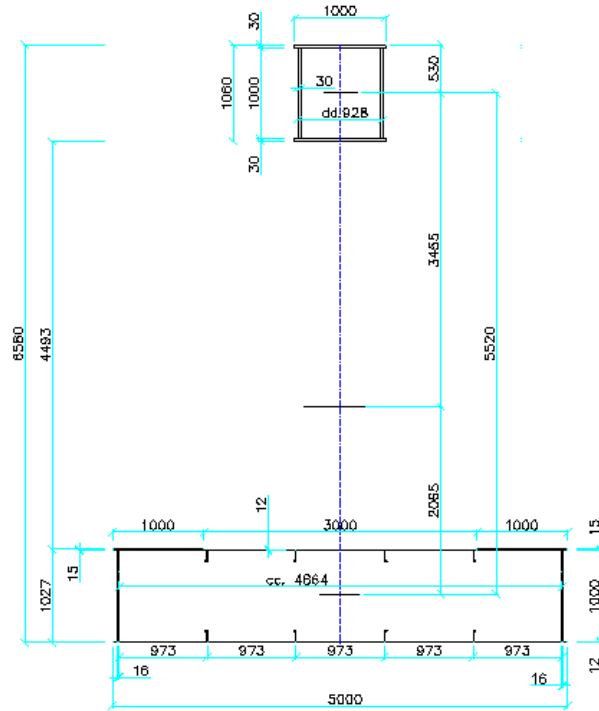


Şekil 5.10 : Ana kirişe verilen ters sehim

5.2.7 Ana kiriş çaprazlarının mukavemet kontrolü

Hesaplamalara geçmeden önce aşağıda sıralanan kabuller dikkate alınacaktır;

- Arabalar arası 20m olacak şekilde 55000kg kaldırılacaktır.
- Açıklığı 52200mm olan kren ana kirişi kontrol edilecektir.
- Üst ve alt başlık kesit ölçüleriyle diğer önemli ölçüler Şekil 5.11’ deki gibi kabul edilecektir.
- Ana kiriş kesiti simetrik olduğundan hesaplamalar sadece kirişin bir yanı için yapılacaktır.



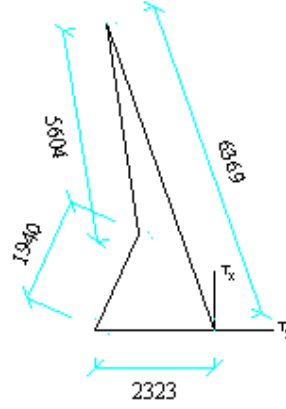
Şekil 5.11’ deki ana giriş kesitinin;

Alt başlığın Y eksenindeki toplam atalet momenti: $J_{ytopl} = 53137904 \text{ cm}^4$ 'dir.

$$J_{yüst} / J_{ytopl} = 1/31 \quad (5.80)$$

$$T_y = T_x / 30 \quad (5.81)$$

$$(1/30) \cdot (1/31) = 1/930 \doteq 0 \text{ (yaklaşık)} \quad (5.82)$$



Şekil 5.12 : Bir çaprazın X – Y – Z eksen takımındaki konumu

Ana kirişte kullanılan çaprazlar, ana kirişin kafes yapısını oluşturmaktadır. Ana kiriş çaprazlarının X-Y-Z eksen takımındaki konumu Şekil 5.12’ de gösterilmiştir. Buna göre,

Çapraz boyu: 6369 mm

Çaprazın X eksenindeki dik uzunluğu: 5604 mm

Çaprazın Y eksenindeki dik uzunluğu: 2323 mm

Çaprazın Z eksenindeki dik uzunluğu: 1940 mm’dir.

Hesaplamalar sırasında, bulunan T_x kuvvetleri, uzunluğu 6369 mm olan çubukları;

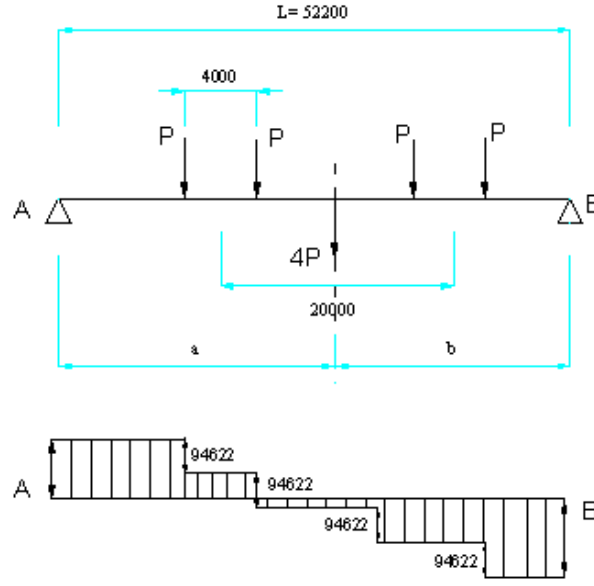
$$6369 / 5604 = 1,137 \quad (5.83)$$

1,137 katsayısı ile, boyu 6066 mm olan en uçtaki dik çubukları ise

$$6066 / 5604 = 1,083 \quad (5.84)$$

1,083 katsayısı ile arttıracaktır.

Arabalardan etkiyen kesme kuvvetleri aşağıdaki gibi etkililmektedir.



Şekil 5.13 : Ana kirişe etkiyen kuvvetler ve kesme kuvvet diyagramı

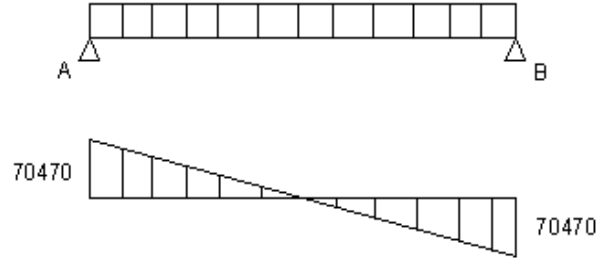
Bir arabanın bir taraftaki 4 tekerlerin her birine etkiyen düşey kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P = 378486 / 4 = 94622 \text{ kg} \quad (5.85)$$

Hesaplanan bu değere göre, A ve B mesnetler arasındaki kesme kuvvet diyagramı, basit statik denklemlerinden Şekil 5.13 'te gibi elde edilir.

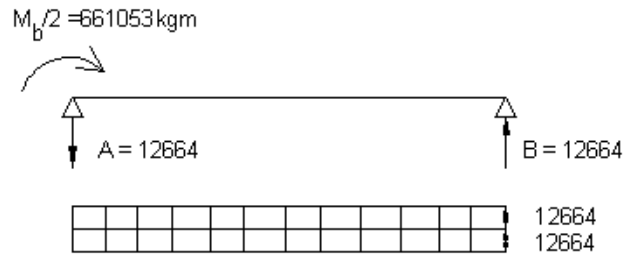
Ana kiriş ağırlığının etkisi Şekil 5.14 'deki gibi yayılı yük (üstte) şeklinde olmaktadır. Bu tesirin A ve B mesnetler arasındaki kesme kuvvet diyagramı, denklem (5.86) deki gibi elde edilir;

$$A = B = (52.2 \cdot 5400) / (2 \cdot 2) = 70470 \text{ kg} \quad (5.86)$$



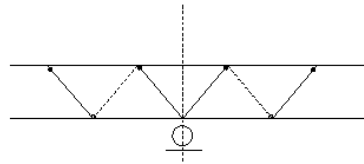
Şekil 5.14 : Ana kiriş zati ağırlığının tesiri ve oluşan kesme kuvveti diyagramı

Arabaların fren tesiri Şekil 5.15’ deki gibi etkitildi;



Şekil 5.15 : Arabaların fren tesiri

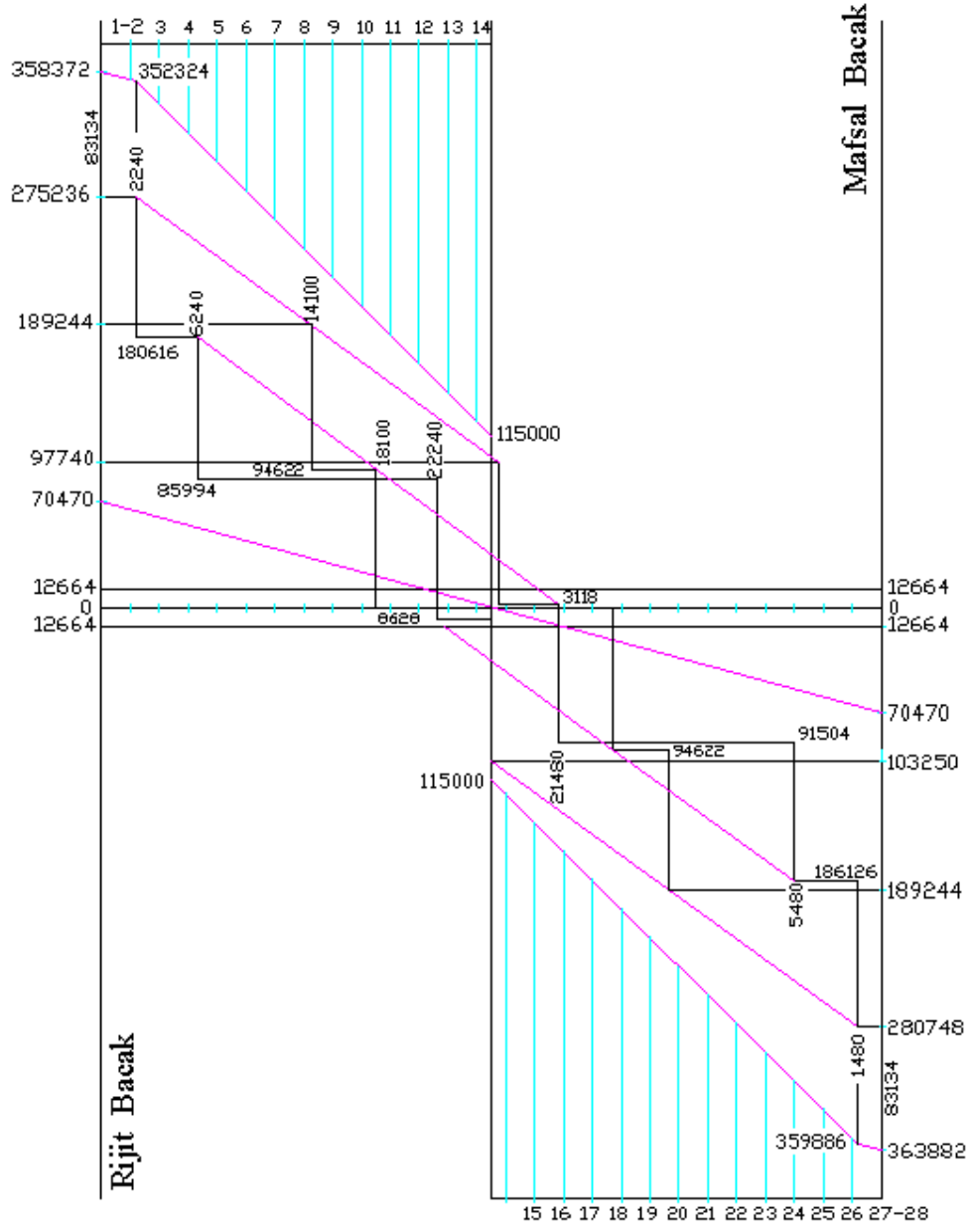
Arabalar her iki yönde de yürütüldüğünden, fren etkisi (+) ve (-) kesme kuvvetleri oluşturur. Çizimlerde kirişin ortasından itibaren bacağa doğru en yakın nokta alınarak maksimum kuvvet bulunur.



Şekil 5.16 : Fren tesirinin maksimum tesir noktası

DIN 4114 e göre basınç çubukları $\gamma_c = 1,08$ ömür faktörü etkisi düşürülerek kuvvetler kontrol edilmektedir [8].

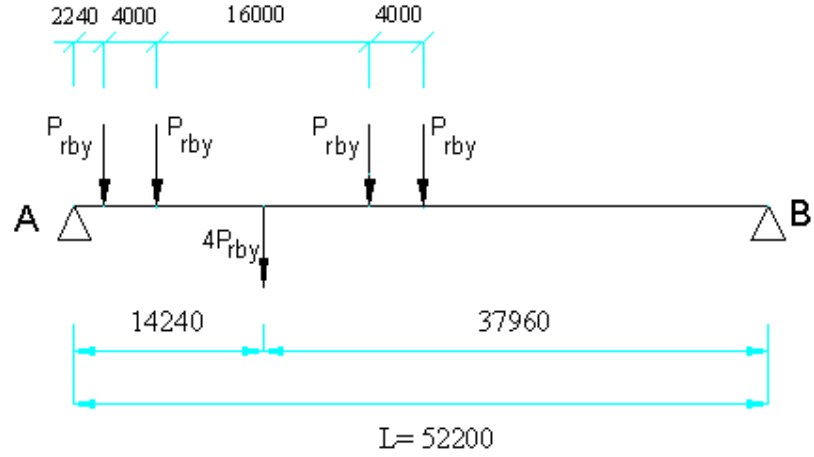
Yapılan statik hesaplar sonucunda Şekil 5.17 ‘deki çubuk kuvvetleri diyagramı elde edildi.



Şekil 5.17 : Çapraz kuvvetleri diyagramı

5.2.8 Arabalar rijit bacağa yanaşırken

Arabalar yükü kaldırarak rijit bacağa yanaşık olduğu durum için serbest cisim diyagramı Şekil 5.18 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Arabalar rijit bacağa yanaşıkken etkiyen kuvvetlerin konumu

Serbest cisim diyagramından, statik denklemler çözülürse, mesnet kuvvetleri aşağıdaki gibi bulunur;

$$4P = 378488 \text{ kg} \quad (5.87)$$

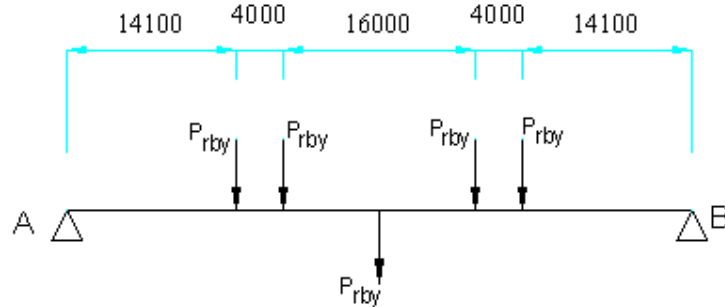
$$A = P \cdot \frac{37,960m}{L} \text{ kg} \quad (5.88)$$

$$A = 94622 \text{ kg} \cdot \frac{37,960m}{52,2m} = 275236 \text{ kg} \quad (5.89)$$

$$B = P - A = 103250 \text{ kg} \quad (5.90)$$

5.2.9 Arabalar ana kiriş ortasındayken

Arabalar yükü kaldırarak ana kiriş ortasında iken serbest cisim diyagramı Şekil 5.19;



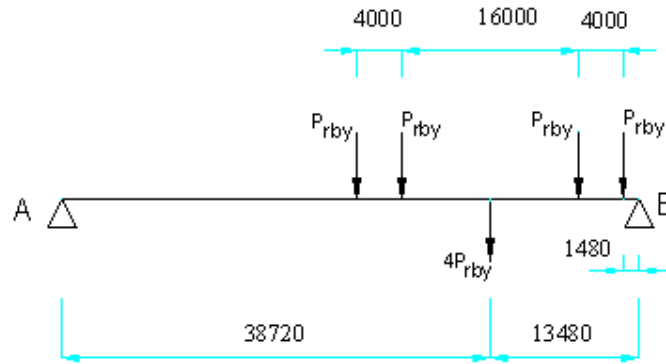
Şekil 5.19 : Arabalar ana kirişin ortasındayken etkiyen kuvvetlerin konumu

Serbest cisim diyagramından, statik denklemler çözülürse, mesnet kuvvetleri aşağıdaki gibi bulunur;

$$A = B = 2P = 189244 \text{ kg} \quad (5.91)$$

5.2.10 Arabalar mafsal bacağa yanaşırken

Arabalar yükü kaldırarak mafsal bacağa yanaşık olduğu durum için serbest cisim diyagramı Şekil 5.20' de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : Arabalar rijit bacağa yanaşırken etkiyen kuvvetlerin konumu

Serbest cisim diyagramından, statik denklemler çözülürse, mesnet kuvvetleri aşağıdaki gibi bulunur;

$$A = P \cdot \frac{13,480m}{L} \text{ [kg]} \quad (5.92)$$

$$A = 378486kg \cdot \frac{13,480m}{52,2m} = 97739kg \quad (5.93)$$

$$B = P - A \text{ [kg]} \quad (5.94)$$

$$B = 378486kg - 97739kg = 280747kg \quad (5.95)$$

5.2.11 Çubukların rijit bacak ekseninden uzaklıkları ve çubuk kuvvetleri

Daha önceden bahsedilen düğüm yöntemine göre elde edilen çubuk kuvvetleri, ömür faktörüyle azaltıldı. Çubuklar birbirilerine teorik olduğu gibi pim bağlantılarıyla bağlanmayıp levhalarla kaynatıldıklarından, çubuklar bir büyütme katsayılarıyla çarpılmıştır.

Çizelge 5.3'te çubukların rijit bacak'tan uzaklıkları ve çubukların taşıdığı yükler verilmiştir.

Çizelge 5.4: Çubukların rijit bacadan uzaklıkları ve çubuk kuvvetleri

Çubuk No	Mesafe(mm)	T_x (kg)	Katsayı	S (kg)
1	1760	-354000	1,083	-364983
2	1760	354000	1,137	402498
3	3700	-340000	1,137	-367944
4	5640	320000	1,137	363840
5	7580	-300000	1,137	-315833
6	9520	280000	1,137	318360
7	11460	-260000	1,137	-273722
8	13400	240000	1,137	272880
9	15340	-220000	1,137	-231611
10	17280	200000	1,137	227400
11	19220	-180000	1,137	-189500
12	21160	163000	1,137	185331
13	23100	-145000	1,137	-152653
14	25040	125000	1,137	142125
15	26980	143000	1,137	162591
16	28920	-160000	1,137	-168444
17	30860	180000	1,137	204660
18	32800	-200000	1,137	-210556
19	34740	220000	1,137	250140
20	36680	-234000	1,137	-246350
21	38620	254000	1,137	288798
22	40560	-274000	1,137	-288461
23	42500	294000	1,137	334278
24	44440	-314000	1,137	-330572
25	46380	334000	1,137	379758
26	48320	-354000	1,137	-372683
27	52200	363882	1,137	413734
28	52200	-363882	1,083	-364893

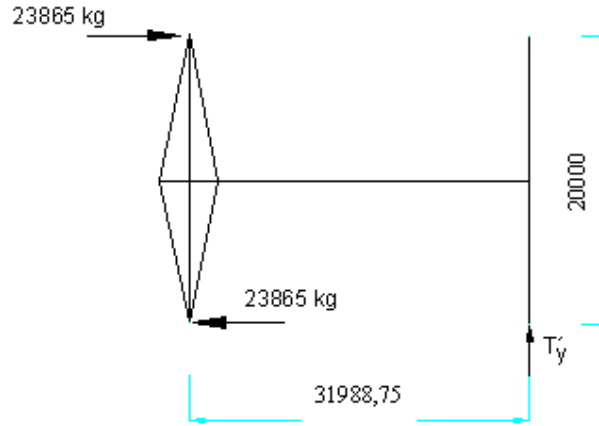
Yukarıdaki çizelgede, T_x , çubukların teorik olarak taşıdıkları yük, S ise çubukların kaynaklı olarak birbirilerine bağlı olduklarından, teorik olarak taşıdıkları yüklerin bulunan katsayılarla büyütülmüş halidir.

5.2.12 Kren çarpılma tesiri

Kren çarpılma hesabında kabullerimiz aşağıdaki gibidir;

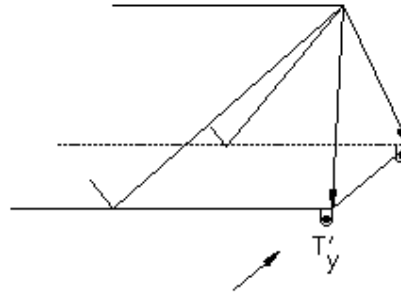
- Kren bacalarının, birinin diğerine oranla daha hızlı hareket ettiği durum inceleneyecektir. Bu kabul, bir bacağın duruyorken diğerinin yürümesi anlamını da taşımaktadır.
- Çarpılan bacağın tekerine, raya dik yönde etkiyen tepki kuvveti, tekere etkiyen düşey yükün %5 'i kadardır [8].

Şekil 5.21 'de tekerlere, dolayısıyla bacaklara etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : Çarpılan bacak tekerlerine etkiyen tepki kuvvetleri

Kreni çarpılmaya zorlayan kuvvetler, mafsal bacak mafsalı üzerinden ana kirişi zorlamaya çalışmaktadır (Şekil 5.22)



Şekil 5.22 : Ana kirişe etkiyen yatay çarpılma kuvveti

Ana kiriş mafsalına dik yönde etkiyen kuvvet denklem (5.96) ile bulunur;

$$T = 23865kg \cdot \frac{20m}{L} \text{ [kg]} \quad (5.96)$$

Denklem (5.97) sonucu aşağıda verilmiştir.

$$T = 23865kg \cdot \frac{20m}{52,2m} = 9144 \text{ kg} \quad (5.97)$$

Gerçekte alt başlık kutu olduğu için bütün gerilmeyi kendisi alır ve çaprazlara bu yük gelmez. Fakat emniyetli olması açısından tüm T yükünü tek bir çapraz alacakmış gibi kontrol yapıldı.

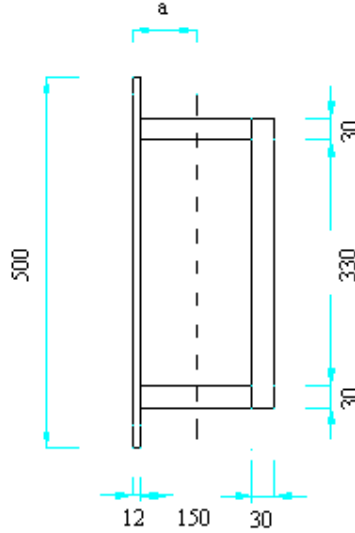
Çubuklara etkiyecek olan T kuvveti, ömür faktörü ile azaltılarak çubuk kesitlerine etkitilmektedir.

$$S = \frac{T}{1,08} \text{ [kg]} \quad (5.98)$$

$$S = \frac{9144 \text{ kg}}{1,08} = 8466 \text{ kg} \quad (5.99)$$

5.2.13 Çubuk hesabı

Şekil 5.23' deki 1 numaralı çubuğun kesiti kullanılarak çubuğun maruz kaldığı gerilme hesaplanacaktır.



Şekil 5.23 : 1 No 'lu çubuğun kesiti

Şekil 5.23 ' e göre kesitin alanı aşağıdaki gibi hesaplandı;

$$F = 39 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} + 2 \cdot 3 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} + 50 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 267 \text{ cm}^2 \quad (5.100)$$

Kesitin ağırlık merkezi, denklem (5.101) de hesaplandı.

$$a = \frac{0,6 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm}^2 + 8,7 \text{ cm} \cdot 90 \text{ cm}^2 + 17,7 \text{ cm} \cdot 117 \text{ cm}^2}{267 \text{ cm}^2} = 10,8 \text{ cm} \quad (5.101)$$

Y eksenindeki atalet momenti aşağıdaki gibi bulunur [8];

$$J_y = 612 \text{ cm}^4 + 189 \text{ cm}^4 + (6,9 \text{ cm})^2 \cdot 117 \text{ cm}^2 + \frac{90 \text{ cm}^4}{12} = 13897 \text{ cm}^4 \quad (5.102)$$

Jirasyon yarıçapı $i = 7,2$ cm olarak bulundu.

Çubuk bacağa kaynaklandığından, $\omega = 1$ olarak işlemlerde kullanılır.

Çizelge 5.4' te daha önceden bulunan 1 nolu çubuğun kuvveti $S = -354983$ kg olarak bulunmuştu.

Bu kuvvetin kesit üzerinde oluşturduğu basma gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\sigma = \frac{S}{267cm^2} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (5.103)$$

$$\sigma = \frac{-354983kg}{267cm^2} = -1330 \text{ kg/cm}^2 < 1750 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.104)$$

Bulunan değer 175 MPa emniyet gerilmesinden küçük olduğundan çubuk emniyetlidir.

1 numaralı çubuğa benzer olarak, diğer çubuklar, kesitlerine göre üzerinde oluşan gerilmeler ayrı ayrı ele alınarak hesaplandı. Elde edilen değerler, Çizelge 5.5' de verilmiştir. Gerilme hesabı sırasında kullanılan çubuk kesit boyutları Ekte verilmiştir.

Çizelge 5.5: Çubuklar üzerinde oluşan gerilmeler

Çubuk No	S+S' Çubuk Kuvveti (kg)	300x390 kutu profil t (mm)	Alan (cm ²)	l _{min} (cm)	λ	ω (st42)	σ Gerilme kg/cm ²
1	-354983	30	267	7,2			-1330
2	402498	25	297				1355
3	-357944	25	297	11,4	42	1,17	-1410
4	363840	20	244				1491
5	-315833	18	222	11,7	41	1,16	-1650
6	318360	18	222				1434
7	-273722	16	200	11,6	41	1,16	-1588
8	272880	16	200				1364
9	-231611	14	178	11,9	40	1,16	-1509
10	227400	13	168				1354
11	-189500	13	168	12	40	1,16	-1308
12	185331	12	154				1203
13	-152653	12	154	12	40	1,16	-1150
14	142125	10	130				1093
15	162591	12	154				1056
16	-168444	12	154	12	40	1,16	-1269
17	204660	12	154				1329
18	-210556	14	178	11,9	40	1,16	-1372
19	250140	16	200				1251
20	-246350	16	200	11,6	41	1,16	-1429
21	288798	18	222				1301
22	-288461	20	244	11,6	41	1,16	-1371
23	334278	20	244				1370
24	-330572	25	297	11,4	42	1,17	-1302
25	379758	25	297				1279
26	-372683	25	297	11,4	42	1,17	-1468
27	413734	32	400				1034
28	-373359	32	400	11,4	40	1,16	-1083

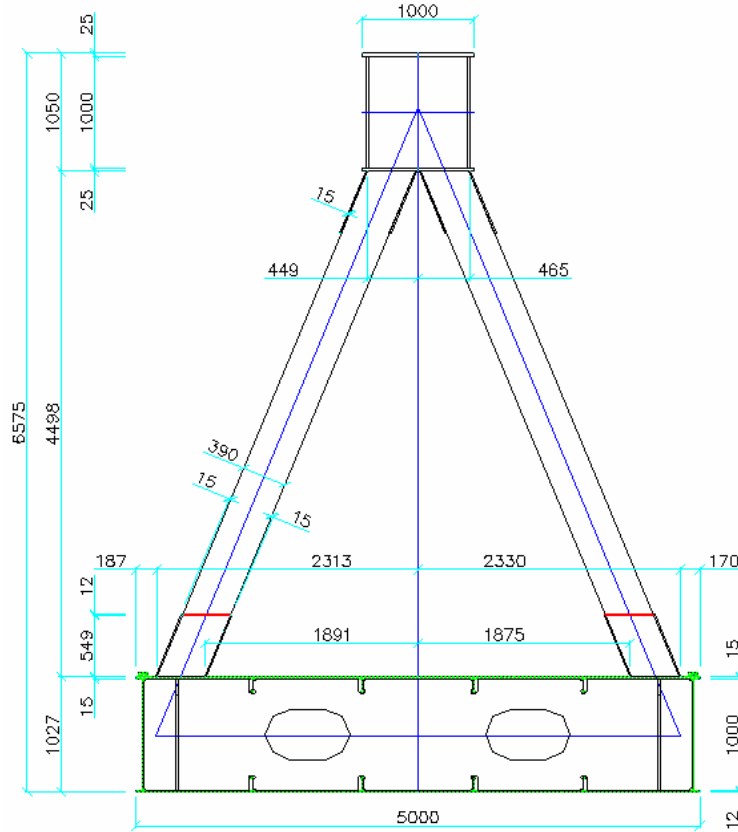
6. KAFES ANAKİRİŞİN MODELLENMESİ

6.1 Giriş

Mukavemet hesapları sonucunda elde edilen kesit resimler ölçülendirilerek, taslak iki boyutlu resimler oluşturuldu. Bu iki boyutlu resimleri kullanarak Autocad program yardımıyla ana kirişin üç boyutlu modeli hazırlandı. Bu bölümde ana kiriş ana parçalarının iki boyuttan üç boyuta hazırlanışı anlatılacaktır.

6.2 Ana Kiriş Genel Kesiti

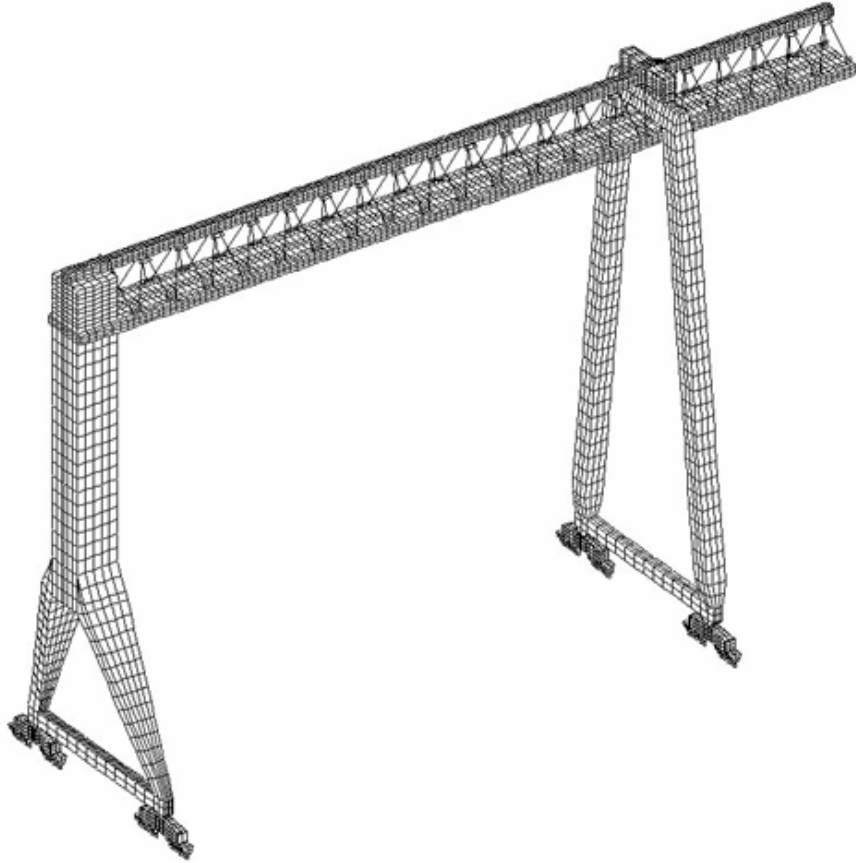
Ana kirişin genel kesiti ana kirişin kaldıracağı yüke göre hesaplamalar sonucunda elde edildi.



Şekil 6.1 : Ana kiriş genel kesiti

6.3 Çubuk Kesitlerin Modellenmesi

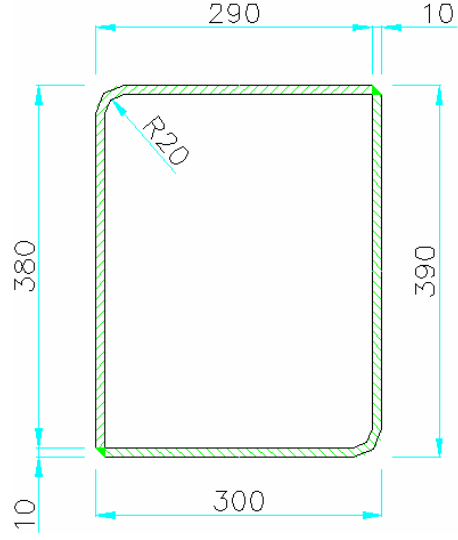
Yapılan daha önceki çalışmalarda çubuk kafesler program içerisinde “Beam” elemanlar olarak tanımlandıkları için modellenmesi yapılmamıştı. Örneğin, 2x200 Ton konsol kafes kirişli portal krenin önceki yıllarda yapılmış olan modeli Şekil 6.2’ de görülmektedir.



Şekil 6.2 : Ana kiriş kafes sisteminin “beam” olarak modellenmesi

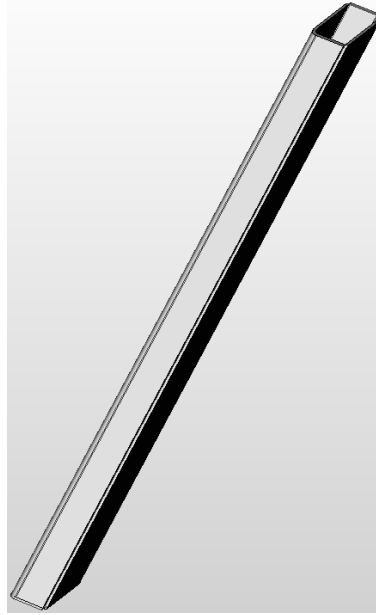
Şekil 6.2’ ye dikkat edilirse, kafes sistemi oluşturan çubuklar birer çizgi şeklinde modellenmiştir. Bu çizgilere daha sonra, kesiti belli olan “beam” (kiriş) eleman özellikleri atanacaktır. Beam olarak tanımlanan bu sistemde gerilmeler çubuk üzerinde okunamamaktadır. Sadece kuvvet ve moment çıktıları alınabilmektedir.

Bu çalışmada ise her çubuk gerçek ölçüler doğrultusunda modellenerek gerçek sisteme benzetilmeye çalışılmıştır. Birebir modellenen bu sistemden, çubuk üzerinde oluşan gerilmeler ve birim uzama değerleri elde edilebilmektedir.



Şekil 6.3 : Çubuğun iki boyutlu teknik resmi

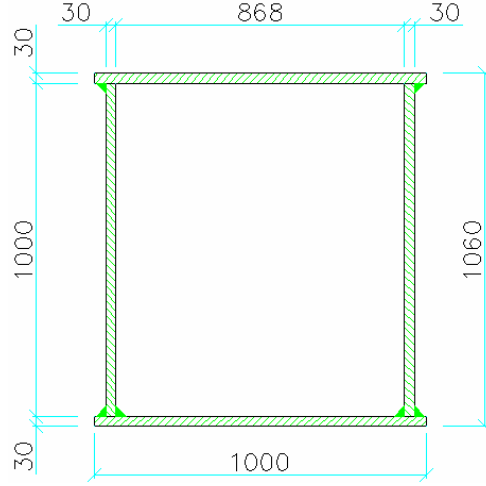
Ölçülendirilmiş iki boyutlu teknik resimlere hesaplamalar sonucunda elde edilen kalınlıklar atanarak üç boyuta dönüştürüldü.



Şekil 6.4 : Çubuğun 3D modeli

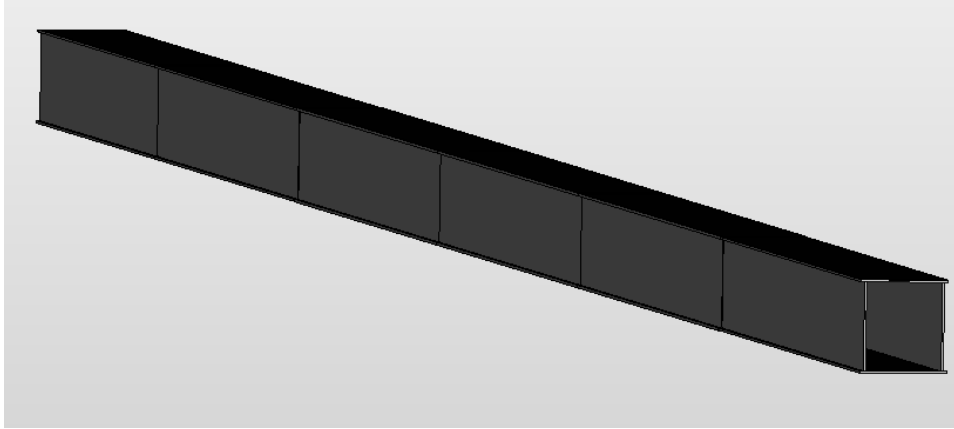
6.4 Üst Kirişin Modellenmesi

Üst kiriş kesiti yine hesaplamalarla elde edilerek çizilmiştir. İki boyutlu teknik resimden yola çıkarak krenin boyuna göre 3D modeli oluşturdu.



Şekil 6.5 : Üst kiriş kesiti

Üst kiriş, 30 mm kalınlığında 4 adet sac levhanın birbirine, dikdörtgen prizma oluşturacak şekilde kaynatılmasıyla oluşmuştur. Kiriş içerisine, buruşma ve ezilme mukavemeti sağlanması için, takviyeler belirli aralıklarla kaynatılmaktadır. Şekil 6.6' da, üst kirişin vincin boyuna göre çizilmiş ve kiriş içerisine koyulan perdelerin konumları 3D modelde görülmektedir.

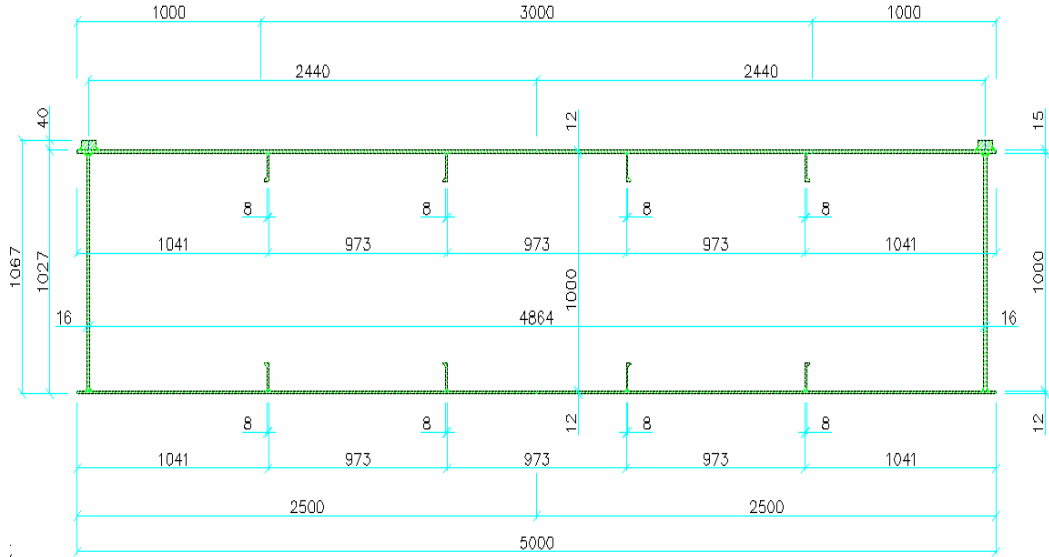


Şekil 6.6 : Üst kiriş 3D modeli

Üst kiriş 3D modeli hazırlandıktan sonra, kutunun her parçası "union" komutuyla birleştirilerek, kutu tek parça, katı haline getirildi. Böylece, çizimden gelen fazla çizgi, yüzey gibi geometrik özellikler ortadan kaldırılmaktadır.

6.5 Alt Kirişin Modellenmesi

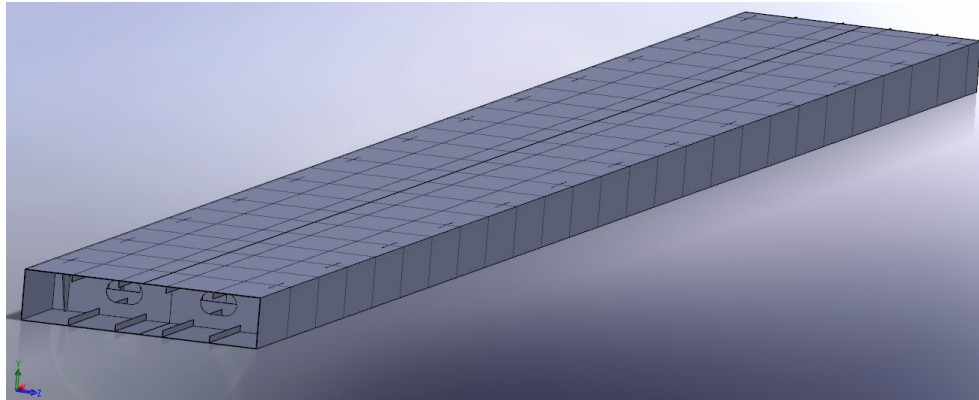
Alt kiriş içerisinde bulundurduğu mukavemet elemanlarından dolayı konstrüksiyon yapısı itibarıyla vincin en karmaşık kısımlarından biridir. Aşağıda alt kirişin 2D kesiti verilmiştir.



Şekil 6.7 : Alt kiriş 2D kesiti

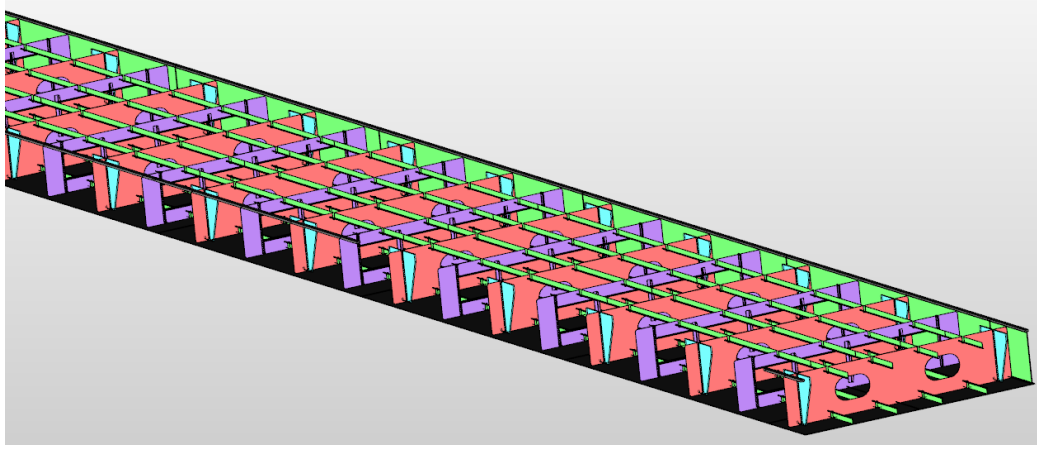
Kutunun buruşma ve ezilmeye karşı mukavemetini arttırmak amacıyla, kutu içerisine belirli aralıklarla, kutu iç ölçülerinde dikdörtgen levhalar koyulmuştur. Bu levhaların içerisinden profillerin geçebilmesi için, "cugul" adı verilen boşluklar açılmıştır.

Şekil 6.6' da teknik resmi verilen alt kiriş kesitinin 3D modeli Şekil 6.8' de verilmiştir.



Şekil 6.8 : Altkiriş 3D modeli

Alt kiriş içerisinde bulunan takviyeler Şekil 6.9’ da gösterilen biçimde dizilmiştir. Dikkat edilirse, kutu içerisindeki perdeler iki farklı tiptedir. Örneğin, kirişin başından başlayan perdelerin biçimi, içinde iki adet delik bulunan levhalar olurken, bir sonraki perde, 4 adet kıvrılmış sacın kaynatılarak dikdörtgen bir forma sokulmasıyla oluşmuştur.



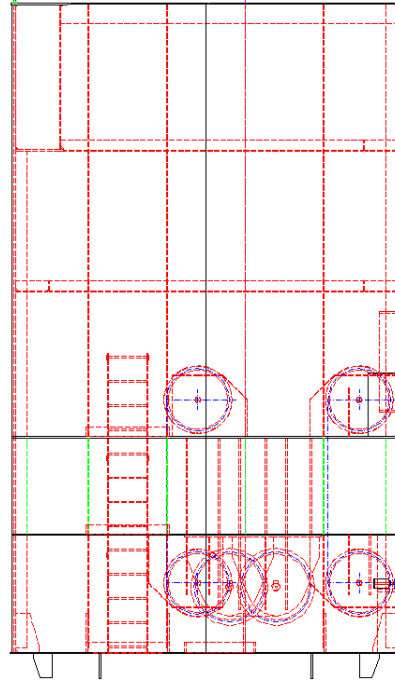
Şekil 6.9 : Altkiriş içerisindeki mukavemet elemanları dizilişi

Şekil 6.9’ da, perdeler içerisinde boyuna giden profiller görülmektedir. Ayrıca, içinde iki adet delik olan perde kenarlarına trapez biçimli levhalar kaynatılmaktadır. Bu perdeler, çubuk altlarına gelecek şekilde koyulmaktadır.

Alt kiriş üst sacında, dikdörtgen prizma formunda, ray olarak kullanılan lamalar kiriş boyunca kaynatılmaktadır. Arabalar, yükü bu ray üzerinde taşımaktadır.

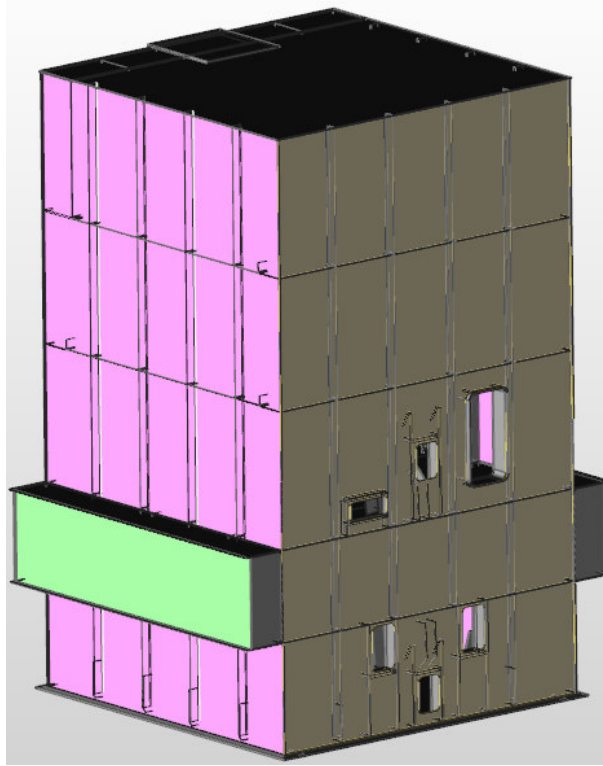
6.6 Rijit Bacak Üst Kutusunun Modellenmesi

Rijit bacak kutusu, ana kiriş üzerinde oluşan yüklerin rijit kuleye aktarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca rijit bacak kutusu içerisinde yükün yatay ve düşey yönde taşınmasını sağlayan halat makaraları da bulunmaktadır. Şekil 6.10’ da, daire biçimindeki çizimler makaraları, boyuna giden kesikli çizgiler ise profilleri göstermektedir. Kutu altında görünen trapez biçimli levhalar, montaj esnasında ana kirişin kule üzerine oturmasını sağlayan merkezleme levhalarıdır. Kutu içerisindeki yatay çizgiler, kutu buruşma takviyeleridir.



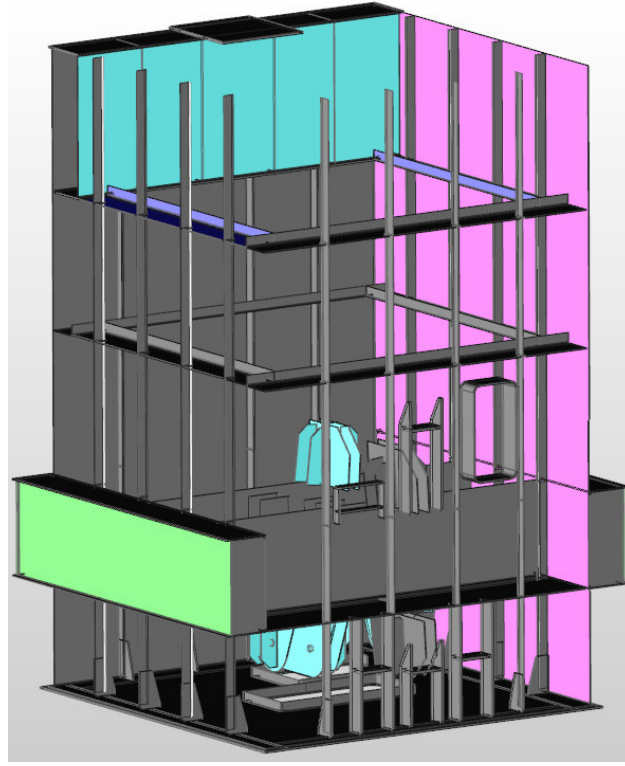
Şekil 6.10 : İki boyutlu rijit bacak üst kutusunun yandan görünüşü

Teknik resimlerden yola çıkarak hazırlanan 3D rijit bacak üst kutusu Şekil 6.11’ de görülmektedir.



Şekil 6.11 : Rijit bacak üst kutusu 3D modeli

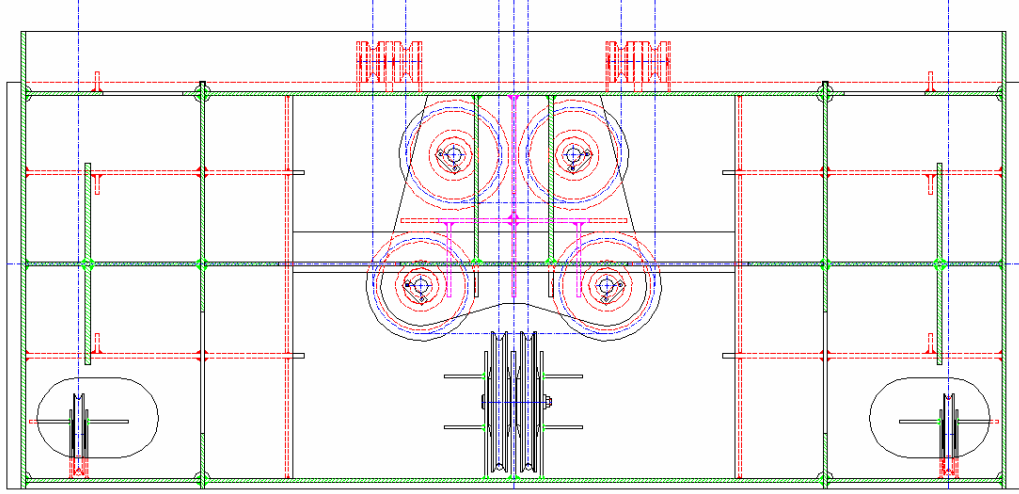
Rijit bacak kutusu içerisinde kullanılan hollanda profillerinin, dikey ve yatay levhaların yapılan optimizasyon çalışmaları ile yerlerinin belirlenmesiyle, kutu, krenin en mukavemetli parçalarından birisi halini almıştır. Şekil 6.11’ de, kutu ön sacında görünen delikler, halat çıkışları içindir. Bu delikler, önlem alınmadığı durumda, normalde kutu mukavemetini düşürür. Malzeme kaybından dolayı, mukavemeti düşen ön sacın mukavemetini artırmak için, delikler etrafına lamalar kaynatılır. Şekil 6.12’ de, delikler etrafına içeriden kaynatılan profiller görülmektedir. Şekilde ayrıca daha önce değinilen takviye elemanları da görülmektedir.



Şekil 6.12 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki takviyeler

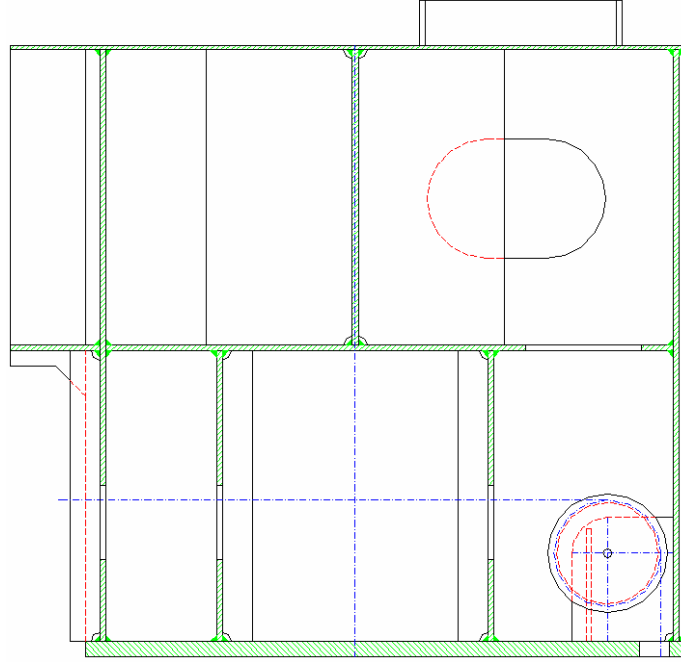
6.7 Ana Kiriş Mafsal Kutusunun Modellenmesi

Ana kiriş mafsal kutusu, ana kirişin mafsal bacağa bağlantısını sağlayan mafsal sistemini ve arabaların hareketini sağlayan, halatların geçtiği makara sistemini içerisinde bulundurmaktadır. Şekil 6.13’ te mafsal kutusunun üstten iki boyutlu görünüşü görülmektedir. Şekildeki, daire biçiminde kesikli çizgiler, makara, dik ve yatay çizgiler ise iç takviyeler anlamına gelmektedir.



Şekil 6.13 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 2D üstten görünüşü

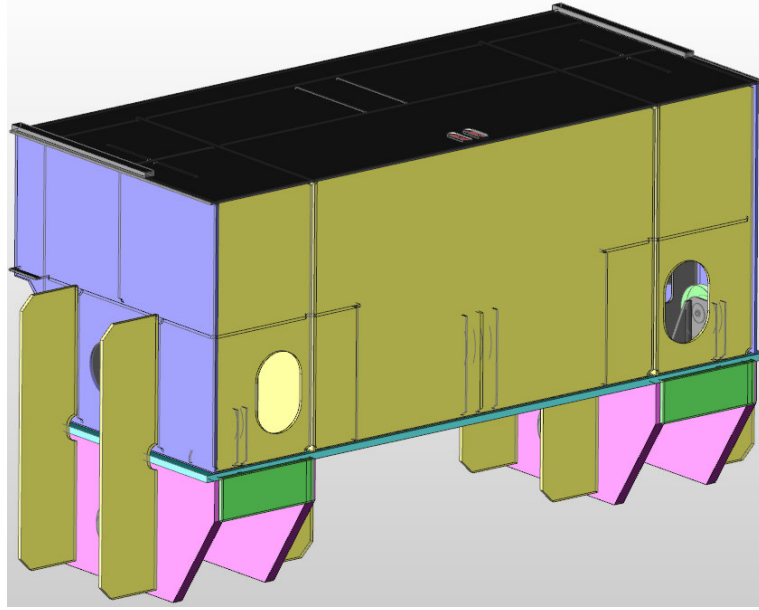
Mafsalsal kutusunun yandan 2D görünüşü aşağıdaki Şekil 6.14’ de görülmektedir. Şekildeki dik saclar, kutunun çubuklardan gelen basma kuvvetlerden çökmemesi için konulan takviyelerdir. Kutu içerisindeki delik ise, halat çıkışları için konulmaktadır.



Şekil 6.14 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 2D yandan görünüşü

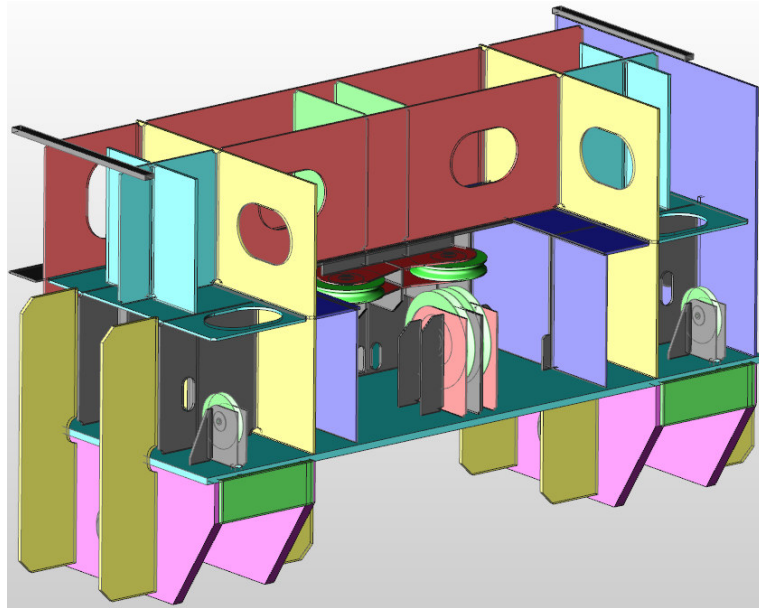
Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 'ten faydalanarak kutunun 3D modeli oluşturuldu. Kutu sonlu elemanlara hazırlanmadan önce birebir modellendi.

Model üzerinde, kutunun ön sacında görünen iki adet delik, makara kontrollerinin yapılabilmesi için açık bırakılır.



Şekil 6.15 : Ana kiriş mafsalsal kutusunun 3D modeli

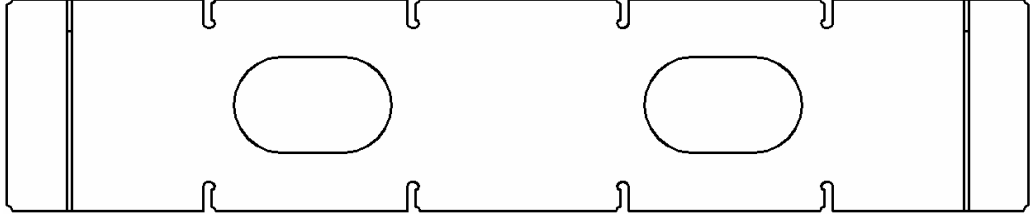
Kutu içerisine takviyeler konularak, kutunun mukavemeti artırıldı. Şekil 6.16’ da kutu içerisinde takviyeler ve yük kaldırma ve yürütme halat makaraları görülmektedir.



Şekil 6.16 : Ana kiriş mafsalsal kutusu iç detayı

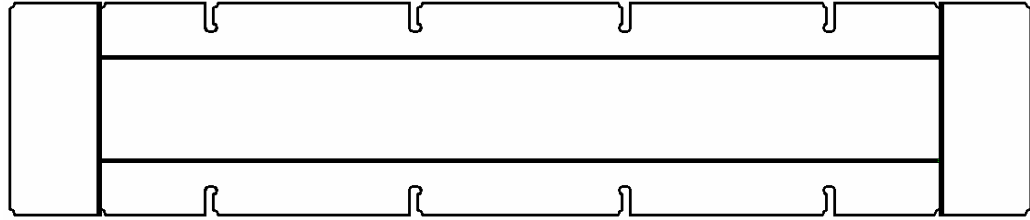
6.8 Buruşma Perdelerinin Kesitleri

Ana kirişin yük altında ani bir şekilde buruşmasını önlemek için buruşmayı önleyici perdeler alt kiriş içerisine yerleştirilmiştir. Çubuklardan gelen basma ve çekme kuvvetlerinin kirişi deforme etmemesi için ayrıca, takviye levhalar konulmuştur. Kiriş mukavemetini sağlayan bu perdeler, iki farklı biçimde olup, içerisinden halatların geçebileceği şekilde tasarlanmıştır. Şekil 6.17 ve Şekil 6.19’ da verilen perde, çubuk altlarına gelecek şekilde alt kiriş içerisine yerleştirilirler.



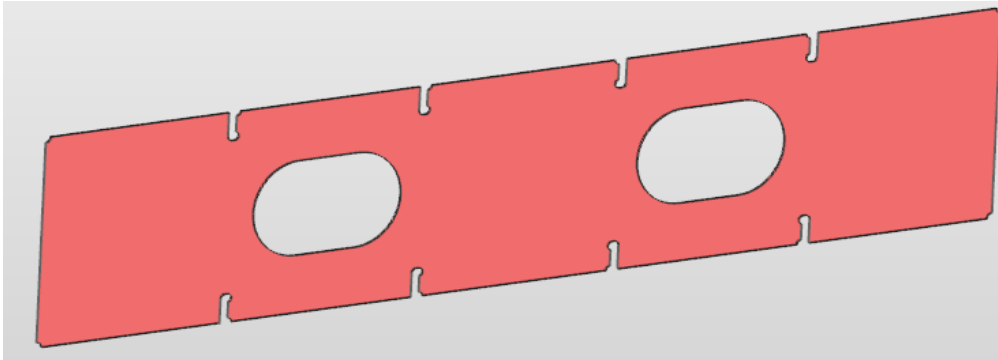
Şekil 6.17 : Altkiriş çubuk altı takviyesinin 2D resmi

Buruşma mukavemetini artıran takviye ise Şekil 6.18 ve Şekil 6.20’ de gösterilmektedir. Buruşma takviyeleri, 4 adet sacın kıvrılarak, dikdörtgen formu alacak şekilde kaynatılmasıyla elde edilirler.



Şekil 6.18 : Altkiriş buruşma takviyesinin 2D resmi

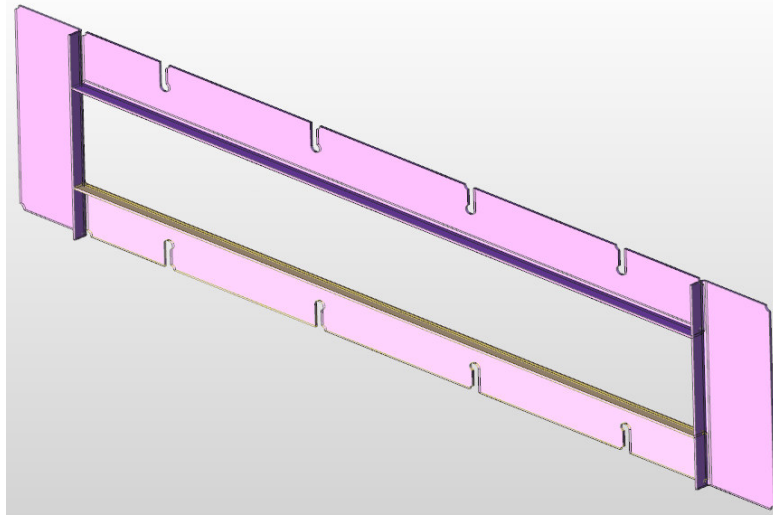
Altkiriş çubuk altı takviyelerinin 3D modeli Şekil 6.17 'den faydalanarak oluşturdu.



Şekil 6.19 : Altkiriş çubuk altı takviyesinin 3D modeli

Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’ de, sacların kenarlarında açılan boşluklara "cugul" denilmektedir. Cugullar, profillerin perde içerisinden geçebilmesi için açılırlar. Cugul formu, içerisinden geçecek takviye profillerin kesitlerine uygun olur.

Şekil 6.19’ da buruşma takviyesinin 3D modeli, aşağıda görülmektedir.



Şekil 6.20 : Altkiriş buruşma takviyesinin 3D modeli

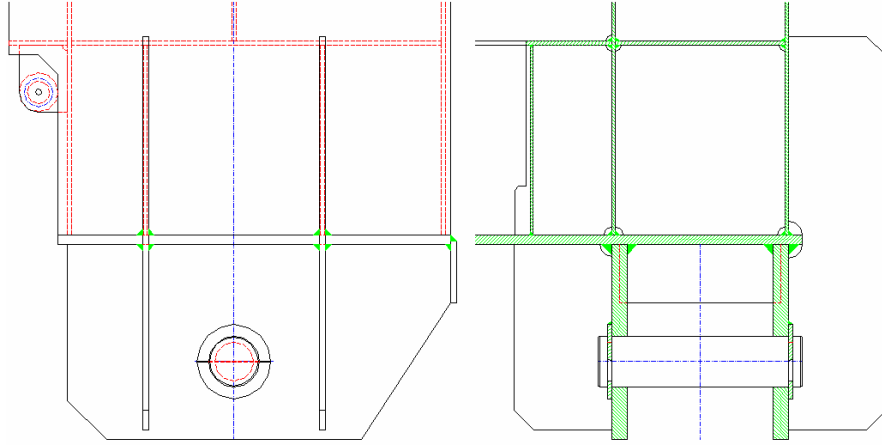
Şekil 6.20’ deki takviyede, kıvrımlar, imalat esnasında pres kullanılarak elde edilirler. Bu kıvrımlar, takviyenin mukavemetini oldukça artırmaktadır.

6.9 Diğer Elemanların Modellenmesi

Ana kiriş içerisinde bulunan diğer önemli elemanlar ise mafsal sistemi, halatların yataklandığı makara levhaları ve hollanda profilleridir. Sırasıyla bu elemanlara ait ölçüsüz teknik resimler ve üç boyutlu resimler Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24, Şekil 6.25, Şekil 6.26 gösterilmiştir.

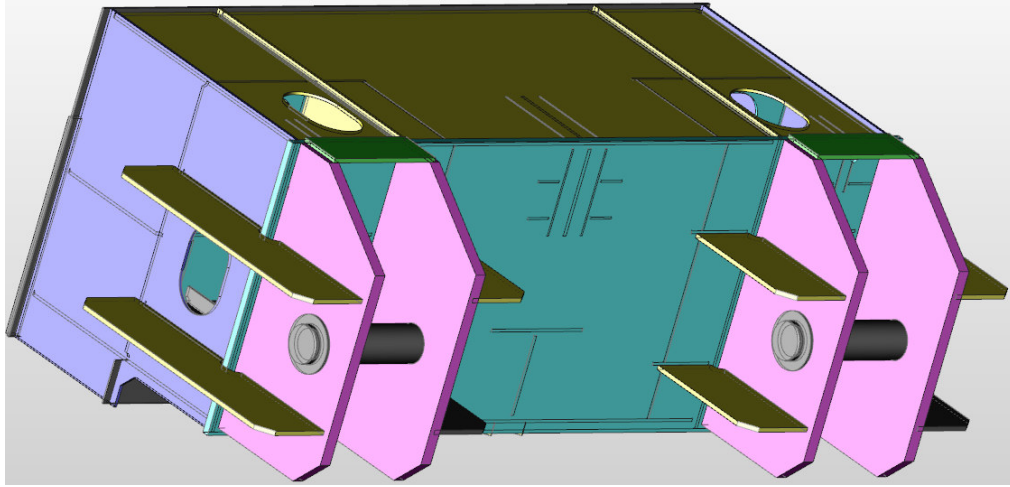
Şekil 6.21 'de, ana kirişin mafsal bacağa bağlandığı mafsal sistemi gösterilmiştir. Mafsal sistemi, mafsal sacları, mafsal braketler ve pernodan oluşmaktadır. Mafsal sacları, içerisinde pernonun yataklanmasından dolayı, ana kirişten gelen tüm yükleri mafsal bacağa aktarır. Bundan dolayı, bu saclar çok fazla yüklenir. Bu yükler altında, mafsal saclarda herhangi bir deformasyon oluşmaması için, sac kalınlığı artırılır ve mafsal braketlerle desteklenir.

Şekil 6.21 'deki mafsal sisteminin 2D resminden yola çıkarak, 3D model Şekil 6.22 'deki gibi hazırlanır.



Şekil 6.21 : Ana kiriş mafsal sisteminin yandan ve önden 2D görünüşleri

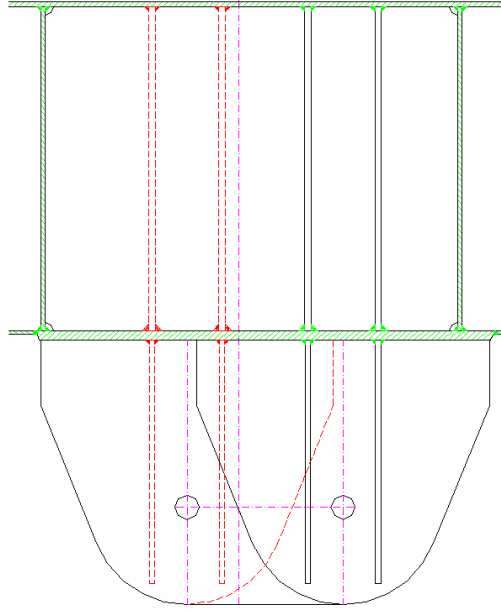
Şekil 6.22 'de, pembe renkli saclar, mafsal sacları, bu saclara dikine bağlanan yamuk biçimli, koyu sarı saclar ise mafsal braketleridir.



Şekil 6.22 : Ana kiriş mafsal sisteminin 3D modeli

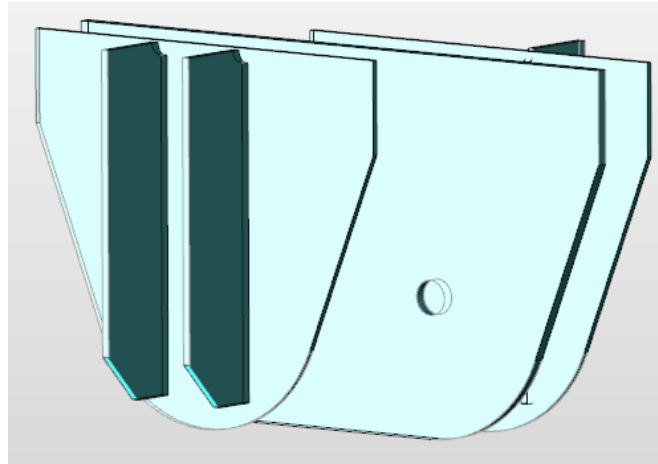
Mafsal sacları içerisinde yataklanan, pernolar ise şekilde silindir biçimli gri renkli parçalardır. Ayrıca, Şekil 6.22 'de, mafsal saclarının üst kısımları dikdörtgen saclarla kaynatılırlar. Bu saclar, mafsal saclarının rijitliğini daha da artırmak için koyulur. Şekil 6.22 'de mafsal saclarının üst kısmına kaynatılan saclar, yeşil renkli saclarla gösterilmiştir.

Rijit Bacak Üst Kutusu içerisindeki halat yükü etkitme levhalarının 2D resmi Şekil 6.23 'de görülmektedir.



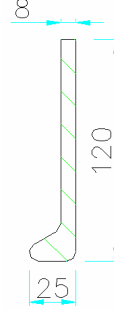
Şekil 6.23 : Rijit bacak üst kutu halat makaraları yatağının 2D resmi

Standart makara genişlikleri kadar levhalar arasına mesafe konularak makara yatağı imal edilmektedir.



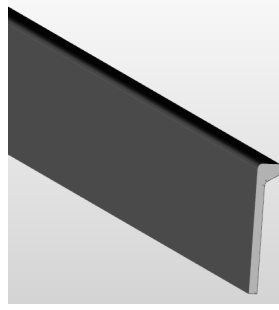
Şekil 6.24 : Rijit bacak üst kutu halat makaraları yatağının 3D resmi

Krenlerde eğilme rijitliğini sağlayan takviye elemanlarından biri de profillerdir. Bu çalışmada gemi-inşa sanayisinde kullanılan Hollanda profilleri kullanılmıştır. Şekil 6.25' de hollanda profilinin iki boyutlu kesit teknik resmi verilmektedir. Profil uç kısmının kıvrılmış olması, profile eğim mukavemeti katmaktadır. Profiller genellikle, vinç elemanları içerisinde, yan saclara boyuna kaynatılırlar. Bu çalışmada kullanılan hollanda profilinin boyutları Şekil 6.25 'de gösterilmiştir.



Şekil 6.25 : Eğilme rijitliği sağlayan hollanda profili 2D kesit resmi

Profil boyu, kutu boyuna göre ayarlanır. Profiller, tecrübelerle dayanarak kiriş içerisine belirli aralıklarla yerleştirilerek önce hesaplar daha sonra da analizler yapılarak profil aralığının yeterli olup olmadığı araştırılır.

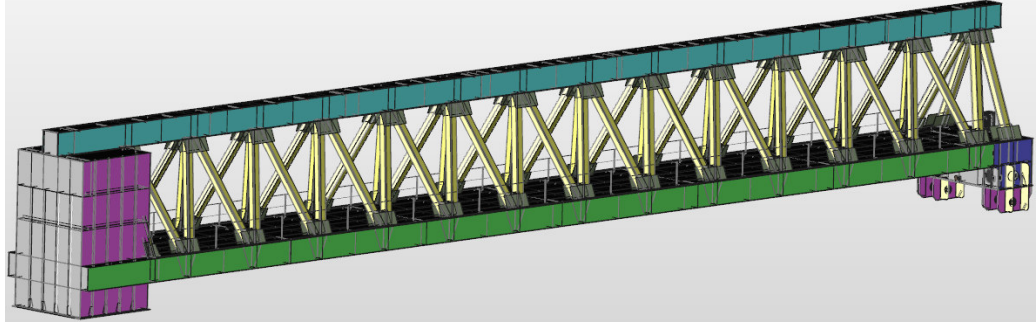


Şekil 6.26 : Hollanda profilinin 3D resmi

Bu çalışmada, profiller modelleme aşamasında, gerçeğine uygun olarak modellendi. Daha sonra ise, kesitin fiziksel özellikleri kullanılarak eşdeğer dikdörtgen profil, analizlerde kullanıldı.

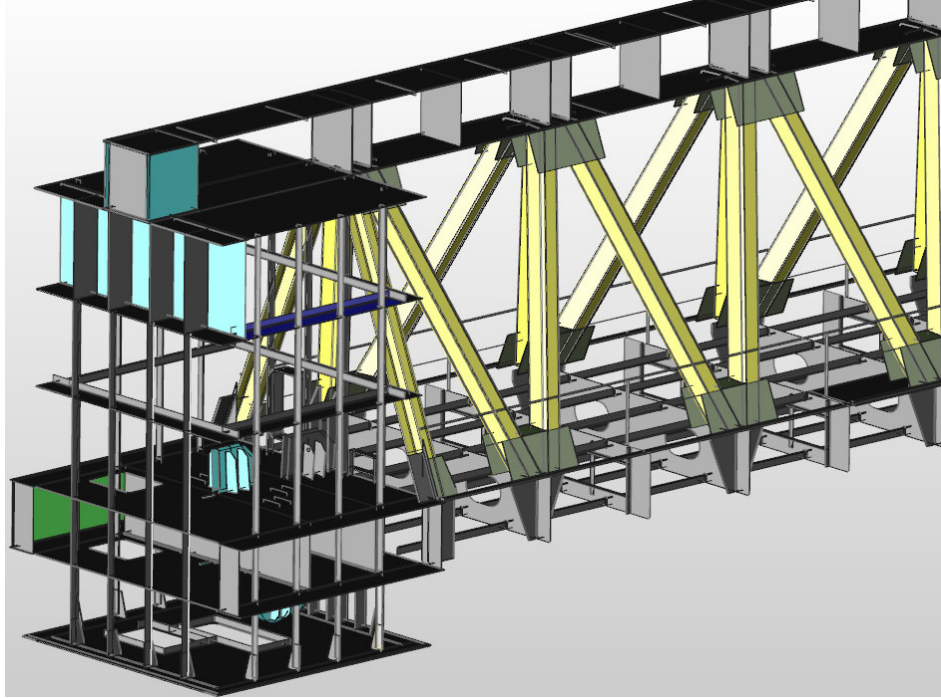
6.10 Üç Boyutlu Montaj Resmi

Ana kirişin montajında yukarıda anlatılmamış bazı parçalar eklendi. Bunlar, üst kirişin burkulmaması için perdeler, alt kiriş içerisine çubukların altına gelecek şekilde trapez biçimli levhalar eklendi. Şuana kadar hazırlanan tüm parçalar, gerçekte kaynakla birbirine bağlandıklarından, birleştirme esnasında, Autocad programının "union" komutu kullanılarak birleştirildi.



Şekil 6.27 : Ana kirişin montaj 3D modeli

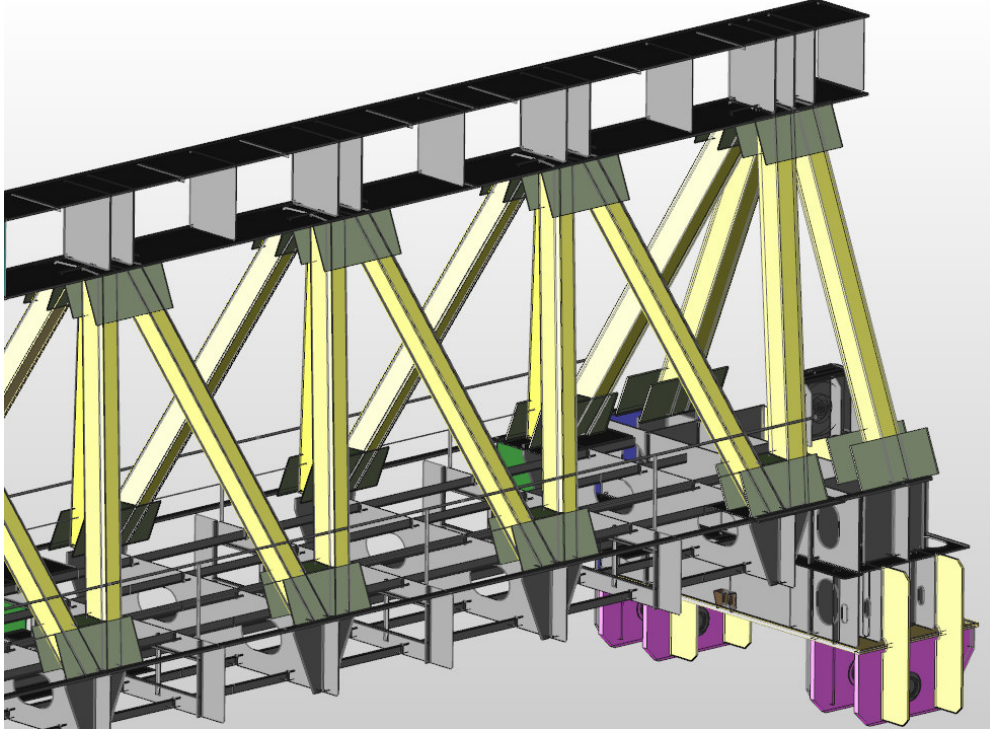
Daha önce bahsi geçen takviyeler, ana kiriş içerisinde, tüm sistem tek parça olacak şekilde birleştirildi. Takviye elemanlarının ana kiriş montajındaki, rijit bacak üst kutusu tarafındaki dizilişleri Şekil 6.28 'de gösterilmektedir.



Şekil 6.28 : Ana kiriş içerisinde kullanılan takviye elemanlar

Şekil 6.28 ‘de, Üst Kiriş içerisindeki dikdörtgen biçimli takviye levhaları dizilişleri, çubukların temas ettiği bölgede konulması yanında, çubuk düğümleri aralarına da koyulmaktadır. Çubukların temas ettiği bölgelere konulan levhalar, kutunun ezilmesini önlemektedir. Kirişin çubuk düğümleri aralarına denk gelecek şekilde kaynatılan takviyeler ise buruşma mukavemeti sağlamaktadır.

Ana kiriş montajının mafsalsal bacağa yakın olan kısımda kullanılan takviye elemanları Şekil 6.29 ‘de verilmektedir.



Şekil 6.29 : Ana kiriş mafsalsal bacağa yakın olan kısımdaki takviye elemanları

Şekil 6.29 ‘da görünen mafsalsal kutusu, ana kirişe, gerçekte kaynatılarak montajlanır. Modelde ise, iki parça arasındaki sınır, “union” komutuyla yok edilerek, her iki parça birleştirilerek tek parça haline getirilir. Montajda, çubukların birleştiği yerlere konulan levhalar, yeşil renkli olarak gösterilmiştir. Bu levhalar, iki çubuğa kaynatılarak, çubuklar arasındaki kuvvet ve moment geçişleri sağlanır.

7. ANAKİRİŞİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

7.1 Giriş

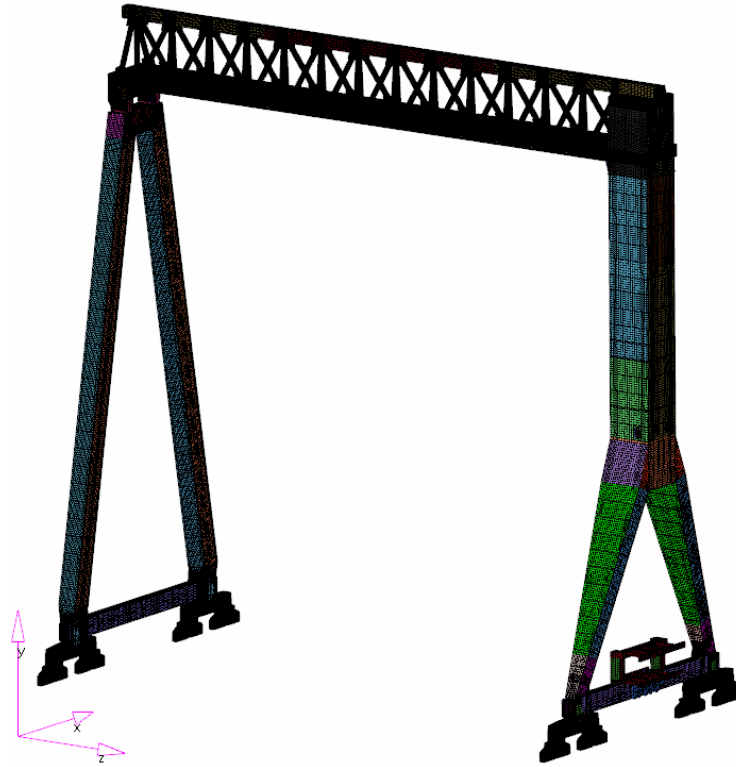
Modeli sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmeden önce model üzerinde birtakım basitleştirmelere gidildi. Bu basitleştirmeler sac kaynak çıkıntıları, önemsiz kaynak yarıçapları, makaralar gibi parçaların çizimine yer verilmemesidir. Bu basitleştirmeler sonuçlarda herhangi bir hataya neden olmazken, analiz süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Tüm kren 3D modelinin sonlu elemanlar yöntemi analizine hazırlandı. Sonuçların ve değerlendirmelerin çok fazla yer tutması ve çalışmanın sonuçlanması uzun zaman alacağından dolayı sadece ana giriş bölümü dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

7.2 Krenin Meshlenmesi

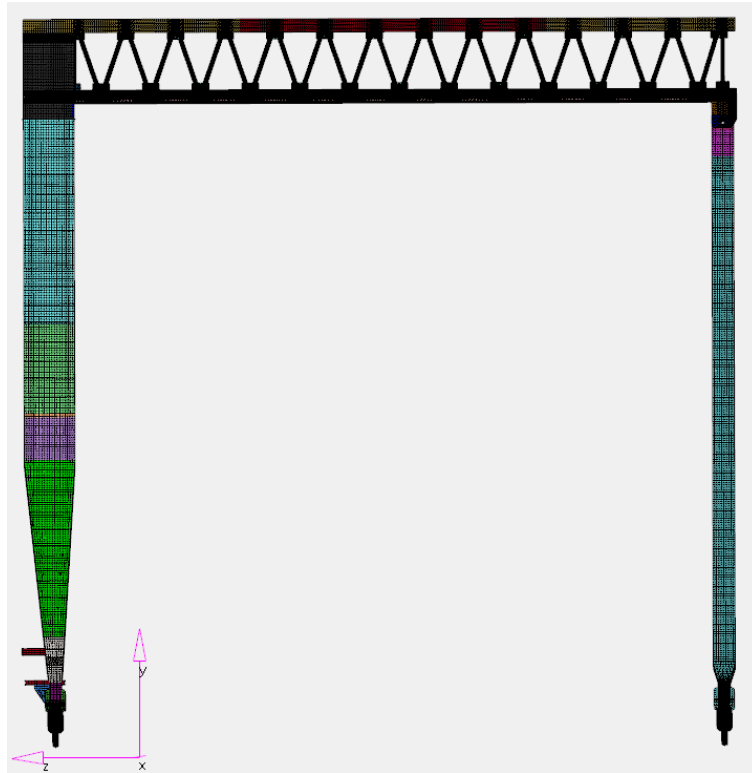
Analiz safhasına geçmeden önce, kren 3D modeli “mesh” denilen küçük karelere bölündü. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’ de verilen resimlerde krenin, 3D modelinin meshlenmiş hali görülmektedir.

Genellikle, kren imalatında sac levhaların kullanılmasından dolayı meshleme esnasında “midsurface” (orta yüzeyler) dikkate alınarak yapılmıştır. Gerçek levha kalınlıkları ise analiz öncesi programa girilir. Kren parçalarından yalnızca tekerler, program içerisinde “solid” yani katı olarak okunur. Katı cisimlerin kalınlıkları, sonlu elemanlar analizinde tanımlanmaz.

Kren modelinde çubuklar “Beam” eleman yerine, gerçek ölçülerine uygun olarak modellendiğinden, çubukların kesitleri programa tanıtılmadı.



Şekil 7.1 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin isometrik görünüşü



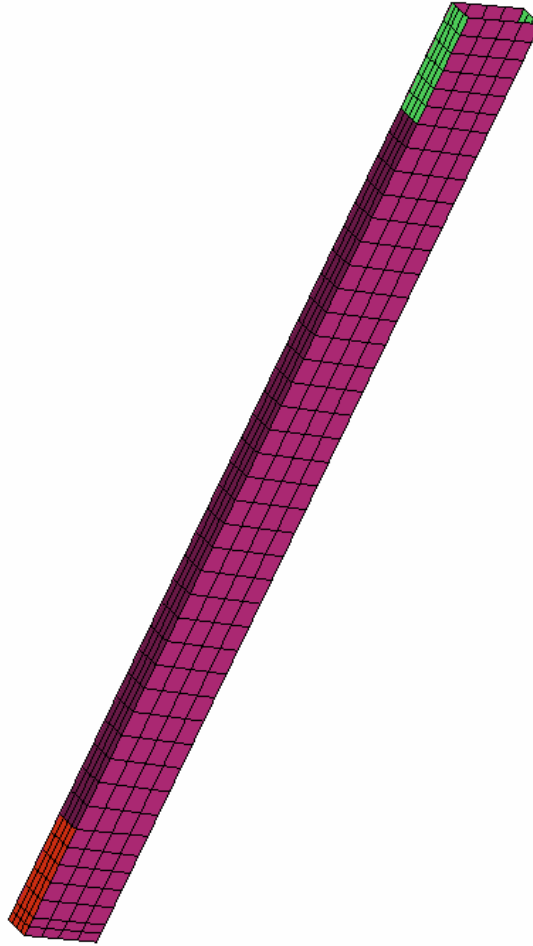
Şekil 7.2 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin önden görünüşü

7.3 Ana Kirişin Sonlu Elemanlara Hazırlanması

Ana kiriş içerisinde bulunan tüm elemanların meshleme prosesleri, bu bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatıldı. Meshleme işleminde gerçek boyutlara olabildikçe uyulmaya çalışıldı.

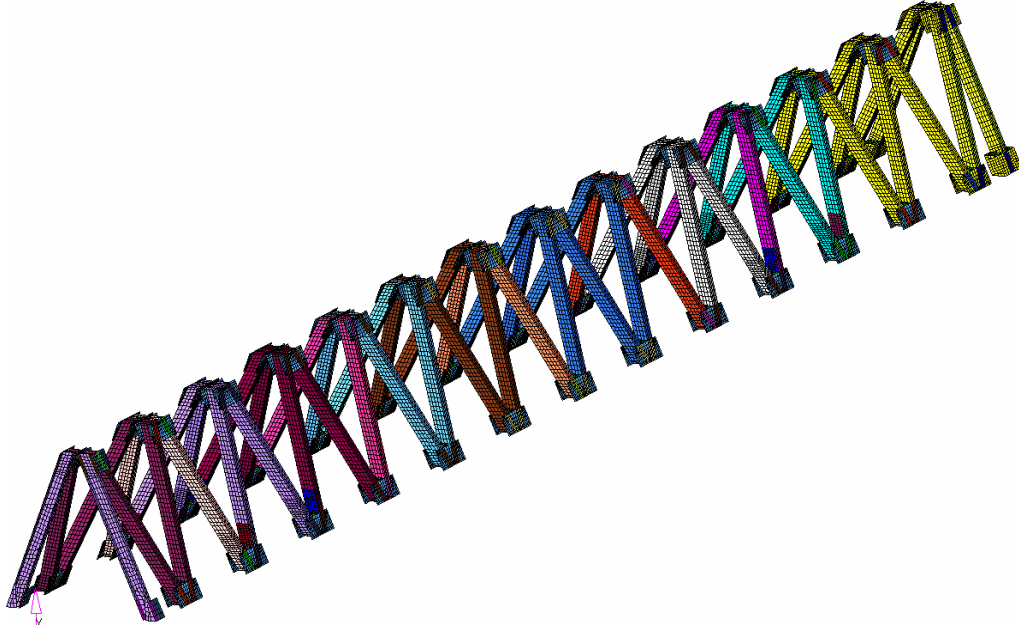
7.3.1 Çubukların meshlenmesi

Çubuklarda basitleştirilmelere gidilerek 3D modellerindeki gibi köşeleri yuvarlak yerine keskin olarak yapıldı. Çubuk köşelerinin yuvarlak yapılması, aslında gerçek sisteme benzetilmesi açısından önemlidir. Diğer taraftan, yuvarlak köşeli çubuk modellerin hazırlanma süresine karşılık, analiz sonucunu ne kadar değiştirdiğini öğrenme amacıyla ileriki safhalarda yuvarlak çubuk modelleri hazırlandı. Bu konudaki araştırma sonuçları ileride anlatılacaktır.



Şekil 7.3 : Meshlenmiş çubuk modeli

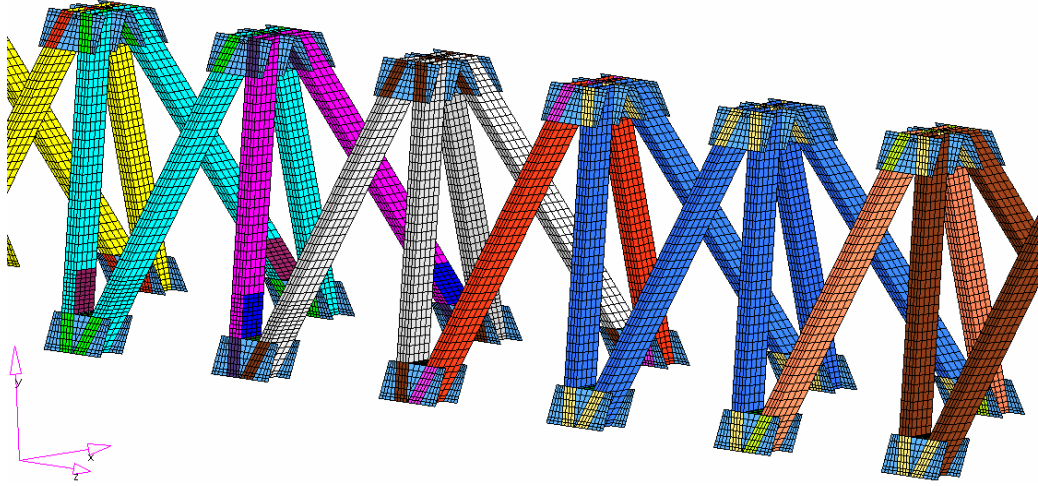
Çubuk aralarına destek elemanları konularak kuvvetlerin moment taşınması sağlanmıştır. Böylece kuvvet birleşme yerleri daha da mukavemetleştirilmiştir. Şekil 7.4’ te, çubukların birbirine montajlanmış mesh modeli görülmektedir. Çubuklar arasındaki, montaj levhaların çubuklara temas ettiği bölgedeki düğümleri (nodes), çubuk düğümleriyle birleştirilerek aradaki bağ, kaynak bağına benzer bir şekilde oluşturulur. Böylece tüm çubuklar birbirilerine, uçlarından birleştirilerek kafes yapı oluşturulur.



Şekil 7.4 : Meshlenmiş kafes yapıyı oluşturan çubuk dizisi

Çubuklar üzerindeki her renk, farklı kalınlıkları ifade etmektedir. Örneğin, mavi renkli çubuk et kalınlığı 28 mm iken kırmızı renkli çubuğun kalınlığı 14 mm dir. Ayrıntılı olarak her rengin hangi kalınlığa denk gelmesi, EK bölümünde çizelge olarak verilmiştir.

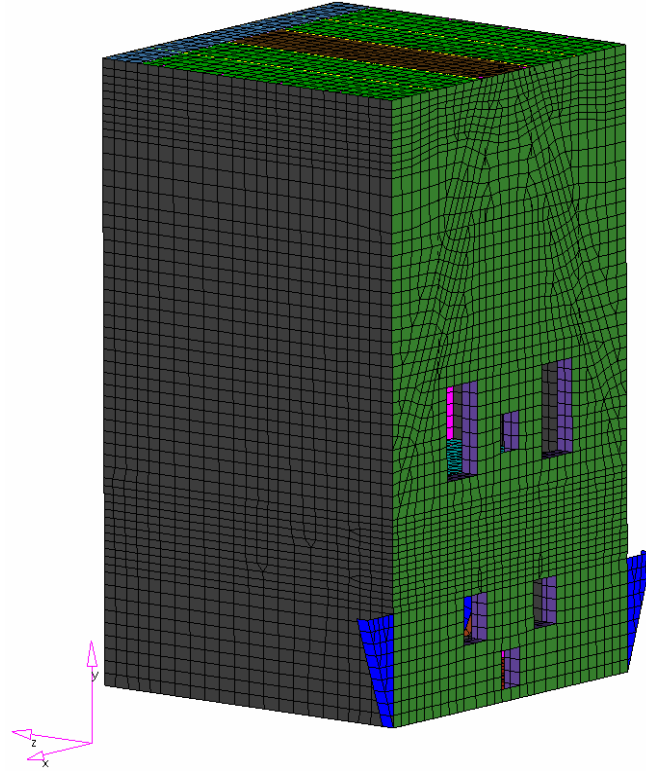
Çubuklar arasındaki bağlantıyı sağlayan levhalar, Şekil 7.5’ te yakından görülmektedir. Meshleme esnasında, çubukların eğimleri dikkate alınarak, eğimleri gerçek sisteme uygun olacak şekilde modeller hazırlandı.



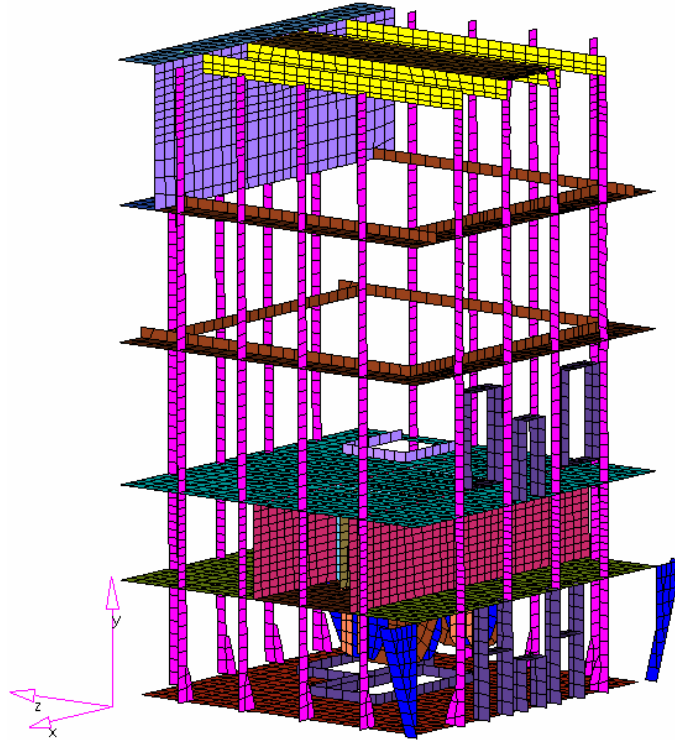
Şekil 7.5 : Çubuk dizisi aralarındaki meshlenmiş bağlantı levhaları

7.3.2 Rijit bacak kutusunun meshlenmesi

Rijit bacak kutusu içerisinde bulunan elemanlar tek tek meshlenerek kutu içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 7.6' da, kutu katı modelinin meshlenmiş hali görülmektedir. Şekilde görülen, kutu üzerindeki her renk farklı bir kalınlığa tekabül etmektedir. Kutu altındaki mavi renkli, üçgen biçimindeki saclar, Alt kiriş üzerinden akan yükün, rijit bacak kutusunun alt kirişe birleşme köşesinde, yüksek gerilmeleri oluşturmaması için kutu altına koyulmaktadır. Kutunun ortasına yakın yerdeki delikler, araba yürütme halatlarının içinden geçtiği deliklerdir. Kutunun hemen altındaki deliklerden ise yük kaldırma halatların geçmektedir. Şekil 7.6' da kutu üzerinde açılan bu delikler, kutunun mukavemetini düşüreceği için deliklerin arkasına takviye saclar konulmuştur. Takviye saclar, Şekil 7.7' de, mor renkli saclar şeklinde görülmektedir. Kutu içerisindeki takviye saclar, ileride anlatılacaktır.

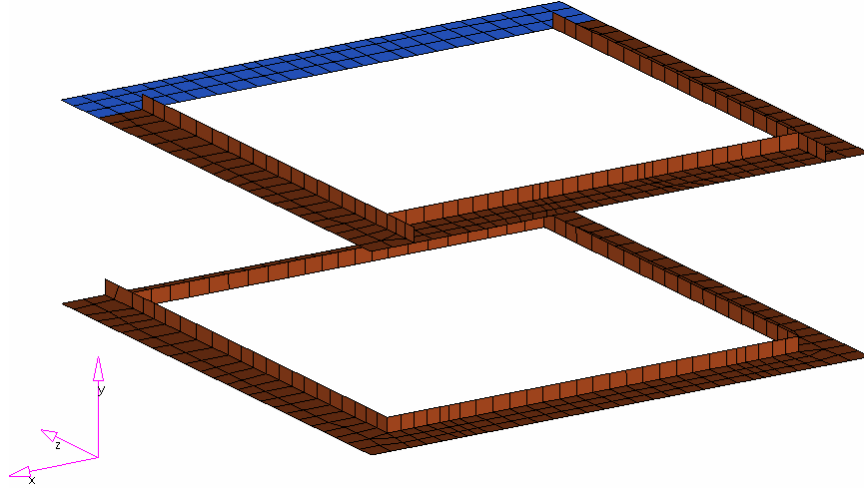


Şekil 7.6 : Meshlenmiş rijit bacak üst kutusu



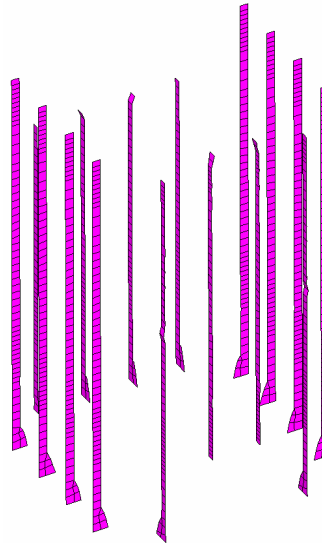
Şekil 7.7 : Meshlenmiş rijit bacak üst kutusu takviyeleri

Şekil 7.7’ de boyuna koyulan takviyeler, kutunun eğilmeye ve basmaya karşı mukavemetini artırırken, enine koyulan takviyeler ise buruşmaya karşı kutuyu sağlamlaştırmaktadır. Şekil 7.8’ de kutu içerisine enine koyulan bu takviyeler buruşma levhalarını göstermektedir.



Şekil 7.8 : Rijit bacak üst kutusunun meshlenmiş buruşma takviyeleri

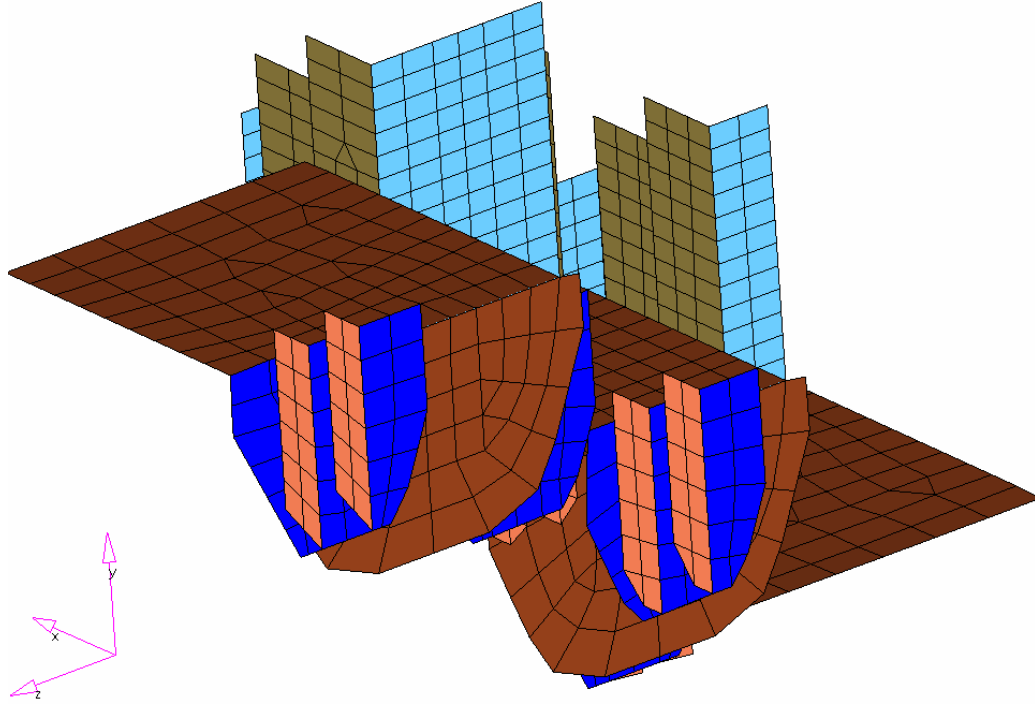
Kutuya dikey mukavemeti veren hollanda profillerinin sadeleştirilmiş meshli durumları altta görülmektedir. Kutu içerisine konulan bu takviyeler, tecrübelerle dayanarak belirli aralıklarla koyulmaktadır.



Şekil 7.9 : Rijit bacak üst kutusunun meshlenmiş eğilme takviyeleri

Analiz sonucunda, kutu eğilmeye karşı mukavemetsiz çıktığında, profiller arasındaki bu aralıklar daha da sıklaştırılarak yeniden analiz edilir.

Halat yüklerinin etkitildiği makara yuvaları Şekil 7.10’ daki gibi meshlenirler. Meshleme esnasında, sonuçların doğruluğu açısından kare biçimli meshler tercih edilir. Makara yuvalarının geometrik biçimlerinden dolayı, tüm yuva kare biçiminde meshlenemediği için, üçgen biçimli meshlerden de faydalanılmıştır.



Şekil 7.10 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki meshlenmiş makara yuvaları

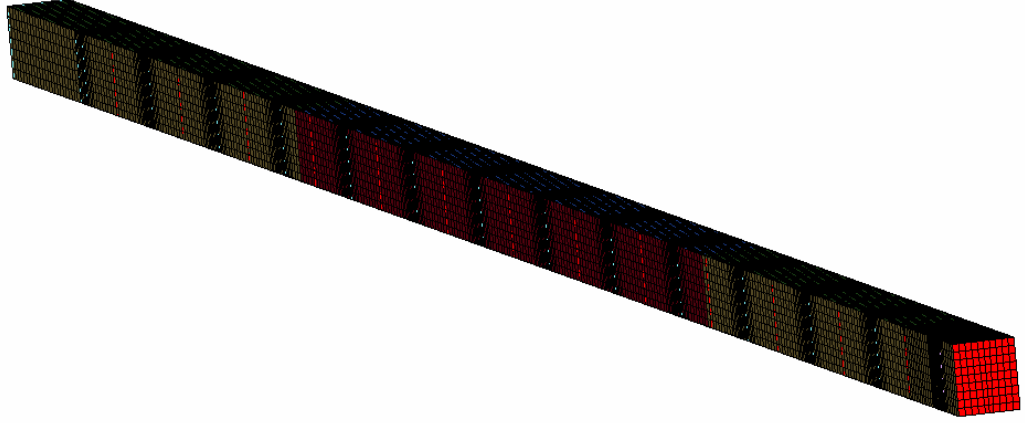
Üçgen biçimli meshler, kare biçimli meshler kadar hassas sonuç vermemesine karşın, karmaşık ve zor geometrilerin meshlenmesini kolaylaştırmaktadır.

7.3.3 Üst kirişin meshlenmesi

Üst kutu içerisine takviye levhalar konularak modellenmiştir. Kutu levhalarının kaynak payları kesilmek suretiyle basitleştirilmiştir. Şekil 7.11’ de üst kirişin meshlenmiş modeli görülmektedir.

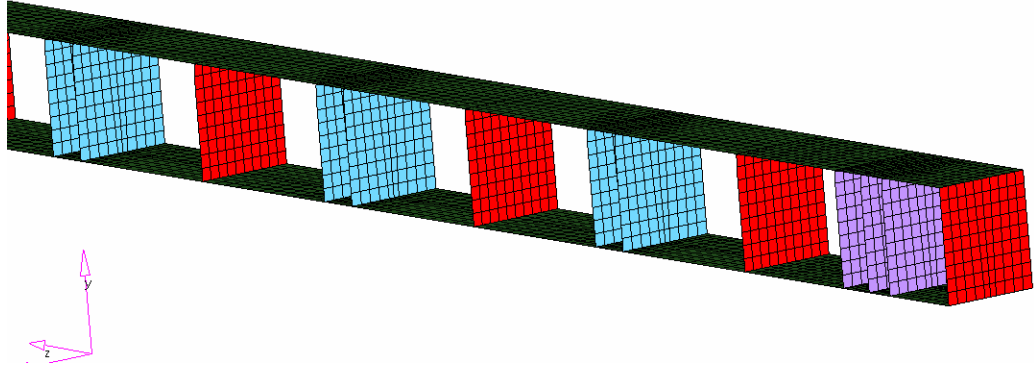
Üst kirişin dikdörtgen biçimli yapısından dolayı, meshleme prosesi oldukça kısa sürmüştür. Kutu yan sacların kalınlıkları farklılık gösterdiğinden, meshleme

esnasında bu kalınlıklara ayrı ayrı renkler verilmiştir. Bu renklere, Abaqus paket programında, kalınlıklar atanarak, Abaqus girdi dosyası hazırlanmıştır.



Şekil 7.11 : Ana kiriş üst kutusunun meshlenmiş modeli

Üst kiriş içerisindeki buruşma levhaları aşağıdaki şekilde görülmektedir. Kiriş içerisindeki her renk bir kalınlığa tekabül etmektedir. Mavi renkler 12 mm kalınlığında iken kırmızı renkli sacların kalınlığı 10 mm 'dir. Eflatun renkli sacların kalınlığı ise 14 mm 'dir.

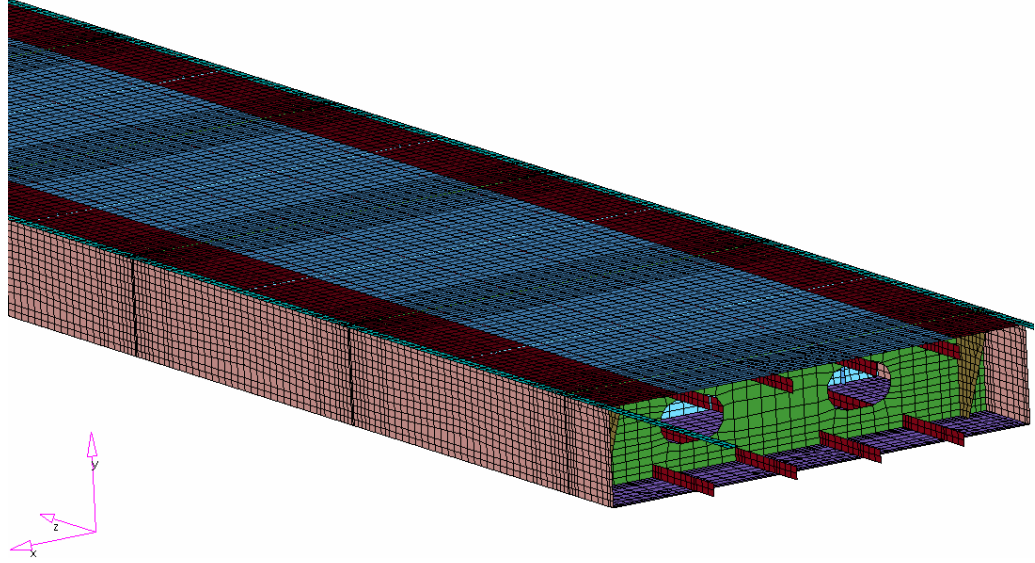


Şekil 7.12 : Kutu içerisindeki takviye levha dizilişleri

Kiriş tasarımında seçilen sac kalınlıkları, tecrübelerle dayanarak seçilmiştir. Analiz sonucunda, emniyet gerilmesinden daha büyük gerilmeler oluşan saclarda, kalınlıklar artırılarak yeniden analiz yapılır.

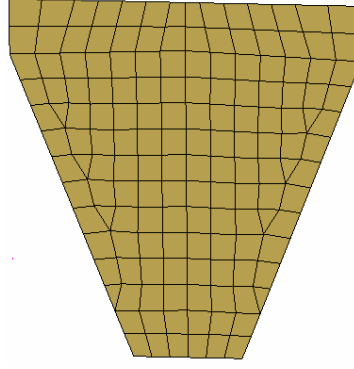
7.3.4 Alt kirişin meshlenmesi

Alt kiriş üzerinde de sadeleştirilmelere gidilmiştir. Örneğin kaynak çıkıntıları, levhaların köşe kaynak yarıçapları gibi sadeleştirmeler önemli ölçüde meshleme prosesinde kolaylıklar sağlamıştır. Alt kiriş üst sacındaki renk farklılığı, kiriş üst sac kalınlıklarının farklı olduğunu göstermektedir. Mavi renkli sac 10 mm iken, mor renkli sac 12 mm olarak modele tanımlanmıştır.



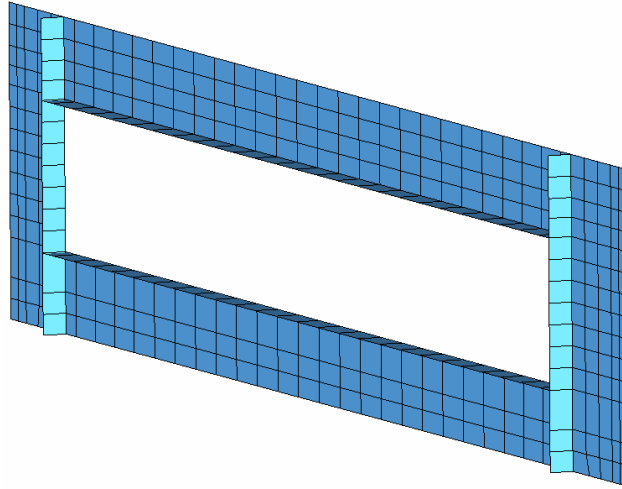
Şekil 7.13 : Meshlenmiş altkiriş

Yeşil renkte görünen takviye ise, 10 mm olarak programa atanmıştır. Alt kiriş yan sacları, çubuklar üzerinde taşınan yüke karşı dayanıklı olması için 14 mm olarak seçilmiştir. Kiriş yan sacın kalınlığının yeterli gelmeyeceği tahmin edildiğinden, çubuk altlarına denk gelecek şekilde, kiriş içerisine trapez biçimli takviye saclar yerleştirilmiştir. Bu destek saclar, çubukların oluşturduğu basınç etkisini azaltmak için kutu içerisine yerleştirilmektedir. Şekil 7.14' te çubuk altı destek takviyesi gösterilmektedir.



Şekil 7.14 : Altkiriş meshlenmiş çubuk altı takviye elemanı

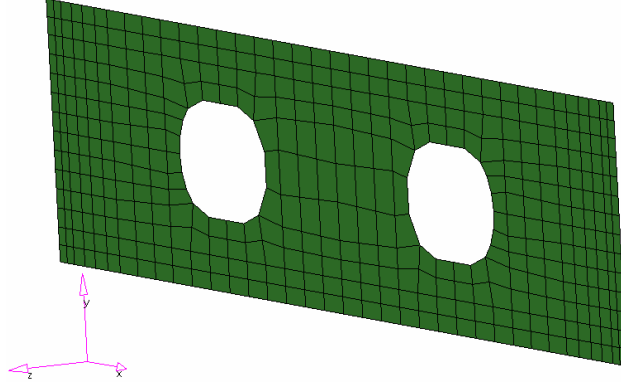
Alt kirişin buruşmaya karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla, takviye saclar kiriş içerisine koyulmaktadır. Bu takviyelerin meshlenmiş modeli Şekil 7.15’ te görülmektedir.



Şekil 7.15 : Altkiriş meshlenmiş buruşma takviyesi

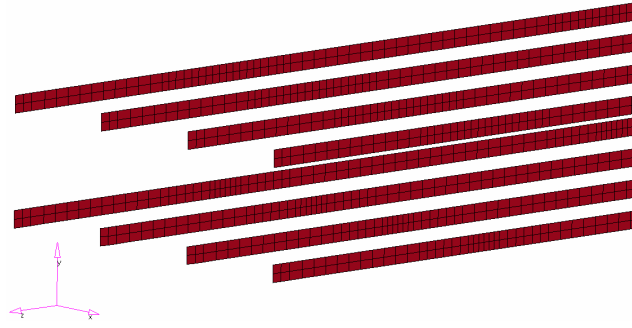
Takviye sac, dört adet kıvrılmış sactan oluşmaktadır. Bu saclar, gerçekte birbirilerine kaynatılarak birleştirilirler. Bu birleştirme, meshleme sürecinde, birleşme yerlerindeki düğümlerin komşu sacın düğümlerine bağlanarak oluşturuldu.

Çubuk basınç etkisinin düzgün bir şekilde kiriş kesiti boyunca dağılmasını sağlayan takviye levhalar aşağıdaki gibi meshlendi.



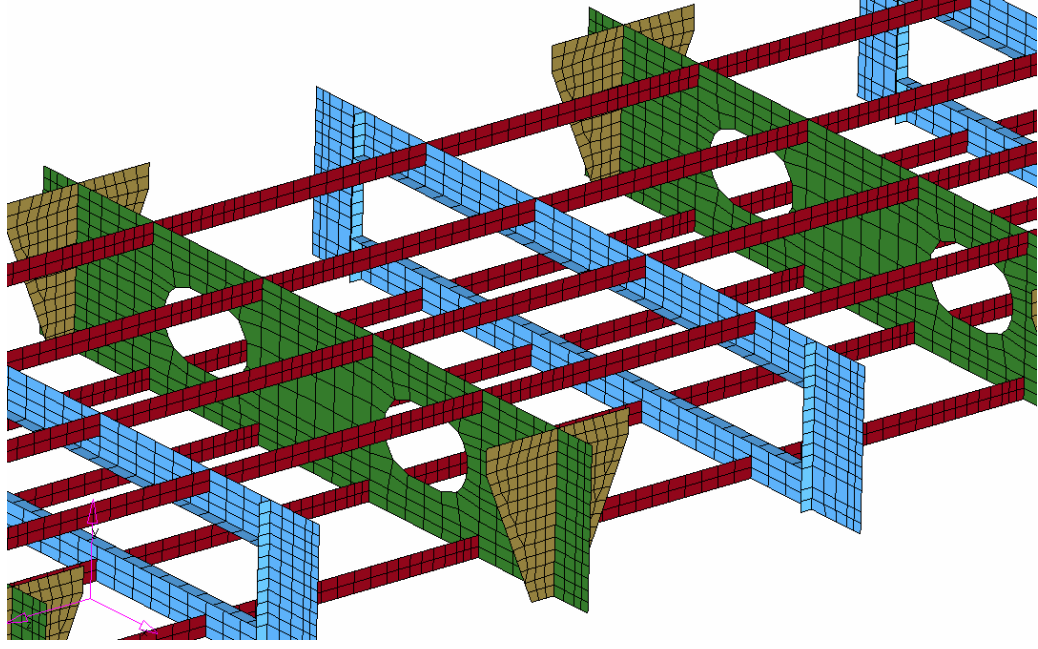
Şekil 7.16 : Altkiriş baskı takviyesinin meshlenmiş modeli

Kirişin sehimini azaltacak olan hollanda profilleri Şekil 7.17’ deki gibi sadeleştirilerek meshlenmiştir. Hollanda profillerinin kiriş içerisindeki aralıkları, deneyimlerle elde edilen bilgilerden faydalanarak belirlenmiştir.



Şekil 7.17 : Geometrisi sadeleştirilerek meshlenmiş profiller

Yukarıda anlatılan tüm parçaları bir arada ihtiva eden montaj resim aşağıda gösterilmektedir. Montaj esnasında, tüm parçalar, birbirilerine gerçekte nerelerinden kaynatılıyorsa, modelde de o kısımlarından, düğümlerin bağlanmasıyla birleştirilmiştir. Birleşme yerlerinde bağlanmamış noktalar kalması durumunda, o bölgelerdeki yapılan analizlerin doğru sonuç vermeyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

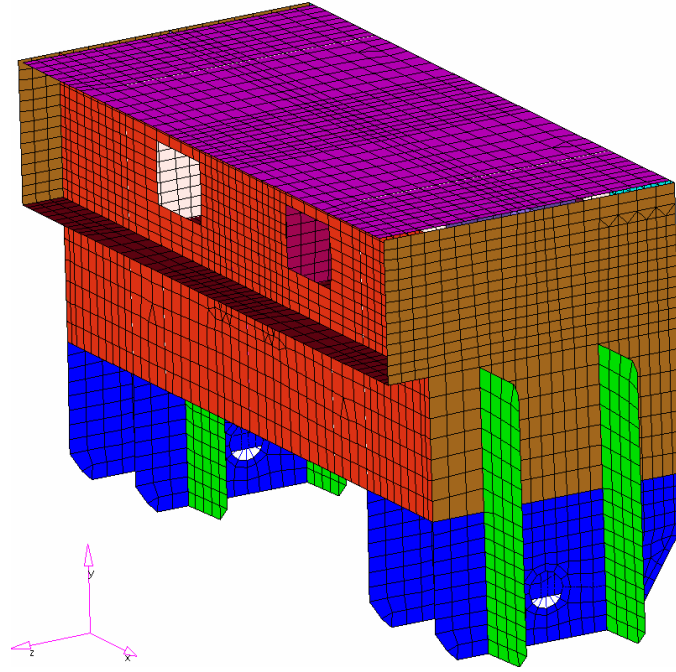


Şekil 7.18 : Altkiriş içerisindeki meshlenmiş takviye elemanların dizilişleri

7.3.5 Mafsal kutusunun meshlenmesi

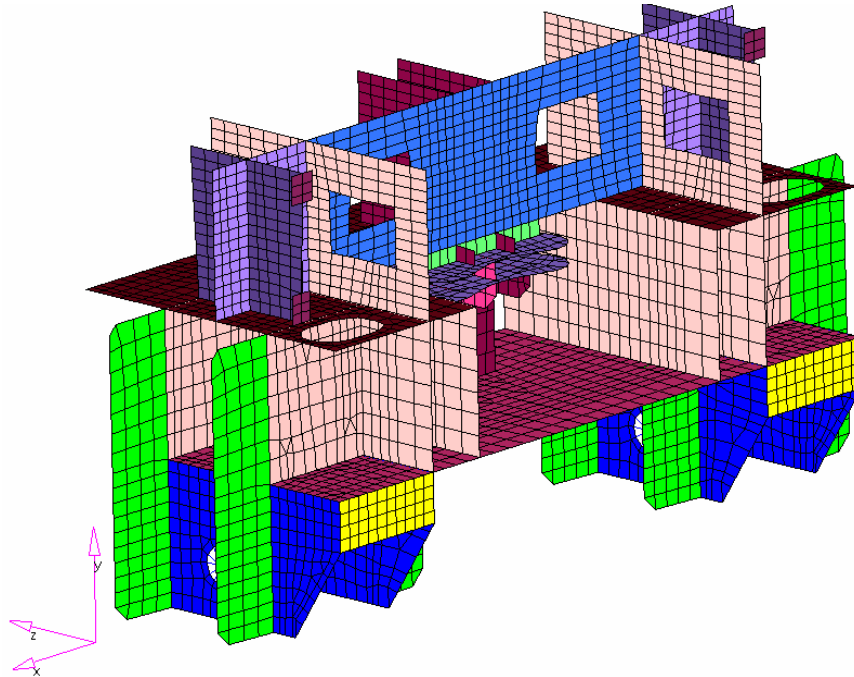
Mafsal kutusu konstrüktif yapısı itibariyle ana kirişin en karmaşık kısımlarından biridir. Kutu içerisinde birçok mukavemet takviye saclarıyla, makara yatakları bulunmaktadır. Mafsal kutusu içerisinde bulunan makara yataklarına halatlardan gelen yükler etkimektedir.

Mafsal kutusunda bulunan mafsal sistemi sayesinde ana kiriş mafsal bacağa bağlanmaktadır. Dolayısıyla kutu, hem çubuklardan gelen düşey yüklere maruz kalmakta, hem de mafsal bacağın hareket serbestlik derecesinden dolayı yataydan etkiyen kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu yüzden ana kiriş mafsal kutusu olabildiğince ayrıntılı bir şekilde modellenmiştir.



Şekil 7.19 : Meshlenmiş ana kiriş mafsal kutusunun izometrik görünüşü

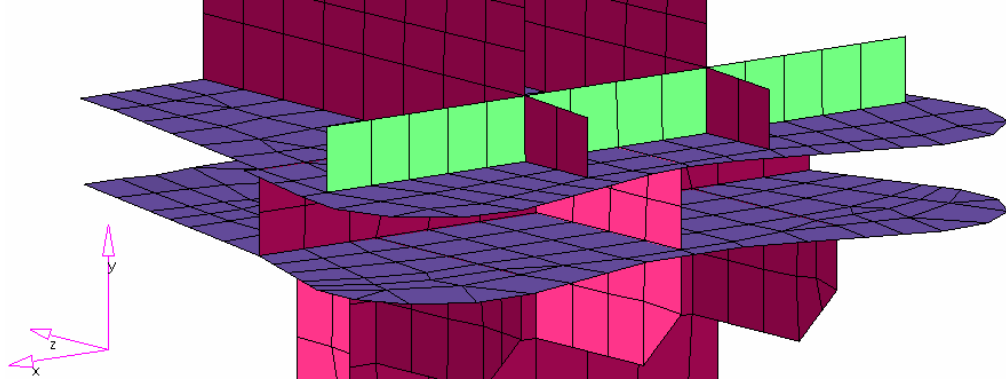
Kutu içerisinde bulunan mukavemet elemanları aşağıda görülmektedir. Kutu elemanları, imalat esnasında birbirlerine kaynakılma yoluyla bağlanırlar. Bundan dolayı, modellerin montajlama aşamasında, tüm parçalar bir birilerine, birleşme yerinde düğümlerin birbirine bağlanmasıyla bir araya getirilmiştir.



Şekil 7.20 : Mafsal kutusu içerisindeki meshlenmiş takviyeler

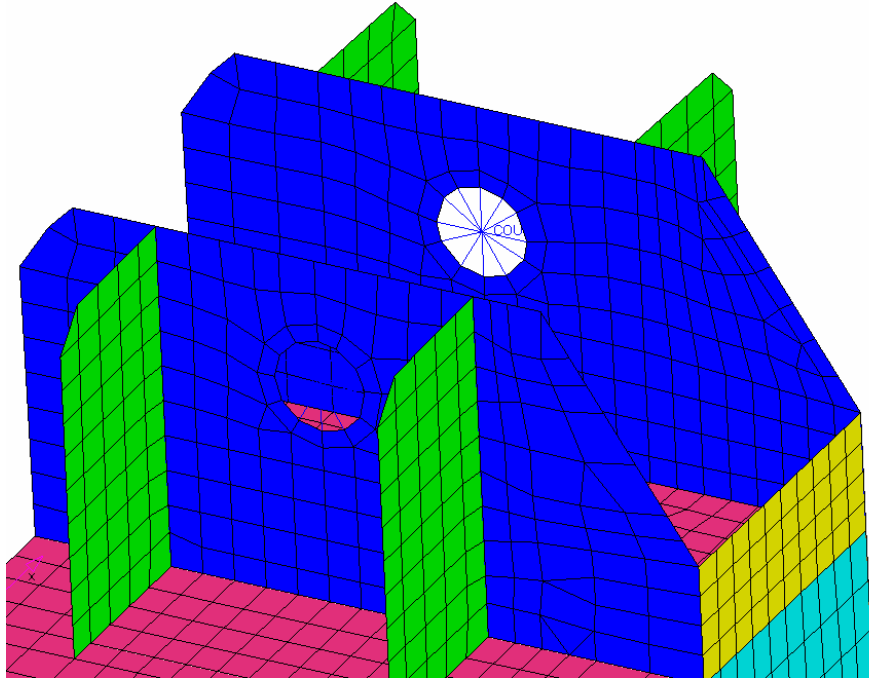
Düğümlemler birbirilerine bağlandığında, bağlantı bölgesinde yeni düğümlemler ortaya çıkar. Örneğin, birleşme bölgesinde, iki farklı eleman birbirlerine, her eleman üzerinde bulundurduğu bir düğüm üzerinden diğer elemanın düğümü ile bağlandığında, bu iki düğüm ortak bir düğüm oluşturur.

Mafsal kutusu içerisindeki makara yataklarının meshlenmesi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Analiz sırasında halat kuvvetleri bu yataklardan etkiltilmiştir.



Şekil 7.21 : Meshlenmiş mafsal kutusu içerisindeki makara yuvaları

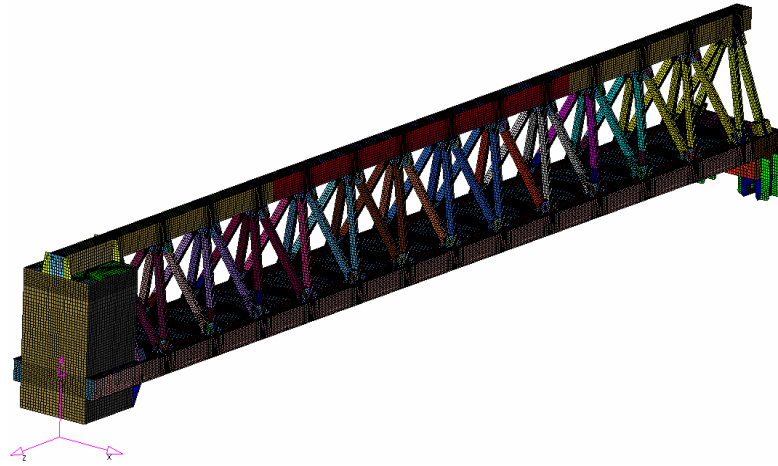
Mafsal sistemi de keza sadeleştirilerek aşağıdaki gibi hazırlanmıştır. Düzgün kuvvet iletilebilmesi için mafsal delikleri etrafı dairesel olarak meshlenmiştir.



Şekil 7.22 : Mafsal modelin meshlenmiş hali

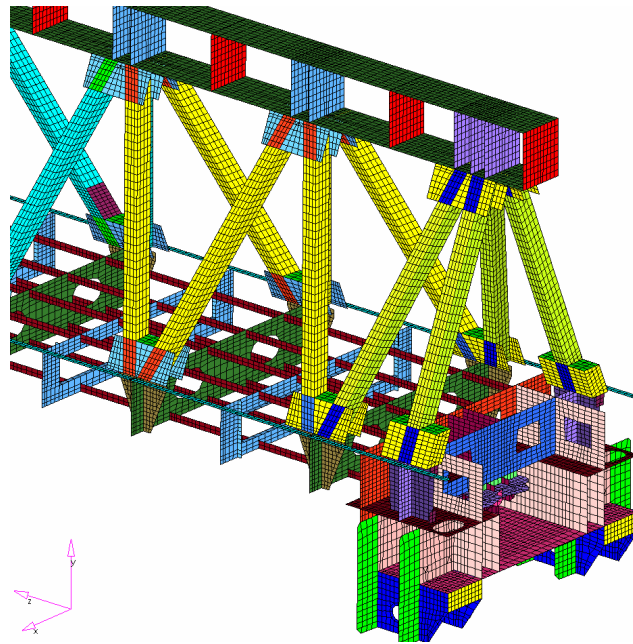
7.3.6 Meshlenmiş ana kiriş montajı

Yukarıda açıklanan meshlenmiş parçalar bir araya getirilerek ana kirişin mesh montajı oluşturulmuştur. Montajlama sürecinde, daha önce bahsedilmiş olan, düğümlerin birbirine bağlanma yöntemiyle tüm parçalar birbirilerine kaynatılmıştır. Sonuç olarak, Ana kiriş montaj modeli yek pare bir parça şekline getirilmiştir.



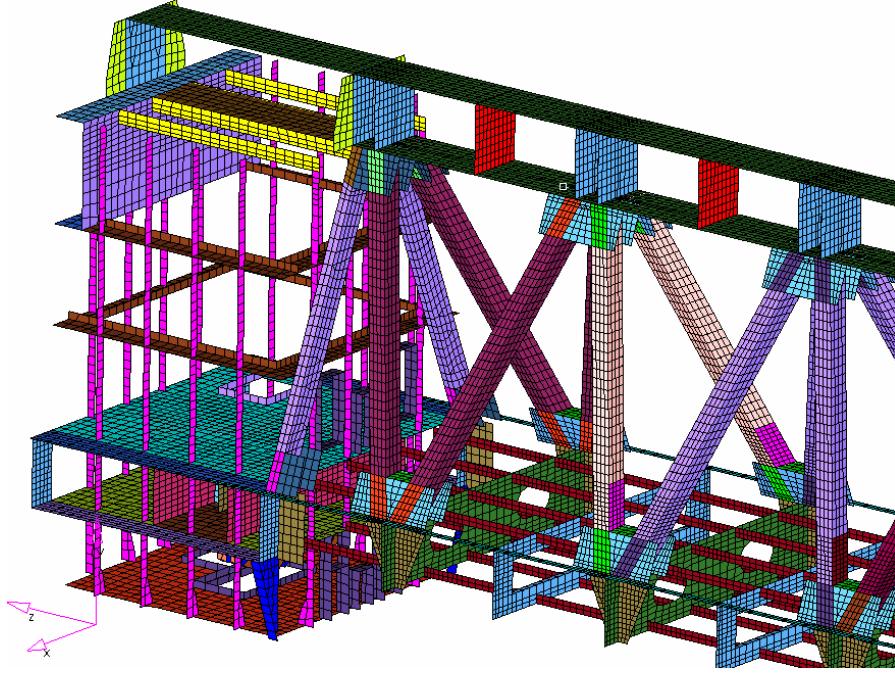
Şekil 7.23 : Meshlenmiş ana kiriş montajı

Ana kirişin mafsalsal bacağa yakın olan kısmında kullanılan takviyelerin dizilişleri Şekil 7.24’ de görülmektedir. Montaj resimde görülen her renk bir kalınlığa tekabül etmektedir.

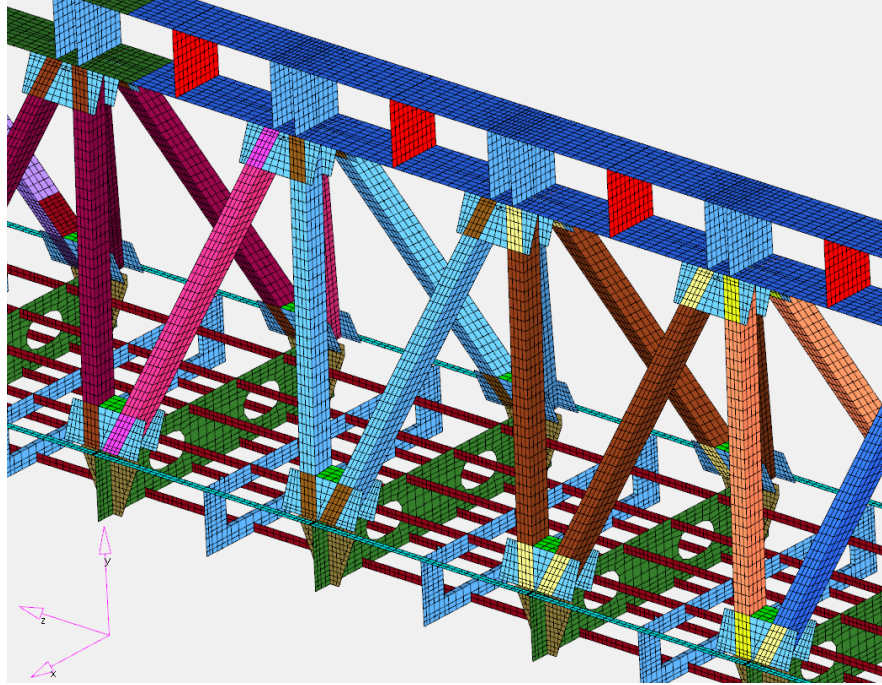


Şekil 7.24 : Ana kirişin mafsalsal bacak tarafındaki meshlenmiş takviye detayı

Şekil 7.25’ te, alt ve üst kirişlerin, rijit bacak üst kutusuna bağlandığı bölge gösterilmektedir.



Şekil 7.25 : Ana kirişin rijit bacak tarafındaki meshlenmiş takviye detayı



Şekil 7.26 : Ana kirişin orta kısmının meshlenmiş takviye detayı

7.4 Modele Malzeme Bilgisinin Atanması

Modeli oluşturan parçaların ekseriyeti St42 çelikten imal edilmiştir. Dolayısıyla malzeme mekanik değerleri olarak St42 çeliğin elastik modülü, poisson oranı ve özkütlesi verilmiştir. Buna göre elastiklik modülü olarak $E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, poisson oranı $\nu = 0,29$ ve özkütle olarak ise $\rho = 8 \times 10^{-9} \text{ Ton/mm}^3$ verilmiştir [11].

7.5 Analiz Tipi

Statik analizler, mühendisler tarafından en sık kullanılan analizlerdir. Yüklerin anlık olarak uygulandığı varsayılır. Lineer statik analizlerde, uygulanan yüklerin dengelenmesi için, yüklenmiş yapıda iç gerilmeler oluşur. Statik analizlerde malzemeler, Hook kanununda olduğu gibi lineer olarak davranmaktadır.

Sonlu elemanlar programlarının çoğu statik analizler için aşağıdaki ilişkiyi kullanmaktadır.

$$[K] \{U\} = \{R\} \quad (7.1)$$

Bu denklemde $[K]$ sertlik matrisi, $\{U\}$ birim yer değiştirme vektörü, $\{R\}$ ise uygulanan yük vektörüdür [12].

7.6 Analiz Sırasında Dikkat Edilen Husular

Krenin tümüyle, gerekli mukavemete sahip ve stabil olduğunu söyleyebilmek için aşağıdaki eşitliklerin sağlanması gerekmektedir :

Kuvvetlerin eşitliği :

$$S = r S_n \quad (7.2)$$

Momentlerin eşitliği :

$$M = r M_n \quad (7.3)$$

Gerilmelerin eşitliği :

$$\sigma = r_k \sigma \quad (7.4)$$

S , uygulanan yüklerin sonucunda oluşan kuvvettir. M , uygulanan yüklerin oluşturduğu moment, σ ise bu yüklerin oluşturduğu gerilmedir. r çalışma koşullarına bağlı bir katsayı, k homojenlik katsayısı, S_n izin verilen kuvvet, M_n izin verilen

moment. σ_n ise izin verilen gerilme olup, kullanılan malzemenin minimum akma gerilmesidir.

Uygulanan yükler, olası aşırı yüklemeler göz önünde bulundurularak, aşırı yükleme faktörü ile çarpılarak belirlenir. Aşırı yükleme faktörü, krenin çalışma koşulları ve konstruksitf özelliklerine bağlıdır.

Çalışma koşulları faktörü,

$$r = r_1.r_2.r_3 \quad (7.5)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu denklemde r_1 kren önem faktörü (crane-importance factor), r_2 hasar belirleme faktörü (damage-localization factor), r_3 ise konstrüksiyon hatası faktörüdür.

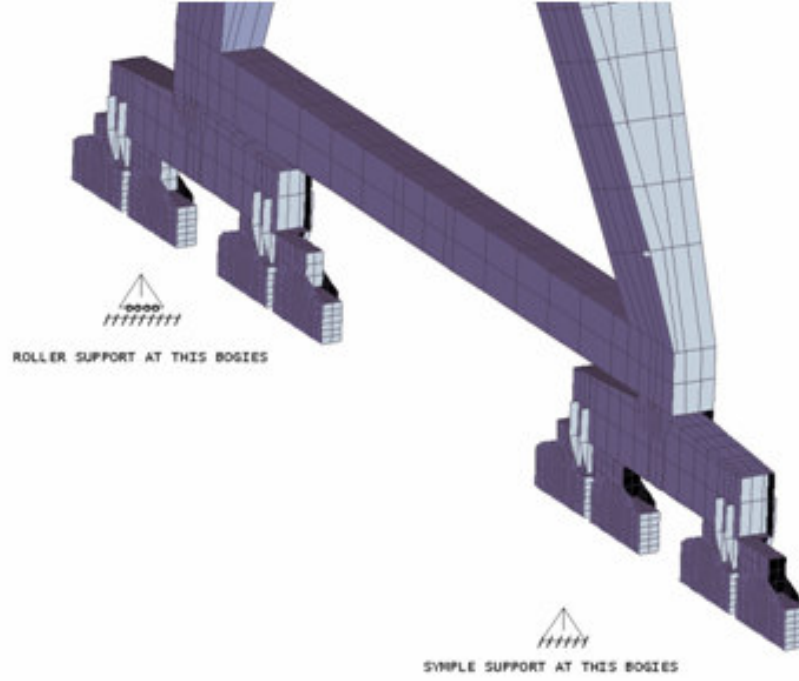
7.7 Analiz Sonuç İsteği

Analiz sonrası elde etmek istenilen çıktı tercihleri bu safhada programa tanıtılmıştır. Bu çalışmada ana amaç, ana kirişte meydana gelen gerilmelerin ve deformasyonların yanı sıra ana giriş sehimin tespiti olmuştur.

Yukarıda sıralanan amaçlar doğrultusunda bu safhada analiz bulgu isteği programa tanıtılmıştır.

7.8 Sınır Koşulların Atanması

Bu safhada her bir modelin gerçek uygulamalarda sahip olduğu serbestlik dereceleri ve kısıtları programa tanıtılmıştır. Sınır koşulları, krenin çalışma koşulları göz önüne alınarak seçilmiştir. Temas halindeki bütün tekerlek yüzeyleri basit olarak mesnetlenmiştir (Şekil 7.27).



Şekil 7.27 : Kren tekerlerinin mesnetlenme yöntemi

Krenin hareket halinde olması veya durması ya da frenlemesi hallerinde iki ayrı duruma göre yüklemeler verilmiştir. Krenin hareket halinde olması durumunda, bütün yüzeyler basit olarak mesnetlenmiştir. Kren x yönünde hareket halinde olduğunda, bu yönde herhangi bir mesnet olmaması gerekir. Fakat bu durumda sonuç elde edilemeyeceğinden tekerleklerin bir grubu basit, bir grubu ise yuvarlanmalı mesnetler ile mesnetlenmiştir.

7.9 Yüklemeler

Yüklemeler FEM normlarına uygun olarak yapılmıştır. Normlarda verilen katsayılar kullanılarak yükler artırılmıştır. Ayrıca kren ve arabaların hareketinden doğan atalet kuvvetleri de hesaba katılarak dinamik analizler yapılmıştır. Buna göre FEM normlarında belirtilen yük artırma katsayılarını içeren kombinasyon çizelgesi, Çizelge 7.1 'de verilmiştir.

Çizelge 7.1: Yükleme kombinasyon çizelgesi

		DEAD WEIGHT (D)								WORK. LOAD (WL)			HORIZONTAL LOAD (H) DUE TO:					
		CRN	HOOK			TROLLEY			POSITION:			Working Load Z			Working Load X			
Load Case No		10	1	2	3	11	12	13	21	22	23	30	31	32	33	35	36	37
Group	Comb	CD	HD1	HD2	HD3	TD1	TD2	TD3	WL	WL	WL	Hgx	Hx1	Hx2	Hx3	Hx1	Hx2	Hx3
I	100	1																
I	110	1		1			1											
I	111	1	1			1			1									
I	112	1		1			1			1								
I	113	1			1			1			1							
II	121	1.08	1.242			1.08			1.242			1	1			1		
II	122	1.08		1.242			1.08			1.242		1		1		1		
II	123	1.08			1.242			1.08			1.242	1			1		1	
II	125	1.08	1.242			1.08			1.242			1	-1			1		
II	126	1.08		1.242			1.08			1.242		1		-1		1		
II	127	1.08			1.242			1.08			1.242	1			-1			1

Çizelge 7.1 ‘deki kısaltmaların, kombinasyonların ve yük durumlarının açıklamalarını içeren bilgi Çizelge 7.2 ‘de anlatılmıştır.

7.10 Yüklerin Konumları ve Yönleri

Çizelgede verilen yükleme kombinasyonlarının her biri aslında ana kiriş üzerindeki konumu bakımından isimlendirilir. Kombinasyon numarasının son hanesi ana kiriş üzerindeki arabaların konumunu ifade eder. Örneğin 111, 121 ve 125 numaralı kombinasyonlardaki 1 ve 5 sayısı arabaların rijit bacağa yakın olduğu konuma karşılık gelir. Diğer yandan 122 ve 112 deki 2 ana kirişin ortasında, 123 ve 127 deki 3 ve 7 numaraları arabaların mafsal bacağa yakın olduğu durumdaki yükleme konumları anlamına gelir.

Çizelge 7.2: Yükleme kombinasyonları açıklama izelgesi

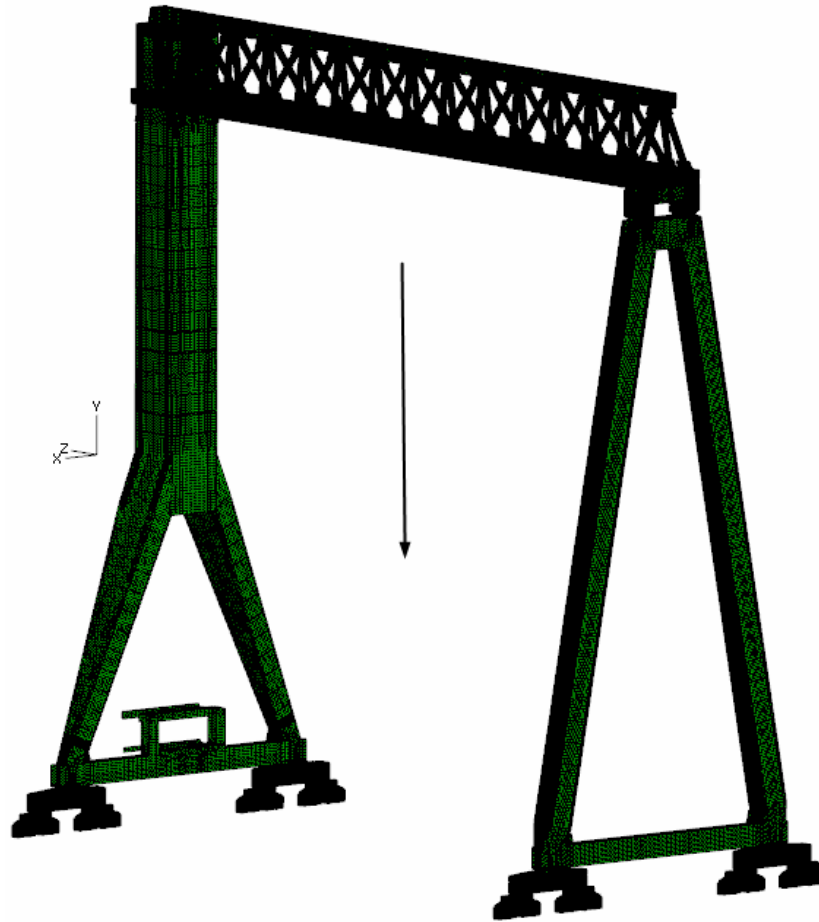
LOAD CASE	LOAD NAME	EXPLANATIONS	LOAD Per Wheel	GLOBAL DIRECTION	APPLYING POSITION	UNIT	APPLYING TO	TOTAL LOAD
10	CD	SELF WEIGHT DEAD WEIGHT OF THE CRANE		Y		mm/s ²		-9810
1	HD1	HOOK DEAD LOAD (HD = 2x8Tons=16 Tons)	10000	Y	Poz 1	N	2x8 POINTS	160000
2	HD2	HOOK DEAD LOAD	10000	Y	Poz 2	N	2x8 POINTS	160000
3	HD3	HOOK DEAD LOAD	10000	Y	Poz 3	N	2x8 POINTS	160000
11	TD1	TROLLEY DEAD WEIGHT (TD=2x25Tons=50Tons)	31250	Y	Poz 1	N	2x8 POINTS	500000
12	TD2	TROLLEY DEAD WEIGHT	31250	Y	Poz 2	N	2x8 POINTS	500000
13	TD3	TROLLEY DEAD WEIGHT	31250	Y	Poz 3	N	2x8 POINTS	500000
		LIVE LOAD						
21	WL1	WORKING LOAD (WL = 2x275Tons=550Tons)	343750	Y	Poz 1	N	2x8 POINTS	5500000
22	WL2	WORKING LOAD	343750	Y	Poz 2	N	2x8 POINTS	5500000
23	WL3	WORKING LOAD	343750	Y	Poz 3	N	2x8 POINTS	5500000
		HORIZONTAL EFFECT DUE TO:						
30	Hgx	MOTION OF CRANE = 1.08*CD/30		X	System	mm/s ²	ALL CRANE	1.08*9810/30
31	Hx1	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	Z	Poz 1	N	2x8 POINTS	252324
32	Hx2	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	Z	Poz 2	N	2x8 POINTS	252324
33	Hx3	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	Z	Poz 3	N	2x8 POINTS	252324
35	Hx1	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	X	Poz 1	N	2x8 POINTS	252324
36	Hx2	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	X	Poz 2	N	2x8 POINTS	252324
37	Hx3	MOTION OF TROLLEY = (1.242*HD + 1.08*TD + 1.242*WL)/30	15770	X	Poz 3	N	2x8 POINTS	252324

Çizelge 7.1 ‘deki 110 ve 112 numaralı yükleme kombinasyonları ana kiriş sehimini tespit etmek için uygulanır. Kombinasyon 121, 122, 123, 125, 126 ve 127 ise krenin ve arabaların hareketinden kaynaklanan dinamik etkinin ana kiriş üzerindeki etkisinin tespiti için uygulanmaktadır.

Kombinasyon 121’ den 123’ e kadar olan yükleme şartlarında arabalar rijit bacağa doğru hareket ederken, 125’ den 127’ ye kadar olan kombinasyonlar ise arabaların mafsalsal bacağa doğru hareketi sırasında ana kiriş üzerinde meydana gelen dinamik etkiyi göstermektedir.

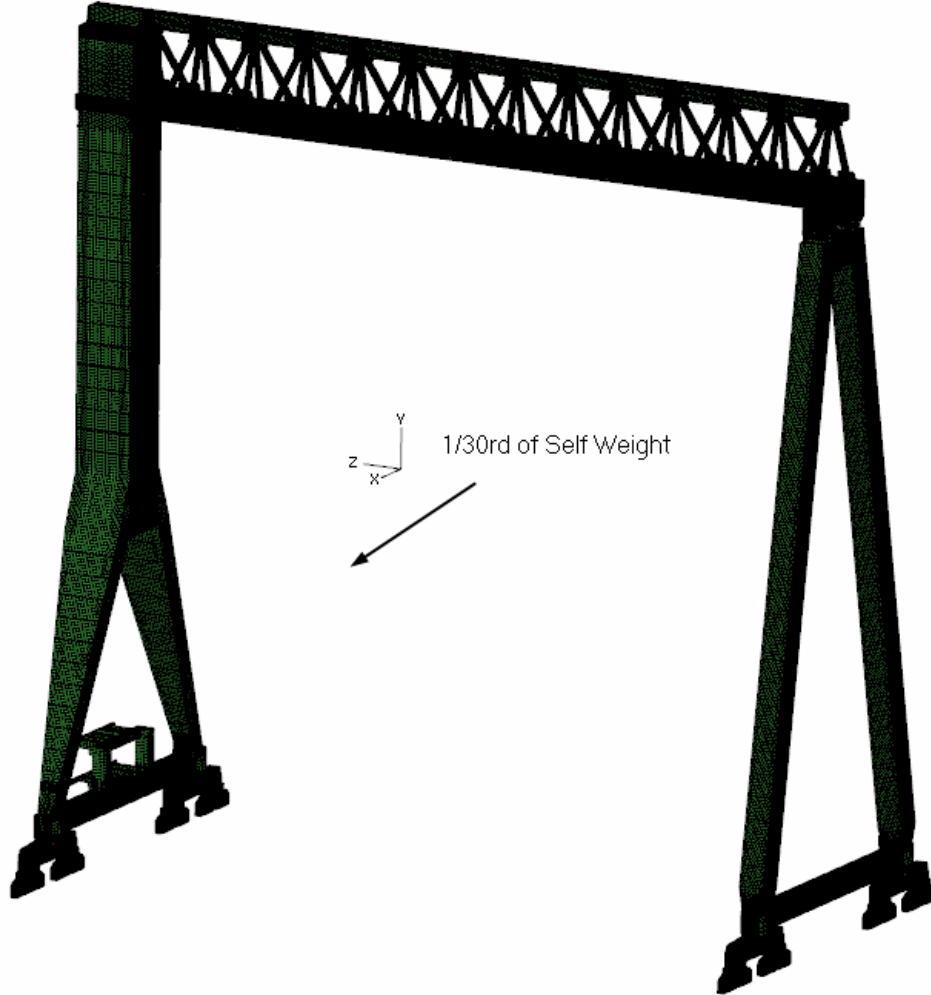
7.10.1 Krenin zati ağırlığı

Vinç yüksüz durumdayken, vince etkiyen en önemli yüklerden biri de vincin kendi ağırlığıdır. Bu ağırlık vinç ana kirişinin belli miktarda sehim yapmasına neden olur.



Şekil 7.28 : Krenin zati ağırlığının yönü (Global Y yönüde)

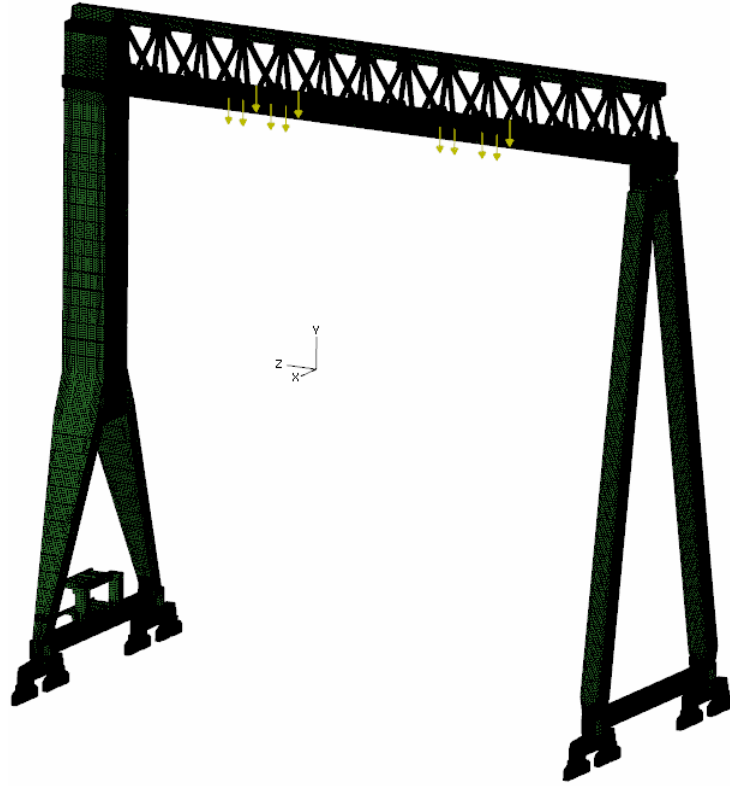
Kren hareketi sırasında, frenleme sonucu büyük atalet kuvvetleri ortaya çıkar. Bu kuvvetler vinç ağırlığının 1/30' u kadar olarak kabul edilir. Bu atalet kuvvetler hesaplamalarda ve analizlerde araba tekerlerine uygulanır (Şekil 7.29).



Şekil 7.29 : Krenin zati ağırlığından kaynaklı atalet kuvveti

Çizelge 7.1'deki, 01, 11 ve 21 numaralı yükleme durumlarına (Load Case) göre, arabalar, kancalar ve çalışma yükü kuvvetlerinin rijit bacağa yakın olduğu konumda krenin SEM analizi yapılır. Kuvvetlerin etkiye noktaları, her arabada bulunan 8' er tekere karşılık gelir. Toplamda 16 noktaya toplam kuvvet etkitilir. Araba eksenleri arası mesafe 20 m' dir. Bu yükleme durumları ile ilgili, yüklerin konumları ve yönleri EK bölümünde verilmiştir.

Genellikle maksimum sehim yükün kirişin ortasında etkidiği pozisyonda oluşur. Ana kirişin sehim değerlerini bulma aşamasında, kombinasyon 112 yükleme durumu uygulanır. Bu yükleme durumunda yük kirişin ortasına uygulanır (Şekil 7.30).

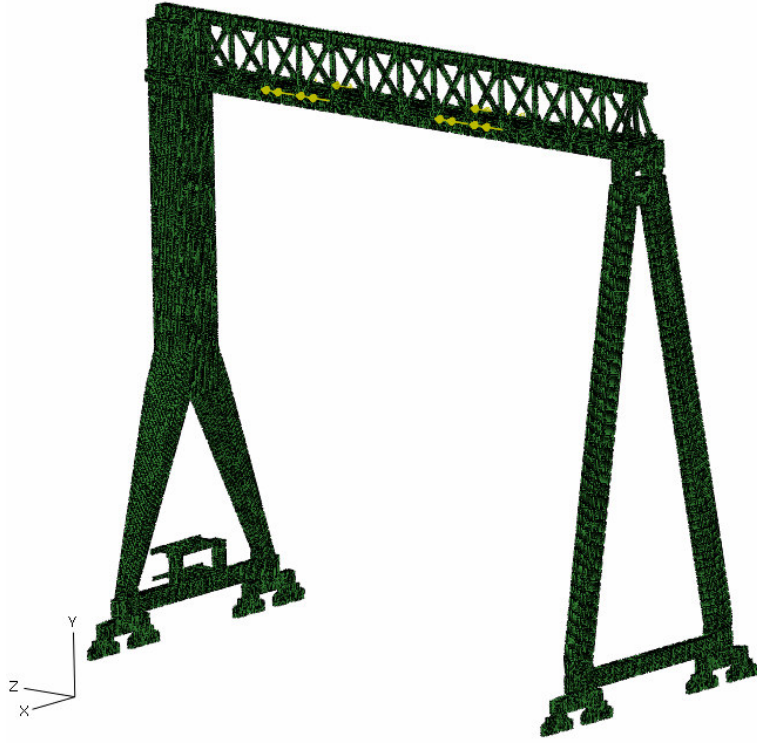


Şekil 7.30 : Arabaların ana kirişin ortasında olduğu durum

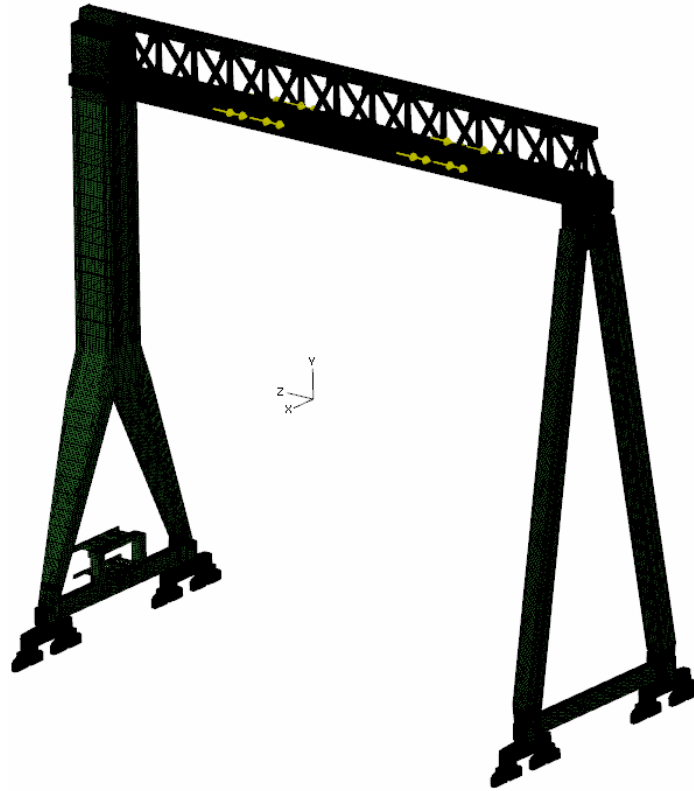
Çizelge 7.1’ deki, 03, 13 ve 23 numaralı yükleme durumlarına göre, yükleme pozisyonu ve yönü, arabalar, kancalar ve çalışma yükü kuvvetlerinin mafsal bacağa yakın olduğu konumu için uygulanır. Kuvvetlerin etkiye noktaları, her arabada bulunan 8’ er tekere karşılık gelir. Toplamda 16 noktaya toplam kuvvet etkitilir. Araba eksenleri arası mesafe 20 m’ dir. Bu yükleme durumları ile ilgili, yüklerin konumları ve yönleri EK bölümünde verilmiştir.

Çizelge 7.1’ de bahsi geçen, 31 numaralı yükleme konumunda ise, arabaların ana kiriş üzerinde rijit bacağa yakın olduğu konumdayken, rijit bacağa doğru hareket halindeyken frenlemesidir. Bu yükleme durumu ile ilgili, yüklerin konumları ve yönleri EK bölümünde verilmiştir.

Arabalar ana kiriş ortasında iken, rijit bacağa doğru hareket halindeyken frenlemesi durumu Şekil 7.31’ de gösterilmiştir. Şekilde sarı oklarla gösterilen yükleme durumu, Çizelge 7.1’ de, 32 numaralı yükleme durumu olarak verilmiştir.



Şekil 7.31 : Arabaların kirişin ortasındaiken rijit bacağa doğru hareketi

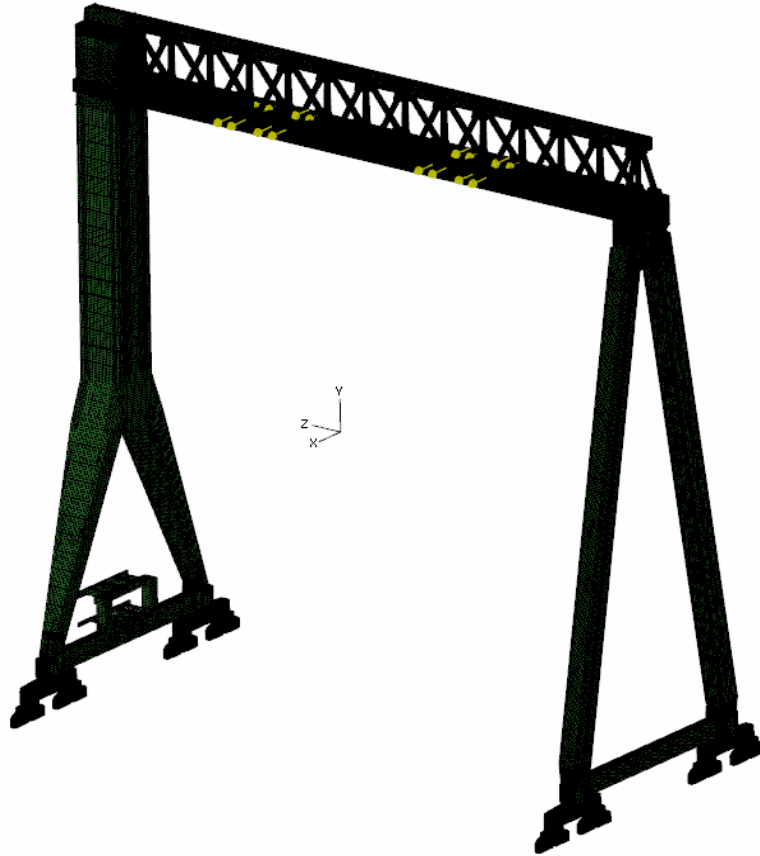


Şekil 7.32 : Arabaların kirişin ortasındaiken mafsal bacağa doğru hareketi

Arabalar ana kiriş ortasında olduğu konumdayken, Mafsal Bacağa doğru hareket halindeyken frenlemesi durumu ise Şekil 7.32’ de gösterilmiştir. Şekilde sarı oklarla gösterilen yükleme durumu, Çizelge 7.1’ de, 32 numaralı yükleme durumu olarak verilmesi yanında, kuvvetin yönü “-Z” eksenine doğru yönelmiştir.

Arabaların mafsal bacağa yakın olduğu konumdayken, rijit bacağa doğru hareket halinde frenlemesi durumu, Çizelge 7.1’ de 33 numaralı yükleme durumu olarak belirtilmiştir. Bu yükleme durumu ile ilgili, yüklerin konumları ve yönleri EK bölümünde verilmiştir.

Krenin raylar üzerinde hareketi sırasında, arabaların ana kirişin ortasında, krenin yaptığı frenleme sonucunda oluşan atalet kuvvetlerinin araba tekerlerine etkimesi aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 7.33 : Krenin hareketinden dolayı arabaların atalet etkisi

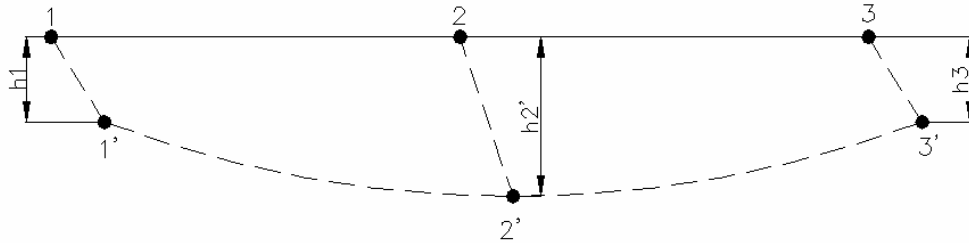
7.11 Bulgular

Bu çalışmada daha öncede anlatıldığı gibi sırayla 121, 122, 123, 125, 126 ve 127 numaralı yükleme kombinasyonları uygulanmıştır. Bu kombinasyon yükleme analizleri sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılarak maksimum gerilmelerin çıktığı sonuçlar ele alınmıştır. Kafes çubuklar, üst ve altkirişi kapsayan montaj üzerinde gerilmelerin yüksek çıkmasından dolayı tüm kombinasyon sonuçlarının koyulmasına karar verilmiştir. Bu bölümde bu montaj sonuçlarıyla ilgili olarak sadece 121, 122 ve 123 numaralı yükleme kombinasyonları koyularak değerlendirilmiştir. Ayrıca ana kiriş sehiminin tespiti de ele alınarak şartnamelerin belirttiği değeri geçip geçmediği incelenmiştir.

Gerilmeler Von-Misses (MPa) cinsinden elde edilmiştir. Sehimler ve deformasyonlar ise mm cinsinden elde edilmiştir.

7.11.1 Ana kiriş sehiminin tespiti

Vinç ana kirişleri, şartnamelerde belirtilen düşey sehim değerlerini aşmayacak şekilde tasarlanırlar. Sehime en çok neden olan yükleme durumu, arabaların kirişin ortasındayken yüklenmeleridir. Yükleme sırasında mafsallı ve rijit bacak düşey yönde bir miktar eğilmektedirler. Bu eğilme ana kirişin deforme olmadan düşey yönde hareket etmesine neden olur. Sadece deformasyonun neden olduğu sehim bulabilmek için deforme olmadan oluşan yer değiştirme toplam sehimden çıkartılmalıdır.



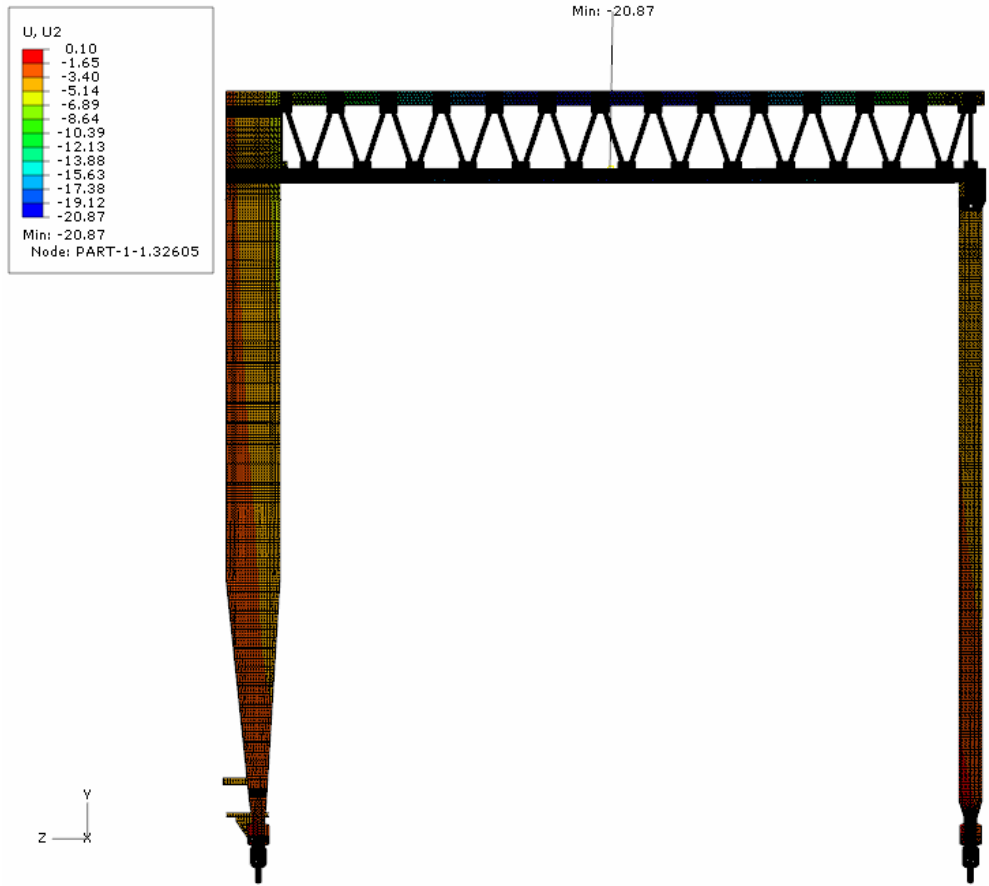
Şekil 7.34 : Sonlu elemanlar yöntemiyle ana kiriş sehiminin ölçülmesi

Yüklemeden kaynaklanan ana kirişin sehim değeri aşağıdaki formülde hesaplanır.

$$h_2 = h'_2 - \left[\frac{(h_1 + h_3)}{2} \right] \quad (7.6)$$

Sonlu elemanlar analizi sırasında sehim değerlerinin önceden tespit edilebilmesi için gerçek uygulama şartları göz önüne alınarak yüklemeler kirişin ortasına etkiyecek şekilde yapılmıştır. Bu yükleme durumu daha önceki bölümlerde Çizelge 7.1’deki 112 yükleme kombinasyonu olarak tanımlanmıştır.

Düşeyde oluşan gerçek sehim değerini tespit edebilmek için vincin yüksüz haldeyken ana kiriş sehimini ilk önce tespit edildi. Vinç yüksüz haldeyken, sehime neden olan yükler; vincin zati ağırlığı, arabalar ve kancaların ağırlıdır.



Şekil 7.35 : Vincin yüksüz durumdayken ana kiriş düşey sehim

Aşağıdaki Çizelge 7.3’ de kren parçalarının düşeydeki hareketi verilmektedir.

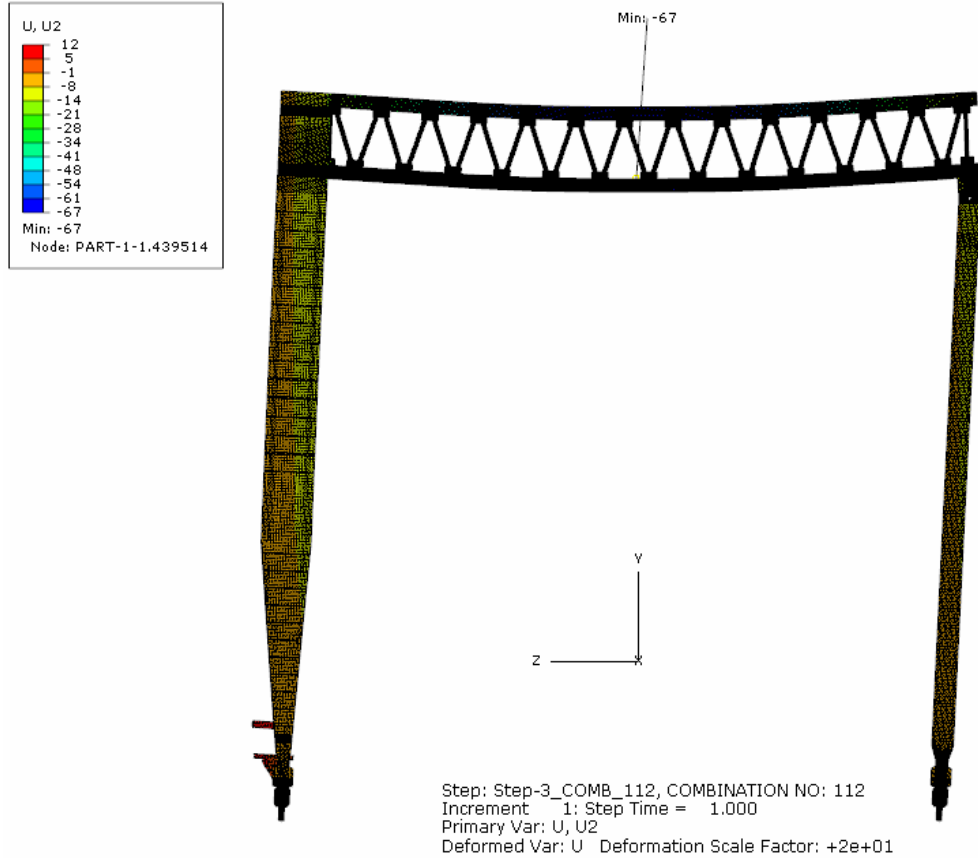
Çizelge 7.3: Krenin kendi ağırlığından kaynaklanan sehim çizelgesi

	Rijit Bacak	Mafsal	Ana kiriş
Sehim (mm)	2,90	3,87	20,87

Vinç boşken yaptığı sehim ;

$$20.87 - (2.9 + 3.87) / 2 = 17.5 \text{ mm} \quad (7.7)$$

Vincin yüklüken yaptığı sehim aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 7.36 : Vinç yüklüken ana kirişin düşey sehim

Aşağıdaki çizelgede kren parçalarının düşeydeki hareketi verilmektedir.

Çizelge 7.4: Kren yüklüken oluşan sehim değerleri

	Rijit Bacak	Mafsal	Ana kiriş
Sehim (mm)	4,7	8,0	67,4

Vincin yüklüken yaptığı sehim;

$$67.4 - ((4.7 + 8.0) / 2) = 61.0 \text{ mm} \quad (7.8)$$

Vincin yüklemelerden kaynaklanan deformasyon sehimini vincin doluyken yaptığı sehimden boşken yaptığı değer çıkartılarak elde edilir.

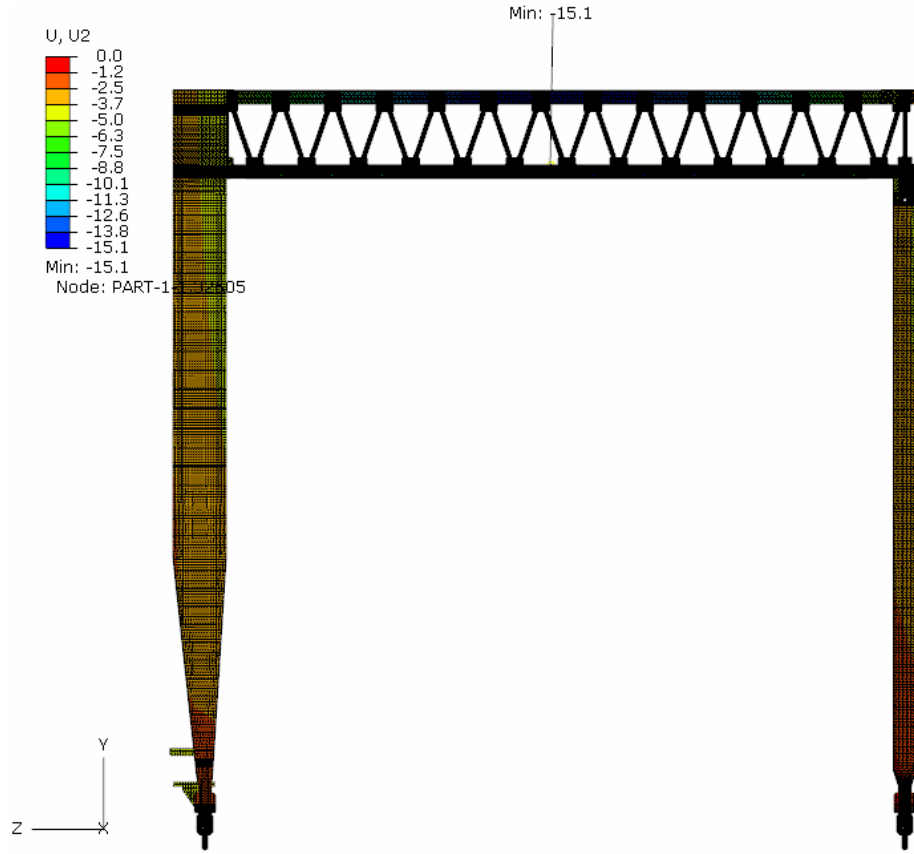
$$61.0 \text{ mm} - 17.5 \text{ mm} = 43.5 \text{ mm} \quad (7.9)$$

Şartnamelerde izin verilen maksimum sehim aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$(\text{Bacaklar arası mesafe}) / 800 = 52200\text{mm}/800 = 65.3 \text{ mm} \quad (7.10)$$

Analizler sonucunda bulunan sehim değeri 43,5 mm FEM normlarının belirttiği sehimden daha düşük olduğu için kren sehimini kabul edilir düzeydedir.

Ek olarak, hesaplamalarda elde edilen ana kiriş zati ağırlığından kaynaklanan sehim değerinin doğruluğunu araştırmak üzere, krenin sadece kendi ağırlığından yaptığı sehim analizi yapılmıştır. Şekil 7.37' de kren ana kirişinin sadece kendi ağırlığından yaptığı sehim gösterilmektedir.



Şekil 7.37 : Vincin zati ağırlığından kaynaklanan düşey sehim

Aşağıdaki çizelgede kren parçalarının düşeydeki hareketi verilmektedir.

Çizelge 7.5: Krenin kendi ağırlığından oluşan sehim değerleri

	Rijit Bacak	Mafsal	Ana kiriş
Sehim (mm)	2,8	3,37	15,1

Vincin zati ağırlığı nedeniyle oluşan sehim ;

$$15,1 - ((2,8 + 3,37) / 2) = 12 \text{ mm} \quad (7.11)$$

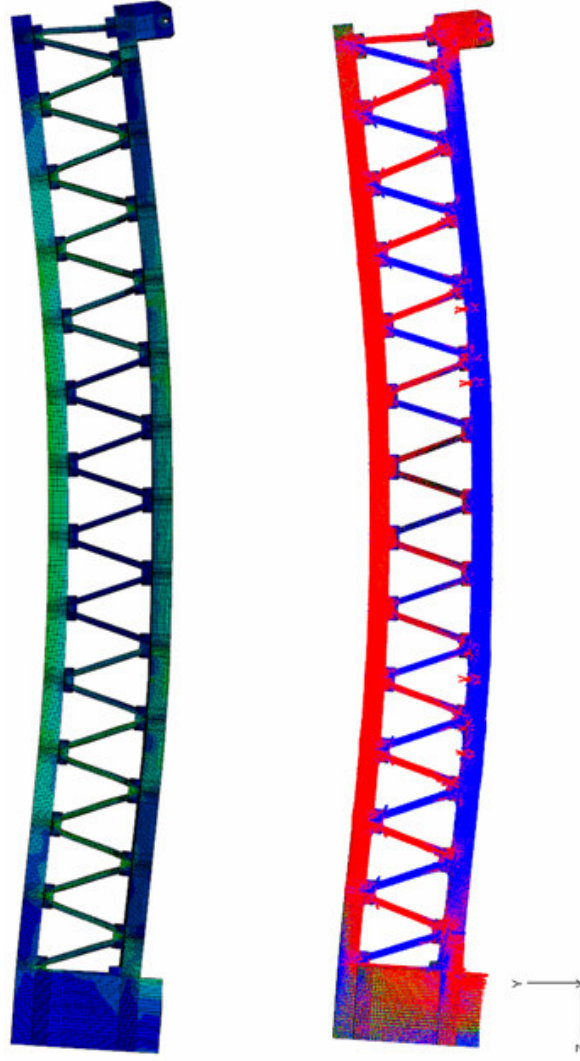
Kren ana kiriş sehimini şu ana kadar bulunan verilere göre özetlenecek olursa, Çizelge 7.6' daki durum elde edilir.

Çizelge 7.6: Kren Ana kirişinin çeşitli yüklemeler altındaki düşey sehim

	R.BACAK	M.BACAK	A.KİRİŞ	SEHİM	AÇIKLAMA
Zati	2,8	3,37	15,1	12,0	Vincin zati ağırlığı
Yük				43,6	Yük
Vinç Boşken	2,9	3,87	20,87	17,5	Zati+Araba+Kanca
Vinç Yüklüyken	4,7	8	67,4	61,1	Zati+Araba+Kanca+Yük

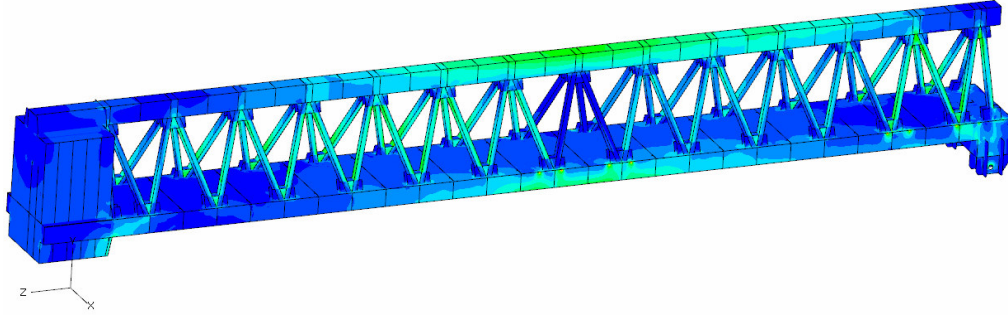
7.11.2 Ana kirişte oluşan gerilmeler

Kafes sistemlerde, çubuklar ard arda dizildikleri için, Ana kiriş üzerine gelen kuvvetler her çubuktan akacak şekilde kuvvet dengesi sağlanır. Dolayısıyla, ana kiriş kafes sistemlerinde, bir çubuk basmaya maruz kalırken, diğer çubuk çekmeye çalışılmaktadır. Şekil 7.38’ de ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı görülmektedir. Burada, mavi renk, çekme altındaki bölgeleri gösterirken, kırmızı renk bölgelerin basma altında olduğunu göstermektedir. Şekil 7.38’ de, sol tarafta, ana kirişin yükleme altındaki deformasyonu görülmektedir. Sağda ise, bu deformasyona neden olan kuvvet akışı görülmektedir.



Şekil 7.38 : Ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı

Ana kiriş üzerinde uygulanan yük kombinasyonları, ana kiriş üzerinde sehime ve gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Ana kirişin en fazla gerilmeye maruz kaldığı durum, arabaların ve vincin hareket halindeyken frenleme durumudur. Frenleme esnasında atalet kuvvetleri ortaya çıkarak yatay kuvvetlerin oluşmasına neden olmaktadır. Hem düşey hem de ataletlerden kaynaklanan yatay yükleri kapsayacak yükleme durumu Çizelge 7.1’ de 121, 122,123, 125, 126 ve 127 numaralı kombinasyonlarda verilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde gerilmelerin bulunması için yukarıda sıralanan yükleme kombinasyonları uygulanmıştır.

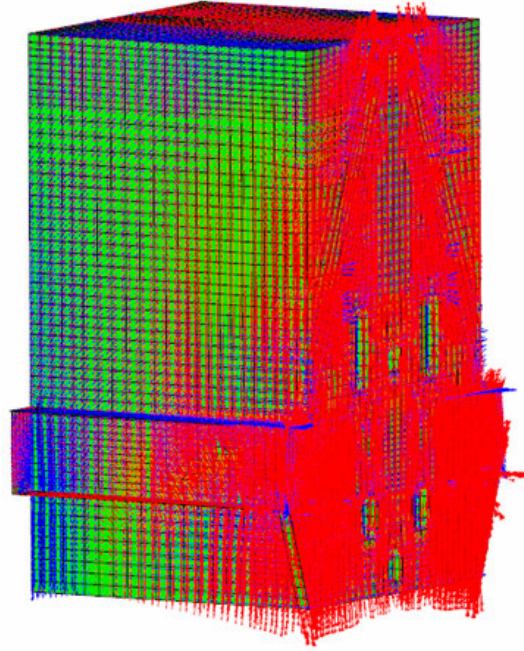


Şekil 7.39 : Ana kiriş üzerinde gerilme dağılımı

Bu bölümde, sırasıyla önce rijit bacak üst kutusu, ana kiriş mafsallı kutusu ve ana kiriş kafes kısmı incelenecektir. Bu çalışmada, tüm kombinasyonlara göre sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre maksimum gerilmeler tespit edilip izin verilen maksimum emniyet gerilmeleriyle karşılaştırılmıştır.

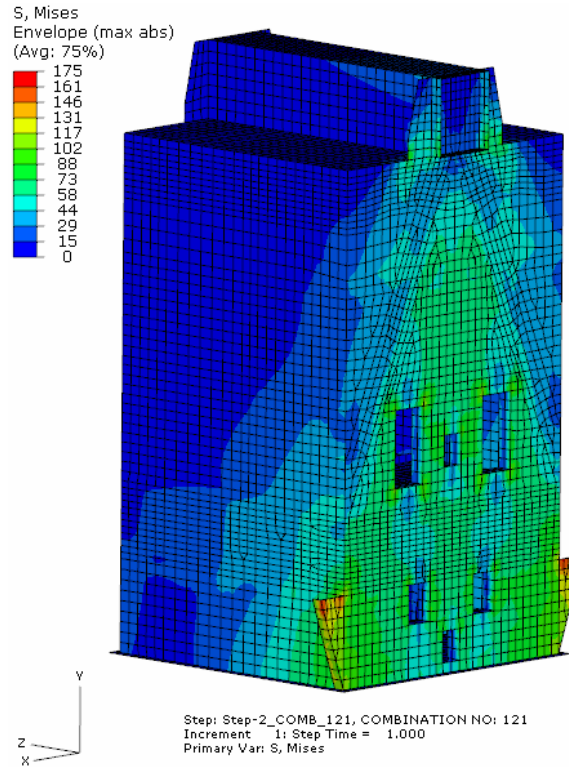
7.11.3 Rijit bacak üst kutusunda meydana gelen gerilmeler

Genellikle arabaların rijit bacağa yakın olduğu konumda yüklenmesi durumunda kutuda maksimum gerilmelerin olduğu gözlenmektedir. Ana kirişe etkiyen yük, rijit bacak üst kutusu ön kısmının basma gerilmesine maruz kalırken, arka kısmı çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Şekil 7.40' de basmaya ve çekmeye çalışan kuvvetlerin akışı görülmektedir.



Şekil 7.40 : Rijt bacak üst kutusundaki çekme ve basma kuvvetleri akışı

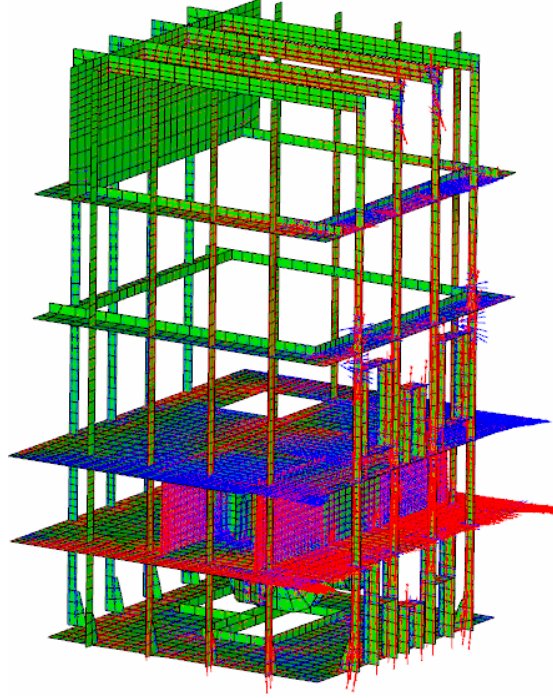
Burada, kırmızı renkli oklar basmaya çalışan kuvvetler olurken, mavi renkliler ise çekmeye çalışan kuvvetlerdir..



Şekil 7.41 : Rijt bacak üst kutusundaki gerilme dağılımı

Şekil 7.41’ de ise, Şekil 7.40’ daki kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler görülmektedir. Şekil 7.41’ de alt kiriş rijit bacak takviyelerinin fazla gerilme altında olduğu anlaşılmaktadır. Gerilme değeri 175 MPa olduğundan, emniyet açısından fazla risk oluşturmamaktadır.

Kutu içerisindeki mukavemet takviye elemanlar üzerindeki akışı Şekil 7.42’ de görülmektedir.

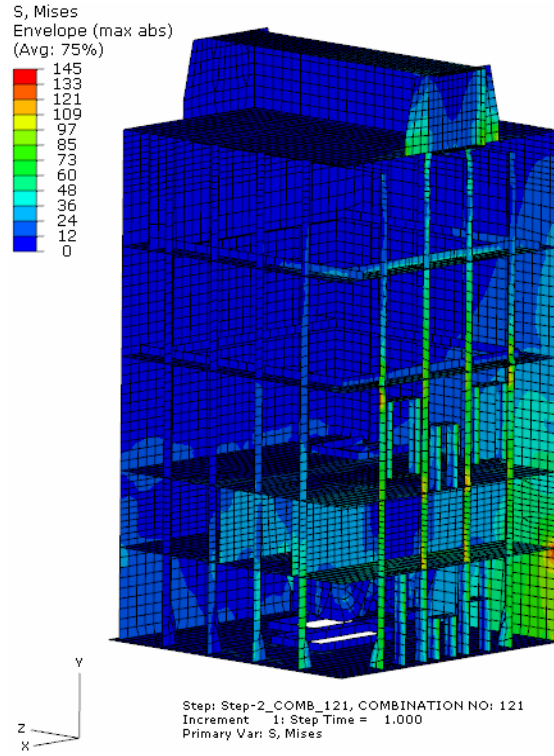


Şekil 7.42 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki gerilme dağılımı

Dikkat edilirse, kutu sağ iç takviyeleri basma altındayken, sol tarafı çekilmeye çalışılmaktadır. Kutu içerisinde, üst yatay sac çekme altındayken, hemen alttaki sac basmaya maruz kalmaktadır.

Kutu içerisindeki mukavemet takviye elemanlar üzerinde oluşan gerilmeler Şekil 7.43’ de görülmektedir.

Şekil 7.43’ de maksimum gerilme 145 MPa olduğundan, emniyet açısından herhangi bir sorun oluşmamaktadır.

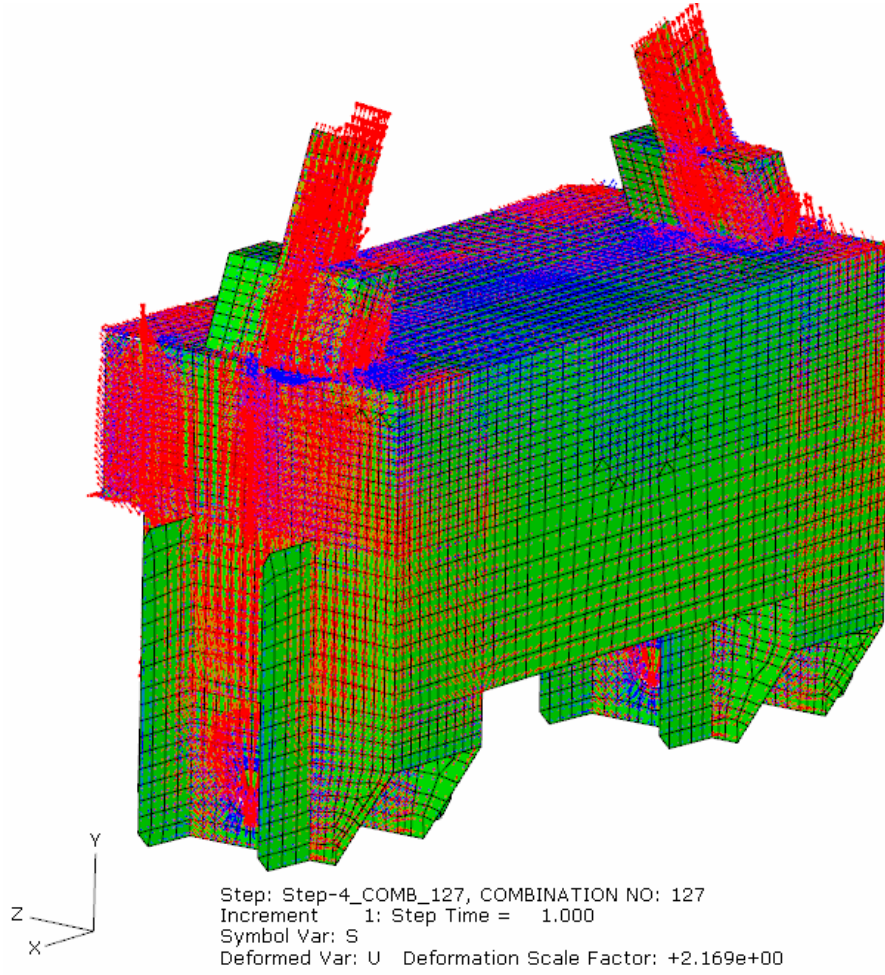


Şekil 7.43 : Rijit bacak üst kutusu içerisindeki gerilme dağılımı

Yukarıdaki şekildeki gerilmeler incelendiğinde, aslında kutunun oldukça mukavim olduğu görülmektedir. Özellikle, kutu üst kısmının ve arka kısmının neredeyse önemsenmeyecek gerilmeler altında olduğu görülmektedir. Bu analiz sonucundan, kutu üst ve arka kısmındaki takviyelerin azaltılabileceği anlaşılmıştır.

7.11.4 Ana kiriş mafsallı kutusunda meydana gelen maksimum gerilmeler

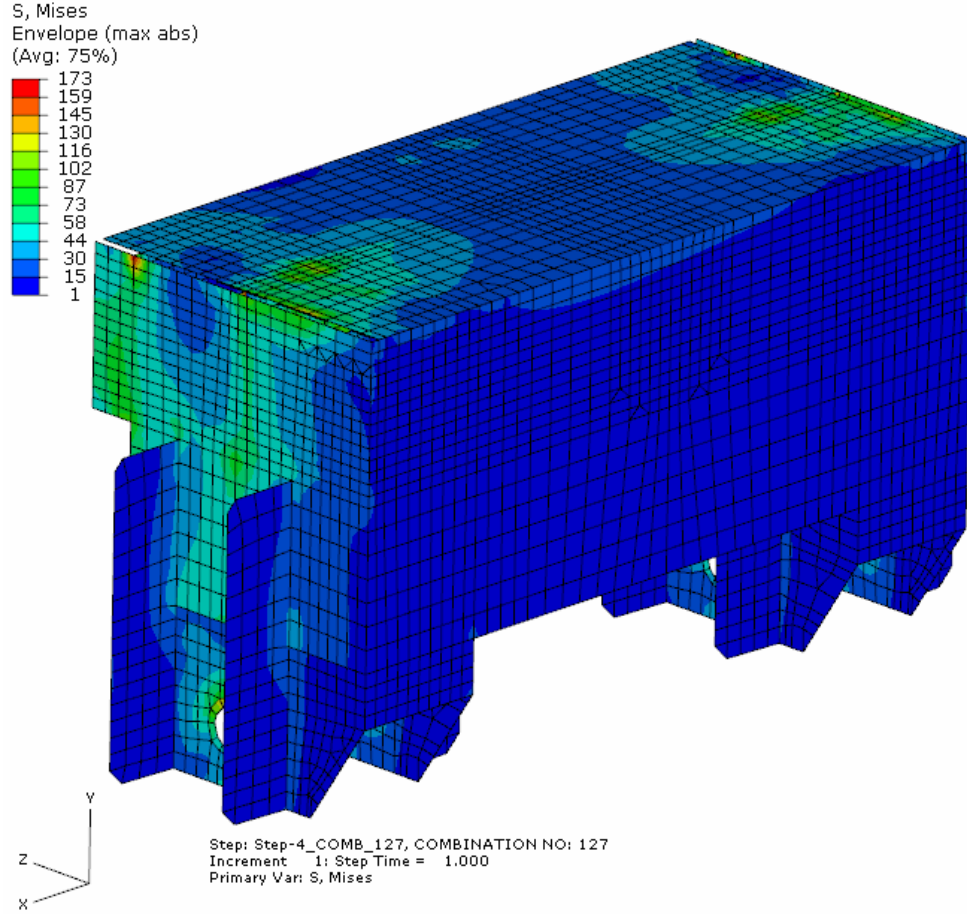
Ana kiriş mafsallı kutusu en çok arabaların mafsallı bacağa yakın olduğu durumda zorlanmaktadır. Özellikle, arabaların mafsallı bacak yönünde fren yapması esnasında mafsallı kutusu üzerindeki çubuklar mafsallı kutusu üzerinde basma etkisi oluşturmaktadır. Şekil 7.44’ te mafsallı kutusu üzerindeki kuvvet akış dağılımı verilmiştir.



Şekil 7.44 : Ana kiriş mafsalsal kutusu üzerindeki kuvvet akış dağılımı

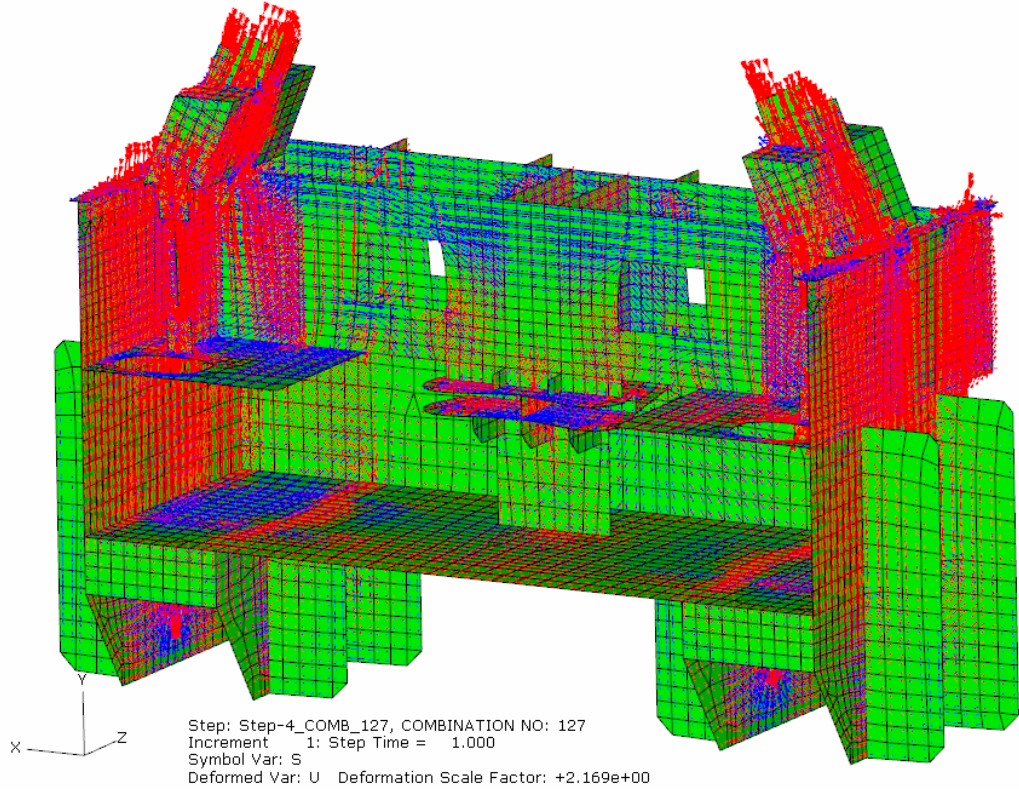
Şekil 7.44' te, mafsalsal kutusu üzerindeki çubukların basma çubukları olduğu, ok renklerinden anlaşılmaktadır. Bu çubuklar üzerinde taşıdığı yükü, mafsalsal kutusu üzerine aktarmaktadır. Bu durumdan en fazla kutunun çubuk altındaki kısımları etkilenmektedir. Kutunun üst sacı çekme kuvvetlerine maruz kalırken, yan saçlar daha çok basmaya çalışan kuvvetler altındadır.

Şekil 7.45' de mafsalsal kutusunun daha önce açıklanan kuvvet akışından dolayı maruz kaldığı gerilmeler görülmektedir.



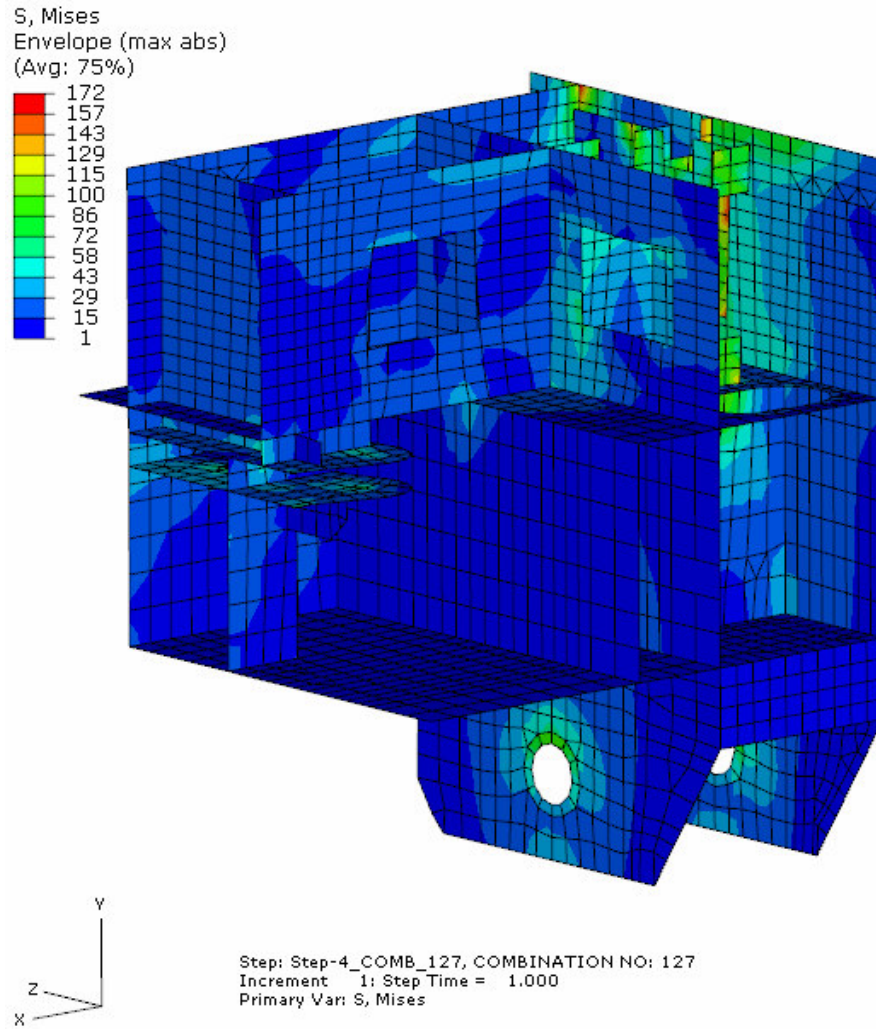
Şekil 7.45 : Ana kiriş mafsalları üzerindeki gerilme dağılımı

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, üst sacda, çubuğun temas ettiği bölgeler basmaya maruz kalmaktadır. Mafsallar üzerinde oluşan gerilmeler ise, hem yataydan, hem de düşeyden etkiyen kuvvetlerin neden olduğu gerilmelere maruz kalmaktadır. Mafsalları taşıdığı yüklere bakıldığında, aslında çok daha fazla gerilmelerin çıkması beklenir. Kutu içine optimum şekilde yerleştirilen takviyeler neticesinde kesit alanları arttığı için gerilmeler düşük çıkmıştır. Şekil 7.46' da kutu içerisindeki kuvvet akışı daha önceden bilindiği için, çubukların bastığı bölgelere yeterince takviyeler konularak, mukavemetleri artırılmıştır.



Şekil 7.46 : Ana giriş mafsall kutusu içerisindeki kuvvet akışı

Şekil 7.46’ da görüldüğü gibi, çubuklardan gelen basma kuvvetleri, çubuk takviyeleri üzerinden mafsallara doğru ilerler. Kutu iç bölümü ise, genelde çekmeye çalışan kuvvetlere mazur kalmaktadır. Basmaya çalışan kuvvetlerin yoğunluğundan da anlaşılacağı üzere, bu bölgelerdeki gerilmelerin yüksek çıkması beklenir. Şekil 7.47’ de bu kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler verilmektedir.

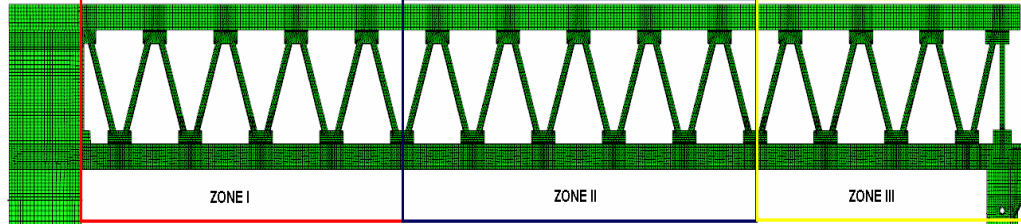


Şekil 7.47 : Ana giriş mafsalsal kutusu içerisindeki gerilme dağılımı

Şekil 7.47’ de renk skalasından, Şekil 7.46’ daki seyrek çekme kuvvetlerine göre, mafsalsal kutusunun orta kısmı aşırı mukavemetli olduğu görülmektedir. Diğer yandan çubuğun bastığı takviye elemanlarının ise kutu içerisinde en fazla gerilmeye maruz kalan parçalar olduğu görülmektedir. Bu analiz sonucunda, kutu orta kısmı içerisindeki takviyelerin azaltılabileceği görülmüştür.

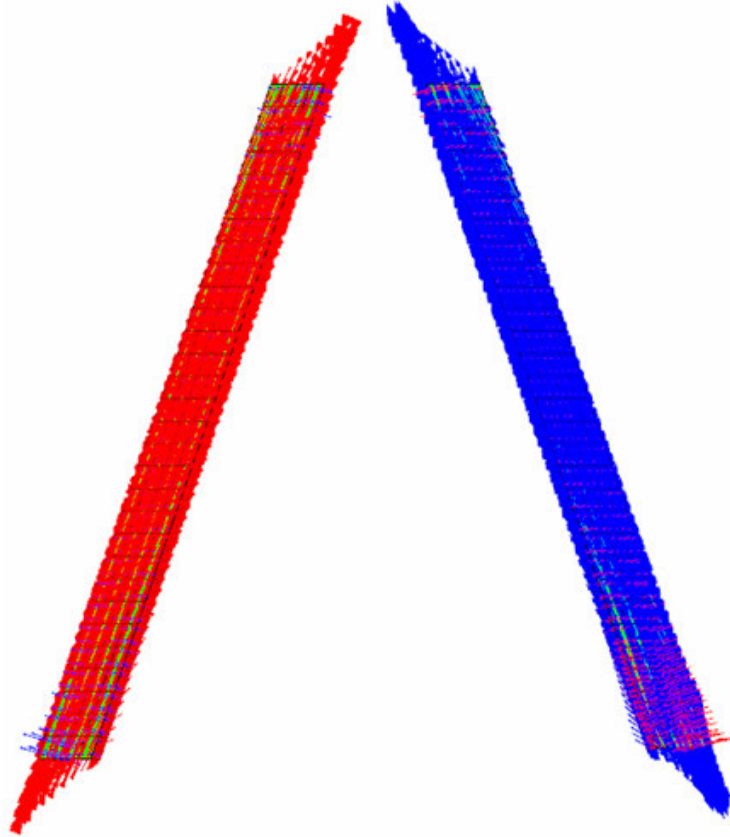
7.11.5 Ana kiriş kafes kısmında meydana gelen gerilmeler

Ana kirişin konstrüktif açıdan karmaşık ve boyunun çok uzun olması nedeniyle, ayrıntılı bir şekilde analiz sonuçlarının incelenebilmesi için ana kiriş kafes kısmı Şekil 7.48’ deki gibi 3 bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 7.48 : Ana kiriş kafes bölümünün 3 farklı kısma ayrılarak incelenmesi

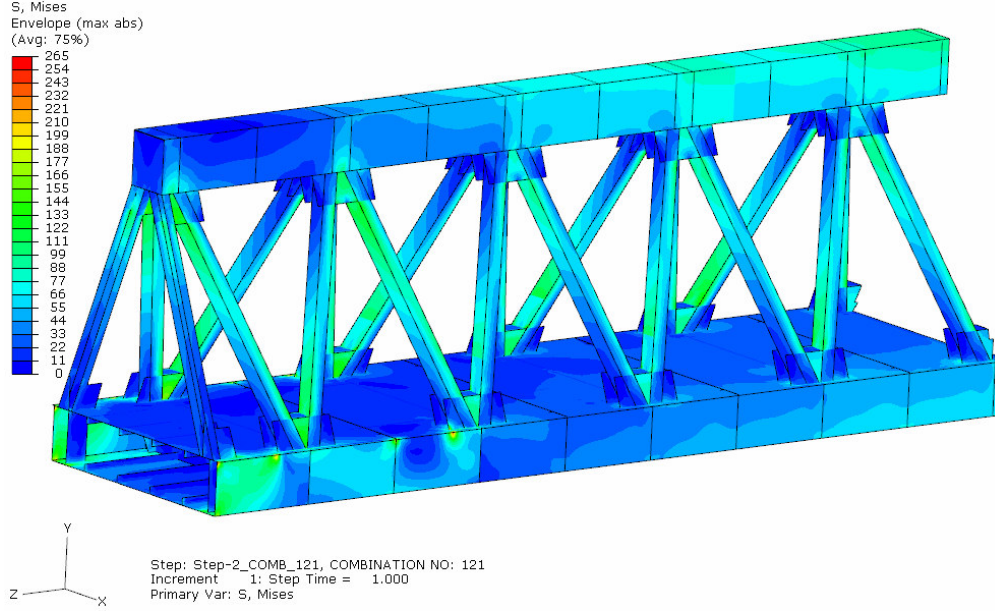
Ana kirişin kafes kısmı en çok gerilmeye maruz kalan kısımdır. Asıl taşıyıcı elemanlar olan çubuklar hem dikey hem de yataydan etkiyen kuvvetlerin etkisine maruz kalmaktadırlar. Çubukların bir kısmı basınca maruz kalırken diğer kısmı çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır (Şekil 7.49).



Şekil 7.49 : Basmaya ve çekmeye maruz kalan çubuk çifti

Şekil 7.49’ da mavi renkli oklar çekme kuvvetlerini gösterirken, kırmızı renkli oklar basma kuvvetlerini göstermektedir.

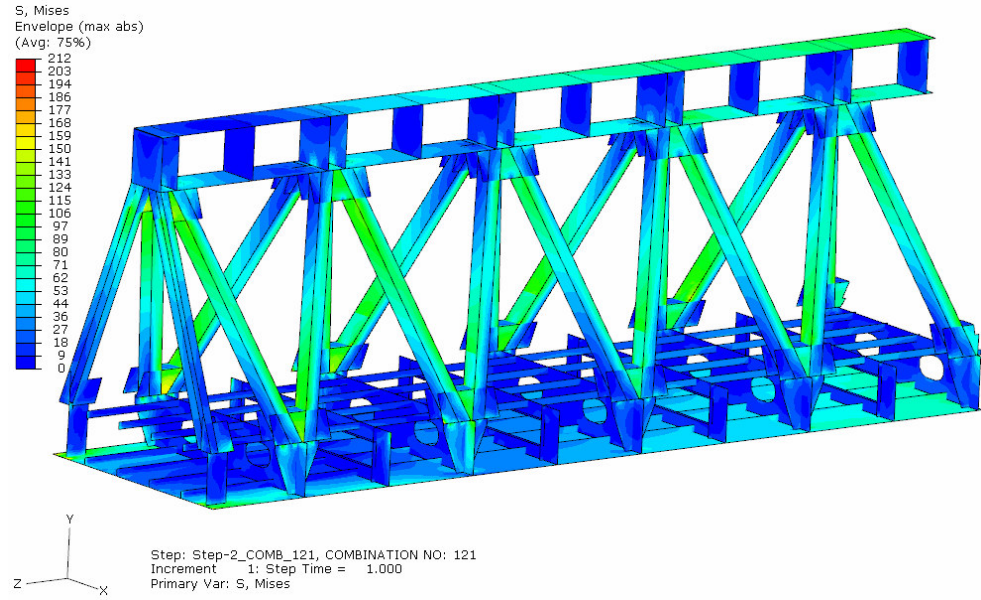
Şekil 7.50’ de, kafes kirişin 1. Bölgesi ‘nin gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 7.50 : Ana kiriş kafes bölge I ‘deki gerilmeler dağılımı

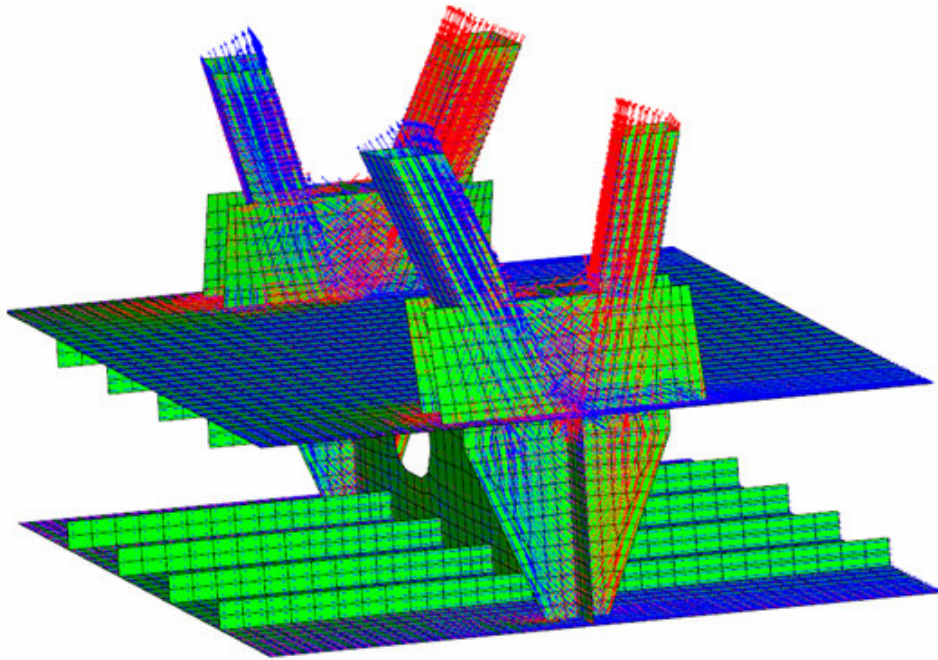
Şekil 7.50’ de, üst kirişin sol tarafında neredeyse gerilme oluşmazken, sağ tarafta ise fazla gerilme oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeni, yükleme kombinasyon I’ de yük rijit bacak yakınına, ana kirişe etkilmesi sırasında, yük etkisinin büyük bölümü rijit bacak üst kutusu tarafından taşınır.

I nolu kafes bölümü iç takviyeleri Şekil 7.51’ de incelenmiştir. Alt kiriş ve üst kiriş içerisindeki gerilme dağılımlarına dikkat edersek, aslında buruşma takviyelerinin diğer takviyelere nazaran çok daha az gerilmelere maruz kaldığı gözlenmektedir.



Şekil 7.51 : Ana kiriş bölge I deki kiriş içerisinde oluşan gerilemeler

Alt kiriş içerisindeki boyuna giden profiller üzerindeki gerilme dağılımı, soldan sağa doğru düzgün bir şekilde artmaktadır. Ayrıca Şekil Şekil 7.52 'den alt kiriş deformasyonundan, üst ve alt sacın çekmeye maruz kaldığı görülmektedir.

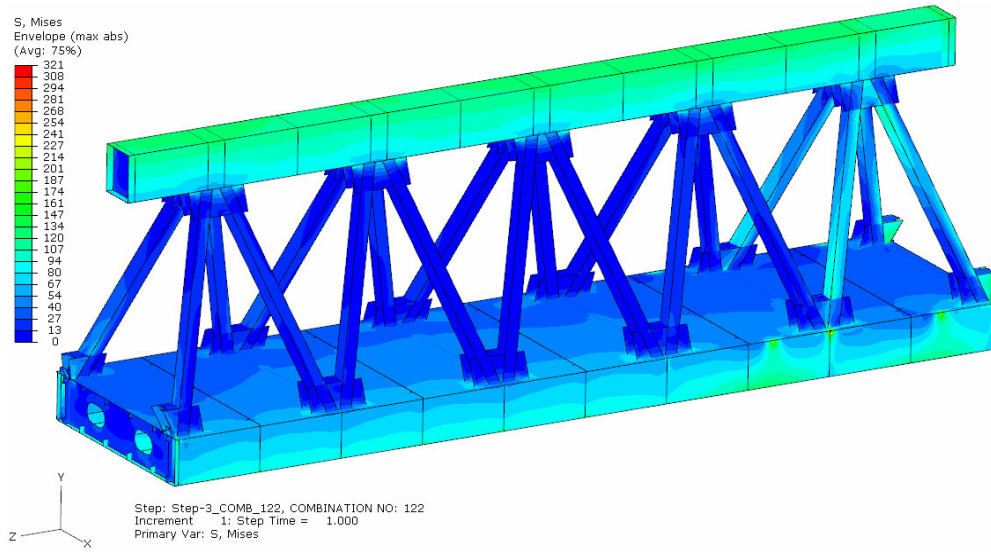


Şekil 7.52 : Alt kiriş üzerindeki kuvvet dağılımı

Şekil 7.52' de, çubuk altı takviye elemanı, hollandanda profili, çubuk sistemindeki kuvvet dağılımı görülmektedir. Hollandanda profilleri çekmeye çalışan kuvvetlere maruz

kalmaktadır. Çubuk altı takviyelerde ise, hem çekme hem de basma kuvvetleri olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, yine Şekil 7.52’ de görüldüğü üzere, çubuklardaki kuvvet dağılımıdır. Soldaki çubuk çekmeye maruz kalırken, sağdaki çubuk basma gerilmesine maruz kalmaktadır.

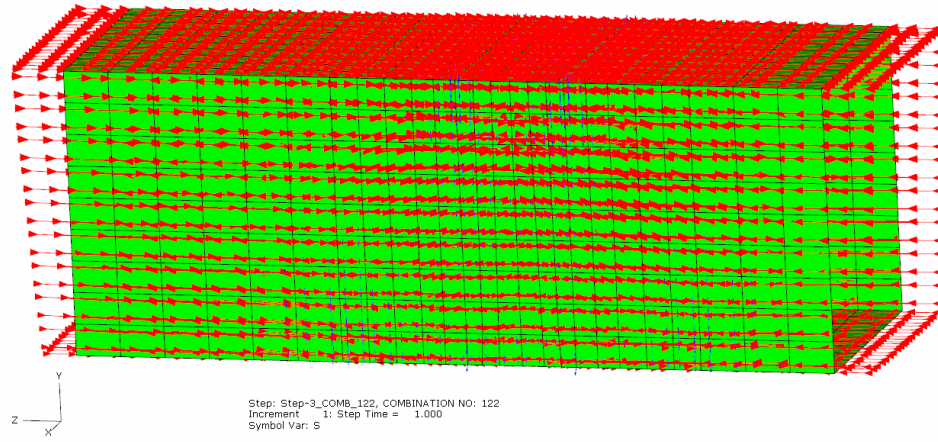
Ana kiriş bölge II deki gerilmelerin en çok, yükün kiriş ortasında olduğu durumda meydana geldiği düşünülürken, elde edilen sonlu elemanlar analizinde yük kirişin ortasındayken çubukların büyük bölümü çok az gerilmeye maruz kalmaktadırlar.



Şekil 7.53 : Ana kiriş bölge II’ deki gerilme dağılımı

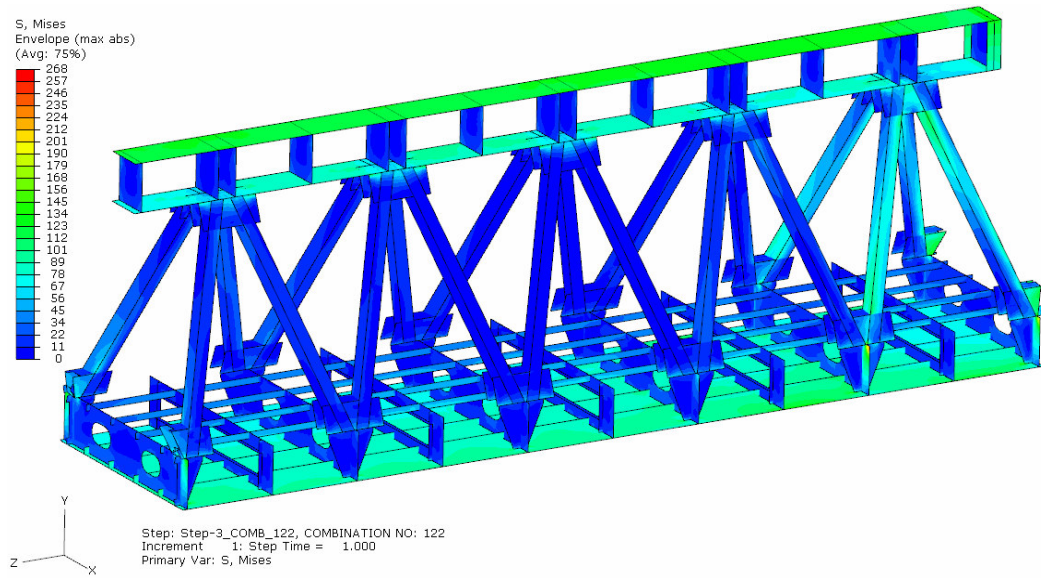
Şekil 7.53’ de üst kirişin fazla gerilme altında olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kombinasyon 122 yüklemeğinde, üst kiriş basma gerilmelerine maruz kalır.

Şekil 7. 54’ de üst kiriş üzerinden alınan küçük bir dilimde, kuvvet akış yönünden de anlaşılacağı gibi, üst kiriş basma gerilmesine maruz kalmaktadır.



Şekil 7.54 : Üst kiriş üzerindeki kuvvet dağılımı

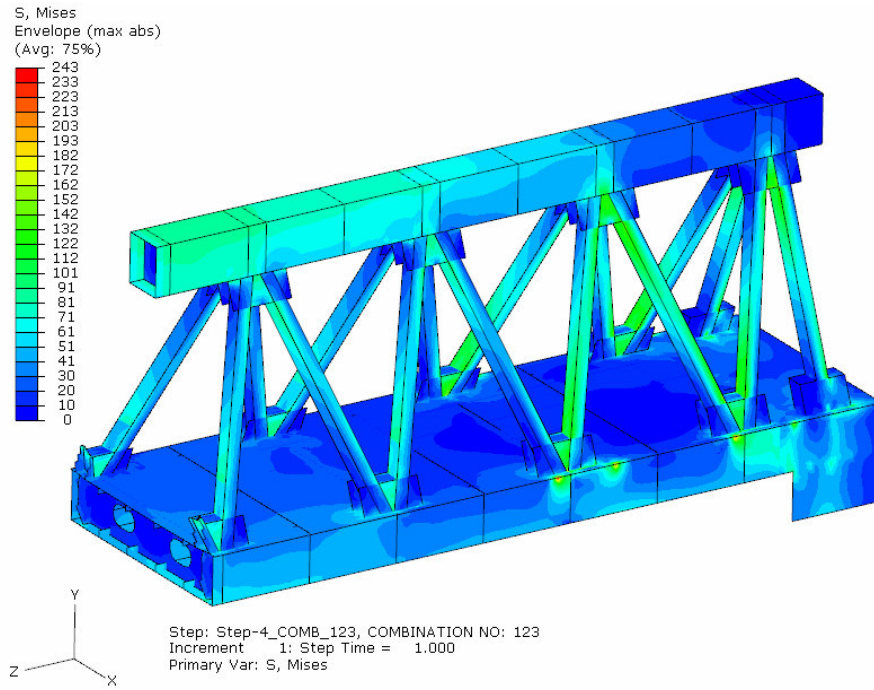
Ana kiriş orta bölümündeki mukavemet elemanlarının maruz kaldığı gerilmeler aşağıdaki gibi görülmektedir.



Şekil 7.55 : Anakriş bölge II deki kiriş içlerindeki oluşan gerilemeler

Alt kiriş ve üst kiriş içerisindeki gerilme dağılımlarına dikkat edilirse, aslında buruşma takviyelerinin diğer takviyelere nazaran çok daha az gerilmelere maruz kaldığı görülmektedir.

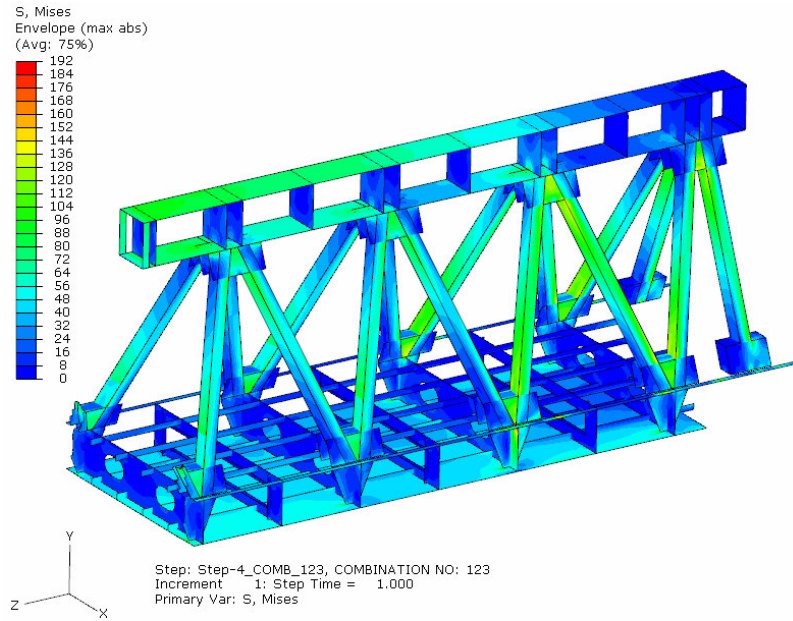
Ana kirişin mafsallı bacakları tarafındaki kısımda (Bölge III) oluşan gerilmeler Şekil 7.56’ da verilmektedir.



Şekil 7.56 : Ana kiriş bölge III’ deki gerilme dağılımı

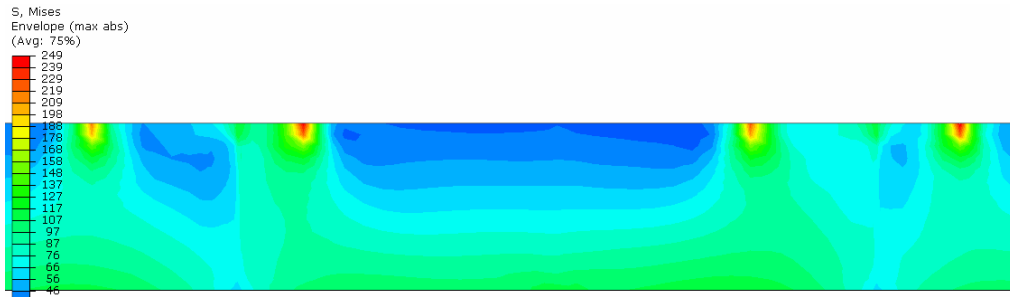
Şekil 7.56’ ya göre ana kirişin mafsallı bacakları tarafındaki, üst kiriş bölümünde gerilmeler çok az oluşmaktadır. Bunun nedeni, mafsallı bacağa doğru gidildikçe, kafeslerden gelen yükün büyük bölümünün alt kiriş tarafından taşınmasıdır. Ayrıca, Şekil 7.57’ den de anlaşılacağı üzere, üst kiriş uç kısmında, takviyeler arasındaki mesafe diğer kısımlarına göre daha dardır. Bu durum, bu bölgelerde mukavemet artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla, buradaki takviye miktarında azaltmaya gidilebilir.

Ana kiriş III. bölümündeki mukavemet elemanlarının maruz kaldığı gerilmeler aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 7.57 : Ana kiriş bölge II deki kiriş içlerindeki oluşan gerilemeler

Şekil 7.57 'te alt kiriş yan saclarına dikkat edildiğinde yüksek değerli noktasal gerilmelerin olduğu görülmektedir. Bu gerilmelerin noktasal bir şekilde oluşmasının nedeni, bahsi geçen gerilmelerin üzerinde bulunan düğüm noktalarına tekil yüklerin direkt olarak uygulanmasıdır. Bu noktasal kuvvetler, aslından ana kiriş üzerinde hareket eden araba tekerlerinin uyguladığı kuvvet olarak düşünülmüştür. Şekil 7.58' de yan sacın bir kısmı yakın planda görülmektedir.



Şekil 7.58 : Noktasal gerilmeler

Gerçek uygulamada hiçbir zaman tekerler veya herhangi bir cisim diğer cisim üzerine noktasal olarak kuvvet uygulamaz. Oldukça hassas işlenmiş tekerlerin bile durdukları nesneye noktasal yerine çizgisel basmaktadırlar. Dolayısıyla oluşan bu yüksek gerilmeler göz ardı edilebilir.

Yan sac kaldırıldığında Şekil 7.51, Şekil 7.53 ve Şekil 7.55’ de gerilme skalasında değerler 40 MPa’ dan fazla düştüğü görülmektedir.

Yine Şekil 7.51, Şekil 7.53 ve Şekil 7.55’ deki takviye elemanlar üzerine düşen gerilmeler incelendiğinde aslında buruşma takviyelerinin diğer takviyelere nazaran çok az gerilmelere maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Diğer değişle, bu takviye elemanları ya çok az kuvvet taşımaktalar, ya da üzerlerine gelen kuvvet akışının meydana getirdiğı etkiye karşı aşırı mukavemetlidirler. Halbuki buruşma takviyelerinin bağlanmış oldukları üst ve alt saclara bakıldığında, aslında takviyelerin bulundukları bölgelerin fazla gerildiğı görülmektedir. Bu durum şunu açıklamaktadır; buruşma takviyeleri kuvvet taşımamaktadır.

Boyuna giden takviye elemanlar incelendiğinde ise, bu parçaların fazla gerileme altında oldukları, yani üzerlerine düşen yükün etkisinin fazla olduğı anlaşılmaktadır. Bu durum, boyuna giden, daha önceden eğilme mukavemeti sağlayacağı düşünülen takviyelerin gerçekten de ana kirişin eğilmeye karşı mukavemet sağladığı bu analizler sonucunda anlaşılmaktadır.

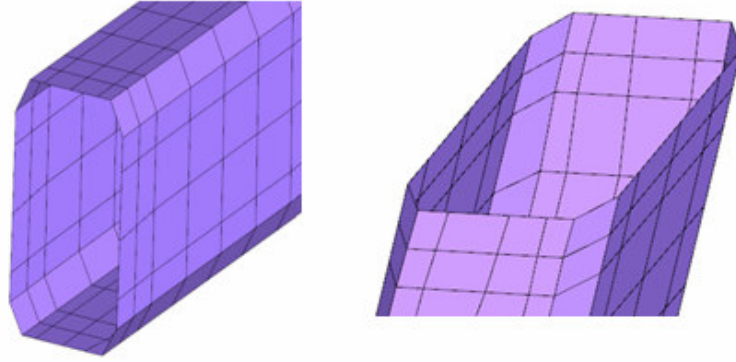
7.11.6 Çubukların yuvarlak köşeli modellenmesi

Gerçek sistemde kutu profillerin köşeleri yuvarlaktır. Yuvarlak köşeli profillerin, keskin köşeli çubuklardan farkı, keskin köşeli sistemdeki gerilmeler, köşelerde toplandığından bu bölgelerde oluşan gerilmeler fazla olur. Yuvarlak köşeli sistemlerde ise bu köşelerdeki kuvvet geçişleri daha yumuşak ve düzgün olduğundan fazla gerilme toplamazlar.

Modelleme aşamasında, yuvarlak köşeli kutu biçimli çubukların modellenme süreci keskin köşeli çubuk modellenmesinden yaklaşık olarak %70 daha fazla süre almaktadır.

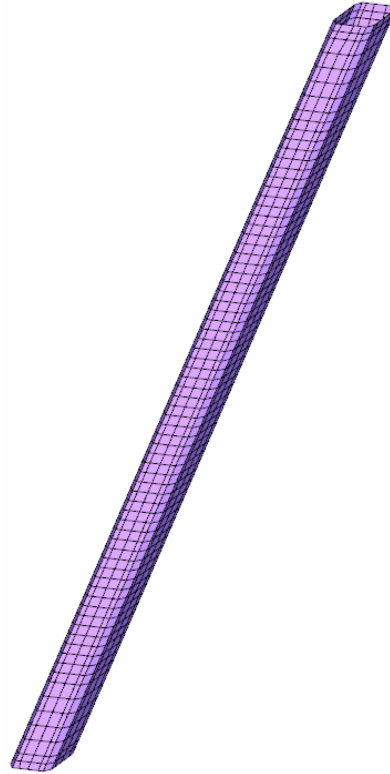
Ana kiriş kafes montajından, rijit bacadan itibaren 5. çubuk, yuvarlak köşeli olarak modellendi. Diğer çubukların geometrisi ise değiştirilmedi. Yani, sadece 5. çubuk yuvarlak köşeli olarak değiştirilirken, diğerleri keskin köşeli olarak kaldı. Çizelge 7.1’ deki kombinasyonlar uygulanarak sonlu eleman analizi için modelleri hazırlandı. Elde edilen, sonlu eleman sonucuna göre, 5 numaralı yuvarlak köşeli çubuk geometrisi ile, daha önceden analiz edilen yine 5 numaralı ama keskin köşeli çubuk modeli arasındaki gerilme farklarının, modelleme sürecinin uzun olmasına karşın tercih edilip edilmemesi sonucunu verecektir.

Aşağıda, yuvarlak köşeli çubuğun meshlenmiş modelinin uç kesitleri görülmektedir.



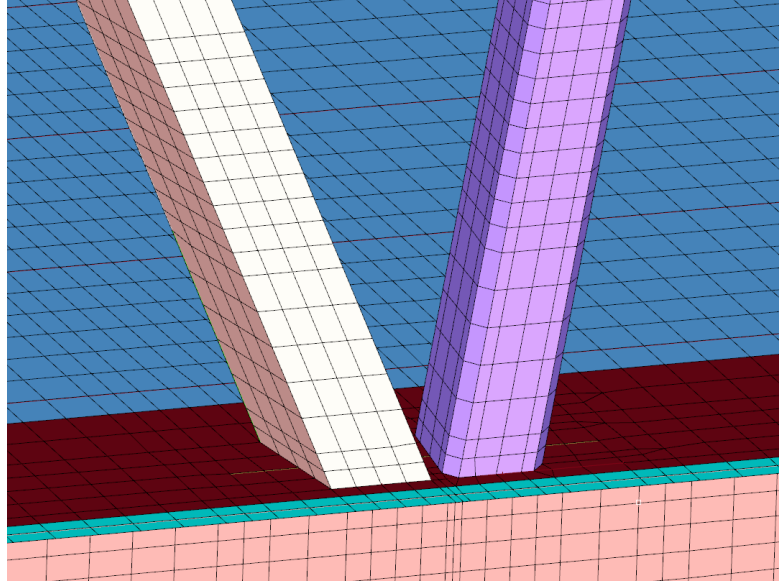
Şekil 7.59 : Yuvarlak köşeli çubuk modelinin uç kesitleri

Yukarıdaki şekle dikkat edilirse, köşeler gerçek sisteme benzetilmeye çalışılmıştır. Köşelerdeki mesh sayısının fazla veya az olması köşenin yuvarlaklığını belirlemektedir. Çubuğun boyuna görüntüsü, aşağıdaki şekilde verilmiştir.



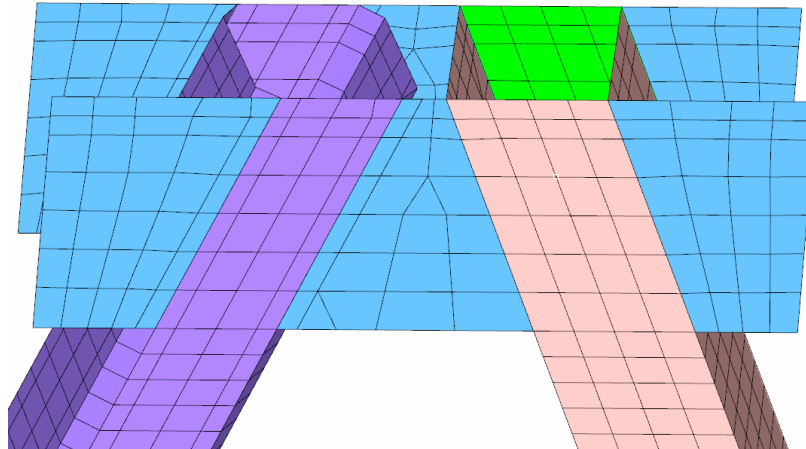
Şekil 7.60 : Yuvarlak köşeli çubuk modeli

Her iki çubuğun, yuvarlak ve sivri köşeli, modelleri hazırlanarak kafes sisteme montajlandı. Çubukların birbirinden geometrik farkının daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekilde görüntüleri alındı.



Şekil 7.61 : Yuvarlak köşeli çubuk modeli ile keskin köşeli çubuğun görünümü

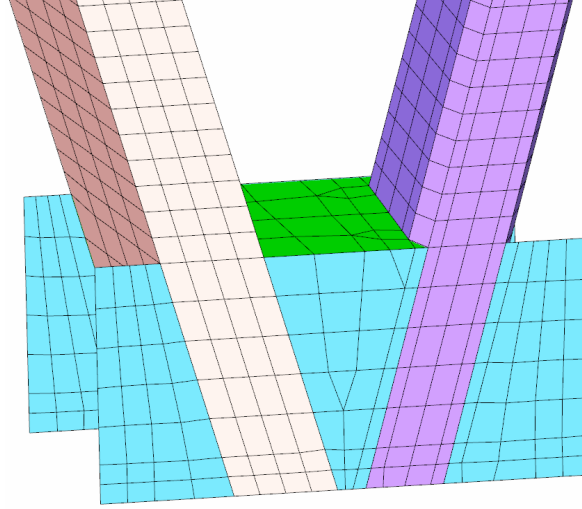
Çubukların kesitleri aşağıdaki şekilde daha iyi anlaşılmaktadır. Çubuklar arasındaki kesit farkları, üzerlerinde oluşan gerilmeleri etkileyecektir.



Şekil 7.62 : Yuvarlak köşeli keskin köşeli çubuğun kesitleri

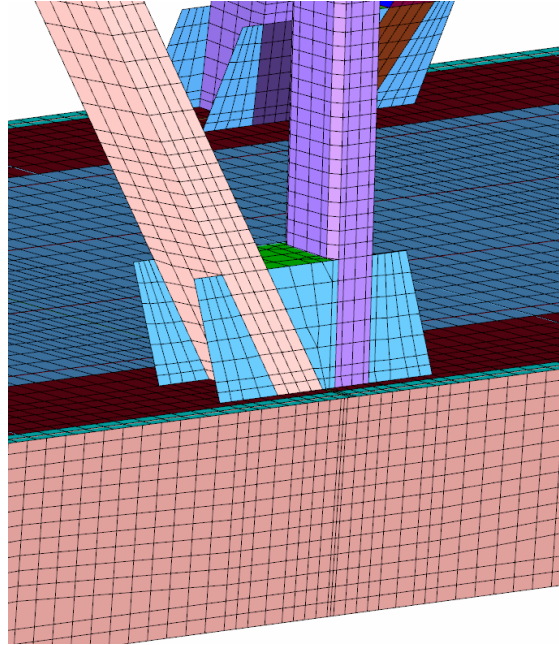
Kafes sistemlerinde, çubuklar, hesap kolaylığı açısından pim veya mafsalsal bağlantılar ile bağlanmaktadır. Gerçek sistemlerde ise, bu bağlantılar, genellikle hareketsiz bağlantılardır. Kren tasarımında, bu bağlantılar, kaynaklı bağlantı şeklinde

düşünülmüştür. Buna göre, çubuklar, birbirilerine levhalarla yatay ve dikey olarak kaynatılacaktır. Şekil 7.63’ de çubuklar yanlardan ve üstten iki adet levhayla kaynatıldığı görülmektedir.



Şekil 7.63 : Çubukların birbirilerine bağlanma şekli

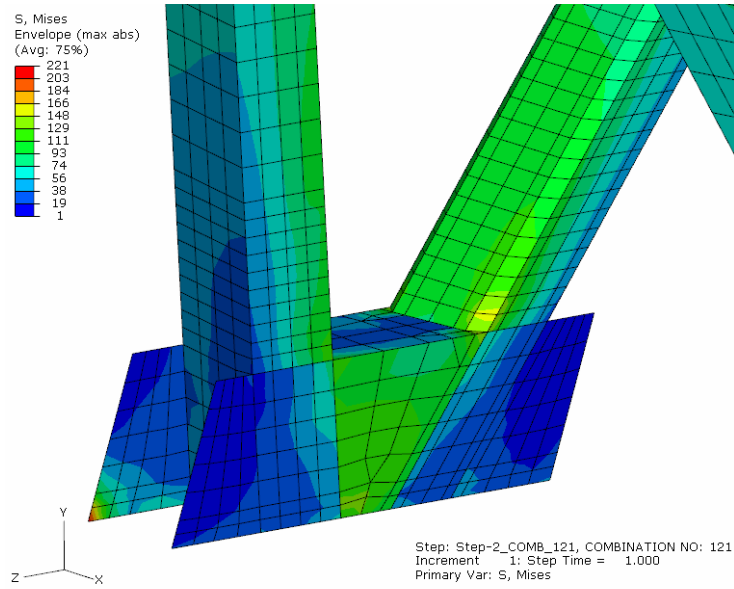
Birbirine bağlanmış çubuklar, ana kiriş alt başlığına aşağıdaki şekilde montajlanırlar.



Şekil 7.64 : Çubukların alt kirişe montajlanması

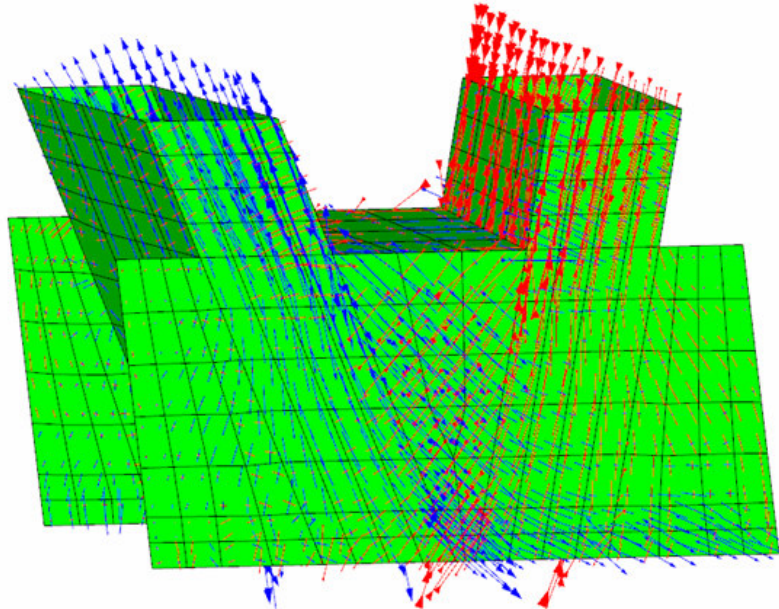
Keskin ve yuvarlak köşeli çubuk modellerinin bir arada montajlandığı modele, Çizelge 7.1’ deki 121 numaralı kombinasyon uygulandı.

Sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen sonuç aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 7.65 : Çubuk montajının sonlu eleman analizi

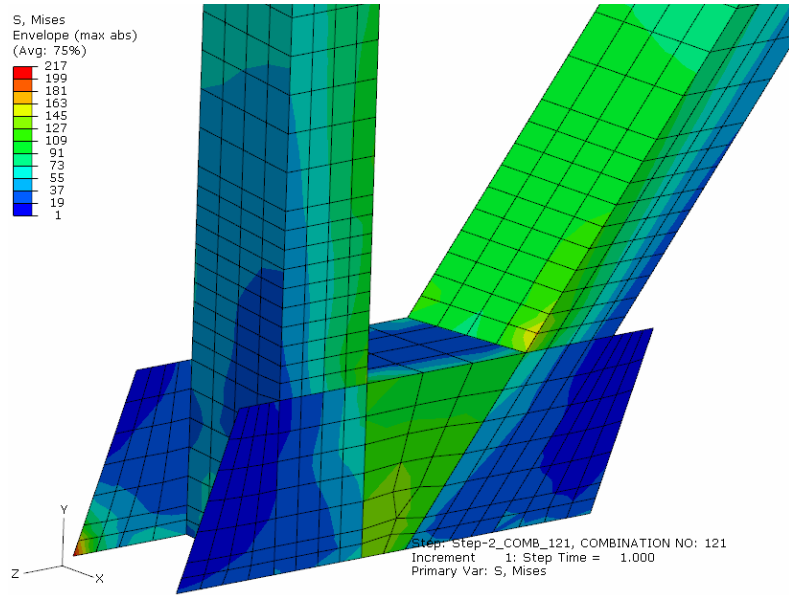
Çubuk montajı üzerinde oluşan gerilmeler Şekil 7.65’ de görülmektedir. Montaj levhalarındaki gerilmeler, çoğunlukla çubuklar arasındaki kısımlarında oluşmuştur. Bunun nedeni, yüklenme durumunda, iki çubuk birbirinden ayrılmaya çalışmaktadır. Bu ise, yan montaj levhasından çekme gerilmelerine neden olmaktadır (Şekil 7.66).



Üstteki montaj levhasında ise, gerilmeler neredeyse sadece çubukların köşelerine yakın yerlerde oluşmaktadır. Orta kısımlarda ise gerilmeler çok düşüktür. Bunun nedeni, çubuklardan birinin basmaya maruz kalırken, diğeri çekmeye çalışmaktadır. Şekil 7.66’ da görüldüğü üzere, çekme ve basma kuvvetlerine üst montaj levhasının yakın olan kısımları maruz kalmamaktadır.

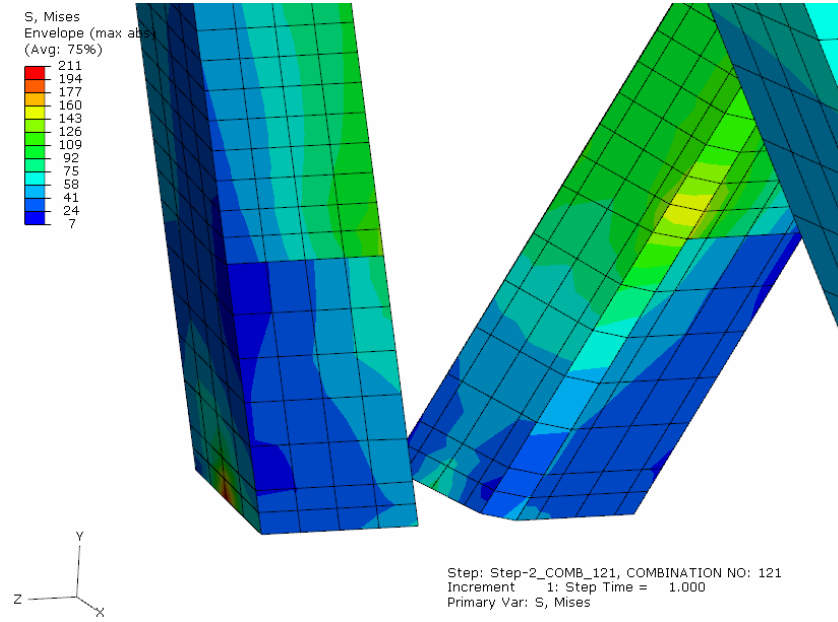
Montaj levhasında oluşan gerilme aralığı 111 MPa – 129 MPa arasında olduğu Şekil 7.65’ deki skaladan anlaşılmaktadır.

Şekil 7.67’ de ise iki keskin köşeli çubuk montajı üzerinde oluşan gerilemeler görülmektedir. İki çubuğu birleştiren montaj levhalarında oluşan gerilmeler, renk skalasından 127 MPa – 145 MPa arasında olduğu görülmektedir. Bu ise, yuvarlak köşeli çubuk montaj levhasında oluşan gerilme değerinden 26 MPa daha büyük olduğu anlamına gelmektedir.



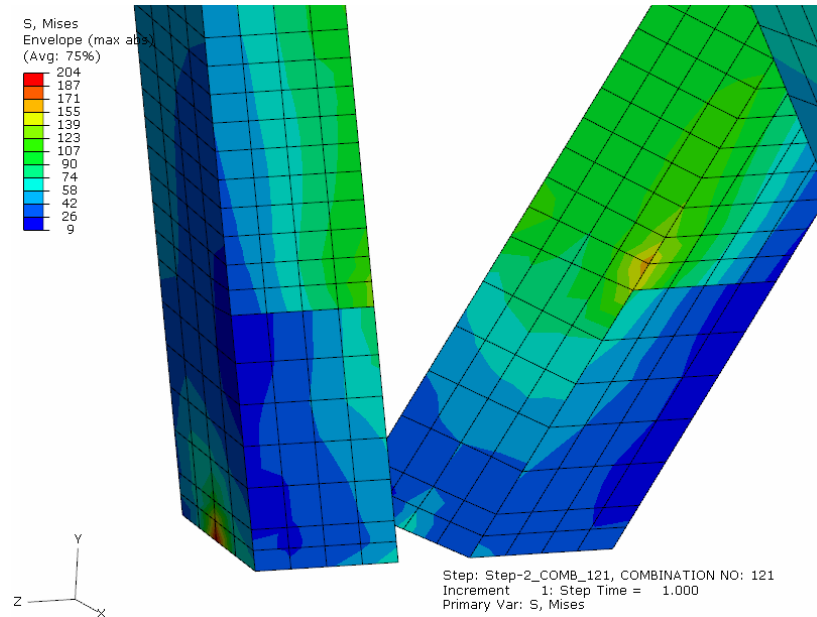
Şekil 7.67 : Keskin köşeli çubuk montajı üzerinde oluşan gerilmeler

Yuvarlak ve köşeli çubuklar üzerinde oluşan gerilmeler ise, aşağıdaki şekilde verilmektedir. Çubuklar üzerinde, çubuk uçlarına doğru gidildikçe gerilmelerin aniden değiştiği, gerilme sürekliliğinin bozulduğu görülmektedir. Bunun nedeni, çubukları birleştiren montaj levhaların o bölgelerde kaynatılmış olmasıdır. Montaj levhası, bir çeşit takviye rolü de üstlendiği için ve takviyenin bulunduğu bölgede kesitler arttığı için çubukların o bölümlerdeki gerilmeleri düşmektedir.



Şekil 7.68 : Keskin ve yuvarlak köşeli çubukların üzerinde oluşan gerilemeler

Gerilme skalasından, yuvarlak çubuk üzerinde (5. çubuk) oluşan maksimum gerilme 160 MPa olarak okunmaktadır. Bu gerilme değeri, emniyet gerilmesinden (175 MPa) daha düşüktür. Aşağıdaki şekilde ise iki keskin köşeli çubuk montajından, çubuklar üzerinde oluşan gerilmeler verilmektedir.



Şekil 7.69 : Keskin köşeli çubukların üzerinde oluşan gerilemeler

Şekil 7.69 'da, renk skalasından, 5. çubuk üzerinde oluşan gerilme değeri maksimum 187 MPa olarak okunmaktadır. Aynı ama iki farklı geometrik biçime sahip çubuklar modelleri arasındaki fark, 27 MPa olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, daha önceden keskin köşeli olarak modellenen 5. çubuk ile daha sonra yuvarlak olarak modellenen 5. çubuk modelleri sonlu eleman sonuçlarına göre karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmalarda, çubuk montaj levhalarında ve 5. çubuk üzerinde oluşan gerilme değerlerinde iki model arasındaki fark 26–27 MPa civarında olduğu anlaşılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, yuvarlak köşeli çubuk modelinde kafes kirişin daha az gerilmelere maruz kaldığı görülmüştür. Diğer taraftan, modelleme süreci karşılaştırıldığında, keskin köşeli çubuk modelleme süreci, yuvarlak köşeli modelleme sürecine göre %70 daha kısa sürdüğü görülmüştür. Dolayısıyla, çubukların keskin köşeli olarak modellenmesinin tercih edilmesinin yanında, keskin köşeli çubuk kafes sistemlerinde, elde edilen gerilme değerleri gerçekte 25 MPa daha az olduğu akılda bulundurulması gerekmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Statik analiz belki de mühendisler tarafından kullanılan en yaygın analiz türüdür. Yüklerin anlık olarak uygulandığı kabul edildiği için, zamana bağlı herhangi bir etki ihmal edilmiştir. Lineer statik analizde yüklü yapıya uygulanan toplam gerilmeyi dengelemek için anlık olarak bir iç gerilme yarattığı düşünülür. Lineer analizde tüm yapısal cevaplar statik olup, dolayısıyla geometri ve malzemenin cevapları da lineerdir. Yani Hook kanununda olduğu gibi malzeme lineer olarak davranır [10].

Kafes ana kirişli krenin ana kiriş mukavemet hesapları DIN, FEM ve geleneksel mukavemet hesaplama yöntemleriyle yapıldı. Yapılan hesaplara göre, ana kirişin iki boyutlu kesitleri elde edilerek altıncı bölümde üç boyutlu katı modelleri hazırlandı. Hazırlanan bu katı modeller yedinci bölümde Hypermesh programıyla meshlendi. Meshlenen modeller birleştirilerek krenin meshlenmiş montajı hazırlandı. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak Abaqus/CAE programı yardımıyla FEM normlarının belirttiği yükleme kombinasyonları Çizelge 7.1, Çizelge 7.2’ deki gibi hazırlanarak, analizler yapıldı. Sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen gerilme sonuçları, lineer hesaplamalarla bulunan gerilmeler Çizelge 8.1’ de karşılaştırıldı.

Çizelge 8.1’ den açıkça anlaşıldığı üzere iki metot arasında maksimum fark %8’ i geçmemektedir. Bu fark öncelikle analitik hesapta yapılan kabullerden ve daha sonra sonlu elemanlar yöntemindeki sayısal yaklaşımdan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 8.1: SEM analizi ile analitik hesaplamanın karşılaştırılması

Çubuk No	Analitik Hesap Birleşik Gerilme (MPa)	S. Elemanlar V.Misses (MPa)	Fark %
1	133,0	135	1,5
2	135,5	136	0,4
3	141,0	143	1,4
4	149,1	150	0,6
5	165,0	166	0,6
6	143,4	149	3,9
7	158,8	162	2,0
8	136,4	137	0,4
9	150,9	151	0,0
10	135,4	144	6,4
11	130,8	133	1,6
12	120,3	126	4,7
13	115,0	124	7,8
14	109,3	112	2,4
15	105,6	102	3,4
16	126,9	123	3,1
17	132,9	137	3,1
18	137,2	140	2,0
19	125,1	125	0,1
20	142,9	142	0,6
21	130,1	128	1,6
22	137,1	127	7,4
23	137,0	127	7,3
24	130,2	134	2,9
25	127,9	131	2,5
26	146,8	143	2,6
27	103,4	109	5,4
28	108,3	101	6,7

Bu çalışma sonucunda, ana kirişin düşey doğrultuda yapacağı sehimler, hem geleneksel hesap yöntemiyle, hem de sonlu elemanlar yöntemiyle tespit edildi. Sehim analizinde, arabalar yüklü haldeyken ana kirişin ortasında olduğu konumda iken, krenin yüksüz ve yüklü haldeyken analizleri yapıldı. Kren yüksüz haldeyken bulunan sehim değeri, krenin yüklü haldeyken yaptığı sehimden çıkarılarak, yükten kaynaklanan sehim değeri elde edildi. Ayrıca, SEM yönteminin doğruluğunu daha detaylı araştırmak için, krenin zati ağırlığından oluşan sehim değeri de ayrıca bulundu. Çizelge 8.2’ de hesapla elde edilen sehim verileriyle, sonlu elemanlar sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldı.

Çizelge 8.2: SEM analizi ile analitik hesap karşılaştırılması

	Analitik Hesap Birleşik Gerilme (MPa)	S. Elemanlar V.Misses (MPa)	Fark %
Zati	10,4	12,0	15,5
Yük	41,8	43,6	4,2
Vinç Boşken		17,5	
Vinç Yüklüyken		61,1	

Çizelge 8.2’ den açıkça anlaşıldığı üzere iki metot arasında maksimum fark %16 yı geçmemektedir. Bu fark, öncelikle analitik hesapta yapılan kabullerden ve daha sonra sonlu elemanlar yöntemindeki sayısal yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kren bacalarının yaptığı sehimler, analitik hesapta dikkate alınmamaktadır. Sehim tespiti sonucunda, FEM normlarının belirttiği, 1/800 değerinden sehimler küçük çıktığından, ana kiriş sehiminin uygun olduğu görülmüştür.

Analiz sonucunda, takviyelerde oluşan gerilmelere bakıldığında, aslında buruşma takviyelerinin hiç yük taşımadığı görülmektedir. Hâlbuki buruşma takviyelerinin montajlanmış oldukları üst ve alt saclara bakıldığında, aslında takviyelerin bulundukları bölgelerin fazla gerildiği görülmektedir. Bu durum şunu açıklamaktadır; buruşma takviyeleri kuvvet taşımamaktadır. Buruşma takviyeleri düşünüldüğü gibi sadece buruşmaya karşı mukavemet sağlamakta, eğilme, basma veya çekmeye karşı mukavemet sağlamamaktadır. Bu analiz sonucunda, bu elemanların mukavemetinin düşürülebileceği anlaşılmıştır. Özellikle, ana kiriş mafsallı kutusunun, orta takviye sacının kalınlığı ile rijit bacak üst kutusu yatay levha kalınlıkları azaltılabilir.

Boyuna giden takviye elemanlar incelendiğinde ise, bu parçaların fazla gerilme altında oldukları, yani üzerlerine düşen yükün etkisinin fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, boyuna giden, daha önceden eğilme mukavemeti sağlayacağı düşünülen takviyelerin gerçekten de ana kirişin eğilmeye karşı mukavemet sağladığı, bu analizler sonucunda görülmüştür.

Hem lineer hesaplara göre, hem de sonlu elemanlara göre elde edilen sonuca göre ana kiriş üzerinde oluşan gerilmeler, kullanılan malzemenin emniyet gerilmesinden (175 MPa) daha düşük olduğu için FEM ve DIN normlarına göre güvenli olduğu anlaşılmıştır.

Sonlu elemanlar analizleri sonucunda, ayrıca, noktasal gerilmelerin kren elemanlarının köşe bölgelerinde oluştuğu ve gerilmelerin aslında gerçek olamayacak kadar çok yüksek değerlerde oldukları görülmüştür. Bu gerilmeler, sonlu elemanlar yönteminin, bazı konularda, özellikle köşe birleşmelerinde yetersiz olduğu görülmüştür. Noktasal gerilmeler bu çalışmada ihmal edilmiş, bu gerilmelerin oluştuğu noktalardan birkaç eleman dizisi kadar uzaktaki gerilmeler dikkate alınmıştır.

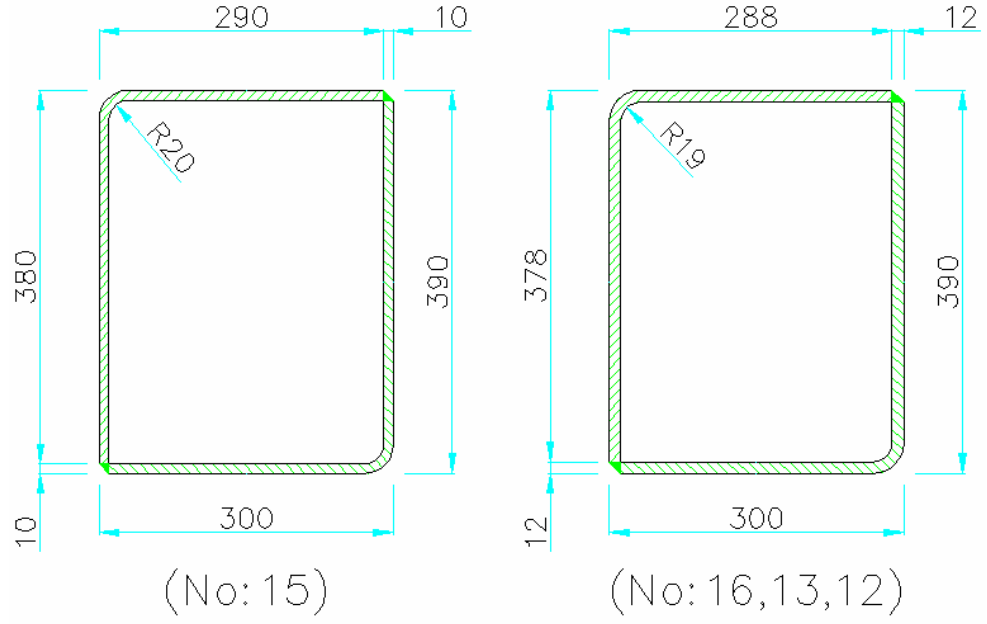
SEM ile yapılan analiz neticesinde elde edilen gerilme ve deformasyon mertebeleri dikkate alındığında, kren elemanlarının sonlu eleman modellemesinde kullanılan eleman tipinin ve sınır şartlarının tatmin edici hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu araştırma sonucunda elde edilen bilgi, deneyim ve veriler ışığında, kren ana kirişi tasarımında gereksiz yere fazlaca malzeme kullanılması önlenmiş, sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen nihai tasarımının daha güvenli, hafif ve mukavemetli hale getirilebileceği anlaşılmıştır. Bu ise hem tasarım maliyetlerinin, hem de tasarım süresinin kısalması açısından yüksek öneme sahiptir.

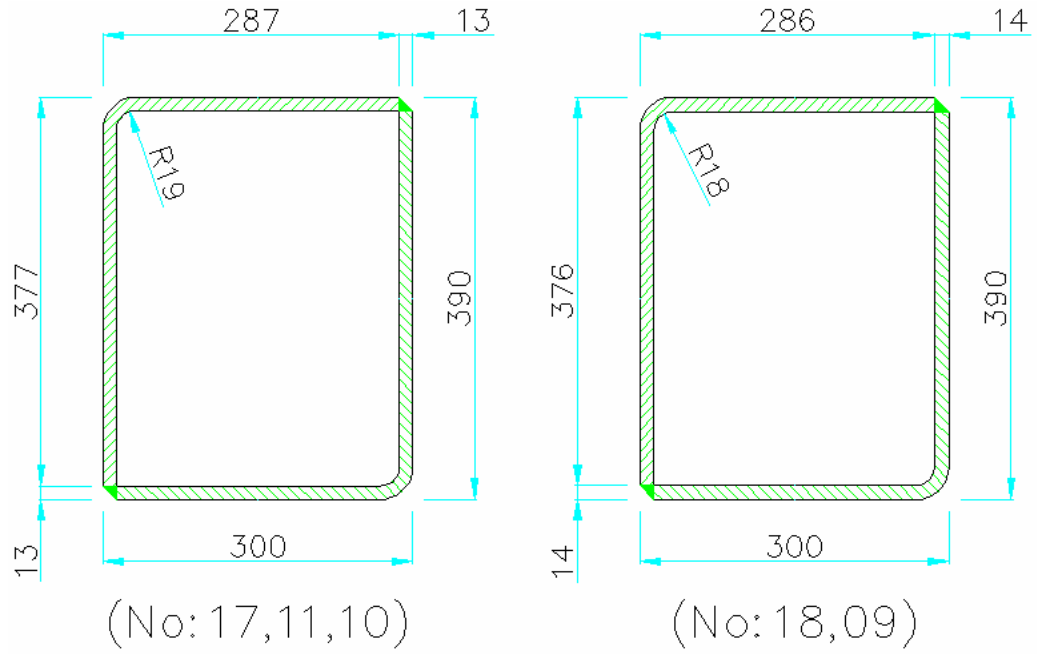
KAYNAKLAR

- [1] **Bayıroğlu, H.**, 2006. Statik Ders Notları, İstanbul.
- [2] **Kocatürk, T.**, 2008. Statik Ders Notları, YTÜ, İstanbul.
- [3] **Gerdemeli, İ.**, 2008. Transport Tekniğinde İleri Konular Ders Notları, İTÜ.
- [4] **Gerdemeli, İ., İmrak, E.**, 2008. Transport Tekniği Seminer Notları, İTÜ.
- [5] **Kurtay, T.**, 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş Ders Notu, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [6] **Bedir, S.**, 2007. Çift Yönlü Asansör Fren Bloklarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanların Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Can, Ö., Kaya, A.İ.**, 2007. Örneklerle Abaqus'a Giriş, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [8] **F.E.M.**, 1987. 1001 3. Baskı 1987.10.01
- [9] **Savci, M., Arpacı, A.**,1999, Mukavemet, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [10] **Suner, F.**, 1981, Kaldırma ve İletme Makinaları, İstanbul.
- [11] **Url-1** <<http://www.e-pipe.co.kr/eng/DIN/17177.html>>, alındığı tarih 17.11.2008.
- [12] **Erdil, A.B.**, 2007. Portal Krenlerin Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metoduyla Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

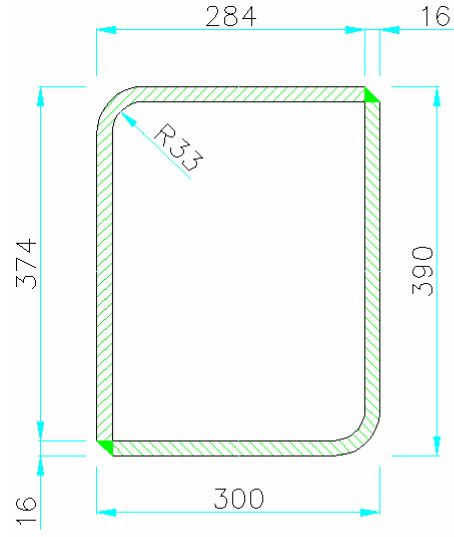
EK A



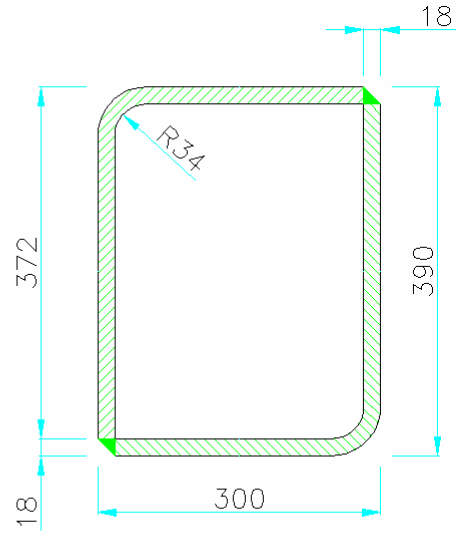
Şekil A.1 : Çubuk kesitleri (No:15, 16, 13, 12)



Şekil A.2 : Çubuk kesitleri (No:17, 11, 10, 18, 09)

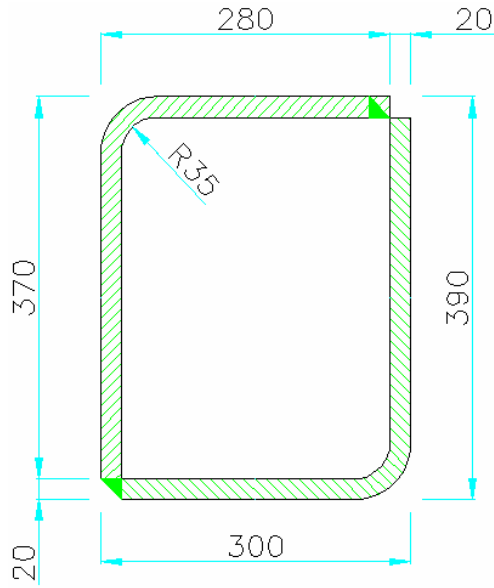


(No: 20,19,08,07)

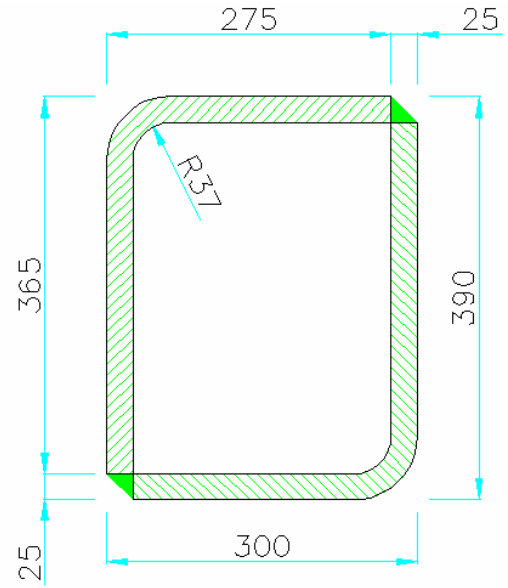


(No: 21,06,05)

Şekil A. 3 : Çubuk kesitleri (No:20, 19, 08, 07, 21, 06, 05)

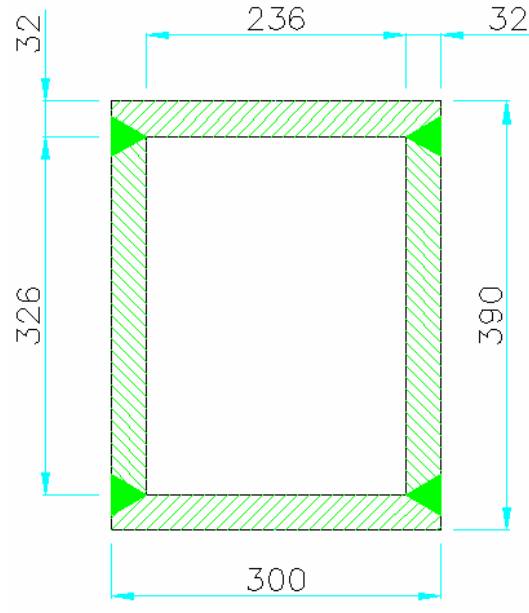


(No: 23,22,04)

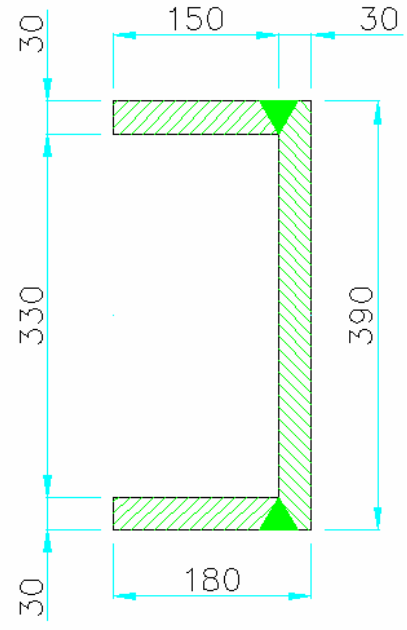


(No: 26,25,24,03,02)

Şekil A. 4 : Çubuk kesitleri (No: 23, 22, 04, 26, 25, 24, 03, 02)

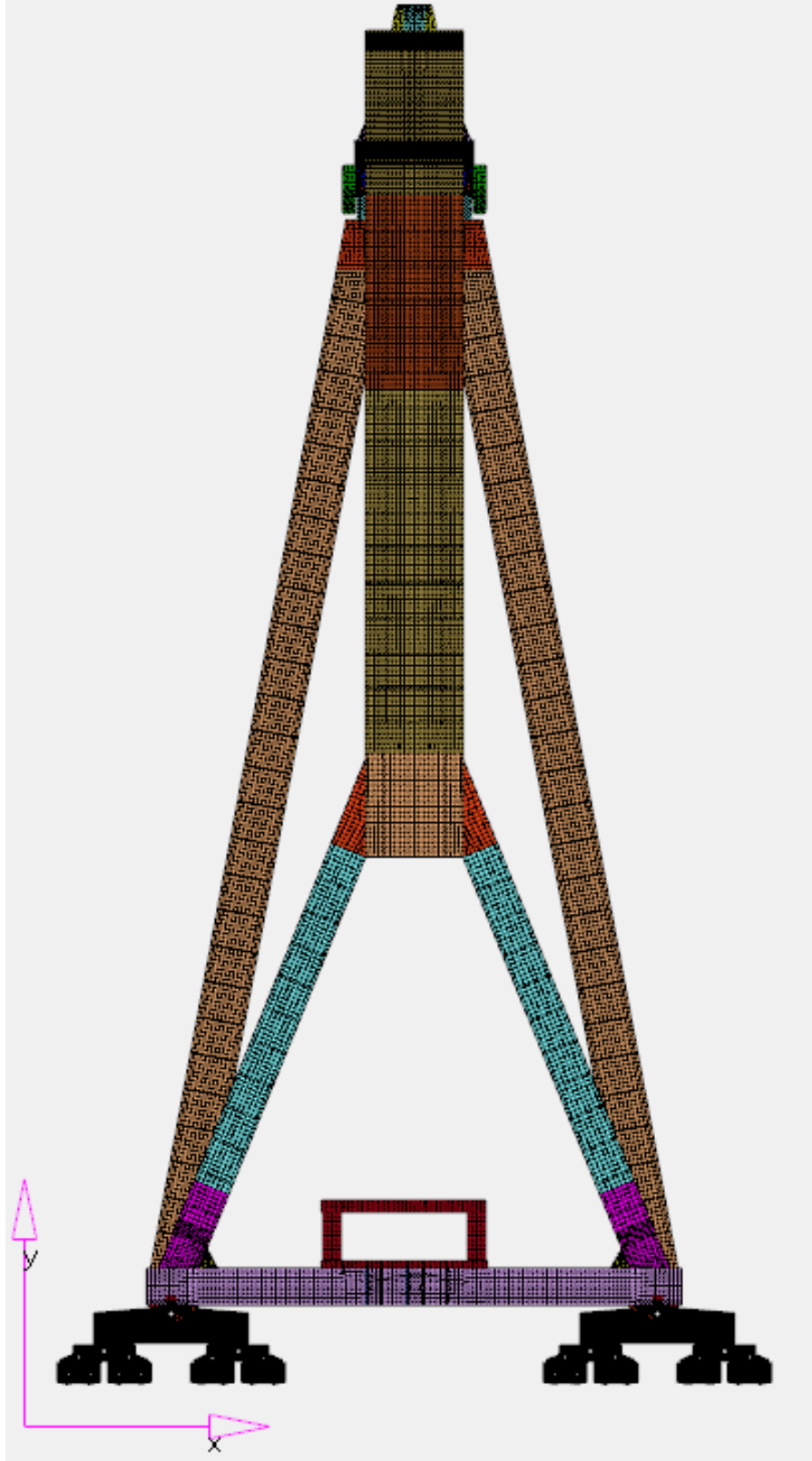


(No: 28,27)



(No: 01)

Şekil A. 5 : Çubuk kesitleri (No: 28, 27, 01)



Şekil A.6 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin yandan görünüşü



Şekil A.7 : Meshlenmiş kafes ana kirişli krenin üstten görünüşü

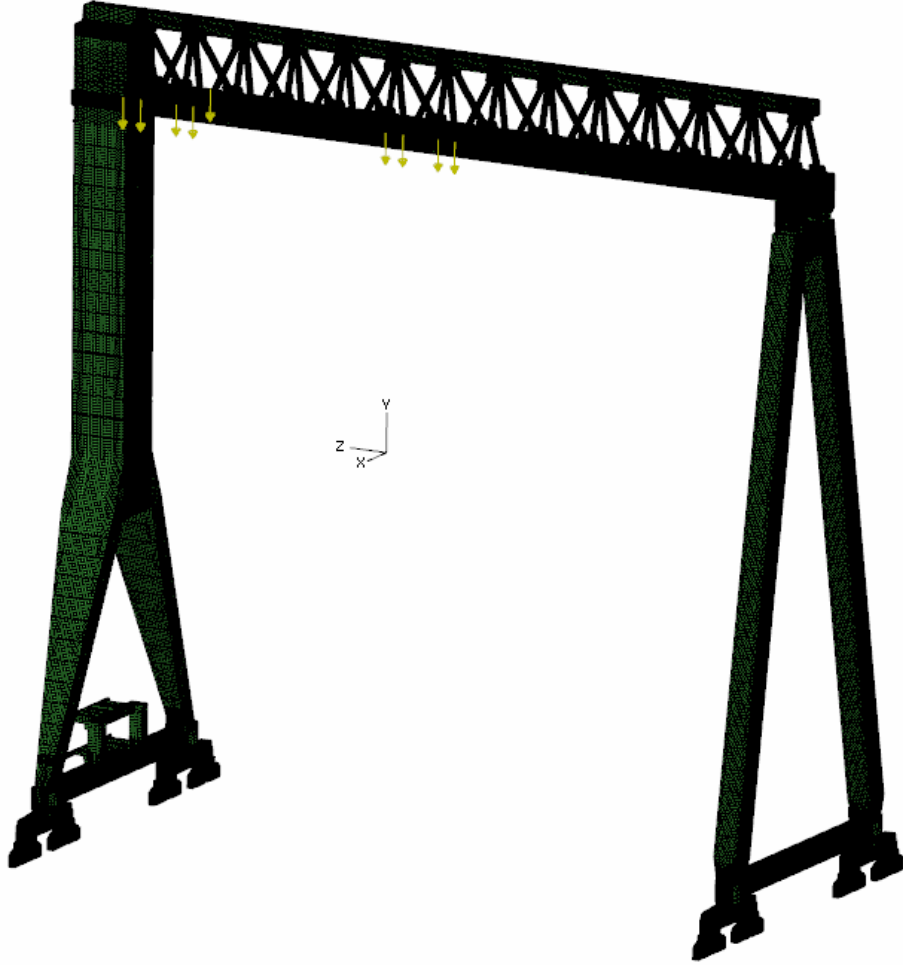
EK B

Çizelge B.1: Anakişte kullanılan renklere göre sac kalınlıkları

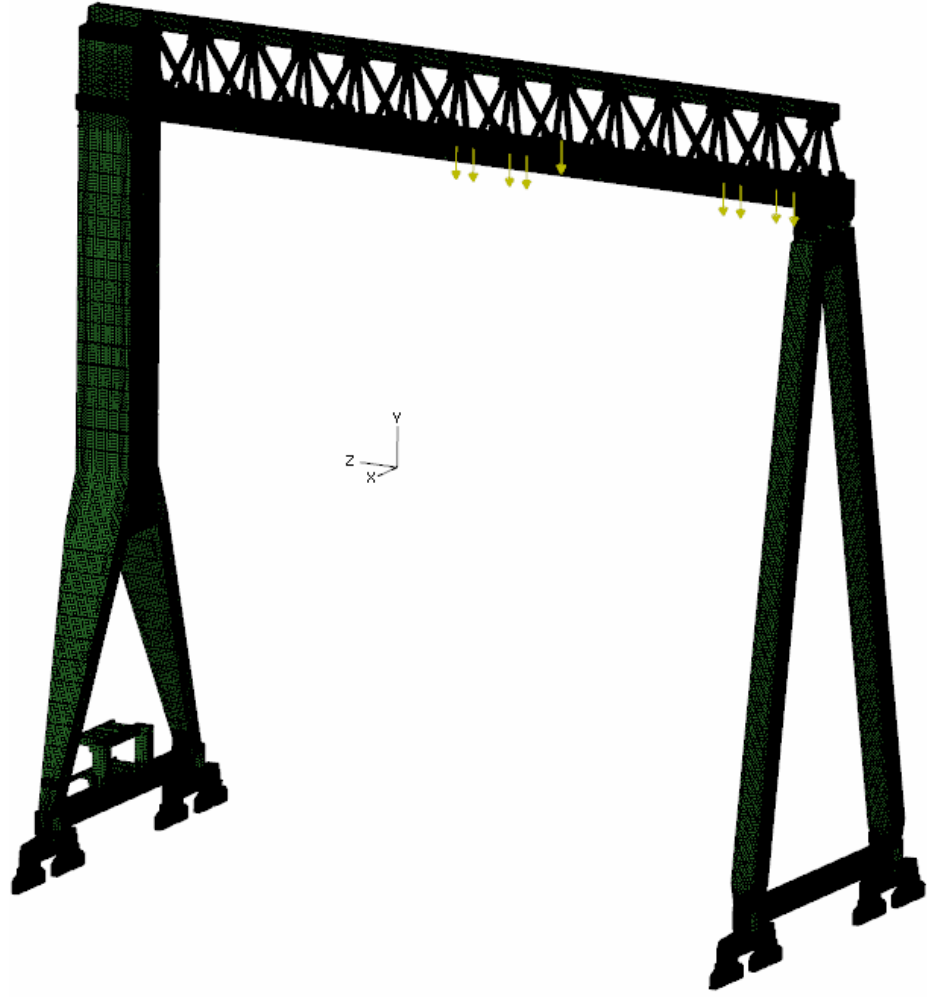
Ana Kiriş		Rijit Bacak Üst Kutusu		Mafsal Bacak Üst Kutusu	
Renk	Kalınlık	Renk	Kalınlık	Renk	Kalınlık
	32mm		14mm		30mm
	25mm		20mm		20mm
	20mm		15mm		15mm
	18mm		Prf. 9x130mm		12mm
	16mm		12mm		14mm
	14mm		10mm		40mm
	12mm		30mm		20mm
	10mm		16mm		11mm

EK C

Sonlu elemanlar analizinde, krene aşağıdaki gibi yüklemeler yapılmıştır.



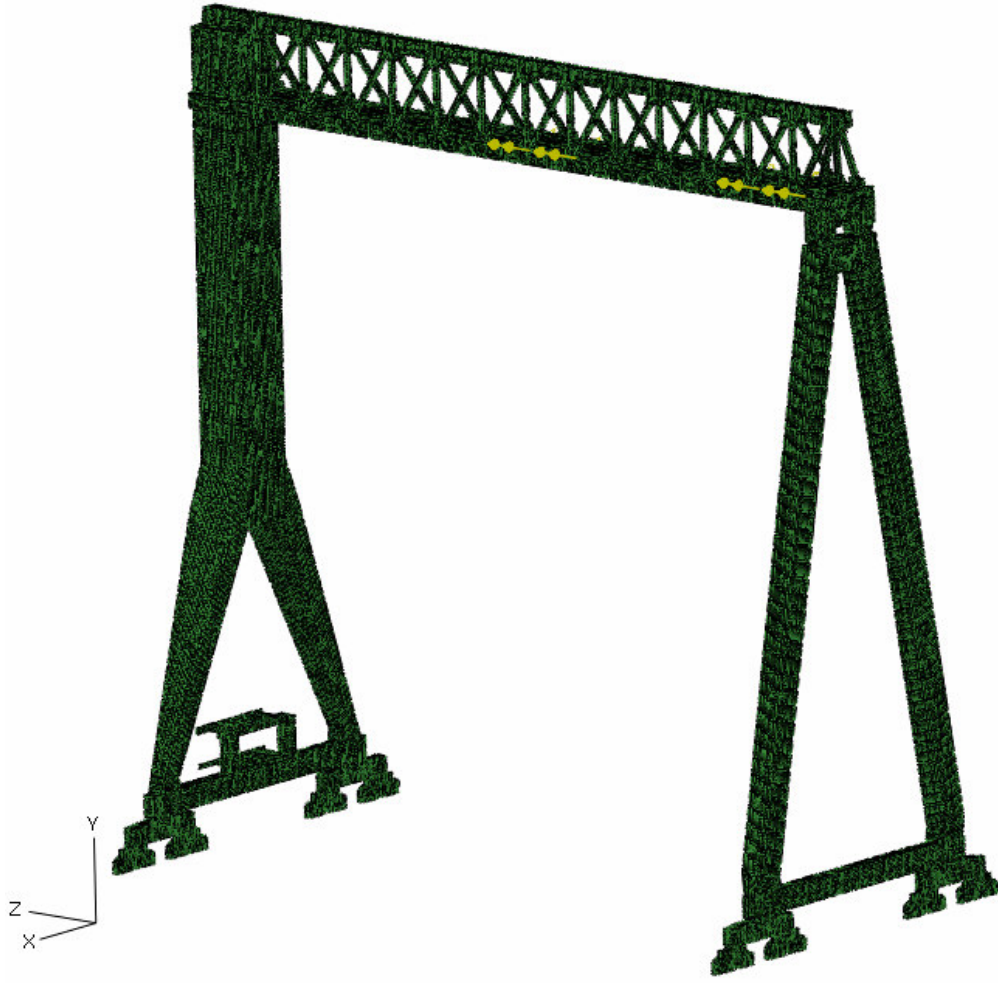
şekil C.1 : Araba, kanca ve yükün rijit bacak tarafındaki konumu



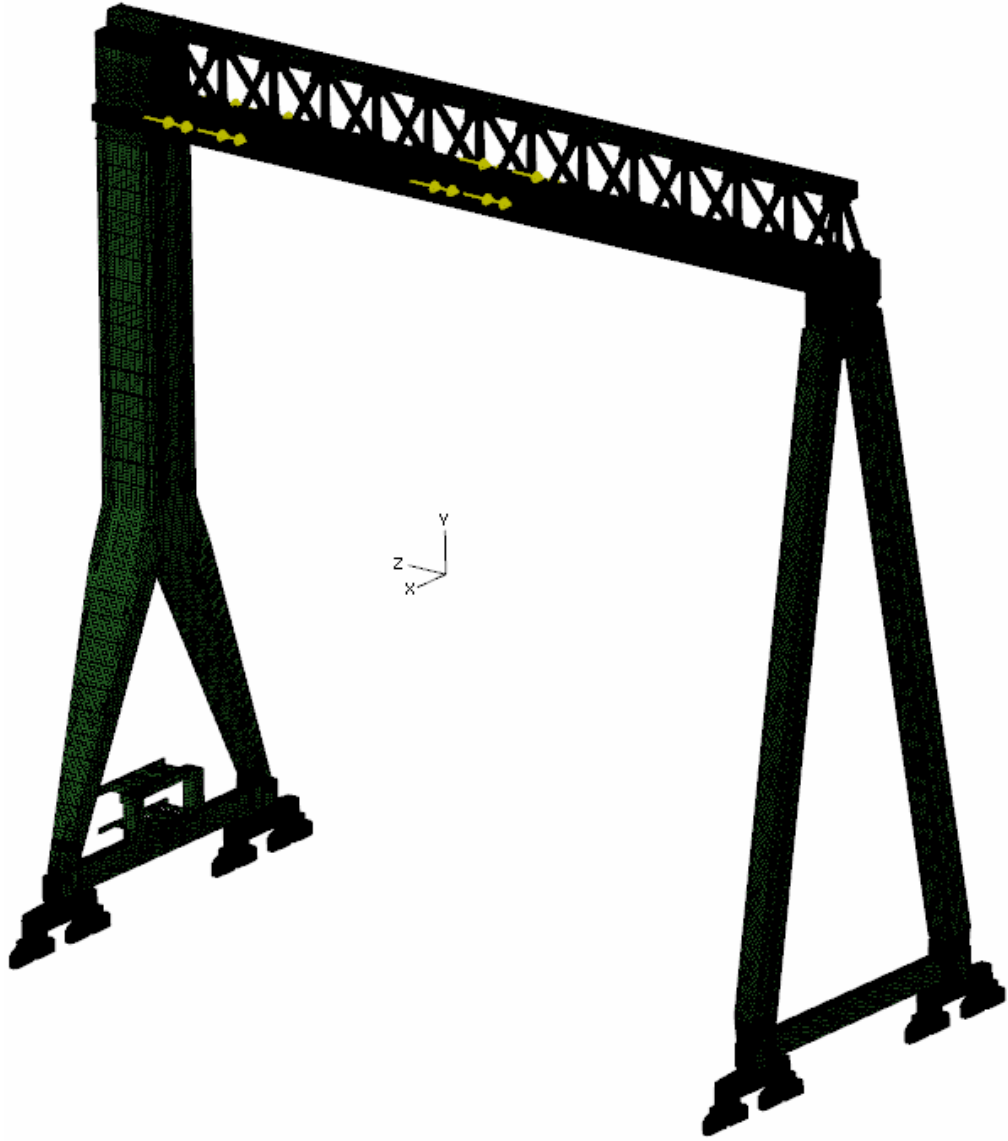
Şekil C.2 : Araba, kanca ve yükün mafsallı bacağa yakın konumu



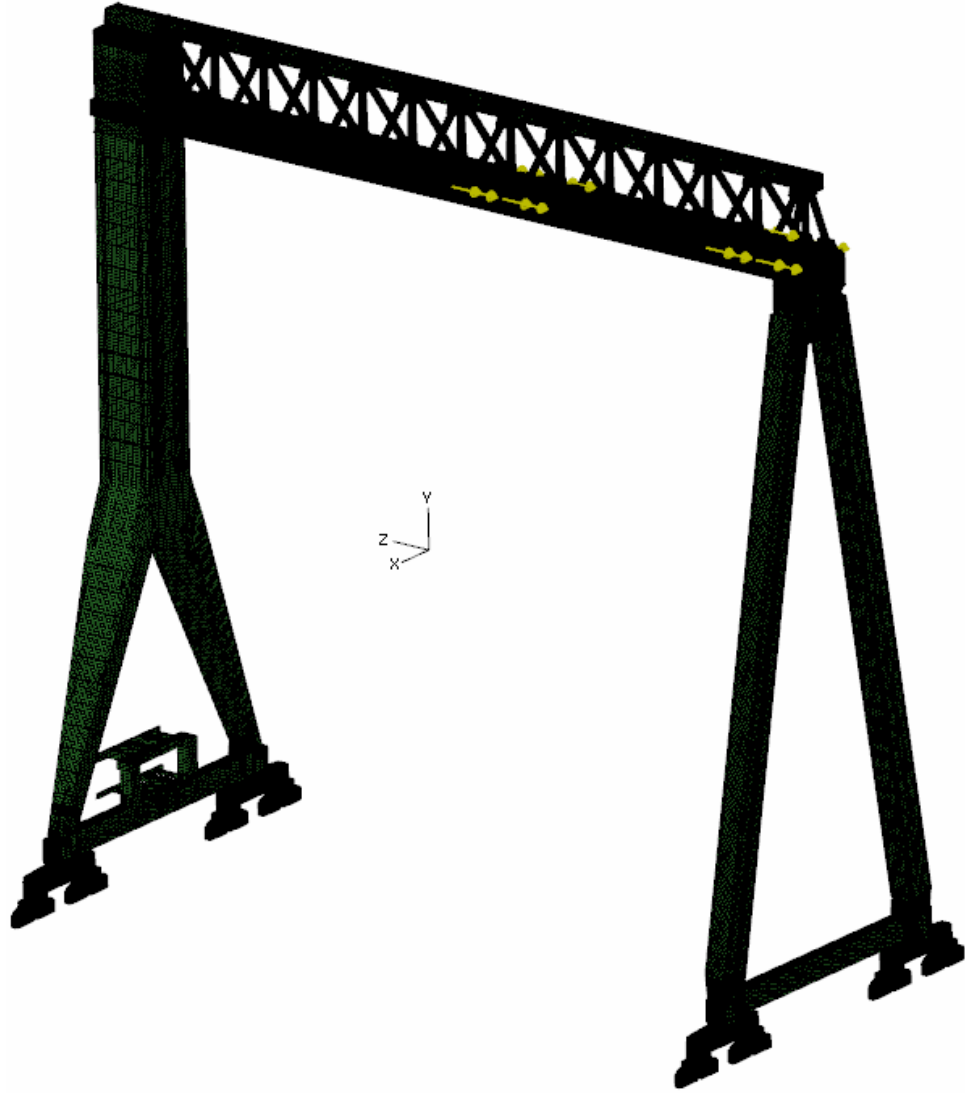
Şekil C.3 : Arabaların rijit bacağa doğru hareketi



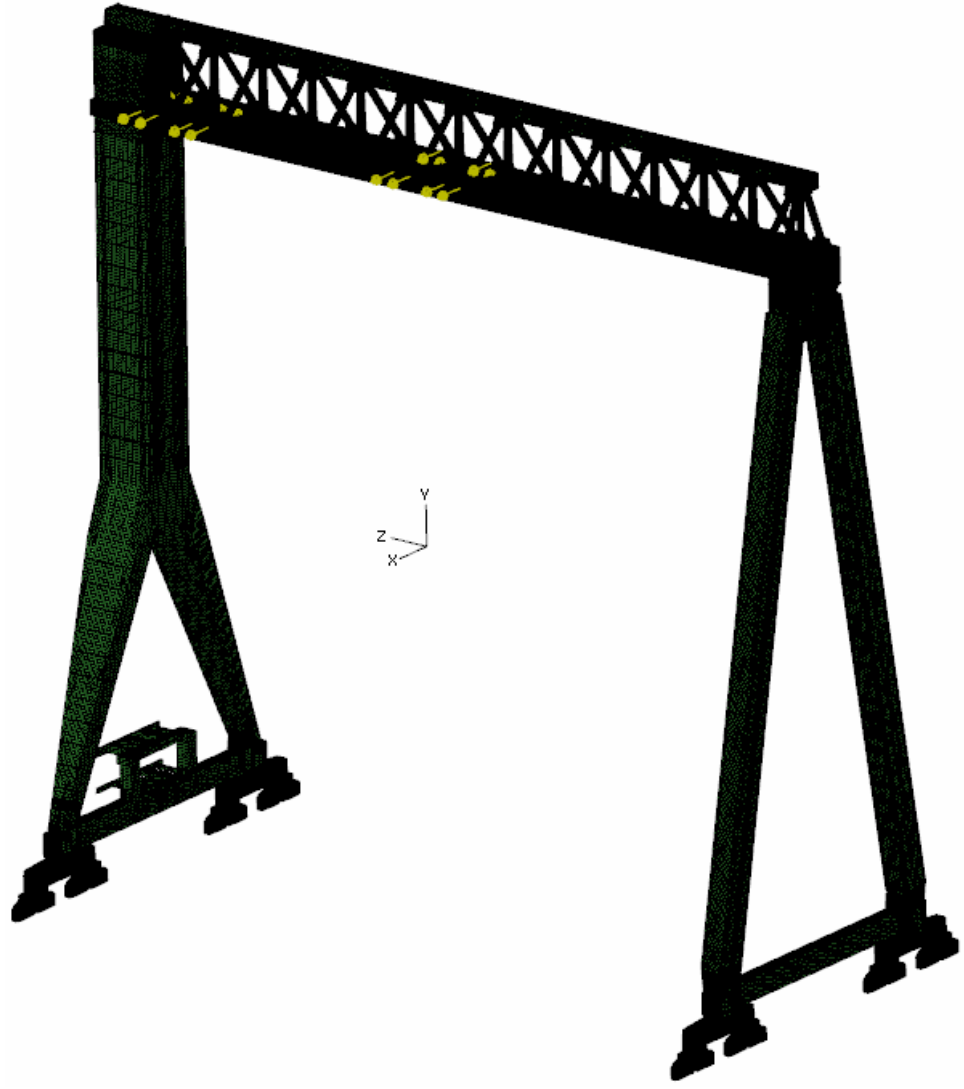
Şekil C.4 : Arabaların mafsallı bacak tarafından rijit bacağa doğru hareketi



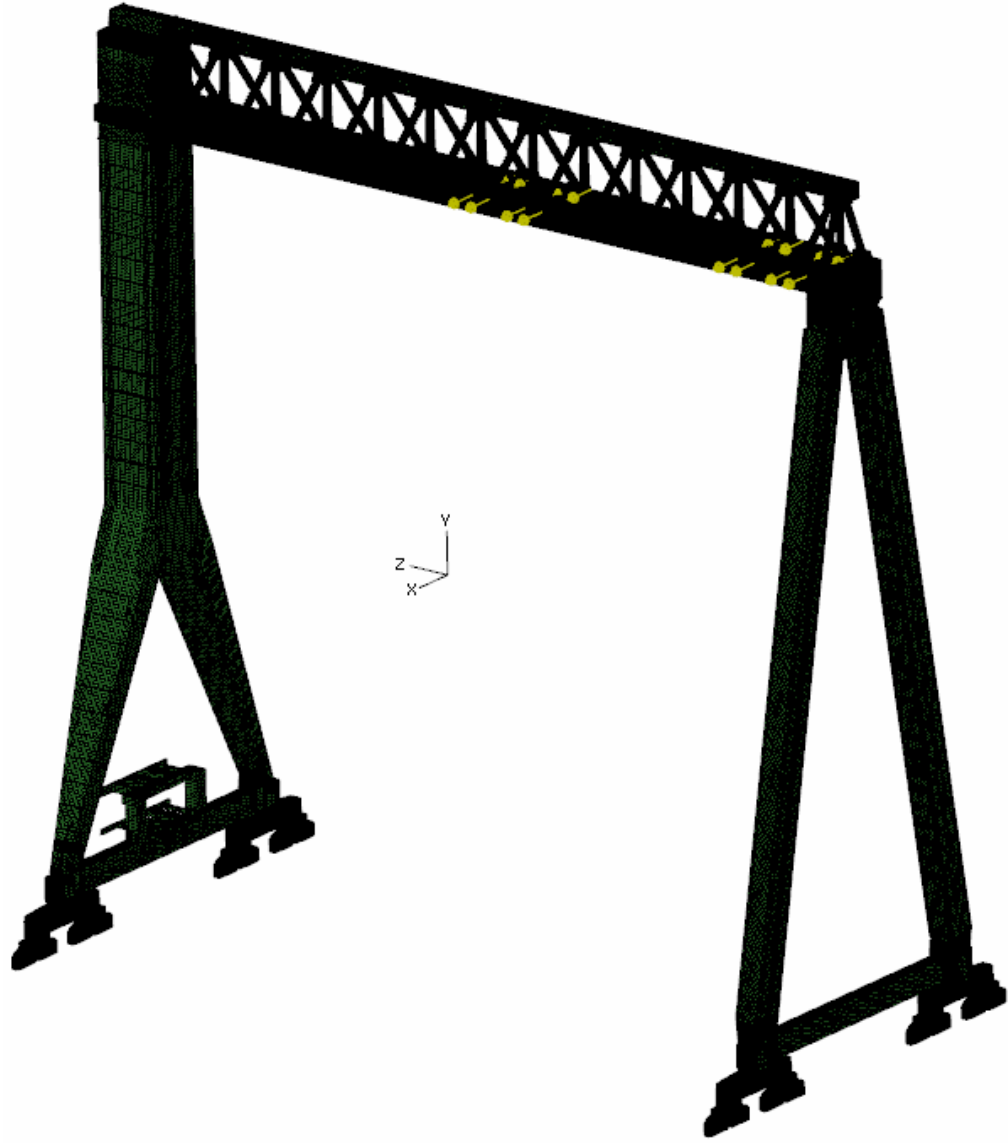
Şekil C.5 : Arabaların rijit bacak tarafındayken mafsal bacağa doğru hareketi



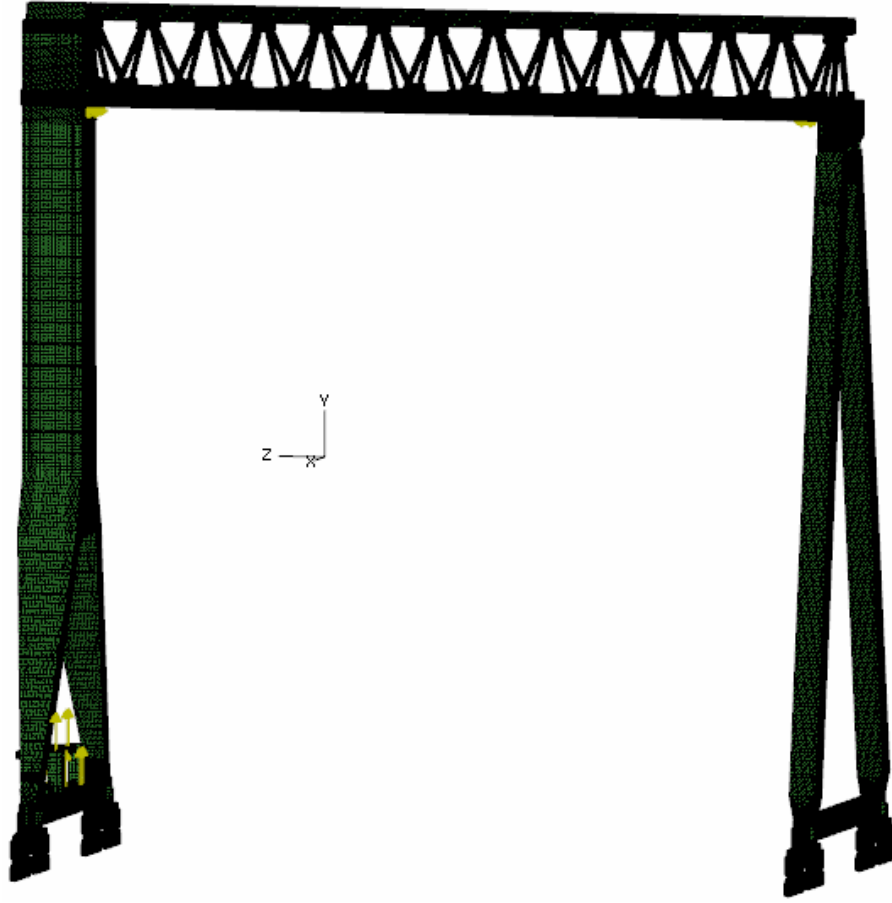
Şekil C.6 : Arabaların mafsalsal bacak tarafındayken mafsalsal bacağa doğru hareketi



Şekil C.7 : Krenin hareketinden dolayı arabaların atalet etkisi



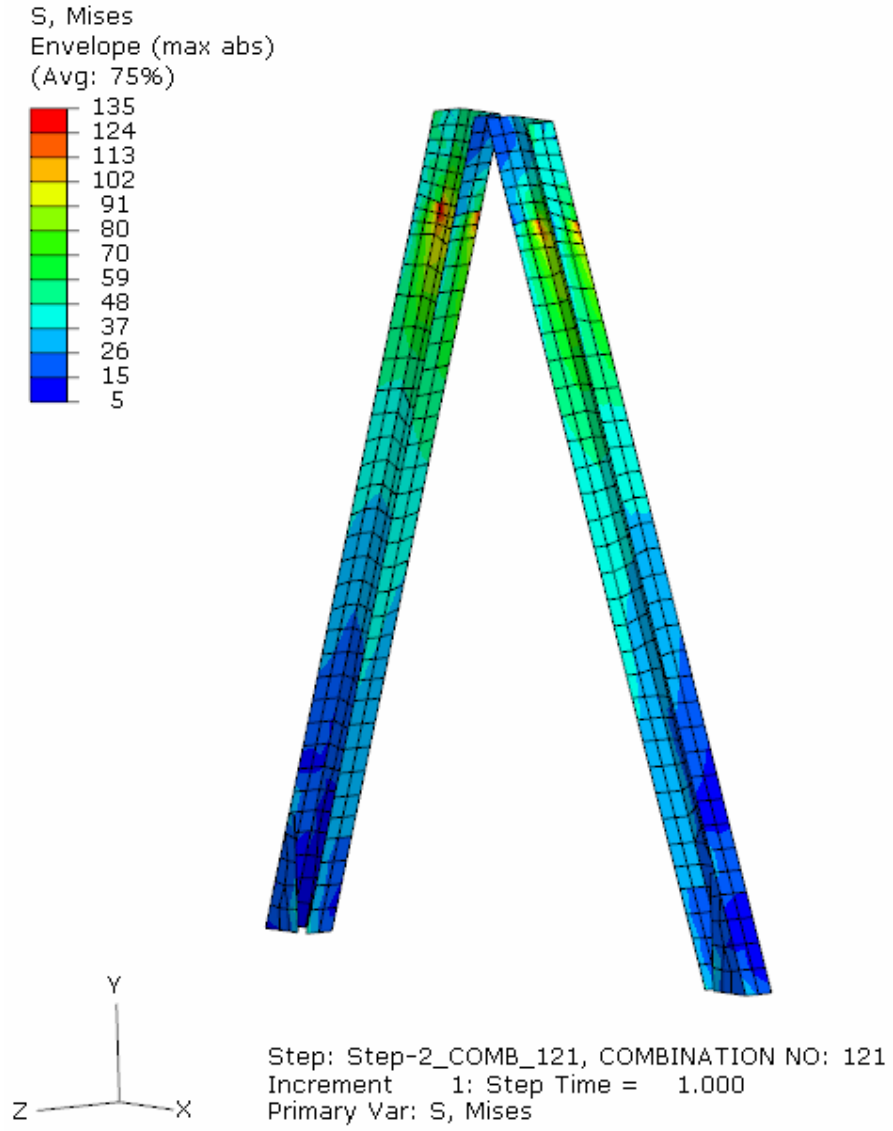
Şekil C.8 : Arabalar mafsallı bacağa yanaşırken arabaların atalet etkisi



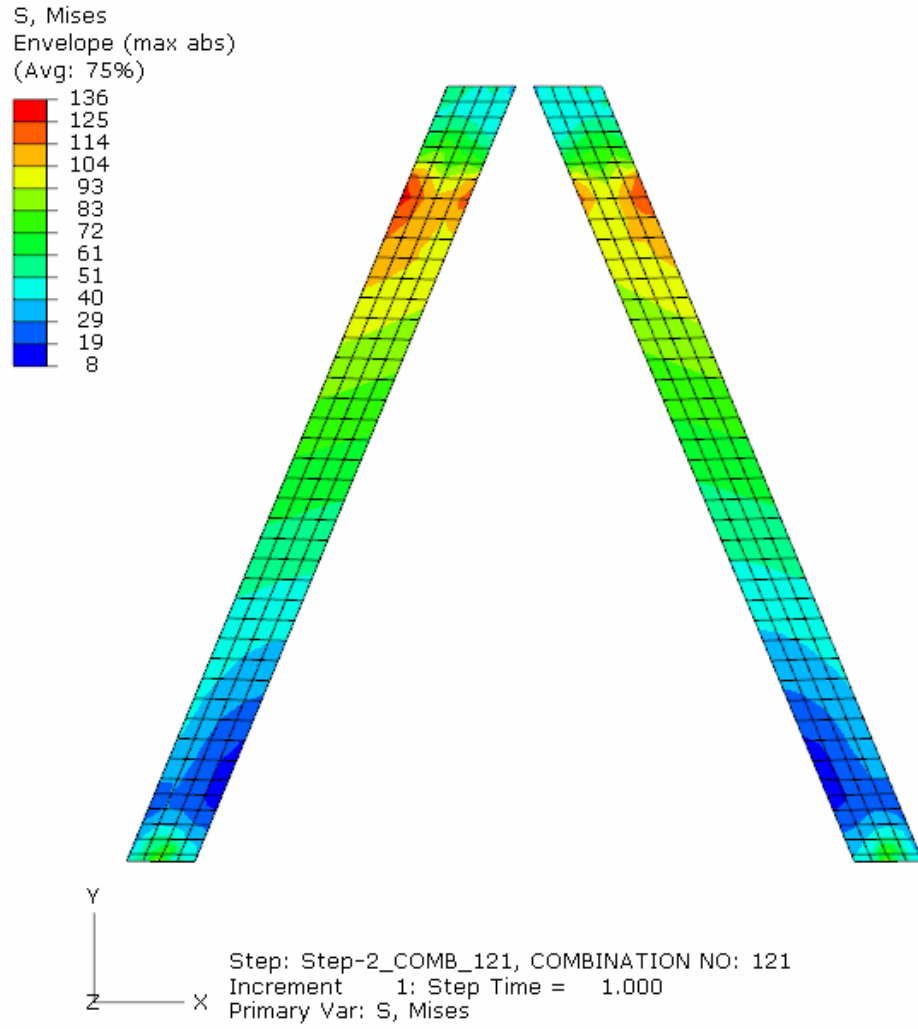
Şekil C.9 : Halat yüklerinin krene etkitilmesi

EK D

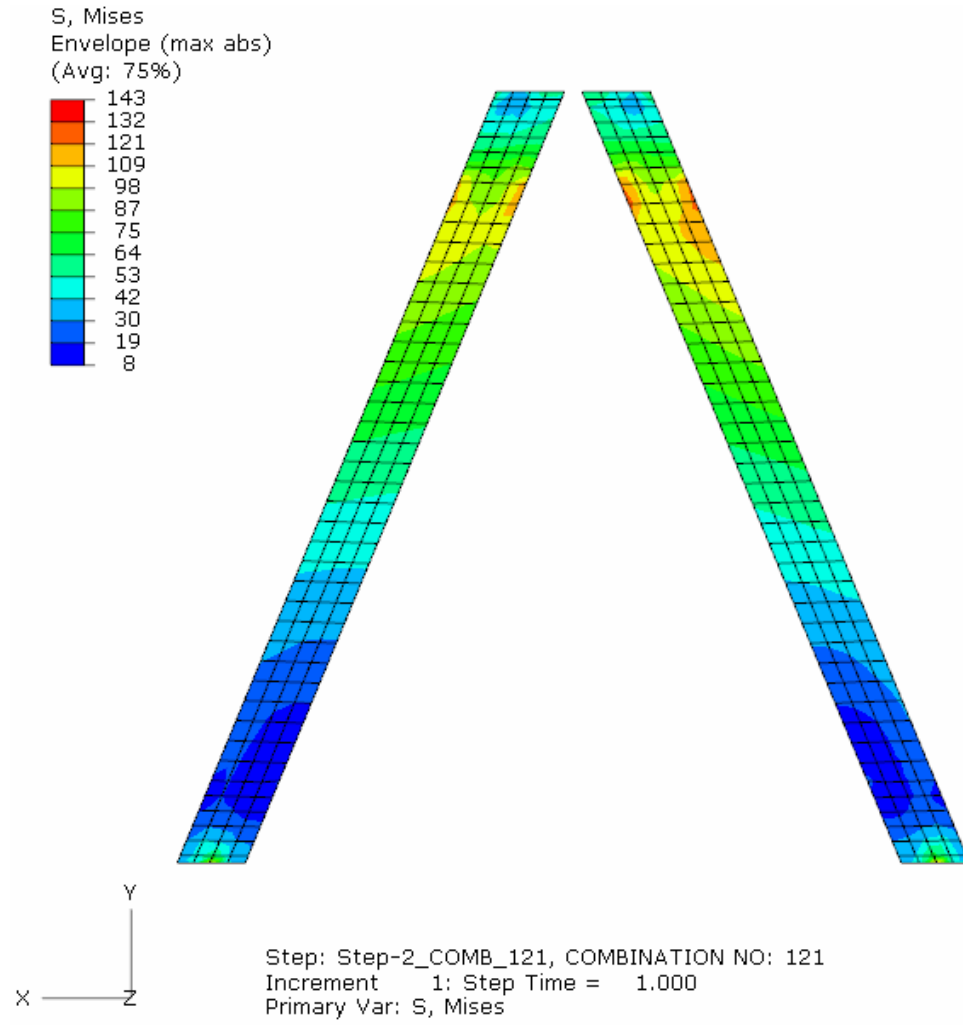
Çubuk gerilmeleri aşağıdaki şekillerdeki gibi bulundu.



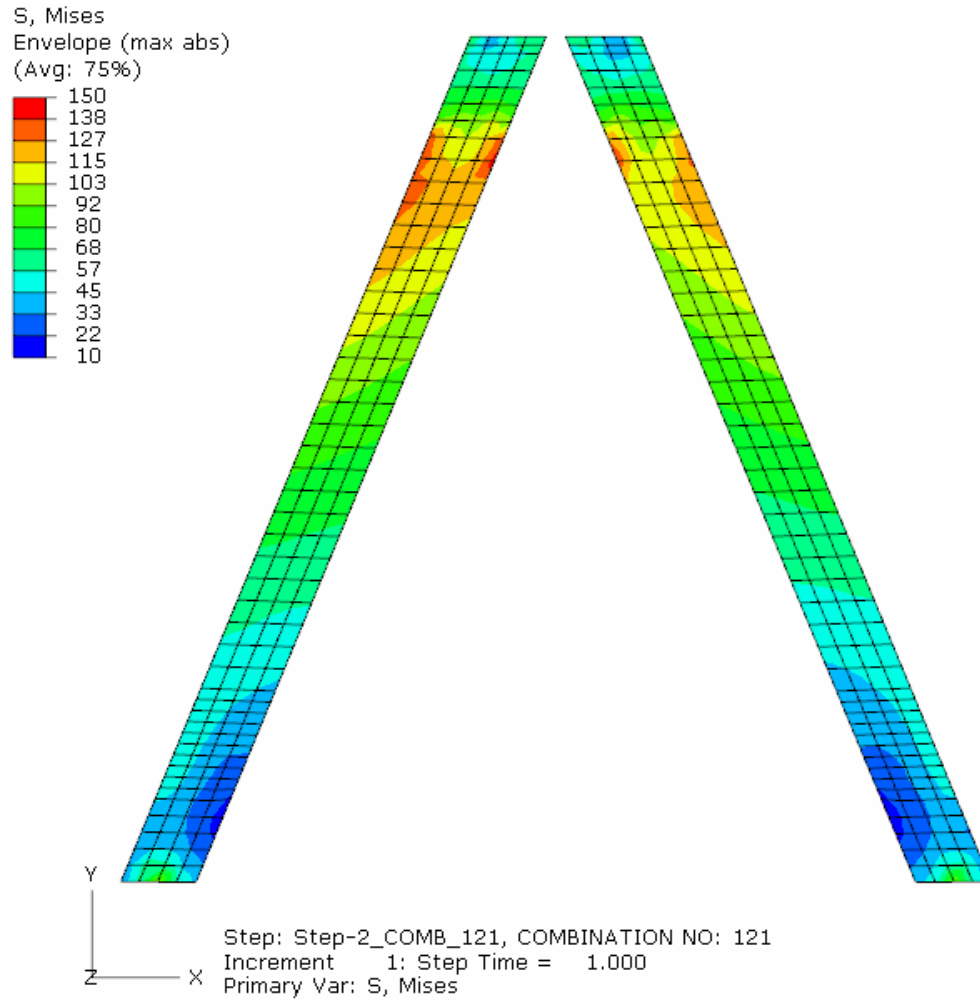
Şekil D.1 : Rijit bacak tarafından 1 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı



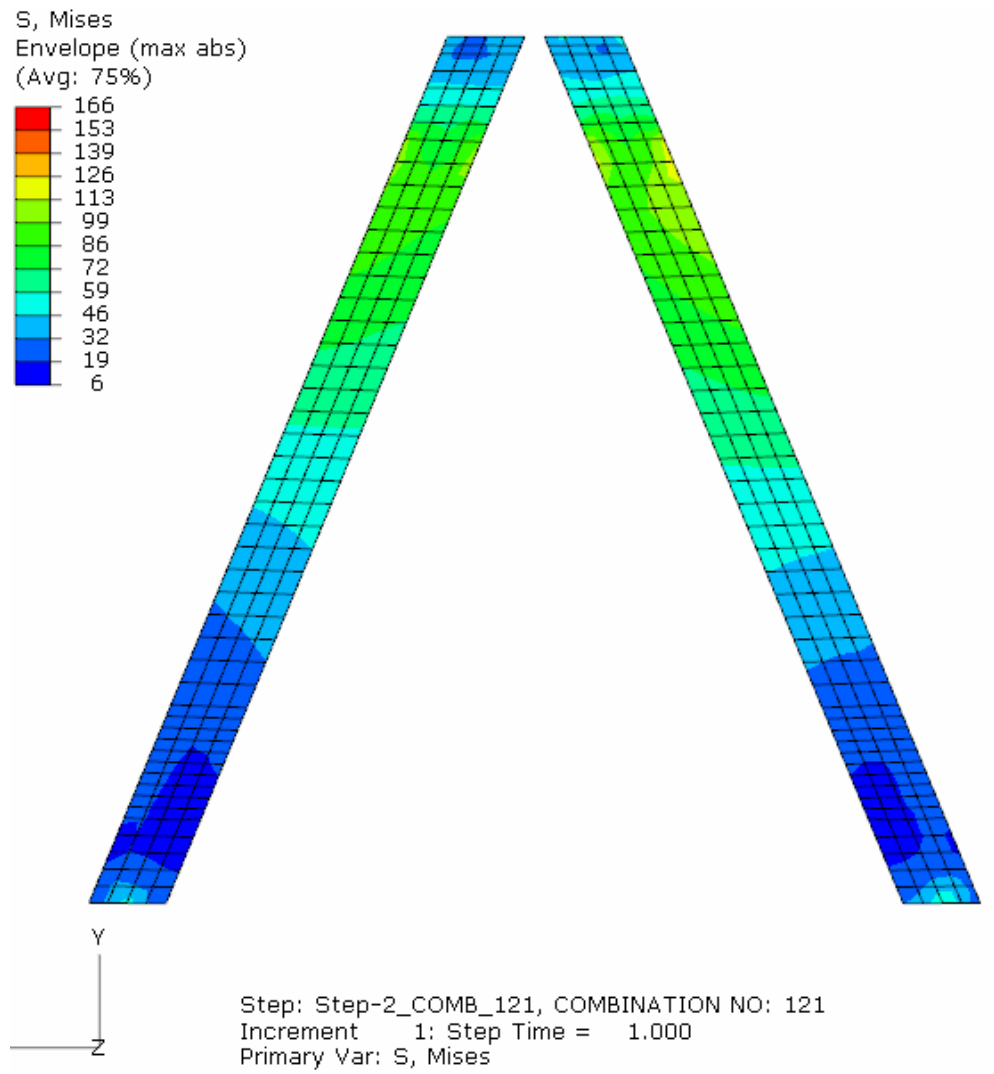
Şekil D.2 : Rijit bacak tarafından 2 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı



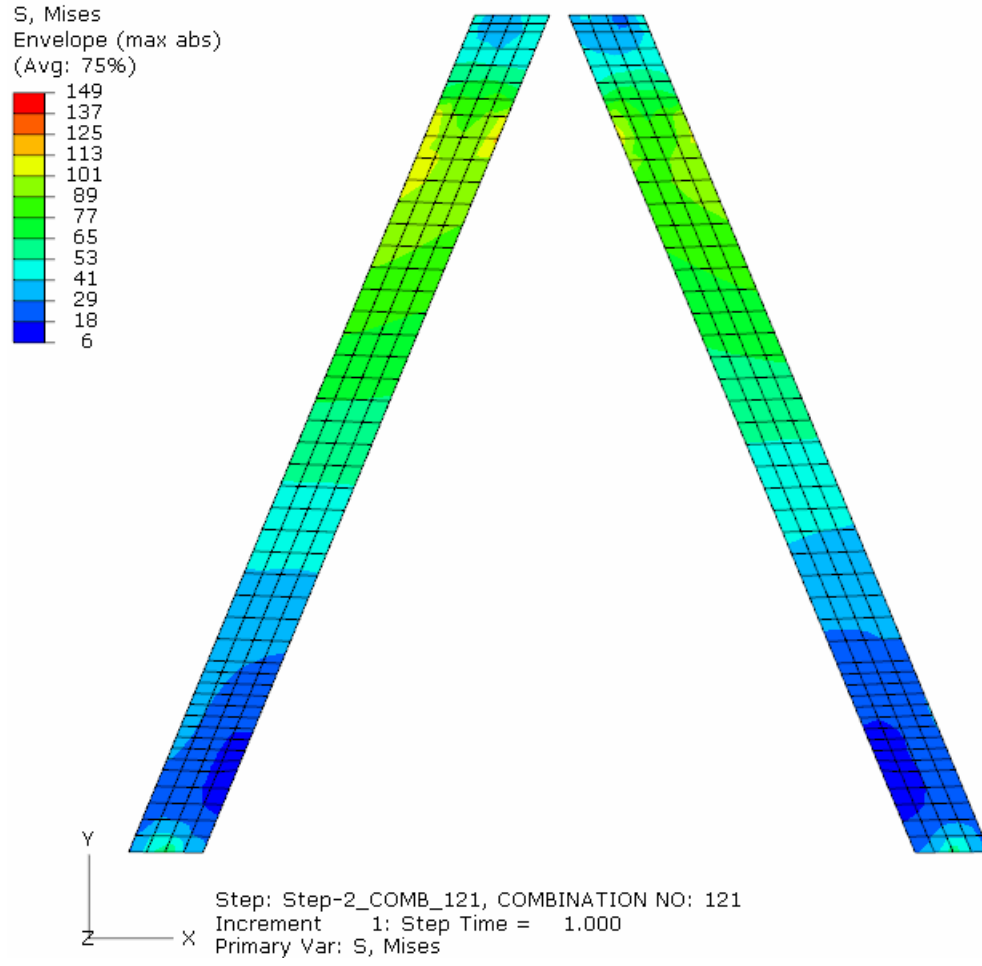
Şekil D.3 : Rijit Bacak tarafından 3 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı



Şekil D.4 : Rijit bacak tarafından 4 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı



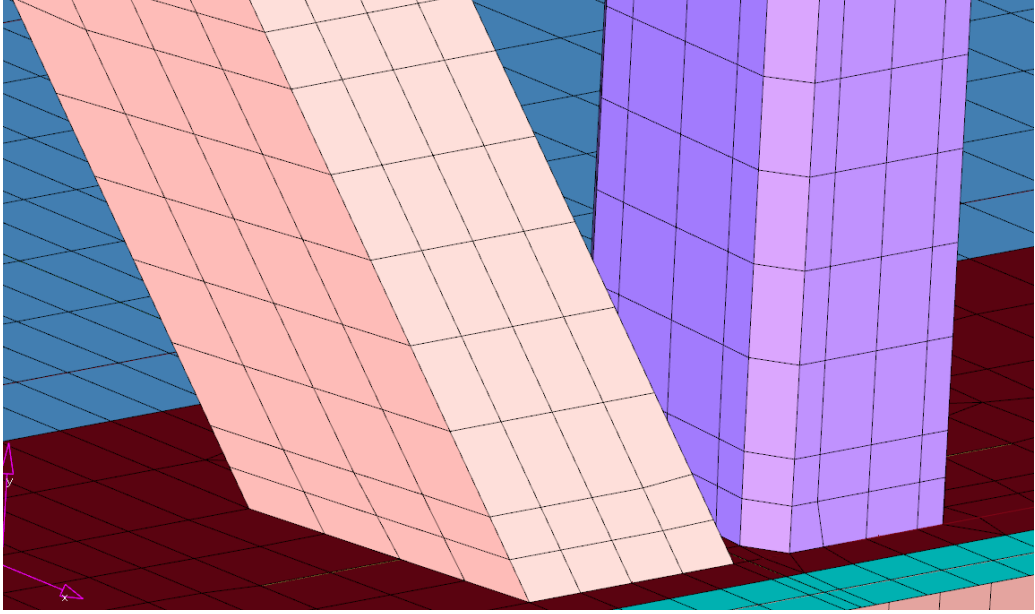
Şekil D.5 : Rijit bacak tarafından 5 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı



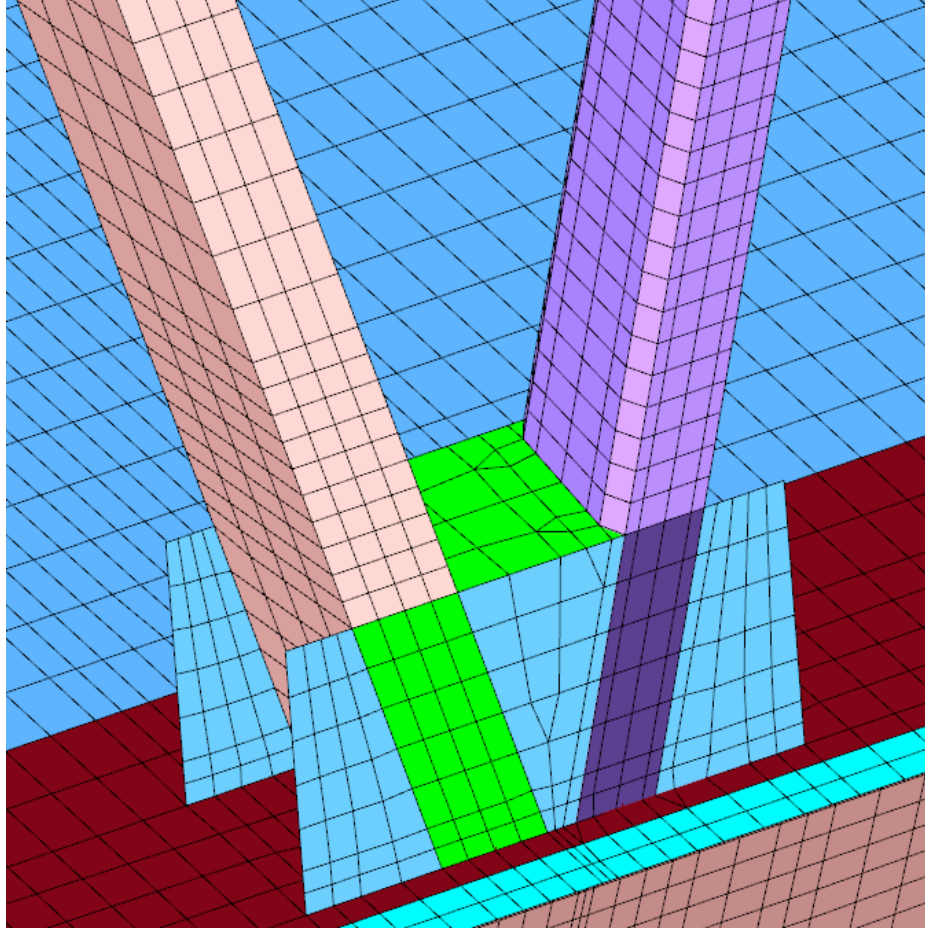
Şekil D.6 : Rijit bacak tarafından 6 no'lu çubukta oluşan gerilme dağılımı

EK E

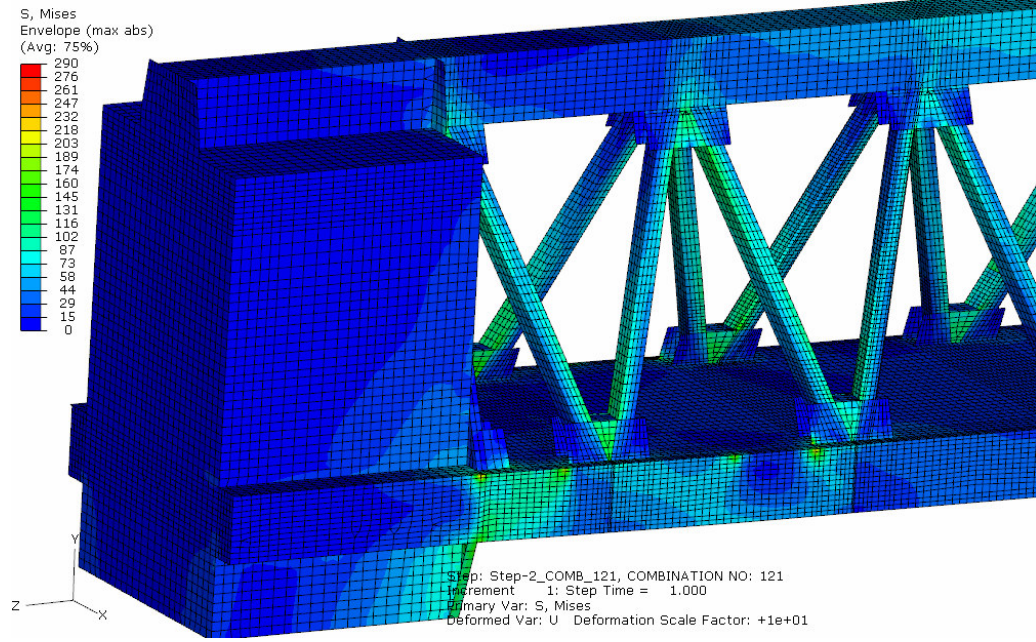
Yuvarlak ve keskin çubuk modellerinden alınan şekiller.



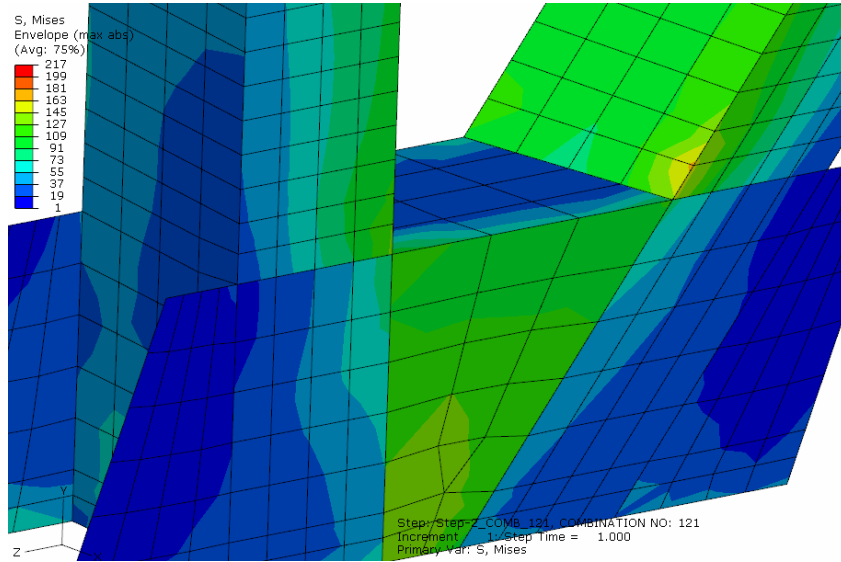
Şekil E. 1 : Keskin ve yuvarlak köşeli çubuklar



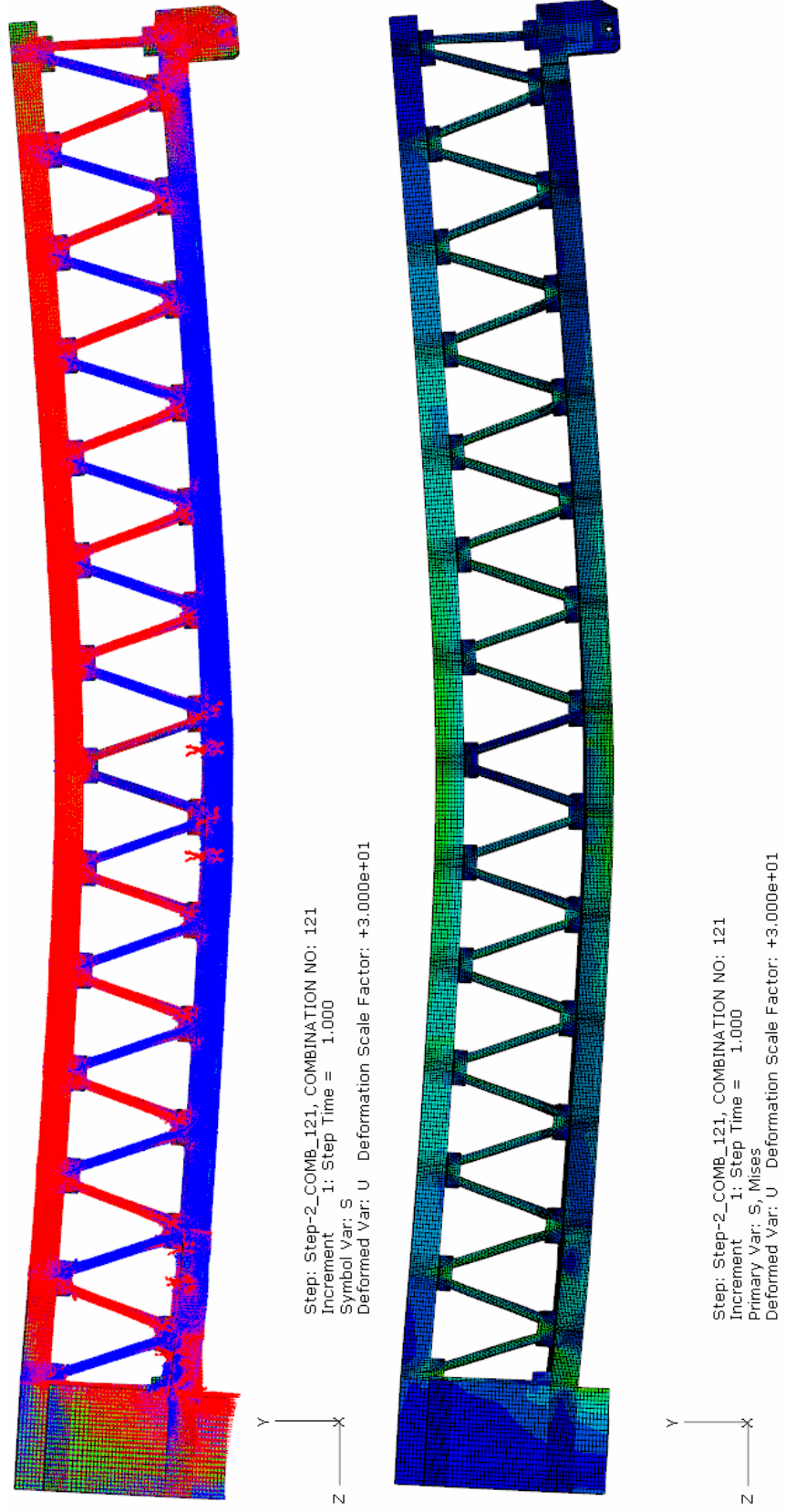
Şekil E. 2 : Keskin ve yuvarlak köşeli çubukların alt kirişe montajı



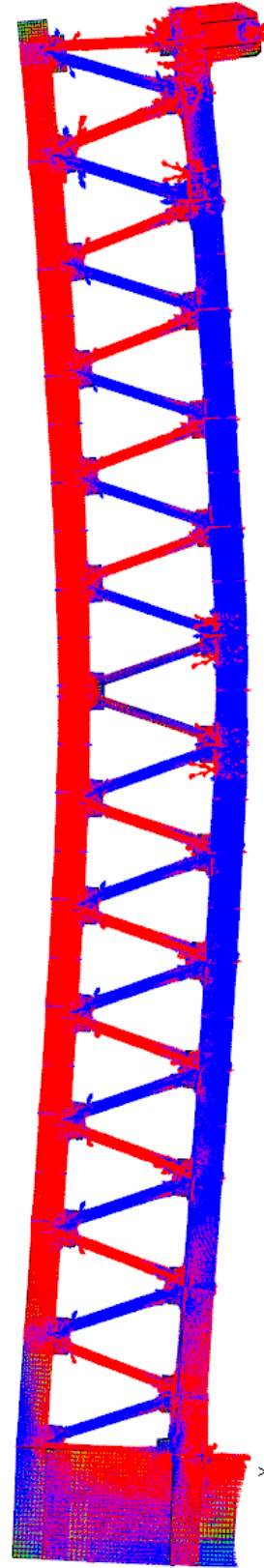
Şekil E. 3 : Yuvarlak köşeli çubuklu ana kiriş modelinin sonlu eleman analizi



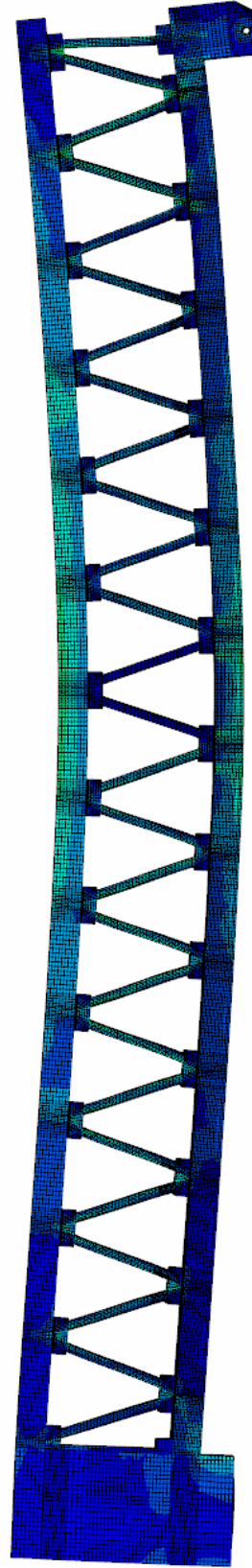
Şekil E. 4 : Keskin köşeli çubukların sonlu eleman analizi



Şekil E.5 : Ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı (Komb. 121)

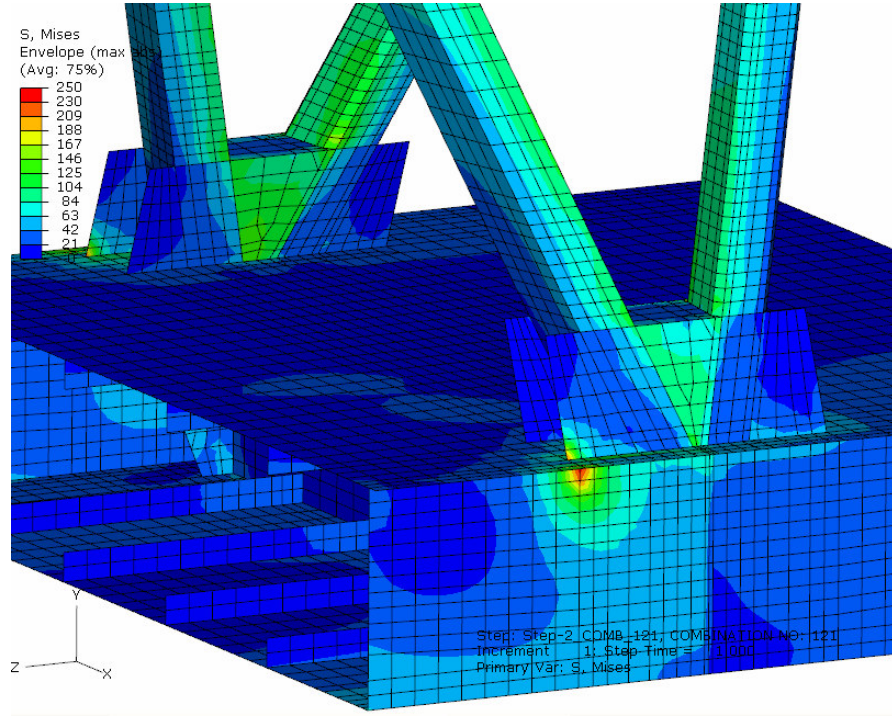


Step: Step-4_COMB_123, COMBINATION NO: 123
 Increment 1: Step Time = 1.000
 Symbol Var: S
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +3.000e+01

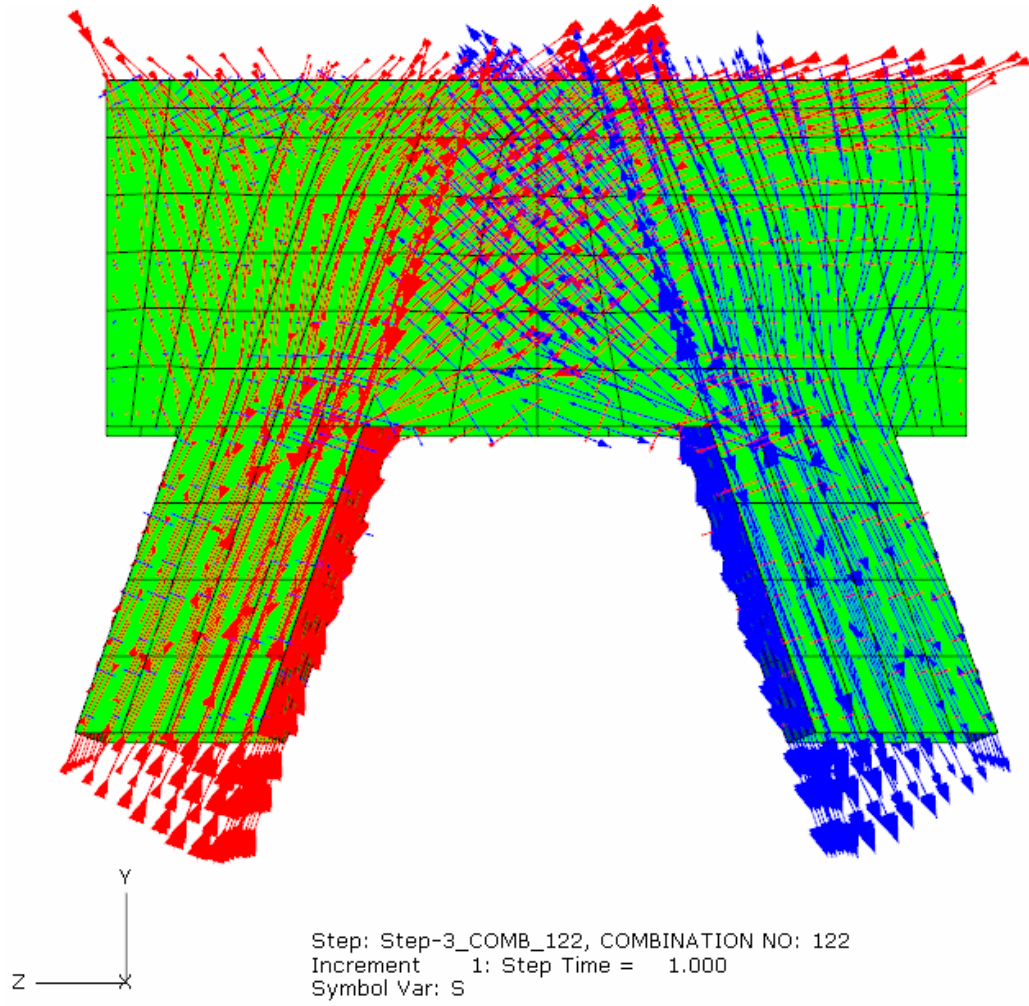


Step: Step-4_COMB_123, COMBINATION NO: 123
 Increment 1: Step Time = 1.000
 Primary Var: S, Mises
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +3.000e+01

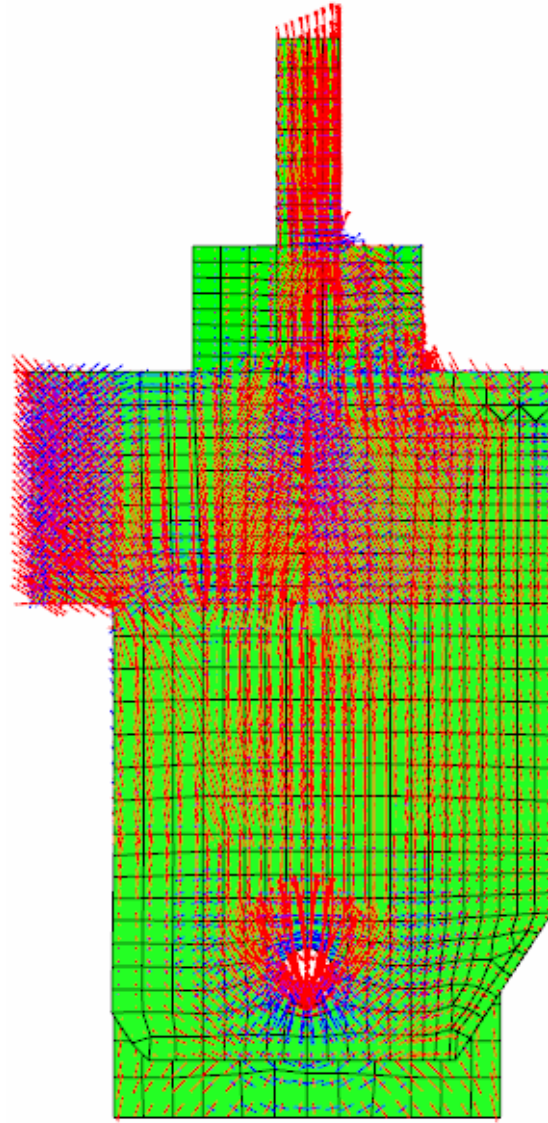
Şekil E.6 : Ana kiriş üzerindeki kuvvet akışı dağılımı (Komb. 123)



Şekil E.7 : Yuvarlak çubuk modeli ana kiriş alt kirişindeki gerilme dağılımı



Şekil E. 8 : Keskin köşeli çubuk üst montaj levhalarında kuvvet akışı



Step: Step-3_COMB_122, COMBINATION NO: 122
Increment 1: Step Time = 1.000
Symbol Var: S

Şekil E. 9 : Ana kiriş mafsalsal kutusundaki kuvvet akışı

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Bedirhan ERKEN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 17/11/1984

Adres: Beşiktaş/İstanbul

Lisans Üniversite: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Makine Mühendisliği, 2007