

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2X160 TON PORTAL KRENİN TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE GERİLME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hasan Onur ALKAN**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2X160 TON PORTAL KRENİN TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE GERİLME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hasan Onur ALKAN
(503071213)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Haziran 2009

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

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ' ye, değerli hocam Prof. Dr. C. Erdem İMRAK' a, Pak Arge A.Ş. firmasının genel müdürü Mak. Yük. Müh. Levent PAK'a, başta gerilme analizi konusunda yardımcı olan Mak. Yük. Müh. Said BEDİR olmak üzere firmanın tüm diğer çalışanlarına ve her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 2009

Hasan Onur ALKAN

İmalat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KREN ÇEŞİTLERİ VE PORTAL KREN ELEMANLARI	3
2.1 Ana Kiriş.....	7
2.2 Bacaklar	8
2.3 Gergi Kirişleri	11
2.4 Yürüyüş Takımları	12
2.5 Kaldırma Grubu.....	13
2.6 Araba Yürüyüş Grubu	14
2.7 Kabin	15
3. KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	17
3.1 Teknik Özellikler.....	17
3.2 FEM Standartlarına Göre Gruplandırma	17
3.3 Tahrik Sistemleri	17
3.4 Kaldırma Grubu.....	18
3.5 Kren Yürütme Grubu.....	18
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	19
4.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihi	19
4.2 Uygulama Alanları	20
4.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri.....	23
4.4 Abaqus/CAE Sonlu Elemanlar Paket Programı	24
4.4.1 Programın bölümleri.....	25
4.4.2 Ön işlem süreci (Preprocessor)	27
4.4.3 Programın çalıştırılması.....	27
4.4.4 Katı modelin oluşturulması.....	28
4.4.5 Malzeme girişi.....	29
4.4.6 Adım (Step) menüsü	30
4.4.7 Etkileşim (Interaction) tanımlanması	31
4.4.8 Sınır şartların ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması.....	31
4.4.9 Parçanın küçük parçalara (mesh) bölünmesi	32
4.4.10 İş (Job) menüsü	33
4.4.11 Analiz sonrası işlemler (Postprocessor) menüsü	34
5. MUKAVEMET HESAPLARI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	37
5.1 Krene Etkiyen Kuvvetler	37
5.1.1 Zati ağırlıklar.....	37

5.1.2 Çalışma yükü.....	38
5.1.3 Dinamik yükler.....	40
5.1.4 Rüzgar yükü	42
5.1.5 Halat makarasından doğan yükler	44
5.2 DIN ve FEM Normlarına Göre Katsayıların Seçimi.....	44
5.3 Ana Kiriş.....	46
5.3.1 Ana Kiriş - Mukavemet hesapları	47
5.3.2 Ana Kiriş - Sonlu elemanlar analizi	54
5.4 Rijit Bacak	57
5.4.1 Rijit Bacak - Mukavemet hesapları.....	59
5.4.2 Rijit Bacak - Sonlu elemanlar analizi.....	73
5.5 Mafsalsal Bacak.....	81
5.5.1 Mafsalsal Bacak - Mukavemet hesapları	83
5.5.2 Mafsalsal Bacak - Sonlu elemanlar analizi	89
5.6 Gergi Kirişi	93
5.6.1 Gergi Kirişi - Mukavemet hesapları	93
5.6.2 Gergi Kirişi - Sonlu elemanlar analizi.....	95
5.7 Denge Kirişleri.....	97
5.7.1 Büyük Denge Kirişi - Mukavemet hesapları	97
5.7.2 Büyük Denge Kirişi - Sonlu elemanlar analizi	101
5.7.3 Küçük Denge Kirişi - Mukavemet hesapları	103
5.7.4 Küçük Denge Kirişi - Sonlu elemanlar analizi	106
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	113

KISALTMALAR

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

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları.....	21
Çizelge 4.2 : Sonlu elemanlar metodunun uygulama örnekleri	22
Çizelge 5.1 : Yükleme kombinasyon çizelgesi.....	38
Çizelge 5.2 : İşletme dışı rüzgar basıncı ve hızları.....	45
Çizelge 5.3 : Ömür faktörü.....	46
Çizelge 5.4 : Tesirlerin süperpozisi.....	69
Çizelge 6.1 : Analitik hesap ve sonlu elemanlar analizi sonuçları	111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Portal krenler.....	3
Şekil 2.2 : Gezer köprülü kren.....	4
Şekil 2.3 : Kule kren	5
Şekil 2.4 : Teleskobik kren.....	5
Şekil 2.5 : Jib kren	6
Şekil 2.6 : Krenin genel görünüşü	7
Şekil 2.7 : Ana Kiriş.....	8
Şekil 2.8 : Rijit Bacak	9
Şekil 2.9 : Mafsal Bacak	10
Şekil 2.10 : Mafsal konstrüksiyonu	10
Şekil 2.11 : Mafsal Bacak - Ana Kiriş montajı	11
Şekil 2.12 : Gergi Kirişi	11
Şekil 2.13 : Gergi Kirişi mafsal detayı.....	12
Şekil 2.14 : Yürüyüş Takımları	12
Şekil 2.15 : Kaldırıcı Grubu	13
Şekil 2.16 : Kanca Traversi	14
Şekil 2.17 : Araba	14
Şekil 2.18 : Araba üzerinde makaraların yerleşimi	15
Şekil 2.19 : Kabin	15
Şekil 4.1 : Bir boyutlu bir sonlu eleman	23
Şekil 4.2 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği	23
Şekil 4.3 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar	24
Şekil 4.4 : Abaqus/CAE ana penceresi	25
Şekil 4.5 : Abaqus/CAE açılış penceresi.....	28
Şekil 4.6 : Abaqus/CAE katı model oluşturma	28
Şekil 4.7 : Abaqus/CAE çizim alanı	29
Şekil 4.8 : Malzeme girişi	30
Şekil 4.9 : Adım (Step) menüsü.....	30
Şekil 4.10 : Etkileşim menüsü	31
Şekil 4.11 : Yükleme ve sınır şartlar menüleri.....	32
Şekil 4.12 : Parçanın dilimlenmesi	32
Şekil 4.13 : Eleman tipi seçme menüsü	33
Şekil 4.14 : İş menüsü	34
Şekil 4.15 : Sonuçların görüntülenmesi menüsü	35
Şekil 5.1 : Kombinasyon 111	39
Şekil 5.2 : Kombinasyon 112	39
Şekil 5.3 : Kombinasyon 113	40
Şekil 5.4 : Kombinasyon 121	41
Şekil 5.5 : Kombinasyon 122	41
Şekil 5.6 : Kombinasyon 123	42
Şekil 5.7 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 1	43

Şekil 5.8 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 2	43
Şekil 5.9 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 3	44
Şekil 5.10 : Kren tipine uygun titreşim katsayısı seçimi	45
Şekil 5.11 : FEM normlarına göre λ seçimi	45
Şekil 5.12 : Ana Kiriş' in uzunluk değerleri ve üzerine etkiyen yükler	47
Şekil 5.13 : Ana Kiriş kesiti	51
Şekil 5.14 : Sehim Kontrolü	53
Şekil 5.15 : Ana Kiriş	54
Şekil 5.16 : Ana Kiriş iç yapısı	55
Şekil 5.17 : Ana Kiriş gerilme değerleri - Statik Analiz	56
Şekil 5.18 : Ana Kiriş gerilme değerleri - Dinamik Analiz	57
Şekil 5.19 : Halat geçişi için açılmış delikler ve takviyeler	58
Şekil 5.20 : Kule içerisine geçiş	58
Şekil 5.21 : Rijit Bacak üzerine etkiyen yükler	59
Şekil 5.22 : Rijit Bacak Kule kesiti	63
Şekil 5.23 : Pantolon üzerine etkiyen yükler	65
Şekil 5.24 : Kaldırma halatı ve G_1 yükleri	68
Şekil 5.25 : Çubuk Kuvvetleri	70
Şekil 5.26 : Pantolon üst kesitine etkiyen yükler	71
Şekil 5.27 : Pantolon üst kesiti	71
Şekil 5.28 : Rijit Bacak	73
Şekil 5.29 : Rijit Bacak Kule iç yapısı	74
Şekil 5.30 : Montaj Kutusu	75
Şekil 5.31 : Rijit Bacak Montaj Kutusu ve Pantolon' un iç yapısı	76
Şekil 5.32 : Pantolon	77
Şekil 5.33 : Rijit Bacak Kule gerilme değerleri - Statik Analiz	78
Şekil 5.34 : Rijit Bacak Kule gerilme değerleri - Dinamik Analiz	78
Şekil 5.35 : Montaj Kutusu gerilme değerleri - Statik Analiz	79
Şekil 5.36 : Montaj Kutusu gerilme değerleri - Dinamik Analiz	79
Şekil 5.37 : Pantolon gerilme değerleri - Statik Analiz	80
Şekil 5.38 : Pantolon gerilme değerleri - Dinamik Analiz	81
Şekil 5.39 : Mafsal Bacak iç yapısı	82
Şekil 5.40 : Mafsal Bacak merdivenleri	82
Şekil 5.41 : Mafsal Bacak	83
Şekil 5.42 : Mafsal Bacak üzerine etkiyen yükler	84
Şekil 5.43 : Mafsal Bacak üzerine etkiyen yükler	85
Şekil 5.44 : Mafsal Bacak alt kesitine etkiyen kuvvetler	86
Şekil 5.45 : Mafsal Bacak alt kesiti	86
Şekil 5.46 : Mafsal Bacak üst kesiti	88
Şekil 5.47 : Mafsal Bacak	89
Şekil 5.48 : Mafsal Bacak modeli	90
Şekil 5.49 : Mafsal kutusu	91
Şekil 5.50 : Mafsal Bacak gerilme değerleri - Statik Analiz	91
Şekil 5.51 : Mafsal Bacak gerilme değerleri - Dinamik Analiz	92
Şekil 5.52 : Gergi Kirişi kesiti	93
Şekil 5.53 : Gergi Kirişi	95
Şekil 5.54 : Gergi Kirişi modeli	96
Şekil 5.55 : Gergi Kirişi gerilme değerleri - Statik Analiz	96
Şekil 5.56 : Gergi Kirişi gerilme değerleri - Dinamik Analiz (İç Bölge)	97
Şekil 5.57 : Büyük Denge Kirişi' ne etkiyen kuvvetler	98

Şekil 5.58 : Büyük Denge Kirişi orta kesiti	99
Şekil 5.59 : Büyük Denge Kirişleri.....	101
Şekil 5.60 : Büyük Denge Kirişi modeli	102
Şekil 5.61 : Büyük Denge Kirişi gerilme değerleri – Statik Analiz	102
Şekil 5.62 : Büyük Denge Kirişi gerilme değerleri – Dinamik Analiz.....	103
Şekil 5.63 : Küçük Denge Kirişi’ ne etkiyen kuvvetler	104
Şekil 5.64 : Küçük Denge Kirişi kesiti	105
Şekil 5.65 : Küçük Denge Kirişleri.....	107
Şekil 5.66 : Küçük Denge Kirişi modeli	107
Şekil 5.67 : Küçük Denge Kirişi gerilme değerleri – Statik Analiz	108
Şekil 5.68 : Küçük Denge Kirişi gerilme değerleri – Dinamik Analiz.....	109

SEMBOL LİSTESİ

Q_w	Rüzgar yükü [N]
k_{dw}	Rüzgar hız katsayısı
V_s	Rüzgar hızı [m^2/s]
p	Tekerleklerin yüklenmelerinin dingil aralığı [mm]
a	Tekerlek aralığı [mm]
λ	Narinlik derecesi
ψ	Titreşim katsayısı
q	Rüzgar basıncı [daN/m^2]
A	Taşıyıcı sistem elemanlarının net rüzgar yüzeyi [mm^2]
γ_c	Ömür faktörü
σ_E	Maksimum emniyet gerilmesi [N/mm^2]
σ_a	Akma gerilmesi [N/mm^2]
γ_E	Emniyet katsayısı
τ_E	Maksimum emniyet kayma gerilmesi [N/mm^2]
σ_{cp}	Eşdeğer gerilme [N/mm^2]
P	Tek bir araba için yüklü toplam ağırlık [kg]
Q	Ana Kiriş ağırlığı [kg]
Q_k	Rijit Bacak üst kutu ağırlığı [kg]
G_{rb}	Rijit Bacak toplam ağırlığı [kg]
P_{AFR}	Yüklü arabalardan kaynaklanan atalet kuvveti [kg]
T_h	Halat yükü [kg]
J_x	X-eksenindeki atalet momenti [cm^4]
J_y	Y-eksenindeki atalet momenti [cm^4]
W_x	X-eksenindeki mukavemet momenti [cm^3]
W_y	Y-eksenindeki mukavemet momenti [cm^3]
t_{min}	Minimum cidar kalınlığı [cm]
F	Kesit yüzey alanı [cm^2]
G_{kule}	Rijit Bacak Kule ağırlığı [kg]
P_p	Rijit Bacak Kule' ye etki eden düşey yük [kg]
k	Pantolon narinlik katsayısı
P_m	Mafsalsal Bacak kolonuna etkiyen düşey yük [kg]
i	Eylemsizlik (Jirasyon) yarıçapı [mm]
ω	Burkulma katsayısı

2x160 TON PORTAL KRENİN TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE GERİLME ANALİZİ

ÖZET

Günümüz dünyasında, gemi inşa endüstrisinde, Türkiye önemli bir rol üstlenmektedir. Tersaneler sürekli olarak çalışmakta ve yaklaşık üç ayda bir, yeni bir gemi yapımını gerçekleştirmektedirler. Gemi yapımında kullanılan parçaların taşınması için ise çok sayıda ve farklı tonajlarda krenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Beş yüz tona kadar varan çok ağır yüklerin taşınmasında portal krenler kullanılmaktadır. Bu nedenle gemi parçalarının ağırlıkları genellikle fazla olduğundan, tersanelerde en yaygın kullanılan kren tipi portal krenlerdir. Kren projeleri, tersanelerin ihtiyaçlarına göre tasarlanmaktadır. Krenin tasarımı yapılırken, kaldırılmak istenilen ağırlık, bu ağırlığın ne kadar yükseğe kaldırılması gerektiği ve krenin kullanılacağı bölge göz önünde bulundurulmuştur. Bu verilerden yola çıkarak öncelikle krenin sahip olması gereken yükseklik, ray açıklığı, kaldırma yüksekliği, kren hızı ve araba hızı gibi ana özellikler tespit edilmiştir. Daha sonra, krenin bütün parçalarının boyutları ve kullanılması gereken tahrik ve iletim elemanları belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinden önce parçaların analitik hesapları yapılmış, analiz işleminde krene uygulanacak kuvvetlerden bazıları da bu hesaplarla belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için ilk olarak bir çizim programı yardımıyla, sistemin üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak model küçük parçalara (sonlu elemanlar) ayrılmıştır. Bir analiz programı kullanılarak ve krenin kendi ağırlığı, taşıyacağı yük, kanca ağırlığı, araba ağırlığı, rüzgar yükü ve hareket esnasında oluşacak dinamik yükler göz önünde bulundurularak, kren üzerinde oluşan gerilmelerin, emniyet gerilmesini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Parçaların ayrı ayrı ele alınan gerilme analizi sonuçlarında, bu değerin aşılmadığı görülmekle beraber, bazı parçaların kritik bölgelerinde gerilmelerin emniyet değerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Yine, bazı parçalarda maksimum gerilmenin, emniyet gerilmesinin oldukça altında olduğu görülmüştür. Bu parçaların tasarımının uygun şekilde revize edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca, analitik hesaplarda elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçların karşılaştırması yapılmış ve sonlu elemanlar yönteminin kren analizleri için uygunluğu tespit edilmiştir.

DESIGN AND STRESS ANALYSIS WITH THE FINITE ELEMENT METHOD OF 2x160 TON GANTRY CRANE

SUMMARY

Today in the world, Turkey has a great role in ship building industry. Shipyards work continuously and build a new ship in almost every three months. They need a lot of cranes in different tonages to lift and move the parts of the ships. To lift the heavy weights which raise to fifty hundred tons, gantry cranes are used. Therefore, gantry cranes are mostly used crane type in the shipyards because of the heavy weights of the ship parts. Projects of the cranes are designed in need of the shipyards. While designing the crane geometry, the load which will be lifted, the lifting height and the situation of the area where the crane will work should be considered. Depending on these values the main features as the height of the crane, the rail distinction, the lifting height, the speed of the crane and the trolley are determined. Afterwards, the dimensions of whole parts of the crane, and the actuators and the transmission parts to use are defined. Before the finite element analysis, the analytic calculations of the parts are done, and some of the forces which will be affected to the crane are found in these calculations. For finite element analysis, firstly a three dimensional model of the crane is created with the aid of a drawing program. This model is meshed into small parts with using the finite element method. The stresses on the crane are checked whether they exceed the yield strength or not with using an analysis program and considering the crane's self weight, the load to be carried, hook weight, trolley weight, wind load and the dynamic loads occurring with the movement of the crane. The stress analysis results of the parts are controlled individually, and this control shows that the stresses on all parts are below the yield strength but the stresses on some critical areas are so adjacent to yield strength. In addition, the stresses on some parts are found so low. The design of these parts should be revised with suitable methods. Furthermore, the results of the analytic calculations and the results of the finite element analysis are compared, and the relevance of the finite element method for the crane analysis is determined.

1. GİRİŞ

Dünya'nın önde gelen gemi imalatçılarından olan ülkemizde, çok sayıda tersane bulunmakta ve bu tersaneler ara vermeksizin sürekli olarak çalışmaktadırlar. Gemi yapımı için birçok devasa parçanın taşınması gereklidir. Bu taşıma işlemi için ise tersaneler, krenlere (vinçlere) ihtiyaç duymaktadırlar.

Tersanelerde, ağır yüklerin taşınabilmesi için büyük tonajlı ve nispeten daha hafif yüklerin hızlı bir şekilde transferi için de küçük tonajlı birçok kren bulunmaktadır. Çalışmanın konusu olan 2x160 tonluk portal kren, 320 tona varan yükleri taşıyabilmektedir ve büyük tonajlı bir kren olarak kabul edilebilir.

Portal krenler, tersanlerde en çok kullanılan kren tipleridir. Bu krenlerin ana kirişleri kutu veya kafes olarak imal edilebilmektedir. Bu çalışmada, kutu ana kirişli portal krenin parçaları tanıtılmış, krene etkileyen yükler göz önünde bulundurularak analitik hesaplar gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu modeli oluşturulan krenin, sonlu elemanlar yöntemiyle hem statik hem de dinamik olarak analizi yapılarak, parçalar üzerindeki gerilmelerin tespiti yapılmıştır. Elde edilen gerilme değerlerinin, emniyet gerilmesini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kren çeşitleri ve portal kren elemanlarının özellikleri anlatılmıştır. Portal kreni oluşturan bütün parçaların (Ana Kiriş, Rijit Bacak, Mafsallı Bacak, Gergi Kirişleri, Büyük ve Küçük Denge Kirişleri ve Yürüyüş Takımları) işlevleri açıklanmış ve parçaların üç boyutlu modelleri şekillerle gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde, krenin sahip olduğu teknik özellikler verilmiştir. Bu veriler, krenin kaldırma yüksekliği, ray açıklığı, yürüme hızı vb. bilgileri içermektedir.

Dördüncü bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan Abaqus/CAE sonlu elemanlar paket programından kısaca bahsedilmiş ve analiz sırasında uygulanan işlemler basit bir şekilde anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, kren parçalarının mukavemet hesapları ve analiz sonuçları bulunmaktadır. Mukavemet hesaplarında, parçaların kesit özellikleri, parçalara etkileyen yükler (krenin kendi ağırlığı, arabaların ağırlığı, kanca ağırlığı, taşınacak

olan yükün ağırlığı) ve parçaların boyutları verilmiş, hesaplar bu verilerden yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz işleminden önce parçalar tek tek modellenmiş, daha sonra tüm parçaların montajı yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Herbir parçanın analiz sonuçları ayrı ayrı irdelenmiştir.

Sonuç bölümünde ise, analitik hesaplarda ve analiz işleminde bulunan sonuçlar karşılaştırılarak, tasarımın uygun olup olmadığı ve sonlu elemanlar yönteminin bu problem için uygunluğu tartışılmıştır.

2. KREN ÇEŞİTLERİ VE PORTAL KREN ELEMANLARI

İlk krenler, Eski Yunanlılar tarafından keşfedilmiş ve büyük binaların yapımında kullanılmışlardır. Daha sonra, tekerlekler tarafından hareket ettirilen ve ağır yüklerin taşınmasına imkan veren daha büyük krenler geliştirilmiştir. Orta Çağ' da, krenler, gemilerin yapımı ve yükleme-boşaltma işlemleri için limanlarda kullanılmaya başlanmıştır. İlk krenler tahtadan imal edilmiş fakat Endüstri Devrimi ile birlikte, krenlerin yapımında dökme demir ve çelik kullanılmaya başlanmıştır.

Her biri özel bir kullanım alanı için yapılmış birçok kren çeşiti mevcuttur. Genellikle fabrika içlerinde kullanılan jib krenlerden, yüksek binaların yapımında kullanılan kule krenlere ve gemi ve petrol kulelerinin yapımı için kullanılan portal krenlere kadar değişik ebatlarda ve değişik amaçlar için kullanılan çok sayıda kren imal edilmektedir.

Portal krenler zeminden destek bacaklar vasıtası ile yükselirler. Köprü, zemine monte edilen raylar üzerinde, yürüyüş grupları yardımıyla hareket eder. Tek veya iki köprülü olabilirler. Büyüklükleri kullanım alanlarına göre değişiklik göstermektedir. Tersanelerde gemi yapımında ve birçok endüstride yüklerin taşınmasında kullanılırlar. Şekil 2.1' de portal krenler görülmektedir.



Şekil 2.1 : Portal krenler

Gezer köprülü krenler, kaldırma grubu, köprü yürüyüş grubu ve köprü olmak üzere üç ana parçadan oluşurlar. Portal krenler gibi tek veya çift kirişli olabilirler. Portal krenlerden farkları, rayların taşıyıcı kolonlar üzerinde bulunmasıdır. Bu nedenle destek bacaklara ihtiyaçları yoktur. Genellikle kapalı alanlarda, depolama, yükleme ve taşıma işlerinde kullanılırlar. Şekil 2.2’ de gezer köprülü kren resmi görülmektedir.



Şekil 2.2 : Gezer köprülü kren

Kule krenler, kaldırma kapasitesi ve kaldırma yüksekliğinin en iyi kombinasyonuna sahip olup, yüksek binaların yapımında kullanılırlar. Dengeyi sağlayabilmek ve alandan tasarruf edebilmek için, krenin dikey parçası genellikle yapının orta kısmındaki bloğa sabitlenir. Kulenin üzerinde bulunan yatay bom asimetriktr. Bomun bir tarafında yük taşınırken, diğer kısmında dengeyi sağlayabilmek için beton bloklar (karşı ağırlık) bulunmaktadır. Montajları genellikle teleskobik krenler yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 2.3’ te kule kren resmi görülmektedir.



Şekil 2.3 : Kule kren

Teleskobik krenler, birbirini içine geçmiş tüplerden oluşan bir boma sahiplerdir. Hidrolik sistem, bu tüpleri ileri iterek ya da geri çekerek hareketi sağlamaktadır. Genellikle kısa zamanlı konstrüksiyon projeleri ve kurtarma işlerinde kullanılırlar.

Bu krenler mobil bir platform üzerine mafsallanırlar. Şekil 2.4’ te mobil bir araç üzerinde bulunan teleskobik kren görülmektedir.



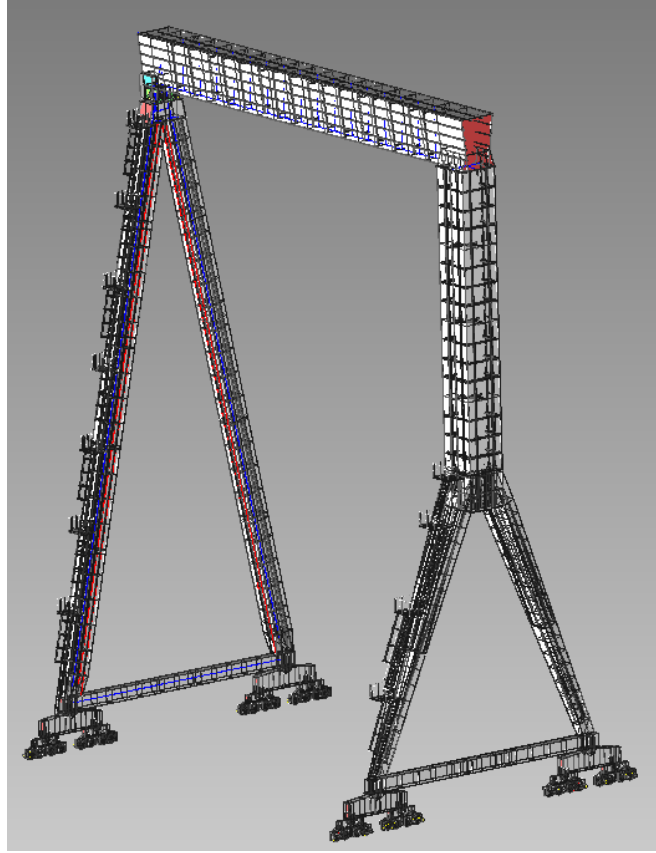
Şekil 2.4 : Teleskobik kren

Jib krenler, yere monte edilen bir yapı ve buna bağlı, istenildiğinde açısal olarak hareket edebilen bir boma sahiptir. Endüstride parçaların taşınmasında, bina yapım işlerinde ve askeri araçların üretiminde kullanılırlar. Aşağıdaki şekilde tersanede gemi yapımında, portal krenlere göre daha hafif yüklerin taşınmasında kullanılan bir jib kren görülmektedir.



Şekil 2.5 : Jib kren

Portal krenler daha önce belirtildiği gibi genellikle açık alanlarda, yere monte edilen raylar üzerinde hareket ederler. Bir tarafı binanın üzerine yerleştirilmiş bir ray veya bir platform (guse) üzerinde hareket eden krenlere, topal veya yarı portal kren denir. Bu krenler açık havada çalıştıklarından korozyona karşı dirençli üretilmelidirler. Bu nedenle, genellikle üç kat boya ile kaplanırlar. Motorlar ve diğer makineler içine su girmeyecek şekilde korunmalıdırlar. Şekil 2.6' da 2x160 ton portal krenin modeli görülmektedir.



Şekil 2.6 : Krenin genel görünüşü

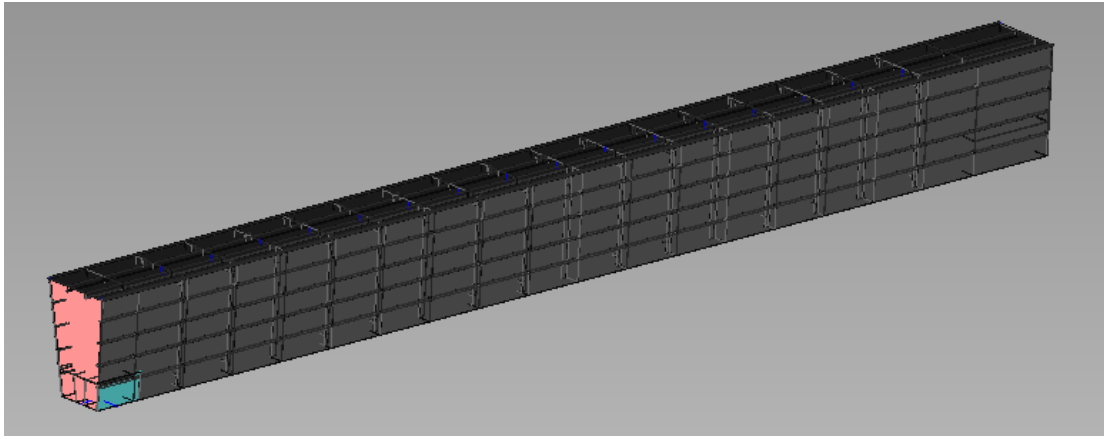
Portal krenler gezer köprü krenleri ile aynı mukavemet ve sağlamlığa sahiptir. Portal krenlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir [1];

- Taşıyıcı kolonlara ve bunların üzerindeki yürüme yolu konstrüksiyonuna ihtiyaç yoktur.
- Uzun yürüme yolları durumunda ucuzluk sağlanır.
- Yüklerin fabrikaya girişi ve çıkışı kolaydır.
- Portal krenler kolaylıkla hareket ettirilebilir ve yer değiştirilebilir.
- Sabit yürüme yolu yapımına ihtiyaç yoktur

2.1 Ana Kiriş

Ana Kiriş, krenin en tepesinde bulunan ve yükün taşınmasını sağlayan ana elemandır. Her iki tarafından birer bacağa monte edilirler. Genellikle bu bacaklardan biri sabit (rijit) diğeri ise hareketli (mafsal) bacak olarak tasarlanır.

Günümüzde birçok alanda kullanılan krenlerin ana kirişleri kutu kesitli ya da kafes yapıda imal edilebilmektedir. Kutu kirişin tasarımı, kafes sisteme göre oldukça basittir, imalatı daha kısa zamanda ve daha kolay gerçekleştirilebilir. Ray açıklıkları fazla olan krenlerde ise kafes sistem tercih edilir. Bunun nedeni kafes kirişlerin kutuya göre daha az rüzgara maruz kalmasıdır. Kafes sistem ile daha az malzeme kullanılarak, rüzgara karşı daha mukavim bir yapı elde edilebilir. Fakat gerek proje gerekse imalat zorlukları sebebiyle ray açıklığı belli bir uzunluğu geçmediği sürece kutu yapılar daha çok tercih edilirler. Projede ele alınan kren de kutu ana kirişli olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.7)

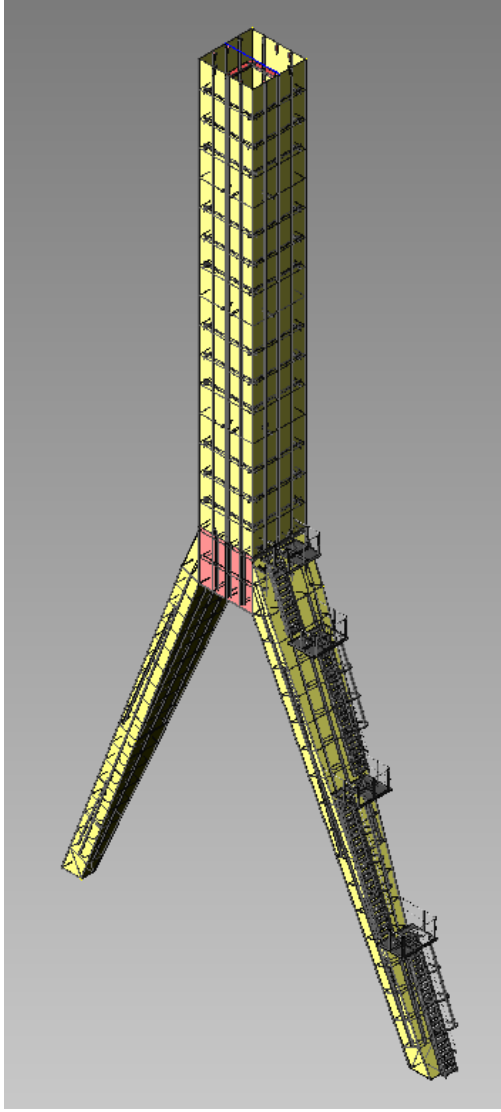


Şekil 2.7 : Ana Kiriş

2.2 Bacaklar

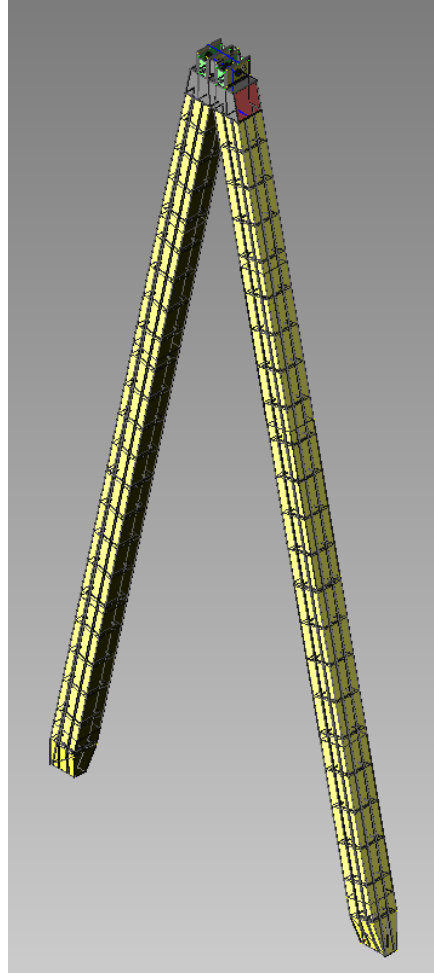
Krende, Ana Kiriş' i taşıyan iki adet bacak mevcuttur. Bunlardan birisi rijit olarak tasarlanır ve hareketsizdir. Rijit Bacak adı verilen bu bacak, üç kısımdan oluşur (Şekil 2.8). En üstte Ana Kiriş ile Rijit Bacak' ın bağlantısını sağlayan Rijit Bacak Üst Kutusu' na monte edilen Kule bulunmaktadır. En altta Pantolon adı verilen parçalar mevcuttur. Yükü iki eşit parçaya bölerek, Gergi Kirişi 'nin kenar bölgelerine aktarılmasını sağlarlar. Ortadaki parçaya ise Montaj Kutusu adı verilir. Kule ile Pantolonlar' ın montajını sağlar.

Diğer tarafta Mafsal Bacak bulunduğundan, yük ve krenin ataletinden oluşan momentler Rijit Bacak tarafından taşınır, bu yüzden bu bacak üzerinde büyük gerilmeler oluşmaktadır.



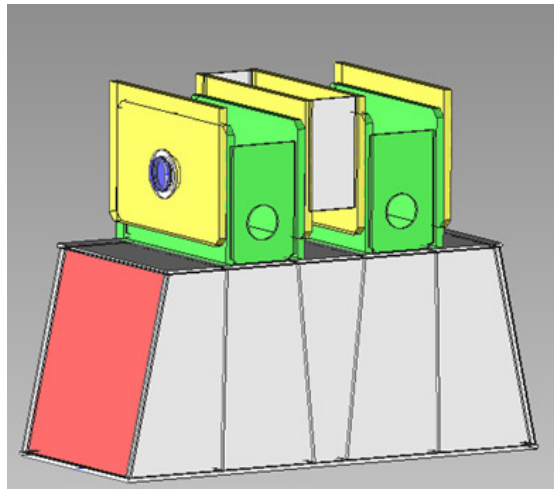
Şekil 2.8 : Rijit Bacak

Sistemde belirsizliğin oluşmaması için diğer bacak, bir mafsal yardımıyla Ana Kiriş'e monte edilir. Şekil 2.9' da gösterilen bu bacağa Mafsal Bacak adı verilir. Mafsal, ray ekseninde gelen yatay yükleri taşımamaktadır.

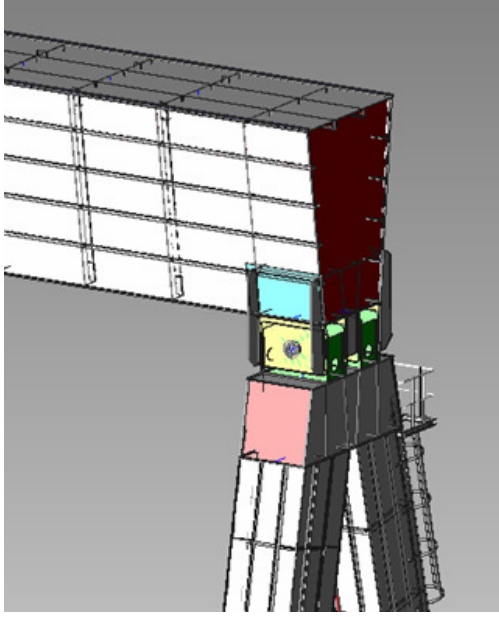


Şekil 2.9 : Mafsal Bacak

Mafsal Bacak ile Ana Kiriş' in montajı Şekil 2.10' da görülen mafsal konstrüksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.11' de ise montaj bölgesi görülmektedir.



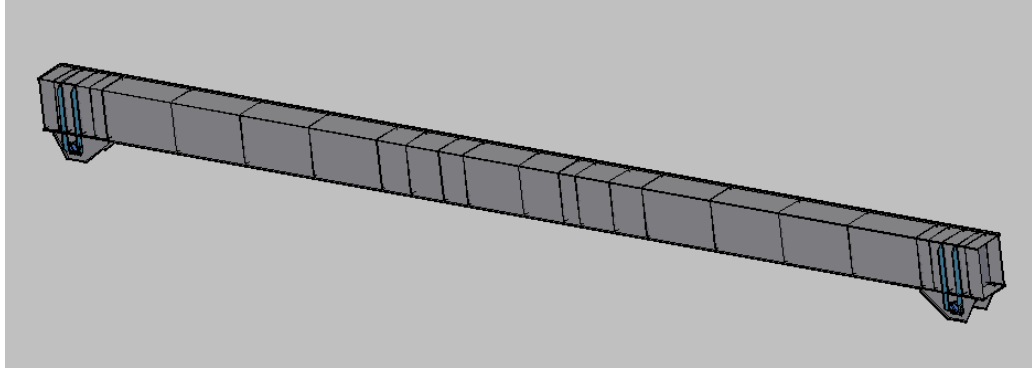
Şekil 2.10 : Mafsal konstrüksiyonu



Şekil 2.11 : Mafsal Bacak - Ana Kiriş montajı

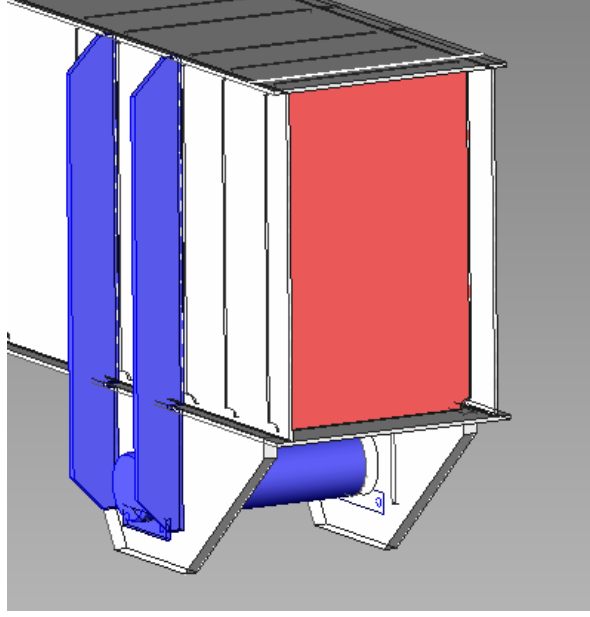
2.3 Gergi Kirişleri

Her iki bacağın altında birer adet Gergi Kirişi bulunmaktadır. Pantolonlar' dan ve Mafsal Bacaklar' dan gelen yükler Gergi Kirişleri tarafından taşınır. Şekil 2.12' de Gergi Kirişi görülmektedir.



Şekil 2.12 : Gergi Kirişi

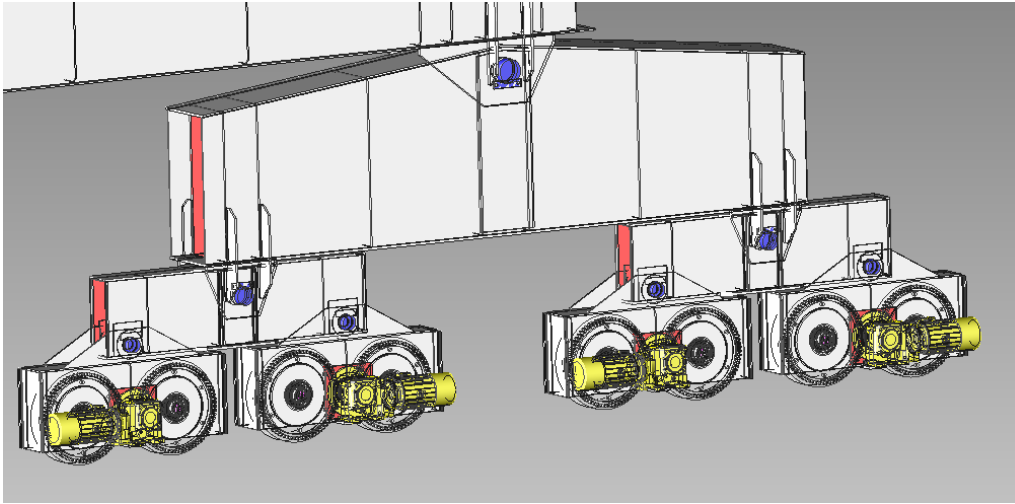
Gergi Kirişleri, Büyük Denge Kirişleri' ne birer mafsal yardımı ile bağlanır. Kirişin her iki tarafında Şekil 2.13' te görüldüğü gibi birer adet mafsal olup, iki adet Büyük Denge Kirişi ile montajı yapılmaktadır.



Şekil 2.13 : Gergi Kirişı mafsalsı detayı

2.4 Yürüyüş Takımları

Şekil 2.14' te görülen Yürüyüş Takımları, Büyük Denge Kirişı, Küçük Denge Kirişı, Boji ve tekerleklerden oluşmaktadır. Her bir yürüyüş grubunda 8 adet tekerlek bulunmaktadır. Tekerleklerin ikişerli olarak monte edildiği parçalara Boji, Bojiler' in ikişerli olarak monte edildiği parçalara ise Küçük Denge Kirişı adı verilmektedir. Küçük Denge Kirişleri ise ikişerli olarak Büyük Denge Kirişi 'ne monte edilirler. Bütün montajlar perno-mafsalsı bağlantıları ile gerçekleştirilir. Bu bağlantı şekli ile kren esneklik kazanmakta ve gerilmeler azaltılmaktadır.

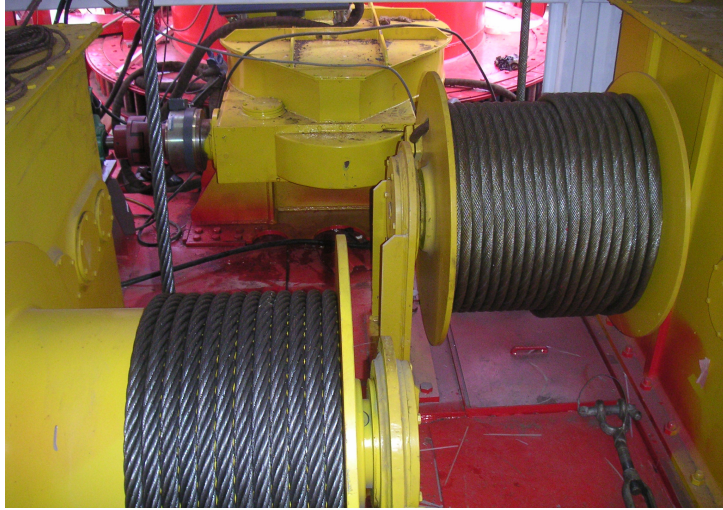


Şekil 2.14 : Yürüyüş Takımları

2.5 Kaldırma Grubu

Kaldırıcı, Rijit Bacak Gergi Kirişi üzerine monte edilir. Motor, fren, redüktör, tambur ve karşı yataktan oluşur. Motor, redüktörün giriş pinyonunu tahrik eder. Pinyon-dişli çark mekanizması ile bu moment, uygun çevrim oranı sağlanarak tambura aktarılır. Tamburun içinden geçen çıkış pinyonu, diğer tarafta karşı yatak adı verilen parçada bulunan rulman ile merkezlenmektedir.

Şekil 2.15’ te görülen tamburlar üzerine sarılan halatların diğer uçları kancalara bağlıdır. Halatın tambura sarılması ile kancanın yukarı çıkması sağlanır. Aynı şekilde, halatların geri hareketinde kanca aşağı doğru iner.



Şekil 2.15 : Kaldırıcı Grubu

Şekil 2.16’ da kanca ve kancanın monte edildiği kanca traversi görülmektedir. Yüke bağlanan halatın diğer ucu da kanca traversine bağlanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi traversin üst kısmında bulunan makaraya gelen halatın hareketi ile yükün kaldırılması ve indirilmesi sağlanmaktadır.

Kanca üzerinde, halatın kancadan sıyrılmaması için emniyet mandalı bulunmaktadır. Halat kancaya geçirilirken mandal açılır ve halat yerleştirildikten sonra, mandal kendiliğinden şekilde görülen konuma gelerek halatın yerinden çıkmasını önler.

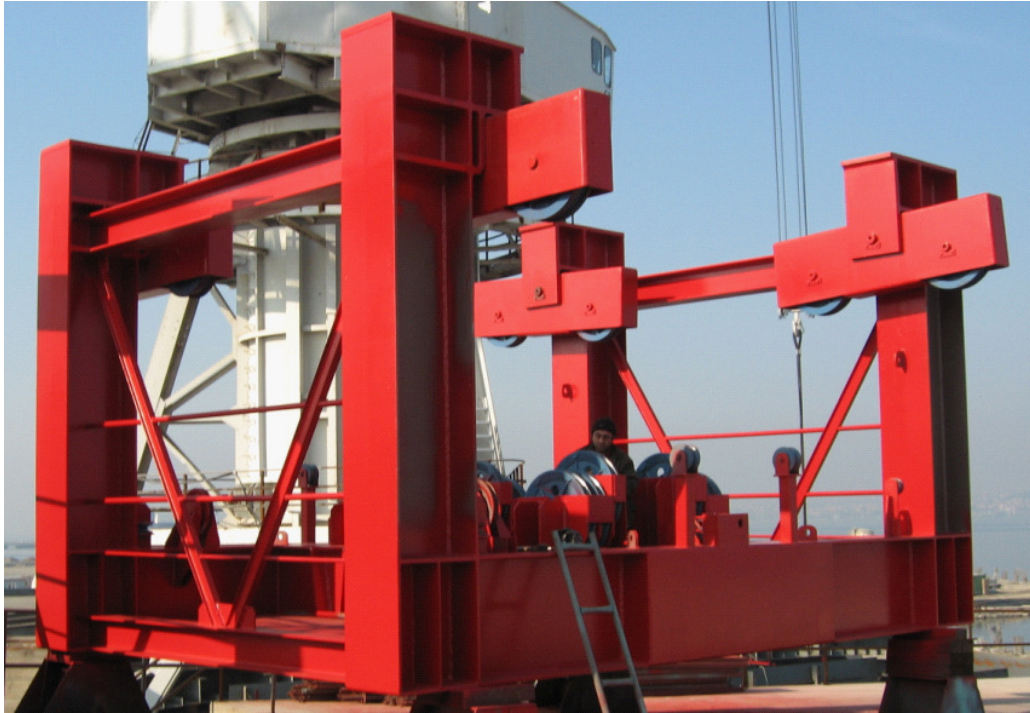


Şekil 2.16 : Kanca Traversi

2.6 Araba Yürüyüş Grubu

Yüklerin taşınması araba ya da kedi adı verilen mekanizmalar ile sağlanır. Çoğu yüksek tonajlı krende genellikle iki adet araba bulunur. Arabalar, Ana Kiriş üzerinde bulunan raylar üzerinde sağa ve sola doğru hareket ederler.

Arabanın modeli de çizilmiş fakat sonlu elemanlara ayırma işlemini zorlaştıracığı düşünüldükçe, analiz sırasında kren modeline dahil edilmemiştir. Arabanın ağırlığı, kanca ve yük ağırlığı ile toplanarak kren üzerine etkilmiştir. Arabanın resmi Şekil 2.17' de görülmektedir.



Şekil 2.17 : Araba

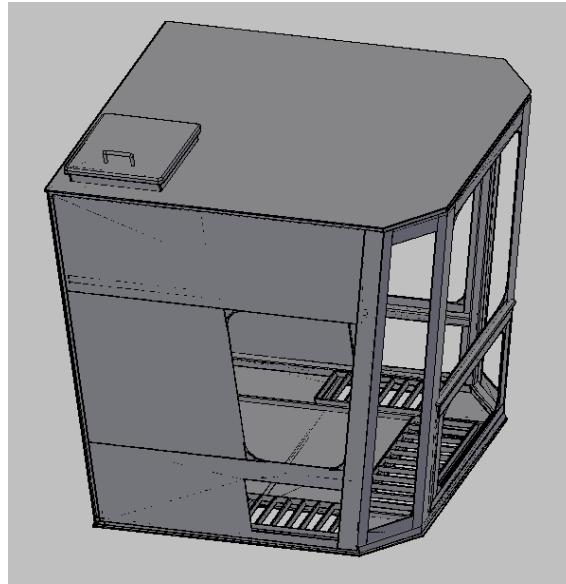
Araba üzerinde, kaldırma ve yürüme işlemlerini gerçekleştirmek için çok sayıda makara bulunmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Araba üzerinde makaraların yerleşimi

2.7 Kabin

Kren, operatör tarafından genellikle Ana Kiriş'e monte edilen bir kabinde kontrol edilmektedir. Kabinin yukarıda olması, operatörün daha fazla alana hakim olabilmesini sağlar. Kabinde, zeminin bir kısmı da dahil olmak üzere, birçok yerde camlar bulunmakta ve kullanıcının her yönü görebilmesi sağlanmaktadır. Kabinin üç boyutlu modeli çizilmiş (Şekil 2.19), fakat sonlu elemanlarla modellenmesi zor olacağından analiz işleminde krene montajı yapılmamış ve ağırlığı dikkate alınmamıştır.



Şekil 2.19 : Kabin

3. KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Krenin sahip olduğu teknik özellikler, hesaplamalar esnasında kullanılacak verileri içerir. FEM standartlarına göre krenin çalışma süresi, taşıdığı yük vb. durumlara göre belirli gruplar mevcuttur. Hesaplarda kullanılacak olan katsayılar bu esaslara göre belirlenir. Tahrik sistemleri, kaldırma grubu ve kren yürütme grubu ile ilgili bilgiler de verilmiştir.

3.1 Teknik Özellikler

Kren Tipi	: Portal Kren
Kaldırma Kapasitesi	: 2 x 160.000 kg
Kren Yürüme Ray Açıklığı	: 36.000 mm
Kaldırma Yüksekliği	: 45.000 mm
Yürüme Rayı Uzunluğu	: 360 m

3.2 FEM 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

Kren Yürütme Grubu : M5

3.4 Kaldırma Grubu

Kaldırma Kapasitesi : 2 x160.000

Kaldırma Yüksekliği : 45.000 mm

Ana Kaldırma Hızı : (Frekans inverteri ile) 0 ÷ 2,3 m/dak

Ana Kaldırma Motoru : 2 x 1 x 90 kW

Ana Kaldırma Frenleri : 2 x 2 x 40 kg.m

Araba Tipi : Çift Raylı Üst Araba

Araba Yürüme Rayı : 80x40 mm²

3.5 Kren Yürütme Grubu

Gergi Kirişi Mafsal Açıklığı : 20.000 mm

Tekerlek Çapı : Ø710 mm

Kren Yürüme Hızı : (Frekans inverteri ile) 0 ÷ 17 m/dak

Kren Yürütme Motorları : 16 x 7,5 kW

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu Elemanlar Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Son kırk yılda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

Bu yöntem her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da, akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar ve termal analiz gibi bir çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

4.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihi

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından, çalışmasında telâffuz edilmiştir. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir (Argyis (1964)).

İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlar olup (Grafton ve Strome (1963)), bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir (Gallagher (1969)). Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında lineer olmayan problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak lineer olmayan problemler için bir çözüm tekniği geliştirmiştir. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk defa Martin (1965) tarafından tartışılmıştır. Statik problemlerin yanısıra dinamik problemler de sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlanmıştır (Zienkiewicz diğerleri (1966), Koenig ve Davids (1969)). 1943 yılında Courant, bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir.

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960' lı yıllarda başlamıştır. Örneğin Zienkiewicz ve Cheung (1965) sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer bir çok alana uygulanmaktadır.

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yıllarının ortaları itibarıyla sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlanmıştır [2].

4.2 Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodu, yapısal mekanik problemlerinin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için de kullanılmaktadır. Metodun bu kadar çok uygulama alanı bulmasının nedenlerinden birisi, değişik mühendislik problemlerinin arasındaki benzerliklerdir [3]. Sonlu elemanlar metodu'nun bazı uygulama alanları Çizelge 4.1' de, bazı uygulama örnekleri ise Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları

Uygulama Alanları	Denge Problemleri	Özdeğer Problemleri	İlerleme Problemleri
İnşaat Mühendisliği	Çerçevelerin, levhaların, duvarların, yapıların, köprülerin, kirişlerin, ve öngerilmeli beton elemanların statik analizi	Doğal frekanslar, Stabilite analizi	Gerilme dalgalarının ilerlemesi, Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı
Uçak Mühendisliği	Gövdenin, kanatların, kanatçıkların statik analizi, Roketlerin, füzelerin statik analizi	Doğal frekanslar, Stabilite analizi	Yapıların gelişigüzel yüklere cevabı, Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı
Isı İletimi	Sürekli rejim için katı ve akışkanlarda sıcaklık dağılımı		Roket çıkışlarında, içten yanmalı motorlarda, türbin kanatalarında ve binalarda ısı akışı
Jeomekanik	Hafriyatların, istinad duvarlarının, yer altı boşluklarının, kaya ve toprak yapıların etkileşiminin analizi. Toprakta, tepelerde, barajlarda ve makine temellerinde gerilme analizi	Baraj gövdesi ile göletin ve toprak ile yapıların etkileşiminin incelenmesi, doğal frekansların bulunması	Zamana bağlı toprak ve yapı etkileşimi problemleri, toprak ve kayalarda sızıntı problemleri
Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği, Hidrodinamik	Hidrolik yapıların ve barajların analizi, potansiyel, serbest yüzey, sınır tabakası ve viskoz akışlar ile transonik aerodinamik problemlerin çözümü	Sığ havuzların, göllerin, limanların doğal periyotlarının bulunması, sıvıların rijit ve esnek kaplardaki hareketleri	Kararsız akış ve dalga ilerlemesi analizi, gözenekli yapılarda sızıntı, gaz dinamiği
Nükleer Mühendislik	Nükleer basınçlı kapların ve yapıların analizi, reaktör parçalarında sürekli rejim için sıcaklık dağılımı	Yapıların doğal frekansları, yapıların stabilite analizi	Reaktör parçalarında kararsız sıcaklık dağılımı, reaktör yapılarının ısı ve viskoelastik analizi
Biyomedikal Mühendislik	Kemiklerde, dişlerde, gözlerde vs. gerilme analizi, doğal yapılar ve protezler için yük taşıma kapasitesi analizi, kalp kapakçıklarının mekaniği		Kafatasının darbe analizi, anatomik yapıların dinamiği
Mekanik Tasarım	Basınçlı kapların, pistonların, kompozit malzemenin, dişlilerin vs. gerilme analizi, gerilme konsantrasyonu problemleri	Makine elemanlarının, takım tezgahlarının, dişlilerin vs. doğal frekansları ve stabilite problemleri	Dinamik yük altında çatlak ve kırılma mekaniği problemleri

Çizelge 4.2 : Sonlu elemanlar metodunun uygulama örnekleri

Hidrolik	Yeraltı sularını taşıyan geçirimli katmanların analizi
	Göllerde su dolaşımının analizi ve termal analizi
	Nehirlerde ve denizlerde gelgit sonucu oluşan yayılma ve dağılmanın analizi
Toprak Mekaniği	Yamaçlar, kazılar ve setler için gerilme analizi
	Temellerin yük taşıma ve oturma analizi
Hidroelastisite	Sıvıların elastik kaplardaki hareketleri
	Baraj gövdesi ile göletin etkileşiminin analizi
Biyomekanik	Alyuvarların ve plazmanın kılcal damarlardaki hareketlerinin incelenmesi
	Eklemlerde yağlama analizi
	Kalbin ve kemiklerin gerilme analizleri
Temas Problemleri	Elastik çarpmanın analizi
Nükleer Mühendislik	Beton reaktör gövdelerinin analizi
	Çok grulu nötron yayılması probleminin çözümü
Korozyon	Yerel korozyon hücrelerinin analizi
Kompozit Malzemeler	Katmanlı ahşap sistemlerin analizi
	Sandviç kabukların analizi
	İnce tabakalı levhaların analizi
Mekanizma	Mekanizmaların deplasman ve gerilme analizi
	Dişlilerin gerilme analizi
Otomotiv	Araç gövdelerinin analizi
Kırılma Mekaniği	Gerilme yoğunluğu faktörlerinin bulunması
	Çatlak ilerlemesinin analizi
Aeroelastisite	Kaldırma özelliğine sahip yüzeylerde yük dağılımı, ayrılma ve kanat hareketlerinin analizi
Takım Tezgahları	Torna tezgahı, freze tezgahı, radyal matkap vb.'nin yapısal analizi
Metal Biçimlendirme	Soğuk ve sıcak haddeleme, ekstrüzyon, derin çekme vb. İşlemlerin analizi
Döküm	Katılaşmanın analizi

4.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri

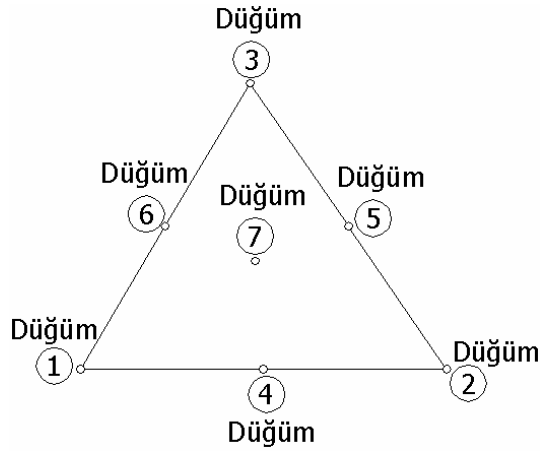
Sonlu elemanlar yönteminde doğru sonuçlar alınabilmesi için ilk adım parçanın en uygun şekilde sonlu elemanlara bölünmesidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın şekli seçilmelidir. Eleman tipleri, tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu ve dönele olmak üzere dört ayrı şekilde incelenebilir [4].

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa, Şekil 4.1’ de örneği verilen bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir [5].



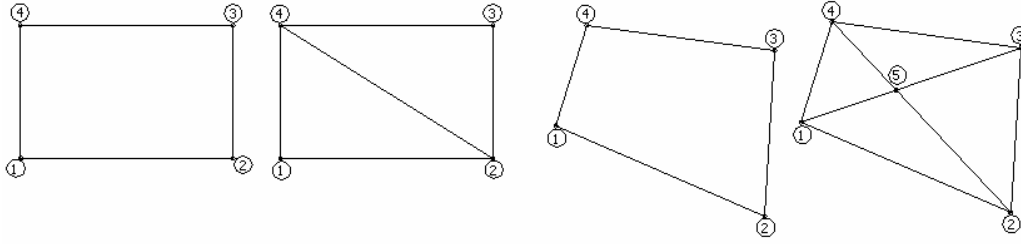
Şekil 4.1 : Bir boyutlu bir sonlu eleman

İki boyutlu elemanlar, düzlem problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Temel elemanı Şekil 4.2’ de görülen üçgen tipi sonlu elemandır [4].



Şekil 4.2 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği

Üçgen elemanların birleşmesiyle meydana gelen dörtgen elemanlar, geometriye uyum sağladıkları sürece oldukça kullanışlıdır. Şekil 4.3’ te çeşitli dörtgen eleman tipleri görülmektedir.



Şekil 4.3 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar

Diğer bir eleman tipi ise üç boyutlu elemanlardır. Bu grupta temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması veya daha genel olarak altı yüzeyli elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir.

Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde ise dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapmasıyla oluşurlar. Gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, eksenel simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözme olanağı sağladığı için çok kullanışlıdır [4].

4.4 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 yöntemi çeşitli paket programlar vasıtasıyla basit bir şekilde modelleme yapılmakta, daha sonra bu modeller küçük sonlu elemanlara bölünerek analizler yapılmaktadır.

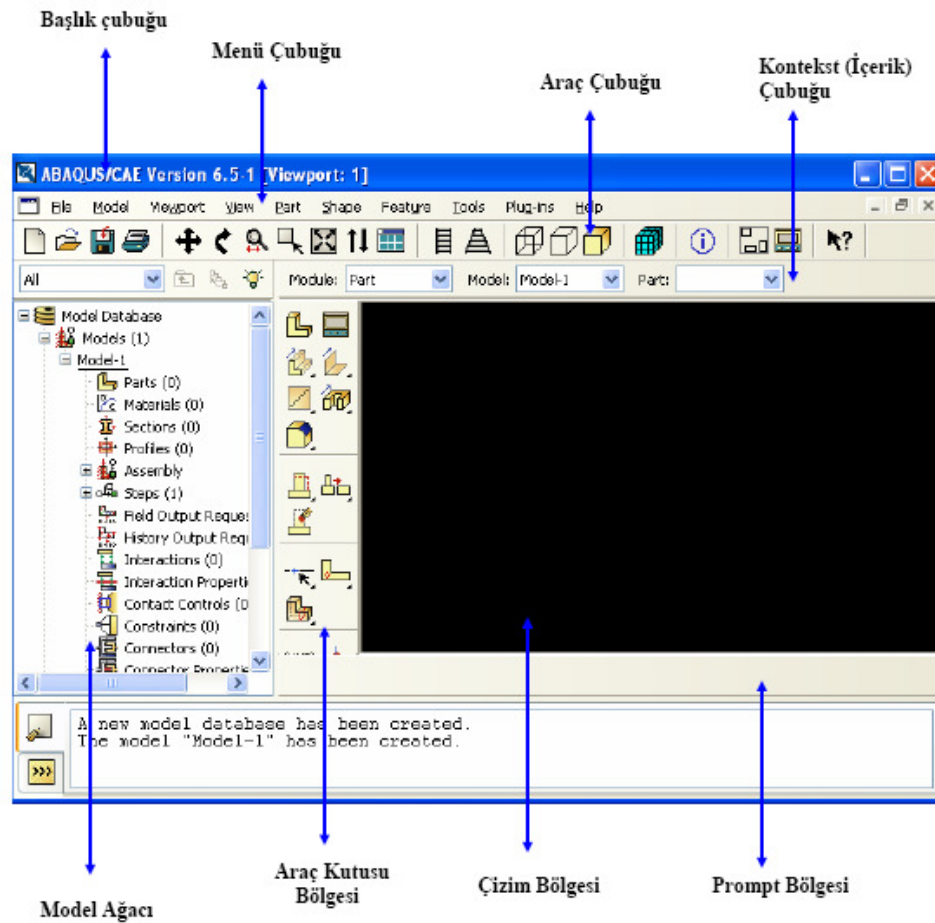
Günümüzde, SEM uygulamaları için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, Abaqus, Nastran&Patran, Ansys' tir. Bazı SEM yazılımları kendi bünyesinde modelleme paketleri bulundurmasına karşı çoğunlukla karmaşık geometrilerin modellenmesi uzun zaman almakta, bazen ise hiç yapılamamaktadır. Bundan dolayı, iki ve üç boyutlu problemlerin modellenebilmesi amacıyla çeşitli paket programlar hazırlanmıştır. Bunlar arasında Catia, Pro/Engineer, Solidworks, Autocad programları en çok bilinenleridir [5].

Bu tez için en uygun program olarak Abaqus/CAE programı seçilmiştir. Bunun sebebi Abaqus/CAE' nin tasarım kısmının çözülecek problem için yeterli olması ve bunun yanı sıra SEM analizi prosesinde kullanıcı dostu olmasıdır. Ayrıca, analiz

sonuçlarında hata payının tatmin edici değerler arasında olması da bu programın bu problemde kullanılması tercihinde payı olmuştur.

4.4.1 Programın bölümleri

Abaqus/CAE başlatıldığında Şekil 4.4' te görülen ana pencere ekrana gelir [6]. Detaylara girmeden önce Abaqus/CAE programının birkaç özelliği bilinmelidir. Öncelikle, Abaqus/CAE görsel bir şekilde bir problemin modellenerek analiz edebilmeyi sağlaması yanında birde komut yazılarak çözüme verilmesi olanağını sunmaktadır. Örneğin, eğer problemin geometrisinin koordinatları, sınır şartları 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 tanımlayabilmektedir. Sağda “Çizim Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu pencerede kullanıcı yaptığı tüm işlemleri görsel olarak görebilmektedir. En altta ise “Prompt Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu kısımda, kullanıcı yaptığı işlemlerin sonucunda program tarafında enteraktif diyalogları görebilir ayrıca “Python Script” içinde hazırlanmış hesap makinesini kullanabilir. Diğer kısımlar kısaca altta izah edilmiştir [6];

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 görüldüğü 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.

4.4.2 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 küçük hücresel elemanlara bölünmesi
10. İş'in oluşturulması.

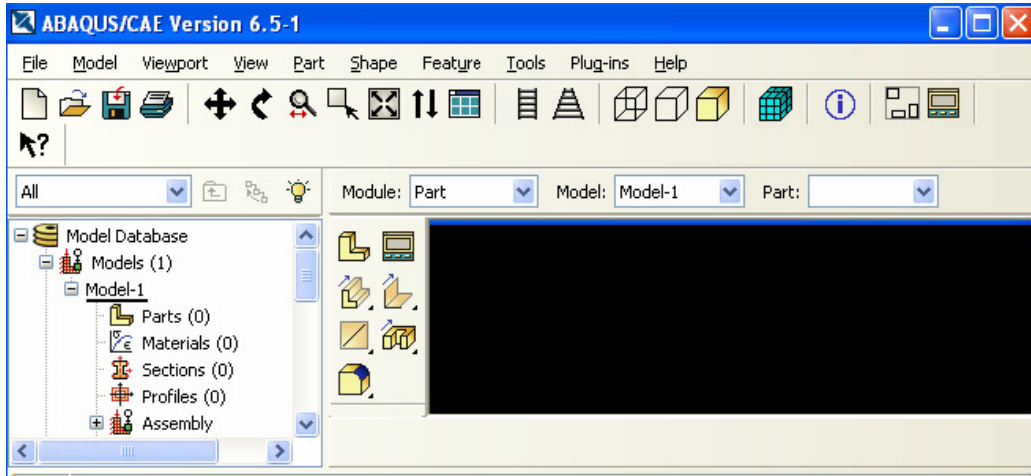
Yukarıda sıralanan adımları gerçekleştirilirken en ince ayrıntılar dahi gözden geçirilmelidir. Örneğin, sonlu elemanlara bölme adımında seçilecek eleman tipi sonucun tamamen doğru ya da tamamen yanlış sonuçlar doğmasına neden olacaktır.

4.4.3 Programın çalıştırılması

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

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

Programı çalıştırdıktan sonra Şekil 4.5' te görülen ekran görüntülenir [5].

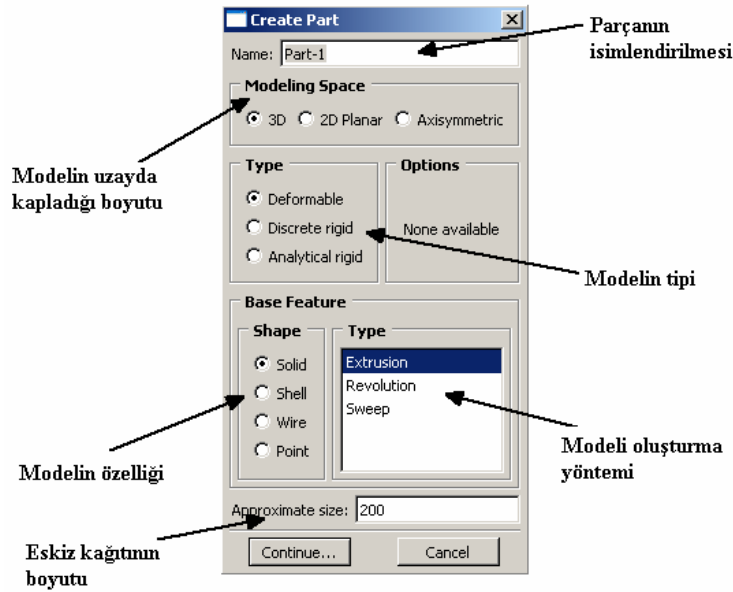


Şekil 4.5 : Abaqus/CAE açılış penceresi

4.4.4 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 Şekil 4.6’ da görülen “Create Part” diyalog kutusu görüntülenir. Diyalog kutusu problemin modellenebilmesi için araçlar sunmaktadır [6].



Şekil 4.6 : Abaqus/CAE katı model oluşturma

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

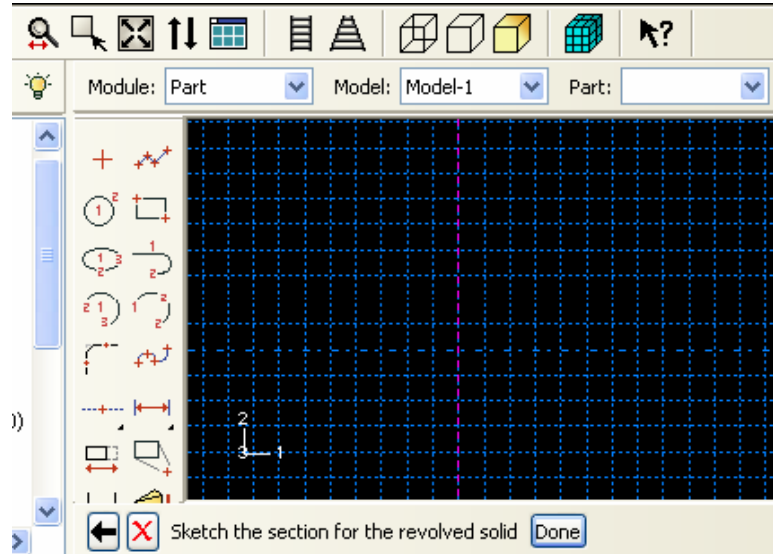
Modelin uzayda kapladığı boyut: Çalışılacak modelin uzayda kapladığı boyutu üç ise 3D, eğer model iki boyutluysa 2D, eğer model bir eksen etrafında simetrik ise “Axisymmetric” seçeneği seçilmelidir.

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 kullanıcıdan en kolay hangi şekilde modellemenin oluşturulması olanağı sağlamaktadır.

Modelin tipi: Malzeme yapısına göre, rijit veya deforme olabilir olarak seçilebilir.

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’ de çizim alanı görülmektedir.

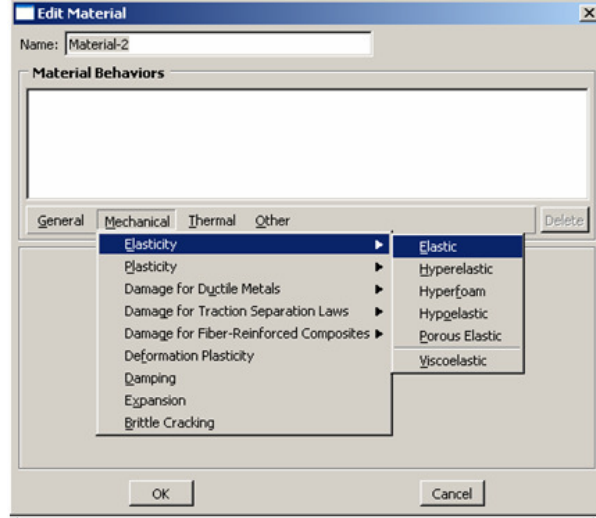


Şekil 4.7 : Abaqus/CAE çizim alanı

4.4.5 Malzeme girişi

Modelleme yapıldıktan sonra modelin malzemesi tanımlanmalıdır. Tanımlama işlemi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

“Create Material” butonunu seçtikten sonra Şekil 4.8’ de görülen pencere görüntülenir.

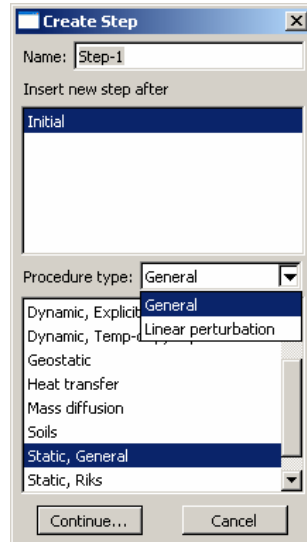


Şekil 4.8 : Malzeme girişi

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.

4.4.6 Adım (Step) menüsü

Analiz sırasında modelin hangi analiz adımlarından geçeceği bu aşamada tanımlanmaktadır. Bu menüde Şekil 4.9’ da görüldüğü gibi birçok analiz amacı için seçenekler sunulmuştur.

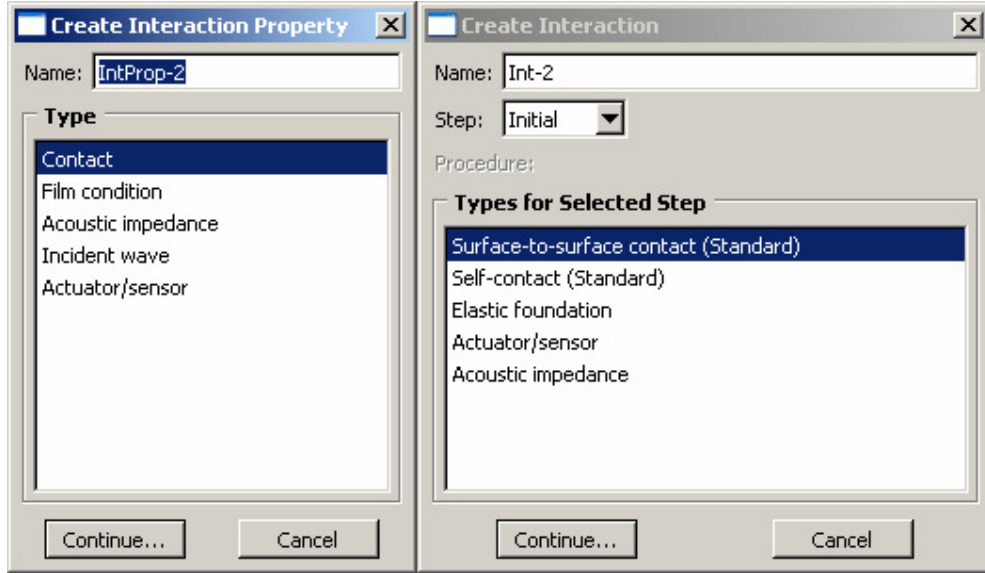


Şekil 4.9 : Adım (Step) menüsü

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

4.4.7 Etkileşim (Interaction) tanımlanması

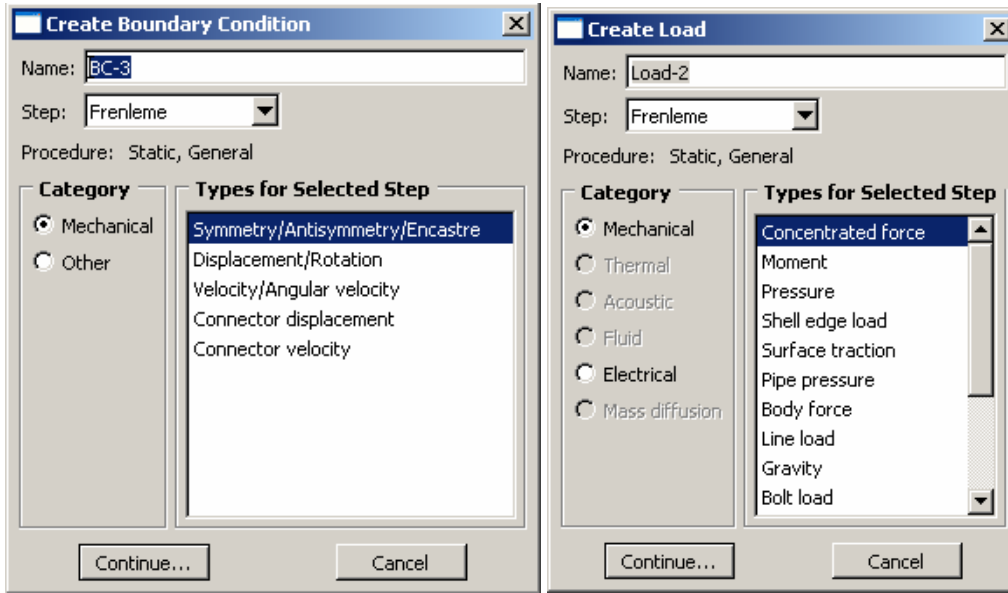
Model içerisinde birden fazla parça ihtiva edebilir. Bu parçalar analiz sırasında hareket ediyorsa veya her bir parça analiz sırasında farklı bir davranış gösteriyorsa o halde her parçanın birbiri arasındaki etkileşimleri tanımlanmalıdır. Örnek olarak; pim, cıvata, perno bağlantıları, herhangi iki parçanın birbiri üzerinde kayması veya birbirini itmesi gösterilebilir [6]. Şekil 4.10’ da etkileşim menüsü görülmektedir.



Şekil 4.10 : Etkileşim menüsü

4.4.8 Sınır şartların ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması

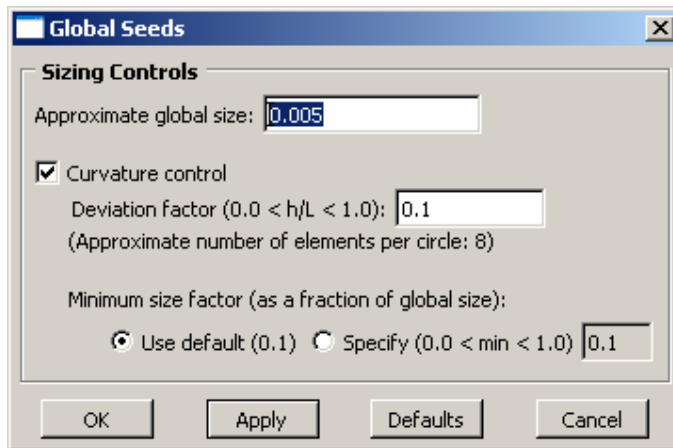
Şekil 4.11’ de görülen menülerden sağdakiinde yüklemelerin cinsi ve değerleri, soldakiinde ise sınır şartları verilebilmektedir.



Şekil 4.11 : Yükleme ve sınır şartlar menüleri

4.4.9 Parçanın küçük parçalara (mesh) bölünmesi

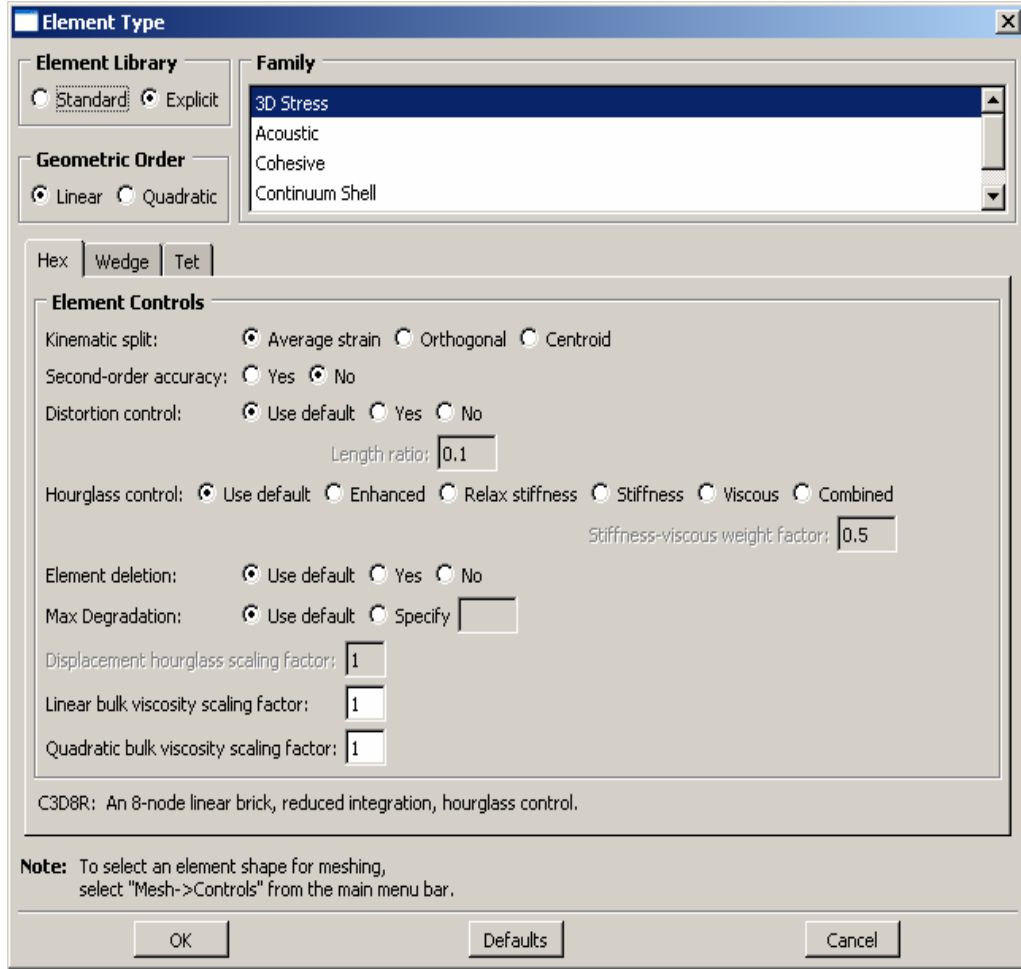
Daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz üzere Abaqus/CAE kullanıcıya otomatik olarak kendi seçtiği en küçük parçanın (mesh) boyutlarını sunmaktadır. Eğer analizin daha doğru ve kesin sonuçları vermesi istendiği takdirde, Şekil 4.12’ de görüldüğü üzere en küçük yaklaşık dilimleme seçeneğindeki “approximate 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 [6].



Şekil 4.12 : Parçanın dilimlenmesi

Parça dilimlendikten sonra eleman tipi kısmına geçilmelidir. Bu durumda da Abaqus/CAE programının en önemli özelliklerinden biri de akılcıca bizim seçtiğimiz

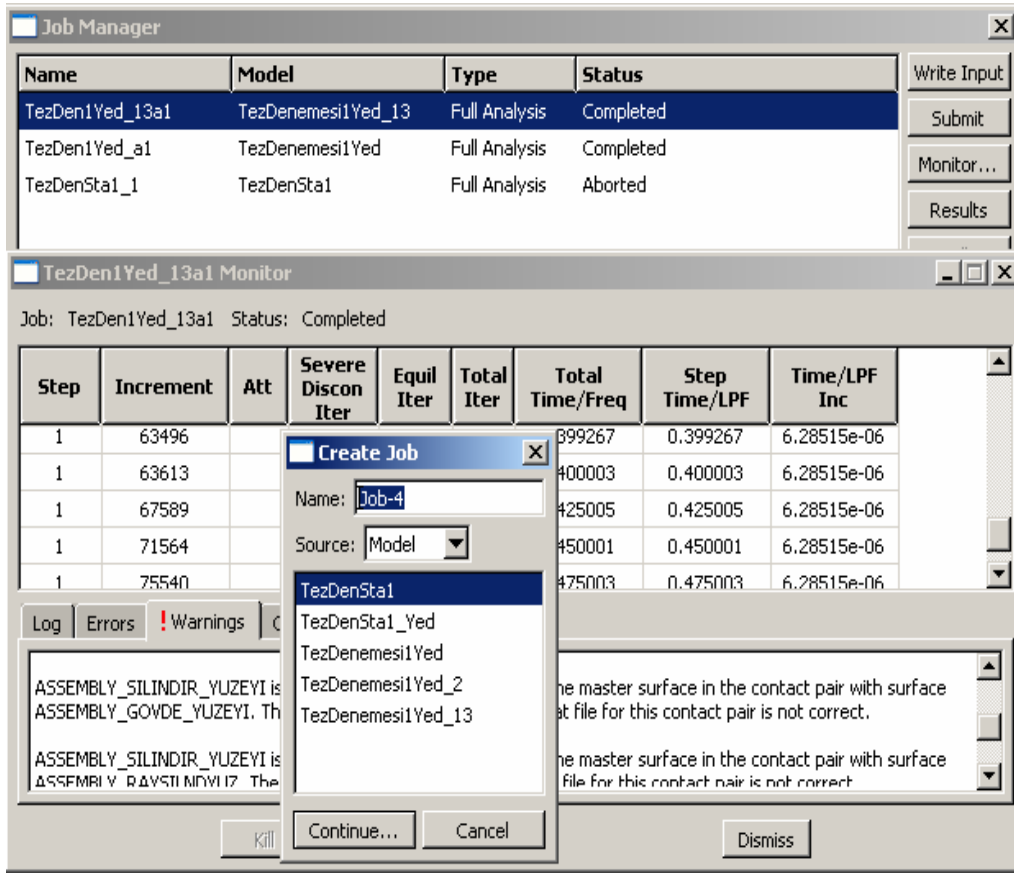
model tipine uygun olan eleman tipi seçenekleri sıralamasıdır. Örneğin, yine elemanlara bölme sırasında en uygun boyutlarda parçayı bölümleyebilmekte ve parça için seçilebilecek uygun eleman tiplerini otomatik olarak sıralamaktadır. Burada bilinmesi gereken husus, yapılacak yüklemeler sırasında parçanın maruz kalacağı deformasyonlara uygun tepki verecek eleman tiplerin seçimidir. Şekil 4.13’ te görülen menüden eleman tipi seçilir.



Şekil 4.13 : Eleman tipi seçme menüsü

4.4.10 İş (Job) menüsü

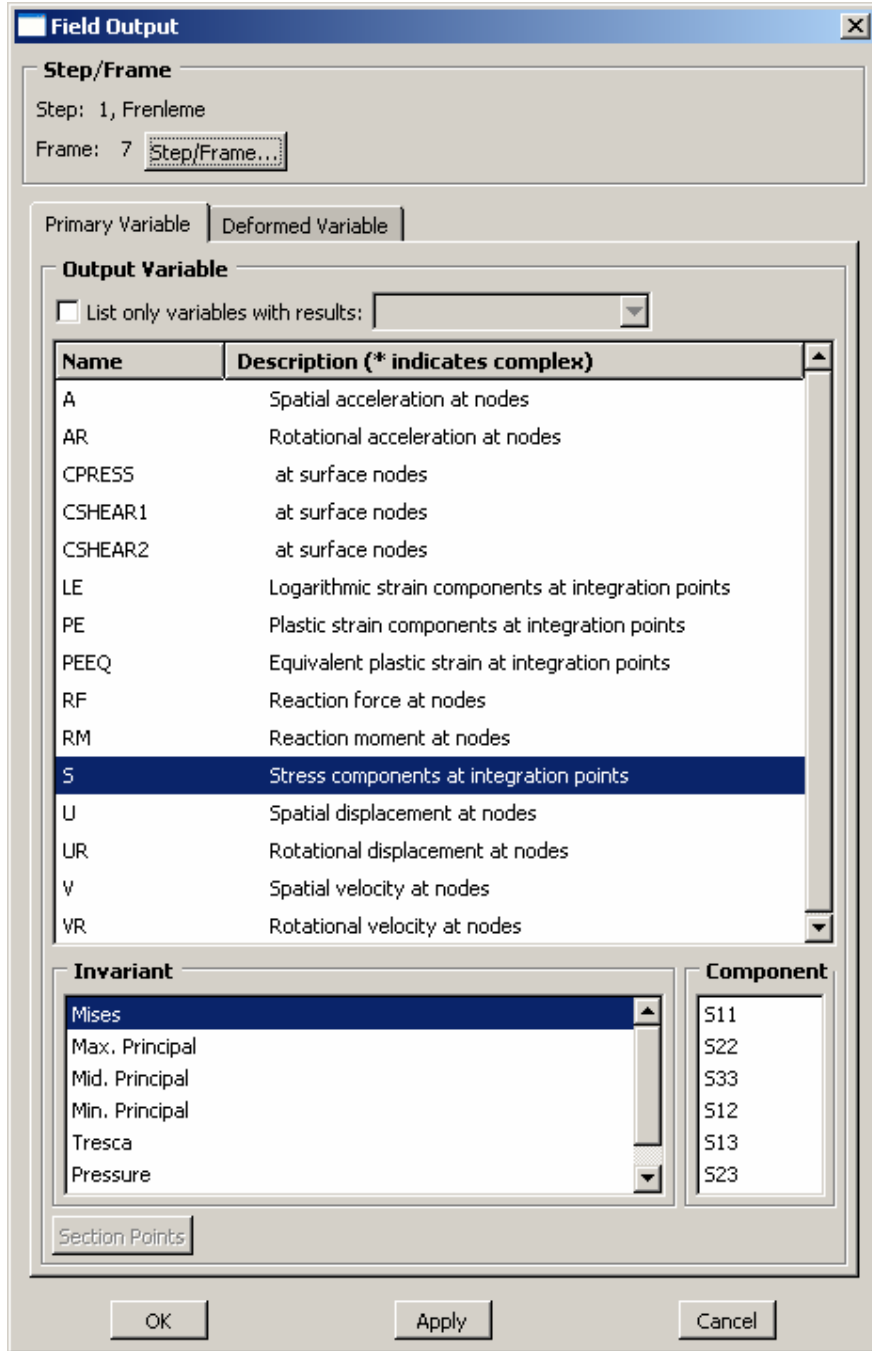
İş menüsünde analize hazır duruma getirdiğimiz modelin analize verilmesini sağlamaktayız. Bu menüde, analizin hangi durumda olduğu, analiz sırasında hataların veya uyarıların neler olduğu gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, analizin bitmesinde sonra sonucun yazı editörüne kaydedilmesi veya görüntülenmesi sağlanır. Şekil 4.14’ te görülen menüden daha önce analizi yapılan bir çalışma görünmektedir



Şekil 4.14 : İş menüsü

4.4.11 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 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. Şekil 4.15’ te görülen menüden analiz sonrasında birçok sonucun görüntülenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 4.15 : Sonuçların görüntülenmesi menüsü

5. MUKAVEMET HESAPLARI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Bu bölümde Ana Kiriş, Rijit Bacak, Mafsal Bacak, Gergi Kirişi ve Denge Kirişleri'nin analitik hesaplamaları ve sonlu elemanlar analiz sonuçları yer almaktadır. Krenin mukavemet hesapları DIN ve FEM standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

5.1 Krene Etkiyen Kuvvetler

Krene öncelikle parçaların kendi ağırlıklarından doğan yükler etki etmektedir. Mukavemet hesapları yapılırken, her parçanın üstündeki diğer parçaların ağırlıkları, yüke eklenmiştir. Zati ağırlıkların yanı sıra, taşınabilen maksimum yük de (320 ton) krene etkilmiştir. Kren ve arabanın hareketleri sırasında oluşan dinamik yükler ve rüzgar yükü de dinamik analiz işleminde dikkate alınmıştır.

5.1.1 Zati ağırlıklar

Kren tasarımında ilk göz önüne alınması gereken kren parçalarının kendi ağırlıklarıdır, çünkü her koşulda etki etmektedirler. Bunlar, krenin zati ağırlığı, araba ağırlığı ve kanca ağırlıklarıdır. Araba ve kanca ağırlıkları, Ana Kiriş boyunca hareket etmektedir.

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

Araba ağırlığı: Ana Kiriş üzerinde, raylar boyunca hareket eden iki araba yükün yatay yönde taşınmasını sağlamaktadırlar. Her araba sekiz teker üzerinde hareket eder. Bu nedenle yük, sekiz ayrı noktadan uygulanmaktadır.

Kanca ağırlığı: Yükün taşınmasını sağlayan kancalar halatlar vasıtasıyla arabalara bağlanmaktadır.

Aşağıdaki çizelgede, uygulanan yüklemelerin farklı kombinasyonları görülmektedir.

Çizelge 5.1 : 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

Üst satırda yer alan 1. grup (110-113) sadece kren, kanca, araba ve yükün zati ağırlıkları ile yapılan statik analizde kullanılacak katsayıları göstermektedir. 100' den 127' ye kadar numara verilmiş olan farklı kombinasyonlar mevcuttur. Her bir kombinasyon için, o analizde kullanılacak olan yükler çarpılacakları katsayılar ile yan sütunlarda belirtilmiştir. Örneğin 100 numaralı kombinasyonda sadece kren ağırlığı mevcut olup, bu ağırlık 1 ile çarpılmakta ve bu şekilde modele etki etmektedir. 110 numaralı kombinasyonda ise kren ağırlığı ile birlikte, kanca ve araba ağırlıkları da, arabanın ortada olduğu konumda modele etki etmektedirler.

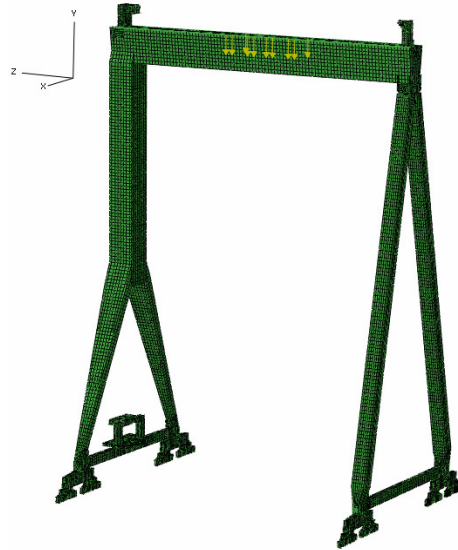
Alt satırda ise (121-127) zati ağırlıkların yanı sıra dinamik yükler de dikkate alınmıştır. Yine aynı şekilde farklı yüklerin uygulandığı, farklı kombinasyonlar mevcuttur. Burada dikkat edilecek nokta, kren ve araba ağırlıklarının 1.08, kanca ve yükün ise 1.242 katsayıları ile çarpılarak sisteme etki etmesidir.

5.1.2 Çalışma yükü

Kren üzerinde her biri 160 ton kapasiteli iki adet araba bulunmaktadır. Krene, zati ağırlıkların dışında, toplam 320 tonluk bir yük etki etmektedir. Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3' te yükün sırasıyla 1,2 ve 3 numaralı pozisyonlarda uygulandığı kombinasyonlara ait resimler görülmektedir. Bu kombinasyonlarda krene etkiyen kuvvet, kren, araba ve kanca ağırlıklarının yanı sıra 320 tonluk yükü de içermektedir.



Şekil 5.1 : Kombinasyon 111



Şekil 5.2 : Kombinasyon 112



Şekil 5.3 : Kombinasyon 113

5.1.3 Dinamik yükler

Bu yükler, krenin ve arabaların ivmelenme ve frenlemeleri sırasında oluşurlar. $F=m.a$ kuralına göre, bu yüklerin oluşturduğu kuvvet, hareket eden cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımı ile bulunur. Kren ve arabaların ivmeleri göz önüne alındığında, bu kuvvetlerin, parçaların kütlelerinin 1/30' u kadar olduğu görülür.

Bu kuvvetler, dinamik analizde, Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6' da görüldüğü gibi, yine üç farklı pozisyonda Ana Kiriş üzerine uygulanmıştır.



Şekil 5.4 : Kombinasyon 121



Şekil 5.5 : Kombinasyon 122



Şekil 5.6 : Kombinasyon 123

5.1.4 Rüzgar yükü

Rüzgar yükü yatay olarak bütün yönlerde etki edebilmektedir. Bu yük aşağıdaki denklemle bulunmaktadır.

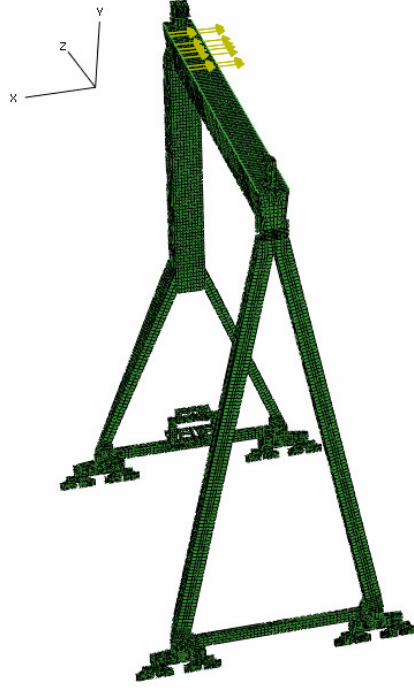
$$Q_w = q \cdot k_{dw} \cdot c \cdot A \quad (5.1)$$

Bu denklemde, q rüzgar basıncı, k_{dw} rüzgar hızıyla ilgili bir katsayı, c aerodinamik katsayısı, A ise rüzgarın etkidiği alandır [7]. Rüzgar basıncının rüzgar hızı ile ilişkisi denklem (5.2) ile bulunur;

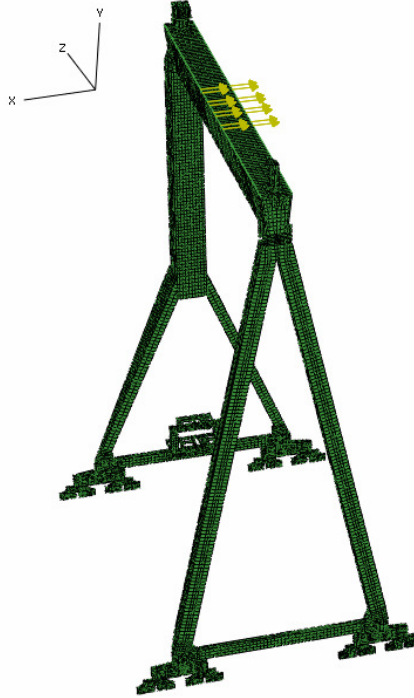
$$q = V_s^2 / 16 \quad (5.2)$$

Bu denklemde V_s rüzgar hızıdır. Bu değer, krenin çalışacağı bölgeye göre değişiklik göstermektedir.

Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9' da, üç değişik pozisyonda etkiyen rüzgar yükleri görülmektedir.



Şekil 5.7 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 1



Şekil 5.8 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 2



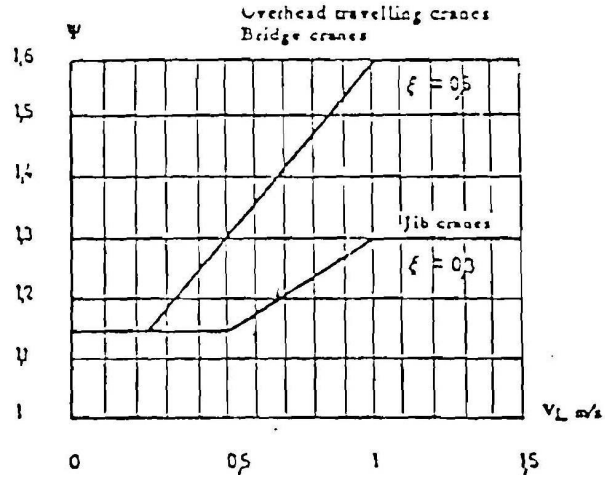
Şekil 5.9 : Rüzgar Yüğü, x yönünde - Pozisyon 3

5.1.5 Halat makarasından doğan yükler

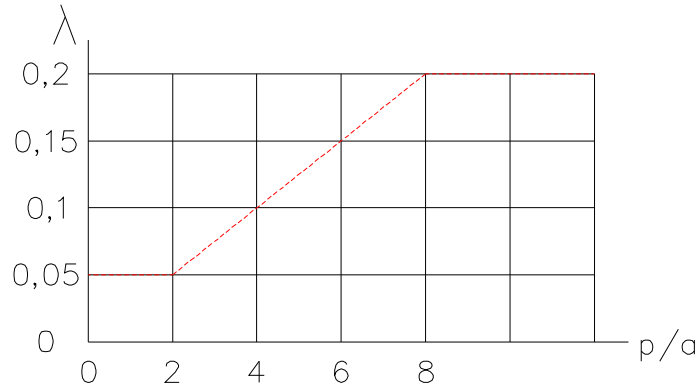
Ana Kiriş boyunca hareket eden araba, çelik halatlar yardımıyla çekilmekte ve bu kuvvet üç noktaya etki etmektedir. Bu kuvvetler, Gergi Kirişi üzerinde yukarı doğru, Rijit Bacak' ın üzerinde sağa ve aşağı doğru, Mafsalsal Bacak' ın üzerinden ise sola doğru etki eder.

5.2 DIN ve FEM Normlarına Göre Katsayıların Seçimi

Şekil 5.10' da görülen grafik FEM normlarına göre titreşim katsayısının tespiti için kullanılmaktadır [8]. Bu grafiğe göre, hız 0,3 ten küçük olduğundan, $\psi = 1,15$ olarak alınmıştır. Bütün hareketler frekans inverter kontrollü olduğu için yatay yükler düşey yüklerin otuzda biri kadar alınmaktadır. λ , ray açıklığının (p), baştaki ve sondaki iki teker eksenleri arasındaki mesafeye (a) bölümünden, FEM normlarına göre belirlenir. Buna göre, $p/a = 36000/27536 = 1,307$ olduğu için, Şekil 5.11' den $\lambda = 0,05$ olarak bulunur.



Şekil 5.10 : Kren tipine uygun titreşim katsayısı seçimi



Şekil 5.11 : FEM normlarına göre λ seçimi

Hesaplamalar sırasında kullanılan işletme rüzgarı basıncı FEM normlarından, $q = 250 \text{ N/m}^2 \approx 25 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır. İşletme rüzgarı hızı ise $V_s = 20 \text{ m/sn} = 72 \text{ km/h}$ olarak seçilmiştir. FEM normlarından, işletme dışı rüzgar basıncı ve hızları Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : 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 normlarından, A4 grubu için Çizelge 5.3' ten $\gamma_c = 1,08$ olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.3 : 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

Hesaplamalarda, kayma gerilmesi için kontrol aşağıdaki formüle göre yapılabilir.

$$\tau_E = \frac{\sigma_E}{\sqrt{3}} \quad (5.3)$$

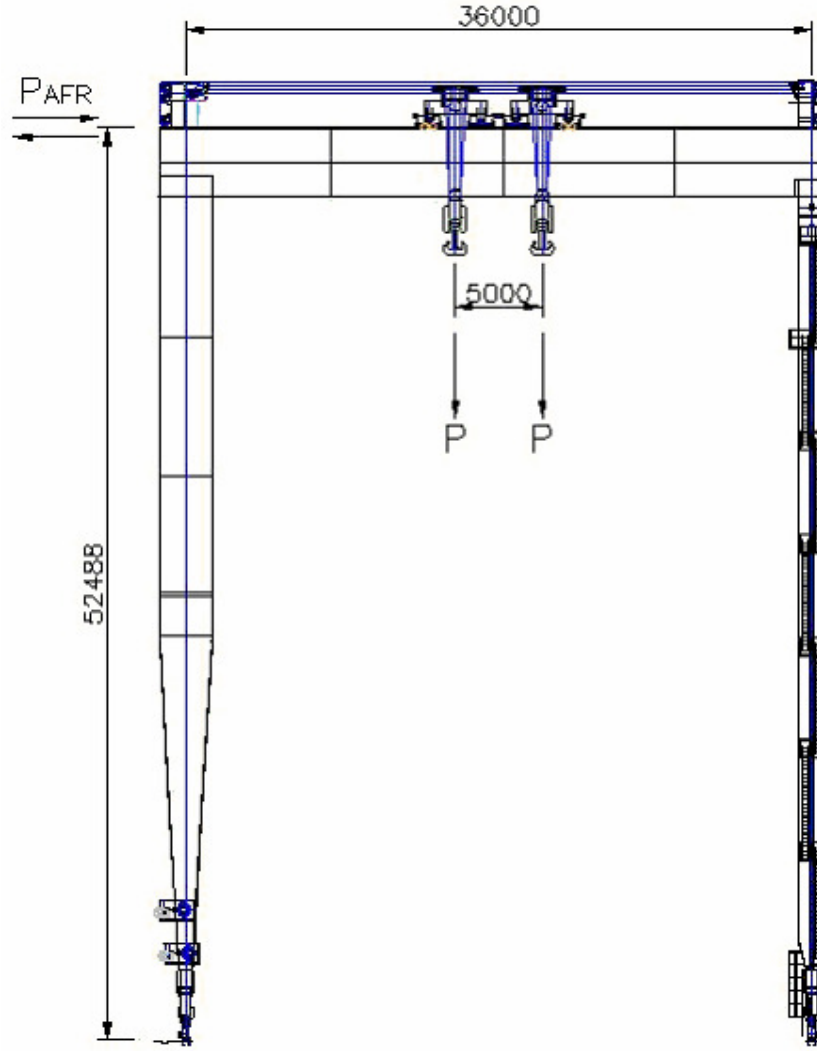
Hesaplamalar sonucu elde edilen gerilmeler eşdeğer gerilme altında toplanarak emniyet gerilmesiyle kontrol edilmektedir [9].

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

5.3 Ana Kiriş

Günümüzde birçok alanda kullanılan krenlerin ana kirişleri kutu ya da kafes olarak imal edilmektedir. Kutu kirişin tasarımı, kafes sisteme göre oldukça basittir ve imalatı daha kısa zamanda ve daha kolay gerçekleştirilebilir. Ray açıklıkları fazla olan krenlerde ise kafes sistem tercih edilir. Bunun nedeni kafes kirişlerin kutuya göre daha az rüzgara maruz kalmasıdır. Kafes sistem ile daha az malzeme kullanılarak, rüzgara karşı daha mukavim bir yapı elde edilebilir. Fakat gerek proje gerekse imalat zorlukları sebebiyle ray açıklığı belli bir uzunluğu geçmediği sürece kutu yapılar daha çok tercih edilir.

Projede ele alınan kren de kutu ana kirişli olarak tasarlanmıştır. Şekil 5.12' de görülen resimde, krenin ray açıklığının 36000mm, ve yüksekliğinin 52488mm olduğu görülmektedir. Kancalar arası minimum mesafe 5000mm' ye kadar düşebilmektedir. P, Ana Kiriş' e düşey yönde etkiyen yük, P_{AFR} ise arabanın ivmelenmesi ya da frenlemesi esnasında sonucu oluşan kuvvettir.



Şekil 5.12 : Ana Kiriş' in uzunluk değerleri ve üzerine etkiyen yükler

5.3.1 Ana Kiriş - Mukavemet hesapları

Hesapların yapılabilmesi için öncelikle, krenin zati ağırlığı, arabanın ve kancanın ağırlıkları, ray açıklığı gibi değerlerin belirlenmesi gereklidir.

Ana Kiriş' in ağırlığı: $Q = 95000kg$

Ray açıklığı: $L = 36m$

Kanca açıklığı: $a = 5m$

Araba ray kotu: $h = 52488mm$

Yükün etkidiği noktadan, bacak eksenlerine olan mesafe aşağıdaki denklemle bulunur:

$$c = \frac{L}{2} - \frac{a}{4} = 16.75m \quad (5.5)$$

Titreşim katsayısı: $\Psi = 1.15$

Ömür faktörü: $\gamma_c = 1.08$

Darbe faktörü denklem (5.6)' dan, iki katsayının çarpımı ile bulunur.

$$k = \Psi \cdot \gamma_c = 1.242 \quad (5.6)$$

Araba, kanca ve kaldırılacak olan yükün ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Yükün ağırlığı: $G_{yük} = 160000kg$

Araba ağırlığı: $G_{araba} = 16000kg$

Kanca ağırlığı: $G_{kanca} = 9000kg$

Yukarıda verilen bu ağırlıklar statik analizde kullanılacaktır. Dinamik analizde ise, yük ve kanca ağırlıkları darbe faktörü (k), araba ağırlığı ise ömür faktörü (γ_c) ile çarpılarak krene etki edecektir. Dinamik analizde kullanılacak olan ağırlık değerleri denklem (5.7), (5.8) ve (5.9)' da bulunmuştur.

$$G_{dyük} = k \cdot G_{yük} = 198720kg \quad (5.7)$$

$$G_{daraba} = \gamma_c \cdot G_{araba} = 17280kg \quad (5.8)$$

$$G_{dkanca} = k \cdot G_{kanca} = 11178kg \quad (5.9)$$

Krene etkileyen toplam dinamik yük denklem (5.10)' dan bulunur;

$$P = G_{dyük} + G_{daraba} + G_{dkanca} = 227178kg \quad (5.10)$$

Bacak eksenleri etki eden moment denklem (5.11)' deki gibi bulunur;

$$M_{cyük} = 2 \cdot P \cdot \frac{c^2}{L} = 3540979kgm \quad (5.11)$$

Ana Kiriş' in ağırlığından oluşan moment etkisinin hesaplanabilmesi için öncelikle kirişin metre başına düşen ağırlığı aşağıdaki denklem ile belirlenir;

$$q = \frac{Q}{L} = 2639 \frac{kg}{m} \quad (5.12)$$

Bu değer ömür faktr ile çarpıldığında, denklem (5.13) yardımıyla aŗaęıdaki gibi bulunur;

$$q' = \gamma_c \cdot q = 2850 \frac{kg}{m} \quad (5.13)$$

Ana Kiriŗ' in ağırlılığından oluŗan moment tesiri denklem (5.14)' deki gibi hesaplanır;

$$M_{ort} = q \cdot \frac{L^2}{8} = 461700kgm \quad (5.14)$$

Arabanın fren etkisinden oluŗan kuvvet aŗaęıdaki denklem ile bulunur;

$$P_{AFr} = 2 \cdot \frac{P}{30} = 15145kg \quad (5.15)$$

Bu kuvvetin oluŗturduęu moment ise denklem (5.16) ile hesaplanır;

$$M_{AFr} = \frac{L-c}{L} \cdot h \cdot P_{AFr} = 425073kgm \quad (5.16)$$

Kaldırma halatlarından doğan kuvvet denklem (5.17) ile bulunur;

$$T_{halat} = 2 \cdot \frac{G_{dyük} + G_{dkanca}}{8} = 52475kg \quad (5.17)$$

Halat kuvvetinin etkidiği noktadan Ana Kiriŗ eksenine mesafe: $h_t = 4.22m$

Kaldırma halatlarından doğan moment bu verilerden yararlanılarak aŗaęıdaki denklem ile hesaplanmıŗtır;

$$M_T = h_t \cdot T_{halat} = 221442kgm \quad (5.18)$$

Toplam moment denklem (5.19) ile hesaplanır;

$$\Sigma M_c = M_{cyük} + M_{ort} + M_T + M_{AFr} = 4649194kgm \quad (5.19)$$

Y ekseninde de yükten oluŗan momentin otuzda biri kadar bir moment oluŗur. Bu moment denklem (5.20)' deki gibi bulunur;

$$\Sigma M_y = \frac{M_{cyük}}{30} = 118033kgm \quad (5.20)$$

Gerilme, birim yüzeye dŗen yük miktarı olarak tanımlanabilir. Gerilme vektr, incelenen kesit yüzeye dik olarak etkiyorsa, bu gerilmeye normal gerilme, gerilmenin kesit düzleminde olması halinde oluŗan gerilmeye ise kayma gerilmesi denmektedir.

Normal gerilmeler, çekme, basma ve eğilme gerilmeleridir. Çekme gerilmesi malzemenin çekmeye karşı gösterdiği dirençtir, basma gerilmesi ise basmaya karşı gösterdiği dirençtir. Gerilme değeri, kuvvet kesit alanına bölünerek bulunur. Bir malzemenin çekmeye karşı gösterdiği maksimum direnç çekme deneyi ile bulunur. Çekme deneyinde cisim, bir süre uzadıktan sonra kopar. Koptuğu andaki gerilme değeri maksimum çekme gerilmesi değeridir. Bu değer birim uzama miktarı ve elastisite modülünün çarpılması ile bulunur.

$$\sigma = E.\varepsilon \quad (5.21)$$

Birim uzama miktarı ise, toplam uzama miktarının malzemenin toplam uzunluğuna bölünmesi ile bulunur.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (5.22)$$

Eğilme gerilmeleri yükün uygulandığı nokta ile gerilmelerin tespit edileceği yüzey arasında belirli bir mesafe olması durumunda oluşur. Eğilme gerilmesinin hesabı denklem (5.23)' deki gibi yapılır;

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad (5.23)$$

M, yükün oluşturduğu moment, c, momentin etkidiği nokta ile cismin ekseninin arasındaki mesafe, I ise cismin atalet momentidir [10].

Kayma gerilmeleri ise kesme ve burulma gerilmeleridir. Kesme gerilmeleri aşağıdaki denklem ile tespit edilir.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (5.24)$$

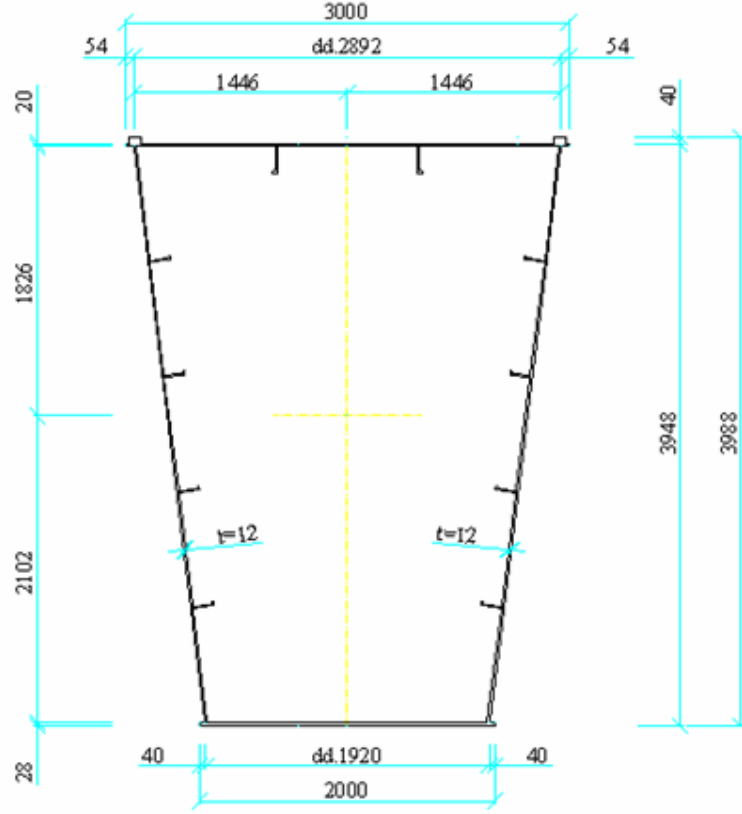
Bu denklemde P, kesit üzerine etkiyen kuvvet, A ise kesitin alanıdır [10].

Burulma ise denklem (5.25)' deki gibi hesaplanır;

$$\tau_b = \frac{T.c}{J} \quad (5.25)$$

T, kesit üzerine etkiyen moment, c, momentin etkidiği noktanın cismin ekseninden mesafesi, J ise cismin polar atalet momentidir [10].

Ana Kiriş' in gerilme kontrolüne geçmeden önce, kiriş kesitinin bilinmesi gereklidir. Şekil 5.13' te Ana Kiriş' in kesiti görülmektedir.



Şekil 5.13 : Ana Kiriş kesiti

X ve Y eksenlerindeki kesit atalet momentleri:

$$J_{xank} = 61159563cm^4 \quad J_{yank} = 22878003cm^4$$

X ve Y eksenlerindeki mukavemet momentleri:

$$W_{xank} = 290959cm^3 \quad W_{yank} = 228780cm^3$$

Kesit yüzeyi: $F_{ank} = 2323cm^2$

X eksenine göre oluşan gerilme denklem (5.26) ile bulunur;

$$\sigma_x = \frac{\Sigma M_c}{W_{xank}} = 1598 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.26)$$

Y eksenine göre oluşan gerilme ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır;

$$\sigma_y = \frac{\Sigma M_y}{W_{yank}} = 52 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.27)$$

Halat gerilmesinden doğan gerilme negatif yönde etki etmektedir ve denklem (5.28)'deki gibi bulunur;

$$\sigma_T = \frac{T_{halat}}{F_{ank}} = -23 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.28)$$

Normal gerilmelerin toplamı denklem (5.29)'da hesaplanmıştır;

$$\Sigma \sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_T = 1627 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.29)$$

Kesme gerilmelerinin bulunabilmesi için kesit alanının hesaplanması gereklidir. Bunun için gerekli veriler aşağıda verilmiştir;

Ana Kiriş yan sac yüksekliği: $h_{akys} = 3900mm$

Ana Kiriş yan sac kalınlığı: $t_{akys} = 12mm$

Bu verilerden yararlanılarak kesit alanı aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$A_{ys} = h_{akys} \cdot t_{akys} = 648cm^2 \quad (5.30)$$

Kesit üzerinde oluşan kesme gerilmeleri denklem (5.31)'deki gibi bulunur;

$$\tau = \frac{P}{2 \cdot A_{ys}} = \frac{227178}{2 \cdot 648} = 243 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.31)$$

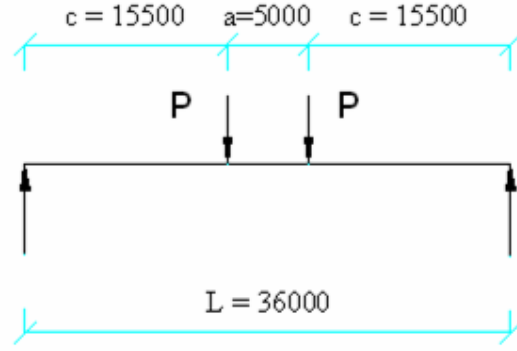
Buna göre eşdeğer gerilme denklem (5.32)'deki gibi hesaplanır;

$$\sigma_{eşd} = \sqrt{\Sigma \sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 1680 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.32)$$

$$\sigma_{eşd} < \sigma_{emn} = 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

Ana Kiriş üzerinde oluşan maksimum gerilme, emniyet gerilmesinin altında çıkmıştır. Yapılan hesaplara göre Ana Kiriş' in tasarımı uygundur.

Ana Kiriş' te gerilmelerin yanı sıra dikkat edilmesi gereken bir başka husus da kirişin yaptığı sehimdir. Sehim, sözlük anlamı olarak, basit eğilme etkisi altındaki bir yapı elemanının eğilme göstermeden önceki çubuk eksenî durumu ile elastik eğri durumu arasındaki deformasyon miktarıdır. Kısacası sehim, kuvvet altında yapı elemanının yaptığı deplasmandır. Şekil 5.14' te sehim kontrolü için gerekli ölçüler gösterilmektedir.



Şekil 5.14 : Sehim Kontrolu

Yükün etkiği noktanın kirişin köşesine uzaklığı: $c = 15500mm$

Elastisite modülü: $E = 2.10^6 \frac{kg}{cm^2}$

Yükten dolayı oluşan sehim aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$\max_f = \frac{G_{yük} \cdot c}{E \cdot J_{xank}} \cdot (3a^2 + 8c^2 + 12ac) \cdot \frac{1}{24} = 2.47cm \quad (5.33)$$

Bu denklemde “a” daha önce belirtildiği gibi kancalar arasındaki mesafedir. Yük, araba ve kancanın statik ağırlıklarının toplamı aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$G_{st} = G_{yük} + G_{araba} + G_{kanca} = 185000kg \quad (5.34)$$

Bu yükten dolayı oluşan gerilme denklem (5.35)’ teki gibi hesaplanır;

$$\max_{f2} = \frac{G_{st}}{P} \cdot \max_f = 2.86cm \quad (5.35)$$

Ana Kiriş’ in zati ağırlığından dolayı oluşan sehim ise aşağıdaki denklemle bulunur;

$$f_G = \frac{Q \cdot L^3}{E \cdot J_{xank}} \cdot \frac{5}{384} = 0.47cm \quad (5.36)$$

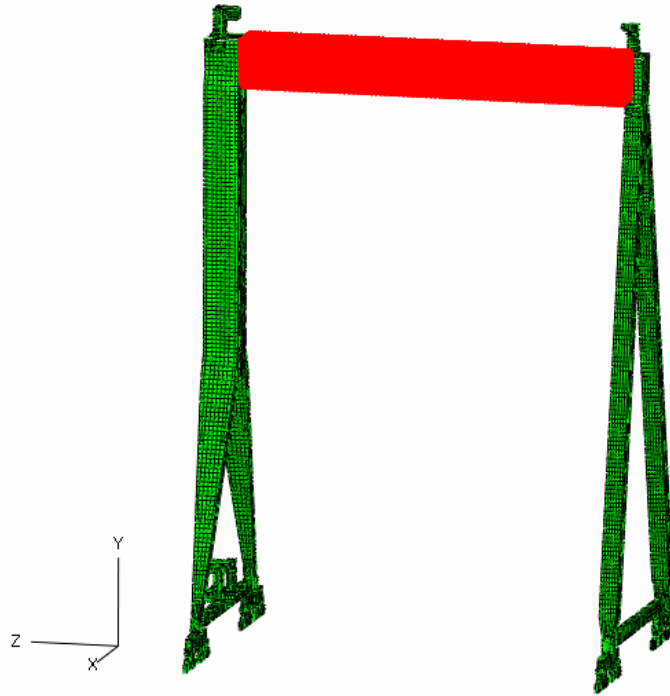
İmalatta kirişe verilmesi gereken ters sehim, zati ağırlıktan oluşan sehim ile, yüklerden dolayı oluşan sehimin yarısının toplamıdır ve denklem (5.37)’ deki gibi hesaplanır;

$$f = f_G + \frac{\max_{f2}}{2} = 1.9cm \quad (5.37)$$

5.3.2 Ana Kiriş - Sonlu elemanlar analizi

Kren bir bütün olarak modellenmiş ve bütün parçalar montajlanmış halde sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Fakat mukavemet hesaplarıyla karşılaştırma yapılabilmesi için, kren parçaları ayrı ayrı olarak ele alınmış ve sırasıyla Ana Kiriş, Rijit Bacak, Mafsal Bacak, Gergi Kirişi ve Denge Kirişleri başlıkları altında incelenmiştir.

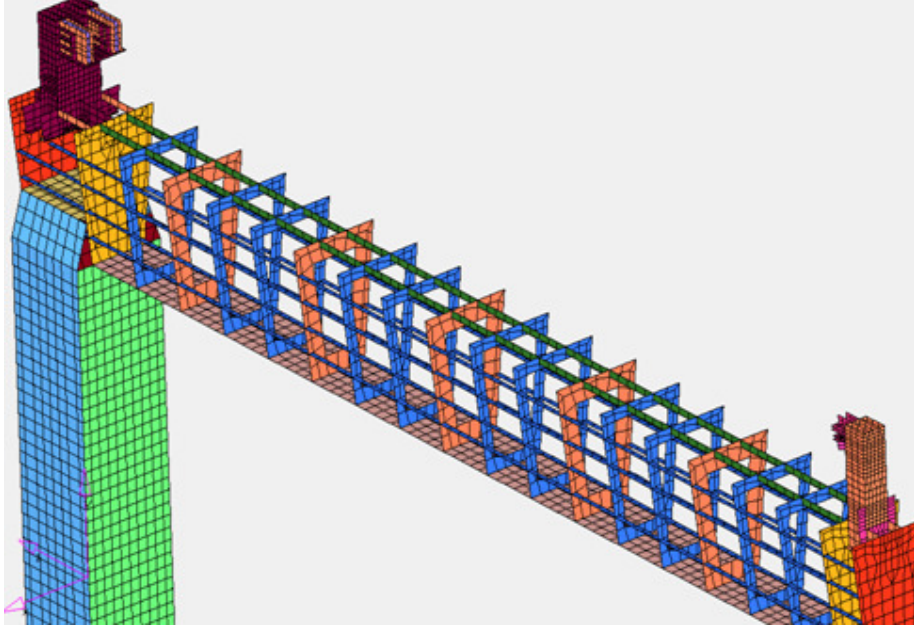
Aşağıdaki şekilde Ana Kiriş' in kren üzerindeki yeri görülmektedir.



Şekil 5.15 : Ana Kiriş

Şekil 5.16' da Ana Kiriş' in iç yapısı görülmektedir. Mavi renkle gözüken perdeler boş posta, turuncu renkle gözükenler ise dolu posta olarak adlandırılmaktadır. İstenilen mukavemetin sağlanabilmesi için dolu postalar belli aralıklarla dizilmişlerdir.

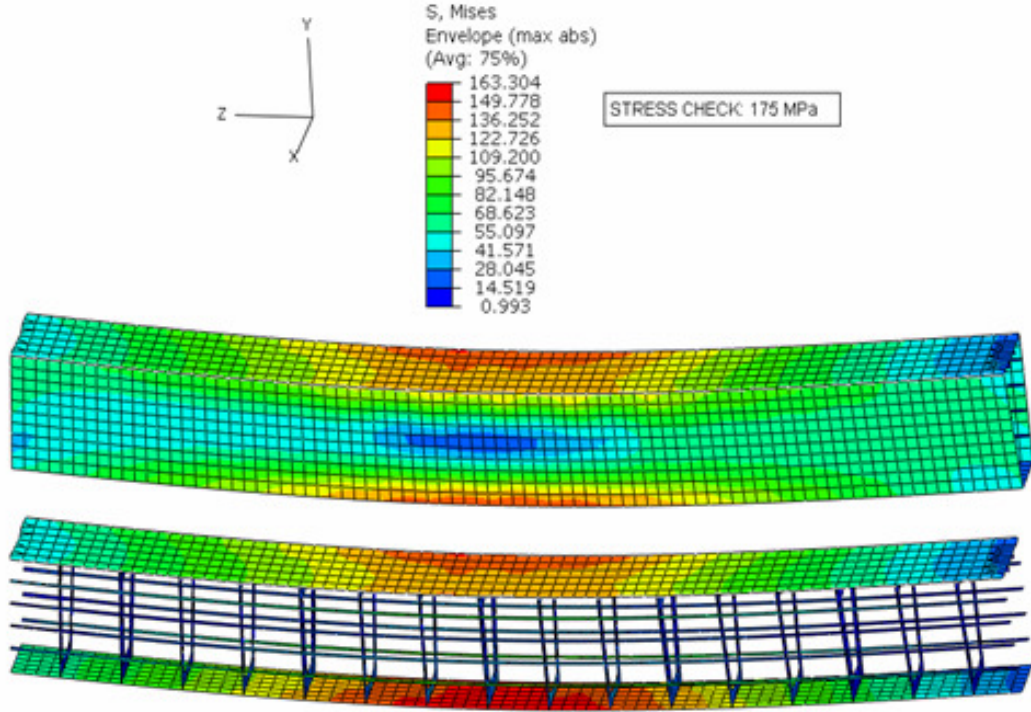
Yüklemeden dolayı, Ana Kiriş' in alt sacında çekme, üst sacında ise basma meydana gelmektedir. Perdelerin görevi bu basma kuvveti nedeniyle, üst sacın, kirişin içine doğru fazla sehim yapmasını ve deforme olmasını önlemektir. Yükün önemli bir bölümü de perdeler tarafından taşınmaktadır. Ayrıca boydan boya krenin yan saclarına kaynaklanan profiller de mukavemetin korunmasına yardım etmektedir.



Şekil 5.16 : Ana Kiriş iç yapısı

Sonlu elemanlara ayırma (mesh) işlemi HyperMesh programıyla yapılmıştır. Her bir parçanın ara kesitleri (middle surface) alınmış ve bu kesitlere kalınlık atanmıştır. Şekildeki sacların ve perdelerin renklerinin farklı olması da bu kalınlık farklarından ileri gelmektedir.

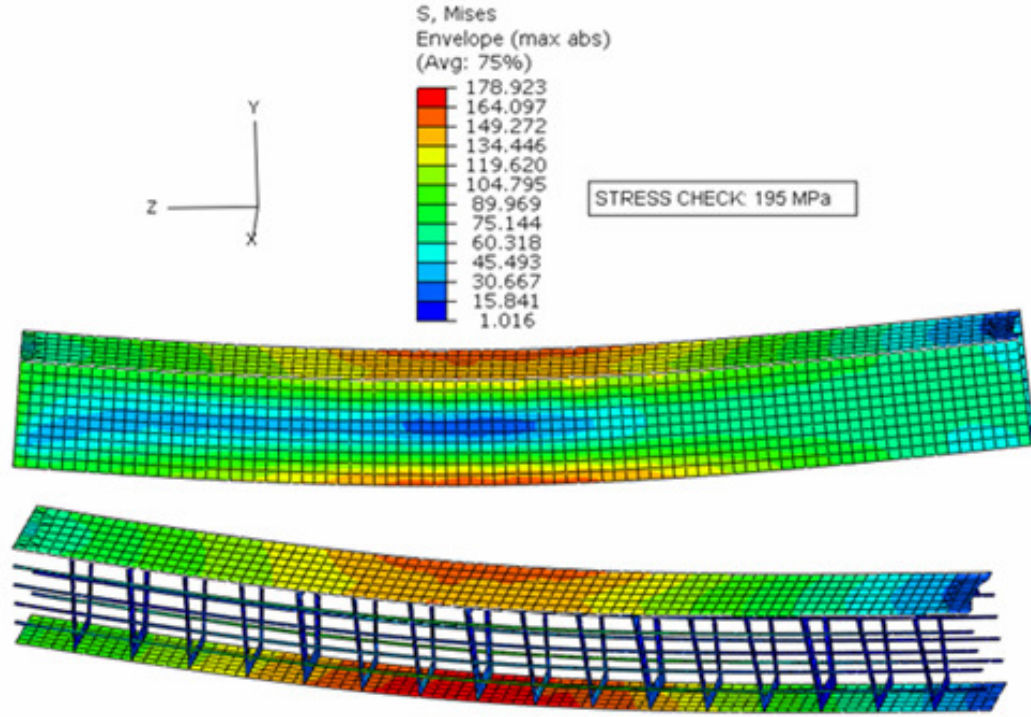
Analiz Abaqus/CAE programı ile gerçekleştirilmiştir. Statik analizde, hesaplamalarda da kullanılan araba ağırlığı, kanca ağırlığı ve yük, Ana Kiriş' e etkilmiştir. Üçünün ağırlıkları toplamı alınmış ve kren üç farklı pozisyonda yüklenmiştir. Bunların yanı sıra sistemin kendi ağırlığı, yani Ana Kiriş' in zati ağırlığı da etkimektedir. Analiz sonuçlarında sadece 2. pozisyon yani Şekil 5.2' deki gibi ortadan yükleme durumu (kombinasyon 112, 122) göz önüne alınmıştır. Şekil 5.17' de, rüzgarın olmadığı, arabanın ve krenin hareketsiz olduğu statik durumda yükleme yapıldığında, Ana Kiriş üzerinde elde edilen gerilme değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.17 : Ana Kiriş gerilme değerleri - Statik Analiz

Görüldüğü üzere maksimum değer 163.3 Mpa olarak bulunmuştur. Bu değer emniyet gerilmesi olan 175 Mpa' dan küçüktür. Dolayısıyla Ana Kiriş' in emniyetli olarak tasarlandığını söylemek mümkündür.

Diğer bir analizde ise sabit yüklerin yanı sıra, arabanın ve krenin ivmelenmesinden ve rüzgardan doğan yükler de model üzerine etkililmiş ve dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. İvmelenmeden doğan yükler için hesaplamalarda bulunan değerler kullanılmış, rüzgar yükü ise, krenin çalışabileceği en şiddetli rüzgar hızı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Şekil 5.18' de dinamik analiz sonucunda Ana Kiriş üzerinde elde edilen gerilme değerleri görülmektedir.

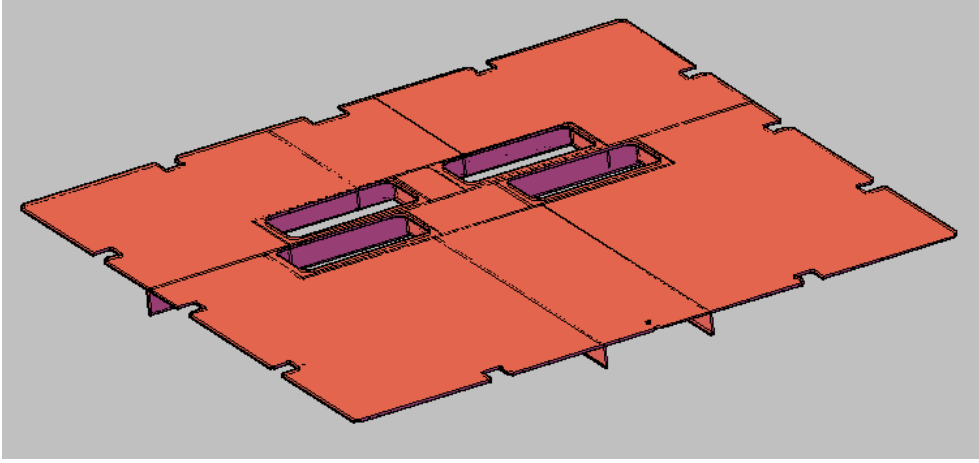


Şekil 5.18 : Ana Kiriş gerilme değerleri - Dinamik Analiz

Maksimum değer 179 Mpa' dır. Dinamik analizde emniyet gerilmesi ise 195 Mpa' dır. Bu durumda, Ana Kiriş' in bu şekilde imalatının bir sorun teşkil etmeyeceği ve gerek statik gerek dinamik analiz sonucunda görülmüştür.

5.4 Rijit Bacak

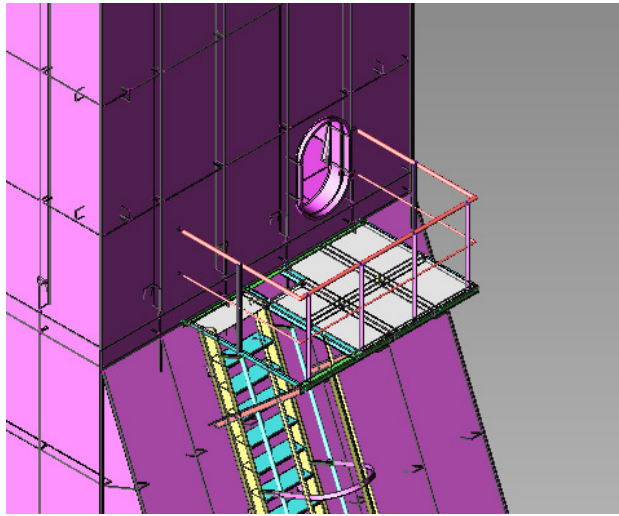
Daha önce de belirtildiği gibi Rijit Bacak, Kule, Montaj Kutusu ve Pantolon olmak üzere 3 ana parçadan oluşmaktadır. Kule ve Pantolon' un içerisinde hollanda profilleri ve perdeler bulunmaktadır. Bunların yanı sıra kule içerisine halat geçişi için açılmış deliklerin mukavemeti düşüreceği göz önüne alınarak, deliklerin çevresine, aynı alanı karşılayacak alana sahip takviyeler yerleştirilmiştir. Şekil 5.19' da halat geçişi için açılmış delikler ve mor renkle belirtilmiş takviyeler gösterilmektedir.



Şekil 5.19 : Halat geçişi için açılmış delikler ve takviyeler

Operatörün kreni kontrol edeceği kabin, Ana Kiriş üzerinde monte edilmiştir. Bazı krenlerde operatörün yukarı tırmanması asansör yardımı ile sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra çok az krende asansör mevcuttur. Operatörler kontrol kabinine ulaşabilmek için Rijit Bacak veya Mafsal Bacak üzerindeki merdivenlerden yararlanmaktadır. Bu merdivenler ayrıca montaj sırasında ve daha sonra bakım vb. durumlar gerektiğinde de kullanılmaktadır. Hesaplamalar ve analiz sırasında merdivenlerin varlığı göz önüne alınmamıştır.

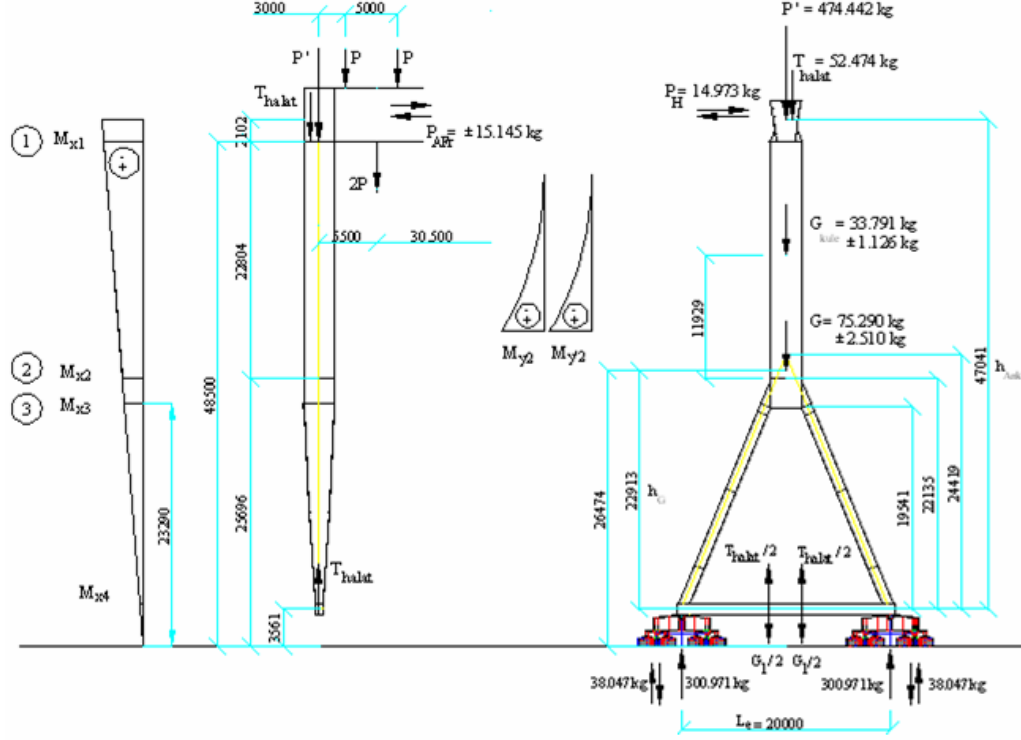
Merdivenler, Pantolon' un dış kısmına, Kule' nin ise iç kısmına monte edilmiştir. Pantolon' dan Kule içerisine geçişi sağlamak için Kule' nin alt kısmında, bir insanın rahatlıkla geçebileceği büyüklükte bir delik açılmıştır (Şekil 5.20). Bu deliğin çevresine de tıpkı halat deliklerinde olduğu gibi takviyeler kaynatılır.



Şekil 5.20 : Kule içerisine geçiş

5.4.1 Rijit Bacak - Mukavemet hesapları

Şekil 5.21' de Rijit Bacak ile ilgili uzunluk değerleri ve bacak üzerine gelen yükler gösterilmiştir. Şekilde gösterilen değerler mukavemet hesaplarında kullanılacaktır.



Şekil 5.21 : Rijit Bacak üzerine etkiyen yükler

Rijit Bacak' ın uzunluk değerleri aşağıdaki gibidir:

$$h_1 = 48500mm$$

$$h_2 = 25696mm$$

$$h_3 = 23290mm$$

$$h_4 = 3561mm$$

$$h_5 = 11929mm$$

$$h_6 = 22804mm + 2102mm = 24906mm$$

$$L_p = 30500mm$$

Bacak üzerine etkiyen kuvvet, kanca, yük ve araba ağırlıklarının toplamıdır.

$$P = Kanca + Yük + Araba = 227178kg$$

Arabaların ömür ve titreşim faktörlerinden kaynaklanan yük denklem (5.38)' de hesaplanmıştır.

$$P''' = \frac{2.P.L_p}{L} = 384941kg \quad (5.38)$$

Ana Kiriş' in ağırlığından dolayı Rijit Bacak' a etki eden yük denklem (5.39)' daki gibidir;

$$A_2 = \frac{Q \cdot \gamma_c}{2} = 51300kg \quad (5.39)$$

Yükten kaynaklanan atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etki (5.40)' taki gibi hesaplanır;

$$A_3 = \frac{2 \cdot P}{30} \cdot \frac{h_1}{L} = \frac{2 \cdot 227178kg}{30} \cdot \frac{48500mm}{36000mm} = 22082kg \quad (5.40)$$

Atalet kuvvetlerinin toplamı denklem (5.41)' deki gibi bulunur;

$$P'' = P''' + A_2 + A_3 = 458322kg \quad (5.41)$$

Üst Kutu' nun ağırlığı ömür faktörü ile çarpılarak denklem (5.42)' deki gibi bulunur.

$$G_{ük} = 12000kg \cdot \gamma_c = 12960kg \quad (5.42)$$

Atalet kuvvetleri ve Üst Kutu' nun ağırlıkları toplamı denklem (5.43)' te hesaplanmıştır;

$$P' = P'' + G_{ük} = 471282kg \quad (5.43)$$

Ana Kiriş ağırlığından ve toplam çalışma yükünden kaynaklanan atalet kuvvetleri denklem (5.44)' teki gibi hesaplanır;

$$P_H = \frac{P'' + A_2 + G_{ük}}{30} = 14973kg \quad (5.44)$$

Ağırlık merkezinin bulunabilmesi için öncelikle, Kule, Montaj Kutusu ve Pantolon' un her birinin ağırlıkları ve uzunluk değerleri bulunmuştur. Bu değerler göz önünde bulundurularak, moment değerleri denklem (5.45), (5.46) ve (5.47)' de görüldüğü gibi hesaplanmıştır;

$$G_{kule} = 33791kg \quad L_{kule} = 37625mm$$

$$M_{kule} = G_{kule} \cdot L_{kule} = 1271386kgm \quad (5.45)$$

$$G_{mon} = 11139kg \quad L_{mon} = 24180mm$$

$$M_{mon} = G_{mon} \cdot L_{mon} = 269341kgm \quad (5.46)$$

$$G_{pan} = 29648kg \quad L_{pan} = 14626mm$$

$$M_{pan} = G_{pan} \cdot L_{pan} = 433632 \text{kgm} \quad (5.47)$$

Toplam ağırlık hesabı denklem (5.48)' de gösterilmiştir;

$$G_{rb} = G_{kule} + G_{mon} + G_{pan} = 74578 \text{kg} \quad (5.48)$$

Toplam moment ise denklem (5.49)' daki gibi bulunur;

$$M_{top} = M_{kule} + M_{mon} + M_{pan} = 1974359 \text{kgm} \quad (5.49)$$

Ağırlık merkezinin düşey doğrultudaki (Y doğrultusunda) konumu, momentlerin toplamı, ağırlık toplamına bölünerek denklem (5.50)' deki gibi bulunur;

$$a = \frac{M_{top}}{G_{rb}} = 26474 \text{m} \quad (5.50)$$

Ağırlık merkezinden Gergi Kirişi eksenine mesafe: $h_G = 22913 \text{m}$

Ana Kiriş' in ağırlık merkezinden ray üstüne mesafe: $h_{AnK} = 47041 \text{m}$

Mafsal eksenleri arasındaki mesafe: $L_e = 20000 \text{m}$

DIN normuna göre atalet kuvvetlerinin etkisi denklem (5.51)' deki gibi hesaplanır;

$$P_{DIN} = \frac{(P_H \cdot h_{AnK} + \frac{G_{rb}}{30} \cdot h_G)}{L_e} = 38066 \text{kg} \quad (5.51)$$

Hesaplamalarda kullanılacak olan kren parçalarının ağırlıkları aşağıda verilmiştir:

Gergi Kirişi Ağırlığı: $G_{GK} = 20000 \text{kg}$

Büyük Denge Kirişi Ağırlığı: $G_{BDK} = 7000 \text{kg}$

Küçük Denge Kirişi Ağırlığı: $G_{KDK} = 3000 \text{kg}$

Bojilerin Ağırlığı: $G_B = 10000 \text{kg}$

Redüktörün Ağırlığı: $G_R = 1600 \text{kg}$

Vinçlerin Ağırlığı: $G_V = 7500 \text{kg}$

Şaselerin Ağırlığı: $G_S = 6000 \text{kg}$

Panoların Ağırlığı: $G_P = 3240 \text{kg}$

Ağırlıkların toplamı denklem (5.52)' deki gibi hesaplanır;

$$G_2 = \gamma_c.(G_{GK} + G_{BDK} + G_{KDK} + G_B + G_R + G_V + G_{\text{ş}} + G_P) = 52207kg \quad (5.52)$$

Denklem (5.53)' te hesaplanan yük Rijit Bacak tarafındaki tüm kren elemanlarının raya etkittiği yüküdür;

$$F_{pan} = \lambda. \frac{(P' + G_{RB} + G_2)}{2} = 14952kg \quad (5.53)$$

Bu yükün mafsal eksenleri arasındaki mesafe ile çarpılması kren üzerinde oluşturduğu burulma momentini verecektir;

$$M_B = L_e.F_{pan} = 299034kg \quad (5.54)$$

Buna göre yük etkisinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin X ekseninde oluşturduğu momentin raya göre etkisi denklem (5.55)' e göre hesaplanır;

$$M_{x1} = h_1.P_{AFr} = 734542kgm \quad (5.55)$$

Fren etkisinin Gergi Kirişi eksenine göre etkisi aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$M_{x2} = h_2.P_{AFr} = 389171kgm \quad (5.56)$$

Fren kuvvetinin Kule alt kesitinde oluşturduğu moment denklem (5.57) ile bulunur;

$$M_{x3} = h_3.P_{AFr} = 352732kgm \quad (5.57)$$

Atalet kuvvetlerinin toplamı ile halat yükünün X ekseninde, bacak üst kutusunda oluşturduğu moment denklem (5.58)' deki gibi hesaplanır;

$$M_{x4} = h_4.P_{AFr} = 53932kgm \quad (5.58)$$

Ana Kiriş ve toplam çalışma yük ataletinin, Kule alt montaj kesitinde oluşturduğu moment denklem (5.59)' da bulunmuştur;

$$M'_{y2} = h_6.P_H = 372926kgm \quad (5.59)$$

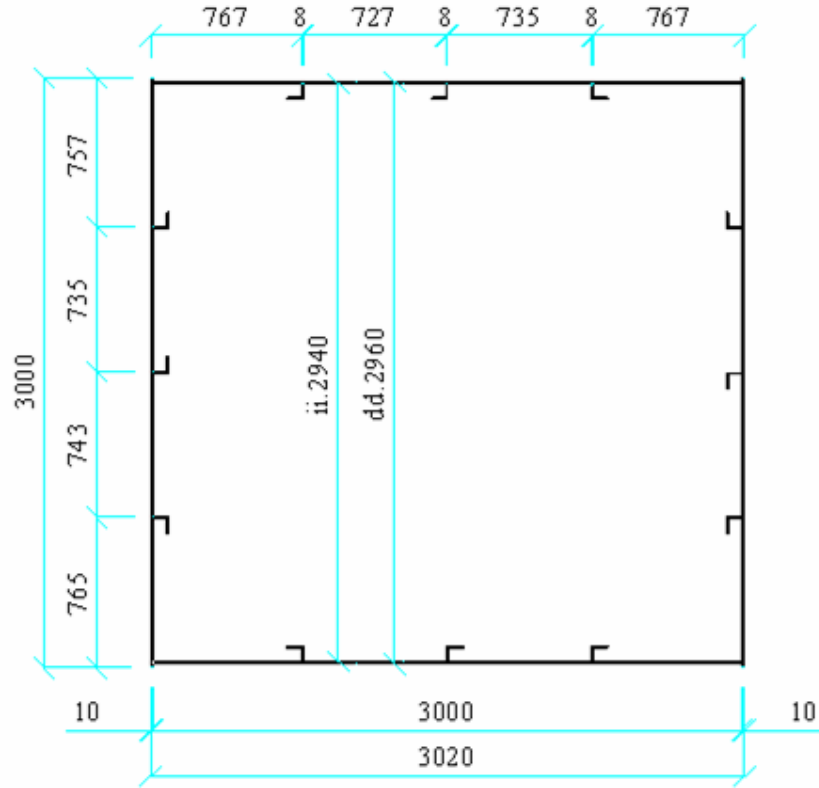
Kule kütlesi ataletinin, Kule alt montaj kesitine moment tesiri denklem (5.60)' daki gibi hesaplanır;

$$M_{y2} = h_5. \frac{G_{kule}}{30} = 13436kgm \quad (5.60)$$

O halde, Y eksenı doğrultusunda Kule' ye etkiyen toplam moment tesiri aşağıdaki denklemlle bulunur;

$$\Sigma M_{y2} = M_{y2} + M'_{y2} = 386363 \text{kgm} \quad (5.61)$$

Şekil 5.22' deki kulenin kesit resminden görüleceği gibi, kule yan saclarına kaynaklanmış ve kule boyunca devam eden profiller bulunmaktadır. Her bir sac boyunca üçer adet profil montajlanmıştır. Bu profiller kulenin eğilmeye karşı dayanımını sağlamaktadır.



Şekil 5.22 : Rijit Bacak Kule kesiti

X ve Y eksenlerindeki kesit atalet momentleri :

$$J_{xkule} = 19304600 \text{cm}^4 \quad J_{ykule} = 19904859 \text{cm}^4$$

X ve Y eksenlerindeki mukavemet momentleri :

$$W_{xkule} = 128697 \text{cm}^3 \quad W_{ykule} = 131820 \text{cm}^3$$

$$\text{Kesit yüzeyi: } F_{kule} = 1347 \text{cm}^2$$

$$\text{Yan sacların arasındaki mesafe: } L_{kule1} = 3010 \text{mm}$$

Üst ve alt sacların arasındaki mesafe: $L_{kule2} = 2950mm$

Minimum cidar kalınlığı: $t_{min} = 10mm$

Kule kesitinin alanı denklem (5.62)' de bulunmuştur;

$$A_{kule} = L_{kule1} \cdot L_{kule2} = 88795cm^2 \quad (5.62)$$

Daha önce hesaplanan burulma momentinin Kule kesiti üzerinde oluşturduğu kayma gerilmeleri denklem (5.63) ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{M_B}{2 \cdot A_{kule} \cdot t_{min}} = 168 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.63)$$

Atalet kuvvetlerinin toplamı ile halat yüklerinin toplamı denklem (5.64)' teki gibi bulunur;

$$S_1 = -(P' + T_{halat}) = -523757kg \quad (5.64)$$

Bu kuvvetin oluşturduğu basma gerilmesi denklem (5.65)' te hesaplanmıştır.

$$\sigma_{1s} = \frac{S_1}{F_{kule}} = -389 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.65)$$

Üst kesitte Y ekseninde oluşan eğilme gerilmesi denklem (5.66)' da hesaplanır.

$$\sigma_{1x} = \frac{-M_{x1}}{W_{xkule}} = -571 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.66)$$

Üst kesitte oluşan normal gerilmelerin toplamı (5.67)' deki gibi hesaplanır;

$$\Sigma \sigma_1 = \sigma_{1s} + \sigma_{1x} = -960 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.67)$$

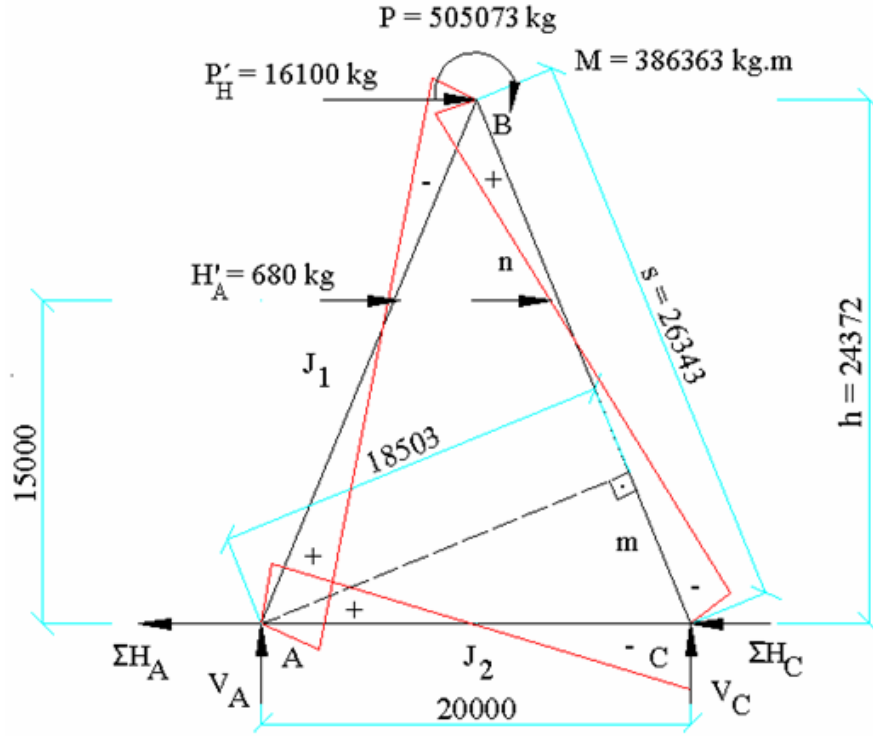
Denklem (5.68)' de verilmiş olan eşdeğer gerilme formülünden, Kule üst kesitinde oluşan gerilme aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\Sigma \sigma_1^2 + 3 \cdot \tau^2} = 1531 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.68)$$

$$\sigma_{cp} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

Görüldüğü üzere bulunan gerilme değeri emniyet gerilmesinden düşüktür. Mukavemet hesaplarına göre Kule' nin tasarımı uygundur.

Pantolon hesabında Şekil 5.23' te gösterilen serbest cisim diyagramındaki uzunluk, yük ve moment değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5.23 : Pantolon üzerine etkiyen yükler

X ve Y eksenindeki kesit atalet momentleri :

$$J_{1_{pant}} = 2014631cm^4 \quad J_{2_{pant}} = 621387cm^4$$

Pantolon üzerine etki eden moment : $\Sigma M_{y2} = 386363kg.m$

Düşey yönde etkiyen kuvvet, atalet kuvvetleri, Üst Kutu ağırlığı ve Kule ağırlığının toplamı ile denklem (5.69)' daki gibi bulunur.

$$P_p = P' + G_{kule} = 505073kg \quad (5.69)$$

Tepki kuvvetleri denklem (5.70)' deki gibi bulunur.

$$V_A = V_C = \frac{P_p}{2} = 252537kg \quad (5.70)$$

Halat yükünün atalet etkisi ile Kule ağırlığından ve toplam çalışma yükünden kaynaklanan atalet kuvveti denklem (5.71) yardımıyla hesaplanır;

$$P'_H = P_H + \frac{G_{kule}}{30} = 161000kg \quad (5.71)$$

A ve C noktalarında kontrol yapılırken her köşeye I kadar yük ilave edilecektir. Bu yük denklem (5.72)' de hesaplanmıştır;

$$I = \frac{G_{mon} + G_{pant}}{2} = 20394kg \quad (5.72)$$

İki Pantolon parçasına da eşit yük gelecektir ve bu yük denklem (5.71)' de bulunan değerin yarısı kadar olacaktır. Her bir Pantolon parçasına etki eden kuvvet denklem (5.73)' teki gibi hesaplanır;

$$H_A = H_C = \frac{P'_H}{2} = 8050kg \quad (5.73)$$

Yatay kuvvet ise bu kuvvetin otuzda biri kadardır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$H'_A = H'_C = \frac{I}{30} = 680kg \quad (5.74)$$

İki kuvvetin toplamı denklem (5.75)' teki gibi bulunur;

$$\Sigma H_A = \Sigma H_C = H_A + H'_A = 8730kg \quad (5.75)$$

Aşağıda verilen, Şekil 5.17' de de gösterilmiş olan Pantolon' a ait uzunluk değerleri hesaplar sırasında kullanılacaktır:

$$L_e = 20000mm \quad h_{pant} = 24372mm \quad h_m = 15000mm$$

Pantolon' a etkiyen yatay tepki kuvvetleri denklem (5.76)' daki gibi hesaplanır.

$$V'_A = V'_C = \frac{(P'_H \cdot h_{pant} + T_{pant})}{L_e} = 20639kg \quad (5.76)$$

Yine aynı şekil üzerinde belirtilmiş olan m ve n uzunluk değerleri de aşağıda verilmiştir:

$$m = 11807mm \quad n = 14536mm$$

Toplam mesafe, yani bir kenarın uzunluğu şekilde de “s” ile gösterilmiş olup 26343mm'dir. Pantolon narinlik katsayısı denklem (5.77)' den hesaplanır;

$$k = \frac{J_{2_{pant}}}{J_{1_{pant}}} \frac{s}{L_e} = 0.41 \quad (5.77)$$

F_1 ve F_2 katsayıları, k değeri kullanılarak denklem (5.78) ve (5.79)' dan bulunur;

$$F_1 = 2 + k = 2.41 \quad (5.78)$$

$$F_2 = 1 + 2k = 1.81 \quad (5.79)$$

Y ekseninde oluşan atalet momenti, Pantolon parçalarının herbirine eşit olarak dağılmaktadır ve denklem (5.80) ile bulunur;

$$-M_{B1} = M_{B2} = \frac{\Sigma M_{y2}}{2} = 193181 \text{kgm} \quad (5.80)$$

Pantolon alt kesitine etkiyen momentler denklem (5.81) ile bulunur;

$$M_A = -M_C = \frac{\Sigma M_{y2}}{2} \cdot \frac{k}{F_2} = 43300 \text{kgm} \quad (5.81)$$

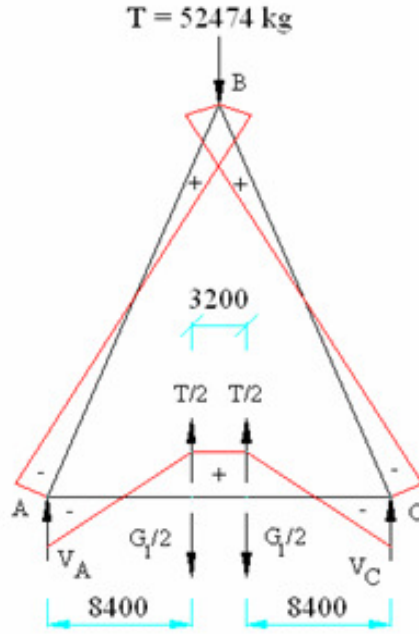
Pantolon' a etki eden momentin, mafsallar arasındaki mesafeye bölünmesi ile denklem (5.82)' deki tepki kuvvetleri bulunur;

$$V_A = -V_C = \frac{\Sigma M_{y2}}{L_e} = 19318 \text{kg} \quad (5.82)$$

Momentlerden dolayı oluşan bir diğer tepki kuvveti de aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$N_2 = \frac{(\Sigma M_{y2} + 2.M_A)}{L_e} \cdot \frac{h}{s} = 47118 \text{kg} \quad (5.83)$$

Şekil 5.24' teki serbest cisim diyagramında Pantolon' a etkiyen halat yükleri gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : Kaldırma halatı ve G_1 yükleri

Pantolon' a etkiyen halat yükü: $G_1 = 21740kg$

Yükün etkidiği noktanın köşeden uzaklığı: $L_c = 8400mm$

Halat gerilmelerinden dolayı oluşan yük denklem (5.84) ile bulunur;

$$V_A = V_C = \frac{T_{halat}}{2} = 26237kg \quad (5.84)$$

Gergi Kirişi ortasına etkiyen yük aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$P_{gergi} = \frac{(T_{halat} - G_1)}{2} = 15367kg \quad (5.85)$$

Yukarı doğru çekmeye çalışan halat kuvvetleriyle Pantolon ağırlığı arasındaki farkın tesiri aşağıdaki denklemlerle hesaplanır;

$$M_A = M_C = -2 \frac{(T_{halat} - G_1)}{3.F_1.4} . L_e = -42576kgm \quad (5.86)$$

$$M_B = \frac{(T_{halat} - G_1)}{12.F_1} . L_e = 21288kgm \quad (5.87)$$

$$M_{ort2} = \frac{(T_{halat} - G_1)}{2} . L_C + M_A = -86509kgm \quad (5.88)$$

Düşey yönde etki eden kuvvetler denklem (5.89)' dan bulunur;

$$V_A = \frac{G_1}{2} = 10870 \text{ kg} \quad (5.89)$$

Bulunan tepki kuvvetlerinin birlikte oluşturdıkları etkiyi bulabilmek için Çizelge 5.4' ten yararlanılmıştır.

Çizelge 5.4 : Tesirlerin süperpozesi

Nokta	P Tesiri	P(h) Tesiri	M Tesiri	T Tesiri	T - G1 Tesiri
B Noktası	505.073 kg	16.100 kg	±193.181 kg.m	52.474 kg	21.288 kg.m
Vc	252.537 kg	20.639 kg	19.319 kg	26.237 kg	-
Hc	-	±8.730 kg	-	-	-
Mc	-	-	±43.300 kg.m	-	42.576 kg.m
Kiriş Ortası	-	-	-	-	86.509 kg.m

Maksimum tesirlerin, B ve C noktaları ile Gergi Kirişi ortasında oluştukları görülmektedir.

B noktasında kuvvetlerin ve momentlerin toplamı denklem (5.90), (5.91) ve (5.92)' de hesaplanır;

$$\Sigma V_B = P + T_{halat} = 279653 \text{ kg} \quad (5.90)$$

$$\Sigma H_B = P'_H = 16100 \text{ kg} \quad (5.91)$$

$$\Sigma M_{By} = M_{B2} + M_B = 214469 \text{ kgm} \quad (5.92)$$

C Noktasında kuvvetlerin ve momentlerin toplamı denklem (5.93), (5.94) ve (5.95)' te hesaplanır;

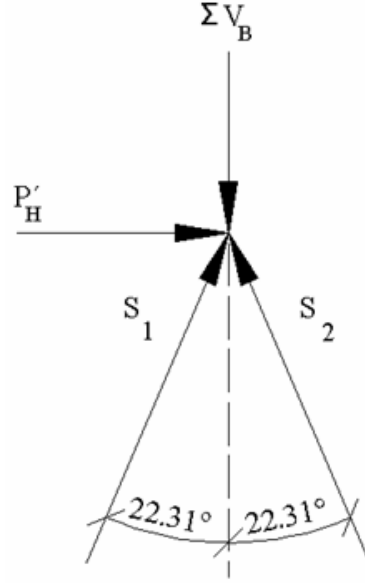
$$\Sigma V_C = 272898 + V'_A + V''_A + V_A = 339092 \text{ kg} \quad (5.93)$$

$$\Sigma H_C = 8730 \text{ kg} \quad (5.94)$$

$$\Sigma M_{Cy} = -M_A + M_A = -85876 \text{ kgm} \quad (5.95)$$

Orta noktada oluşan toplam moment: $M_{ort2} = 86509 \text{ kgm}$

Şekil 5.25' te Pantolon üzerinde gelen çubuk kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 5.25 : Çubuk Kuvvetleri

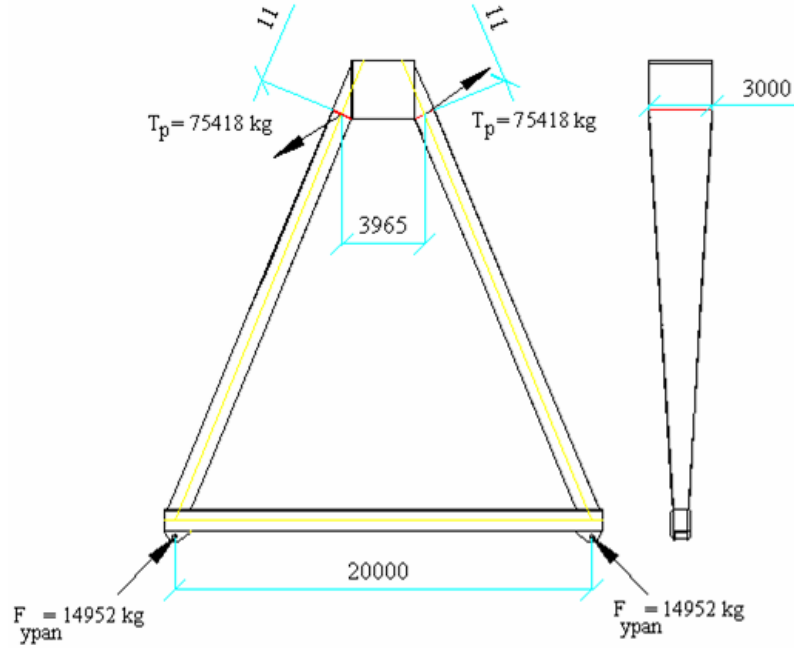
Pantolon parçaları arasındaki açı: $\theta = 22.31^\circ$

Denklem (5.96) ve (5.97)' den S_1 ve S_2 kuvvetlerinin değerleri, kuvvet dengesi göz önüne alınarak bulunur;

$$S_1 = \frac{\Sigma V_B}{2 \cdot \cos \theta} - \frac{P'_H}{2 \cdot \sin \theta} = 129935 \text{ kg} \quad (5.96)$$

$$S_2 = \frac{\Sigma V_B}{2 \cdot \cos \theta} + \frac{P'_H}{2 \cdot \sin \theta} = 172345 \text{ kg} \quad (5.97)$$

Şekil 5.26' da gösterilen serbest cisim diyagramında Pantolon' un üst kesitine gelen yükler ve kesite ait ölçüler verilmiştir.



Şekil 5.26 : Pantolon üst kesitine etkiyen yükler

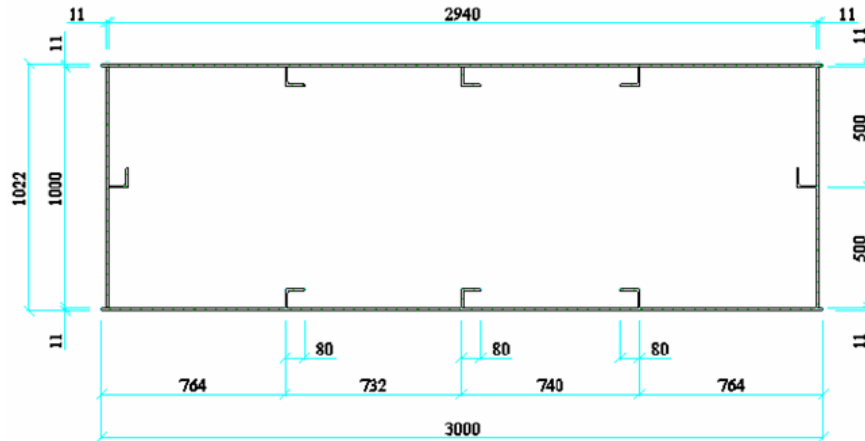
$$F_{ypan} = 14952 kg$$

$$L_k = 3965 mm$$

Pantolon ile Montaj Kutusu' nun monte edildiği bölgeye etki eden kuvvet denklem (5.98) yardımıyla bulunur;

$$T_p = F_{ypan} \frac{L_E}{L_k} = 75418 kg \quad (5.98)$$

Şekil 5.27' de Pantolon üst kesiti görülmektedir.



Şekil 5.27 : Pantolon üst kesiti

X ve Y eksenlerindeki atalet momentleri:

$$J_{xpü} = 10511480 \text{ cm}^4 \quad J_{ypü} = 2014631 \text{ cm}^4$$

X ve Y eksenlerindeki mukavemet momentleri:

$$W_{xpü} = 70077 \text{ cm}^3 \quad W_{ypü} = 39425 \text{ cm}^3$$

Kesit yüzey alanı: $F_{pü} = 978 \text{ cm}^2$

Pantolon' a etki eden moment, aşağıdaki denklemle bulunur;

$$M_x = \frac{M_{x3}}{2} = 176366 \text{ kgm} \quad (5.99)$$

Pantolon üst kesitine etkiyen normal gerilmeler aşağıdaki denklemler ile bulunur;

$$\sigma_{1s} = \frac{-(S_2 + N_2)}{F_{pü}} = -224 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.100)$$

$$\sigma_{2y} = \frac{-\Sigma M_{By}}{W_{ypü}} = -544 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.101)$$

$$\sigma_{3x} = \frac{-M_x}{W_{xpü}} = -252 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.102)$$

Normal gerilmelerin toplamı denklem (5.103)' teki gibi hesaplanır;

$$\Sigma \sigma_{üst} = \sigma_{1s} + \sigma_{2y} + \sigma_{3x} = -1020 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.103)$$

Pantolon üst kesitinde yan sacın uzunluğu: $L_{pük} = 3000 \text{ mm}$

Pantolon üst kesitinde yan sacın kalınlığı: $h_{pük} = 11 \text{ mm}$

Kayma gerilmesi halat yüklerinden kaynaklanan kuvvetlerden meydana gelir ve denklem 5.104' teki gibi hesaplanır;

$$\tau_{üst} = \frac{T_p}{2 \cdot L_{pük} \cdot h_{pük}} = 114 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.104)$$

Eşdeğer gerilme aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

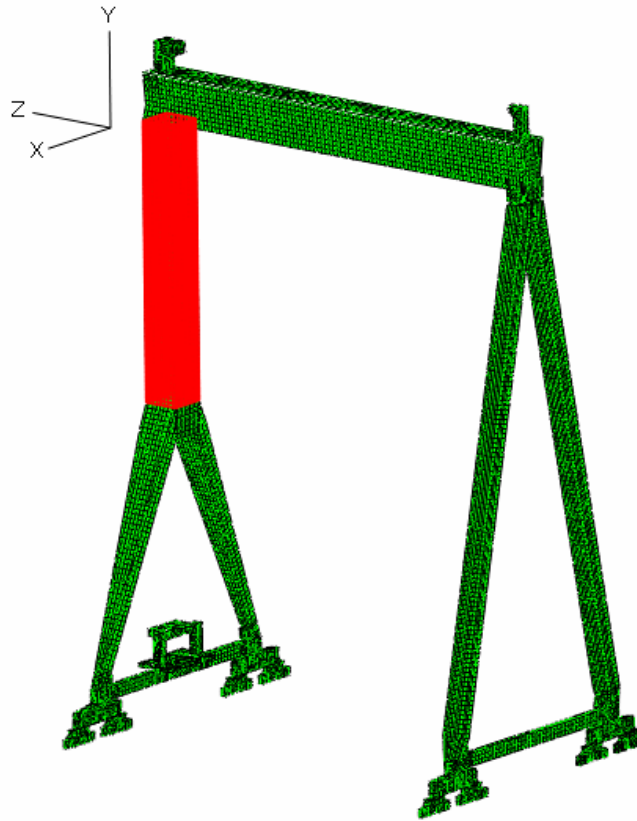
$$\sigma_{cpüst} = \sqrt{\Sigma \sigma_{üst}^2 + 3 \cdot \tau_{üst}^2} = 1039 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.105)$$

$$\sigma_{cp} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

Bulunan gerilme değeri, emniyet gerilmesinden oldukça düşüktür. Bu durumda, Pantolon' un kesit değerlerinin azaltılması ya da sacların kalınlıklarının azaltılması gibi geliştirmeler uygulanabilir.

5.4.2 Rijit Bacak - Sonlu elemanlar analizi

Şekil 5.28' de Kule' nin kren üzerindeki yeri görülmektedir. Kule, Rijit Bacak' ın Ana Kiriş' e bağlanan en üst parçasıdır.

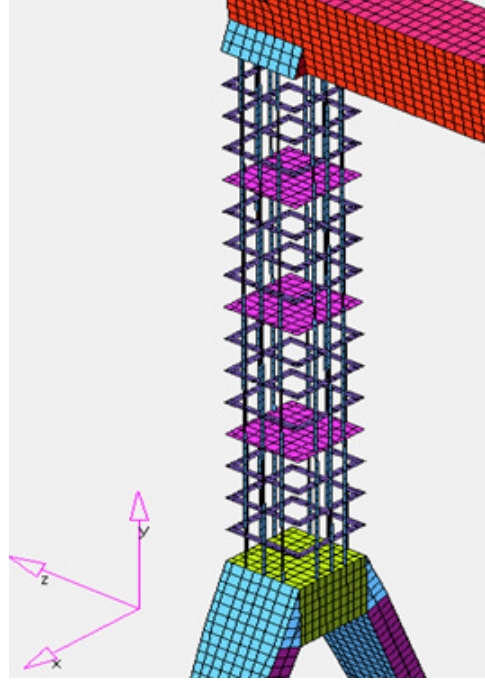


Şekil 5.28 : Rijit Bacak

Şekil 5.29' da ise Kule' nin iç yapısı görülmektedir. Kule de tıpkı Ana Kiriş gibi boyuna profiller ve perdeler ile takviye edilmiştir. Buradaki perdelerin görevi, yan sacların buruşmalarını önlemektir. Daha önce de değinilen hollanda profilleri ise dikey yükleri taşımaktadırlar.

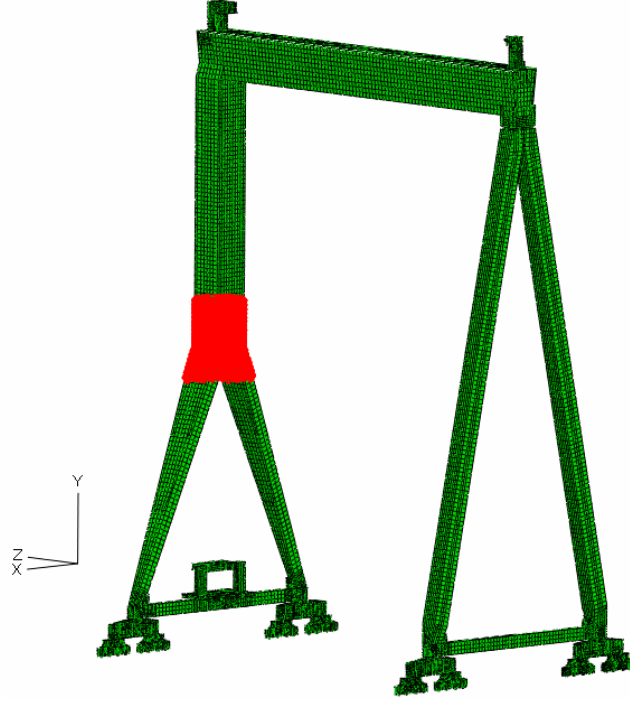
Kule iç yapısı dört katlı olarak tasarlanmıştır. Bundaki amaç, yukarı çıkacak olan operatörün veya bakım, montaj vs. için çıkacak olan işçilerin, dinlenerek ve güvenli

bir biçimde çıkabilmesini sağlamaktır. Bu nedenle Kule içerisinde dört merdiven mevcuttur, fakat bu merdivenler sonlu elemanlar analizinde, herhangi bir mukavemet unsuru taşımadıklarından modellenmemişlerdir.



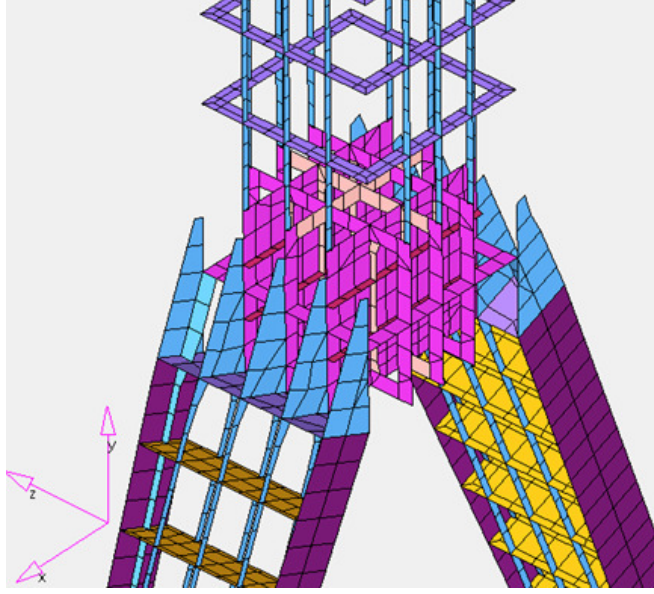
Şekil 5.29 : Rijit Bacak Kule iç yapısı

Şekilden görüleceği gibi, belirli aralıklarla Kule' nin yan saclarına kaynaklanmış üç dikdörtgen levha bulunmaktadır. Bunlar her bir katın zeminidir. İlk kata daha önce bahsedildiği gibi Montaj Kutusu' nda bulunan delikten girilmektedir. Aşağıdaki şekilde kren üzerinde Montaj Kutusu' nun yeri belirtilmiştir.



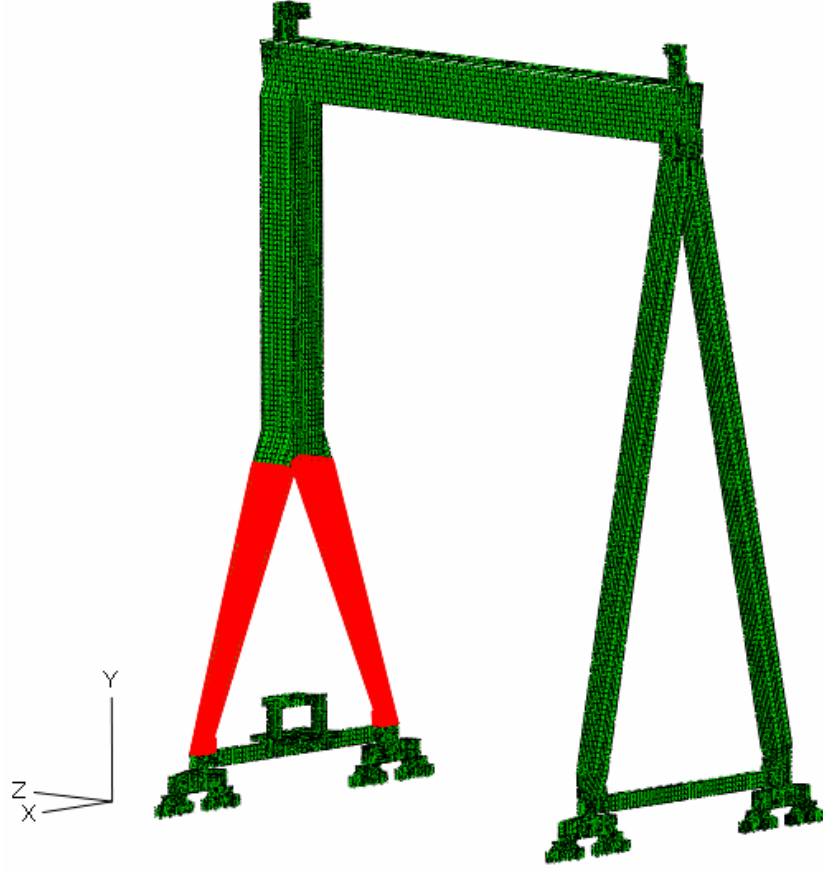
Şekil 5.30 : Montaj Kutusu

Şekil 5.31' de Kule ve Pantolon' un, Montaj Kutusu yardımıyla montajı görülmektedir. Montaj Kutusu modelin en karmaşık parçalarından birisidir. Ana görevi, Kule' den gelen kuvvetleri ve yükten kaynaklanan eğilme momenti tesirlerini üzerinde toplayarak Pantolon' a aktarmaktır. Oldukça büyük kuvvetlere ve momentlere maruz kalan Montaj Kutusu basma ve eğilme gerilmelerine karşı mukavemetli tasarlanırlar. İçerisine konulan takviyeler kutuyu oldukça mukavemetli bir hale getirmektedir. Bu takviyeler, Kule' den gelen dikey yüklerin bir kısmını taşır. Bu takviyeler için herhangi bir hesaplama yöntemi mevcut değildir. Takviyelerin hangi kesitlerde ve nasıl dizilmesi gerektiği öncelikle tasarımcının tecrübesine dayanılarak modellenir, daha sonra ise sonlu elemanlar analizi ile yeterli olup olmadığı araştırılır.



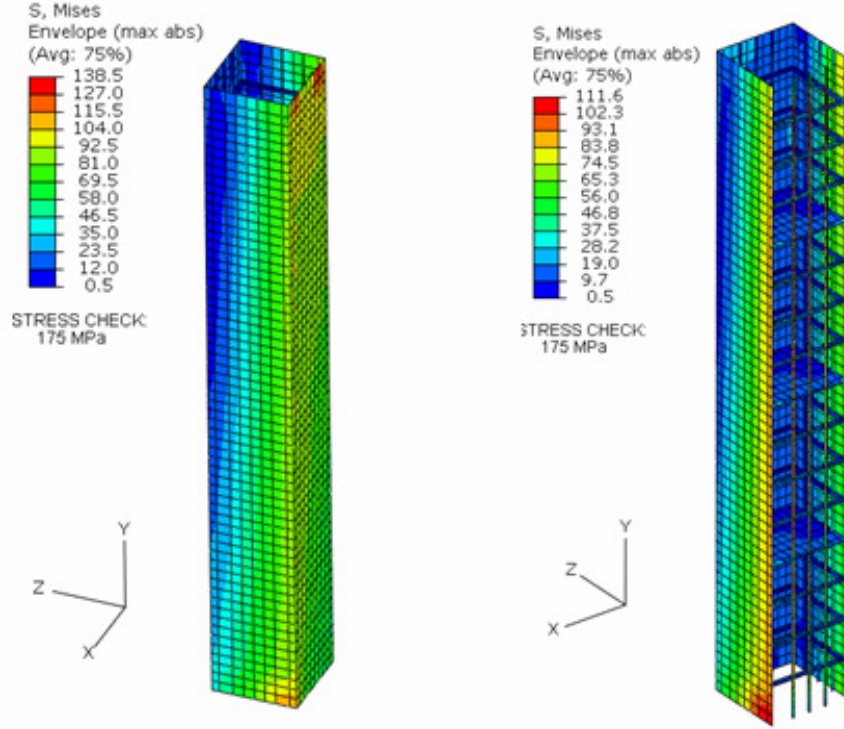
Şekil 5.31 : Rijit Bacak Montaj Kutusu ve Pantolon' un iç yapısı

Pantolon, Montaj Kutusu' ndan gelen yükleri, her iki ucuna da eşit gelecek biçimde, yani üniform bir şekilde, Rijit Bacak Gergi Kirişi' ne aktarır. Pantolon kesiti, Montaj Kutusu' ndan Gergi Kirişi' ne doğru giderek daralmaktadır. Bu nedenle içerisine yerleştirilen ve Şekil 5.31' de sarı renkle görülen buruşma takviyelerinin boyları aşağıya doğru gidildikçe küçülmektedir. Aşağıdaki şekilde Pantolon' un kren üzerindeki yeri görülmektedir.

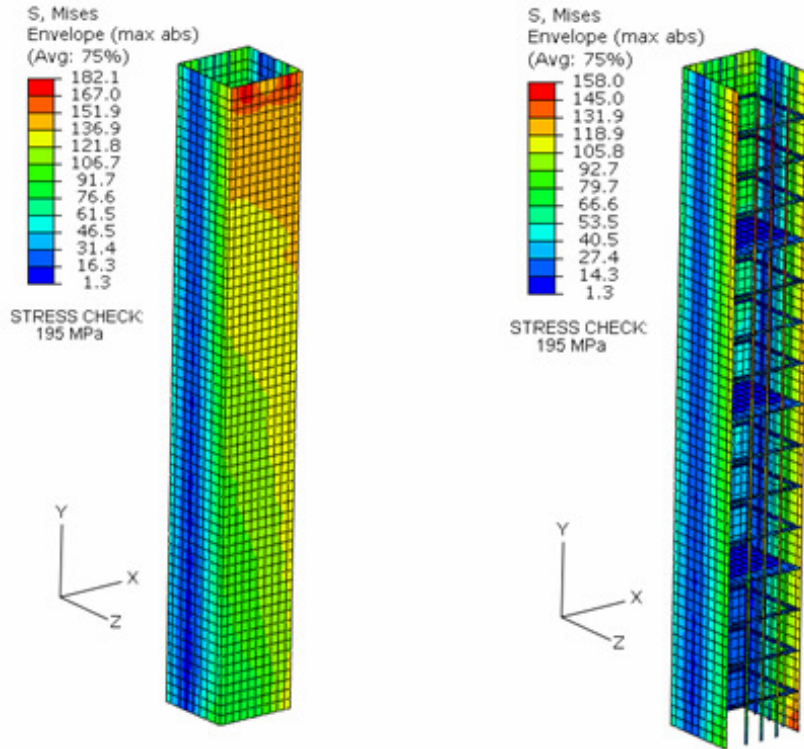


Şekil 5.32 : Pantolon

Her bir parçanın analiz sonuçları ayrı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.33' te statik, Şekil 5.34' te ise dinamik analiz sonucunda Kule üzerinde meydana gelen gerilmeler gösterilmektedir. Soldaki resimlerde maksimum gerilme dış saclarda görülmüştür. Kulenin iç yapısındaki gerilmeleri bulabilmek için dış saclar kaldırılıp, iç yapıdaki maksimum gerilmenin nerede olduğu tespit edilmiş ve bu değerler sağdaki resimlerde gösterilmiştir.

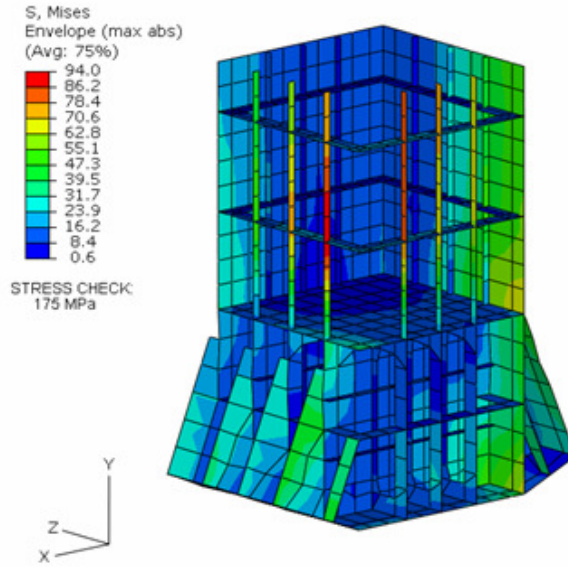


Şekil 5.33 : Rijit Bacak Kule gerilme değerleri - Statik Analiz



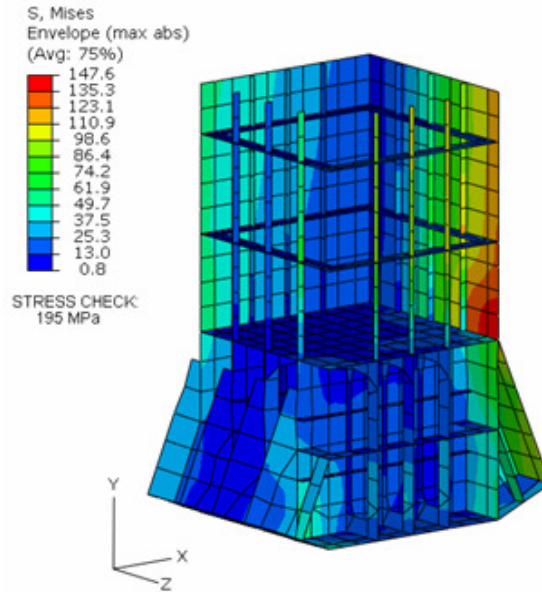
Şekil 5.34 : Rijit Bacak Kule gerilme değerleri - Dinamik Analiz

Şekil 5.35' te Montaj Kutusu' nun statik analiz sonuçları gösterilmektedir. İç yapıda meydana gelen gerilmelerin tespiti için dış saclar kaldırılmıştır.



Şekil 5.35 : Montaj Kutusu gerilme değerleri - Statik Analiz

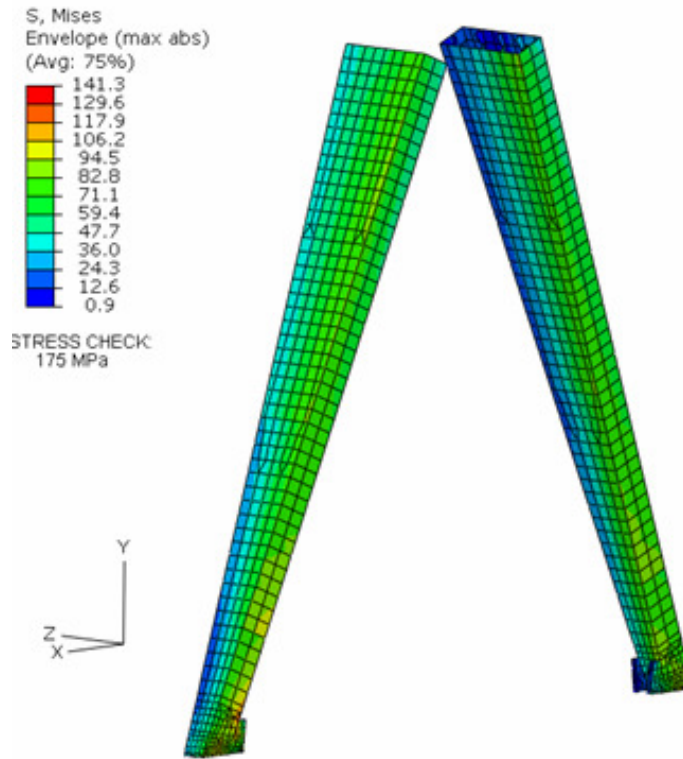
Görüldüğü üzere Montaj Kutusu oldukça emniyetli şekilde tasarlanmıştır. Bulunan maksimum gerilme değerinin, emniyet gerilmesine göre oldukça küçük olması, Montaj Kutusu' nun daha az malzeme (daha ince saclar veya takviyelerin azaltılması) ile imal edilebileceğini gösterir. Fakat bu yargıya varabilmek için Şekil 5.36' da gösterilen dinamik analiz sonuçlarına da bakmak gereklidir.



Şekil 5.36 : Montaj Kutusu gerilme değerleri - Dinamik Analiz

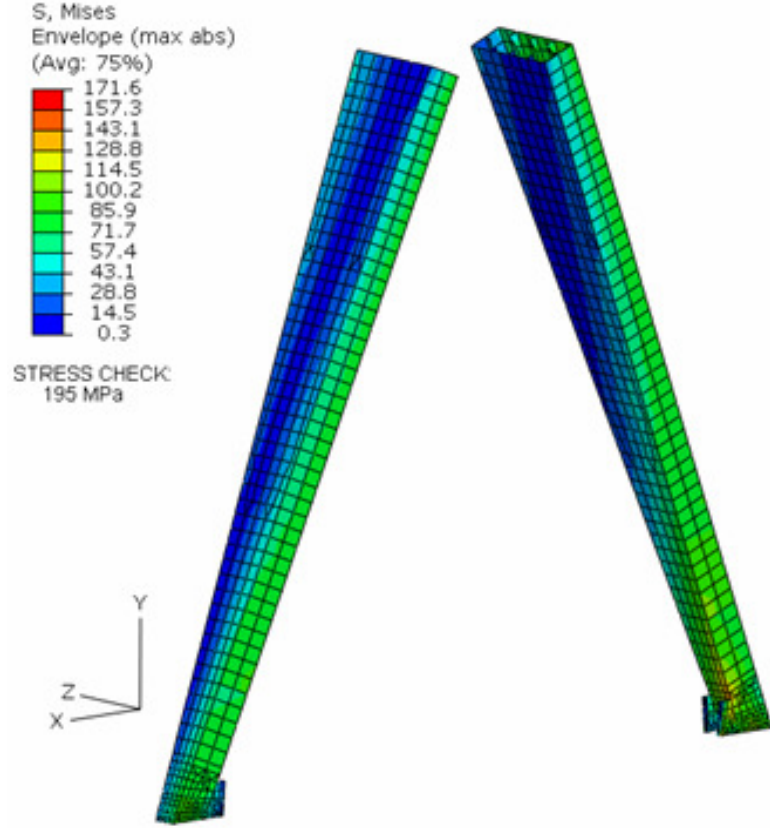
Dinamik analiz sonucunda elde edilen değer de, emniyet gerilmesinin çok altındadır. Burada statik analizden farklı olarak maksimum gerilmenin profil üzerinde değil, yan saclardan birinin üzerinde olduğu görülmektedir. Maksimum gerilmelerin çıktığı profiller ve sacın boyutları sabit kalmak şartıyla, diğer saclar ve takviyeler üzerinde revizyona gidilebilir. Özellikle Montaj Kutusu' nun alt bölgesinin oldukça emniyetli sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir. bu bölgedeki takviyelerden uygun olanların kaldırılması veya kalınlıklarının azaltılması mümkündür.

Şekil 5.37 ve Şekil 5.38' de de sırasıyla Pantolon'un statik ve dinamik analiz sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.37 : Pantolon gerilme değerleri - Statik Analiz

Bulunan maksimum gerilme değeri, emniyet sınırları içerisinde. Yan saclar kaldırılıp, iç yapıdaki gerilmeler incelendiğinde, yine aynı bölgede ve yaklaşık aynı değerde bir gerilmenin var olduğu görülmektedir. Bu nedenle iç yapının analiz sonuçları ayrıca gösterilmemiştir.

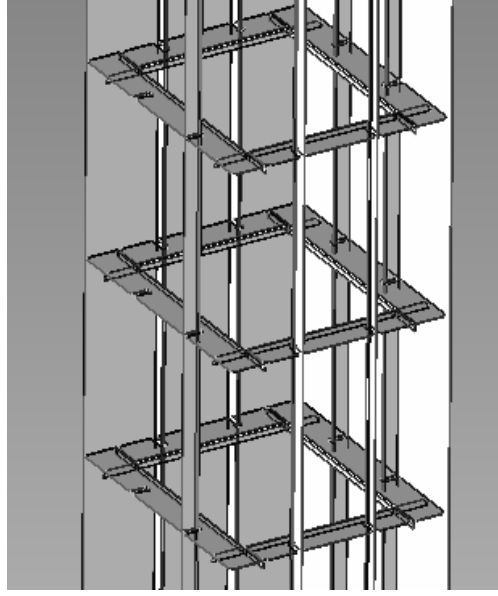


Şekil 5.38 : Pantolon gerilme değerleri - Dinamik Analiz

Dinamik analiz sonucunda da bulunan gerilme değeri emniyet sınırının altındadır. Gerilme değerleri ile emniyet gerilmesi arasındaki fark çok fazla olmadığından, tasarımın uygun olduğu ve Montaj Kutusu' ndaki gibi herhangi bir revizyona gidilmesinin gerekmediği söylenebilir.

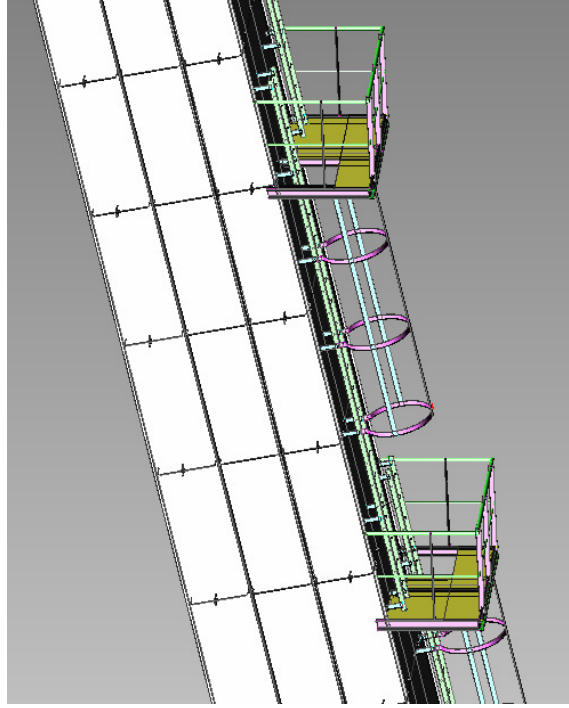
5.5 Mafsal Bacak

Mafsal Bacak da tıpkı Pantolon gibi iki ayrı koldan Gergi Kirişi' ne bağlanmaktadır. Halatın geçmesi için bacak içerisine Kule' de olduğu gibi halat geçiş deliklerinin açılması gerekmemektedir. Bu nedenle profiller ve perdeler dışında başka takviyeler mevcut değildir. Mafsal Bacak' ın iç yapısı Şekil 5.39' da görülmektedir.



Şekil 5.39 : Mafsal Bacak iç yapısı

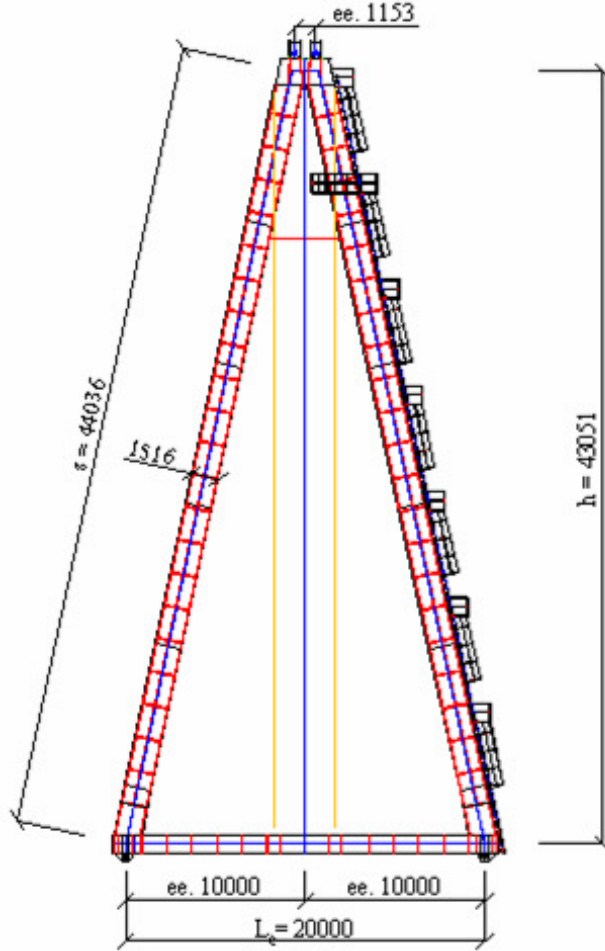
Ayrıca bu bacak üzerinde de merdiven mevcuttur. Şekil 5.40' tan da görüleceği gibi her biri yaklaşık 5 metre boyundaki merdivenlerin sonunda platformlar bulunmaktadır. Yaklaşık 50 metre boyundaki bacağa tek merdivenle çıkmak mümkün olmadığından 5 metre aralıklarla platformlar yerleştirilmiş ve gerektiğinde çıkan kişinin dinlenebilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.40 : Mafsal Bacak merdivenleri

5.5.1 Mafsal Bacak - Mukavemet hesapları

Şekil 5.41’ de Mafsal Bacak’ ın sahip olduğu uzunluk değerleri görülmektedir. Gergi Kirişi ekseninden mafsal eksenine olan uzaklık “h”, bacağın toplam boyu “s”, Gergi Kirişi mafsallarının eksenlerinin mesafesi ise L_e ile gösterilmiştir. Bacağın kesitinin genişliği 1516 mm olup, iki mafsal eksenindeki mesafe 1153 mm’ dir.



Şekil 5.41 : Mafsal Bacak

Zati ağırlıklar sebebiyle etkiyen yük daha önce bulunmuştu:

$$P'' = 458322kg$$

Mafsal Bacak üzerine bu değerin yarısı kadar kuvvet etki etmektedir;

$$P_{maf} = \frac{P''}{2} = 229161kg \quad (5.106)$$

Mafsalsal Bacak hesaplarında kullanılacak uzunluk değerleri aşağıda verilmiştir:

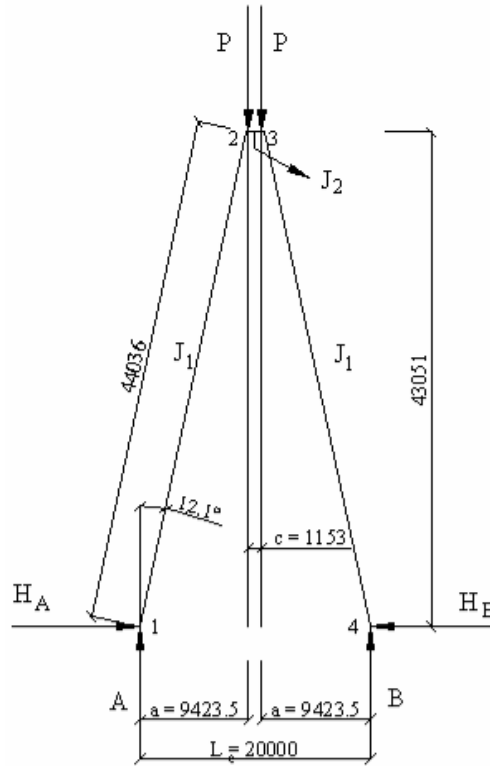
Kolon altlarından mafsalsal eksenine olan yatay mesafe: $a_{maf} = 9423.5mm$

Kolon altlarından mafsalsal eksenine olan dikey mesafe: $h_{maf} = 43051mm$

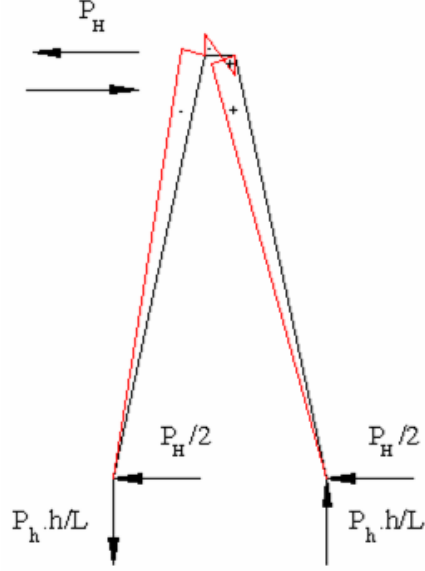
Bu değerler kullanılarak kolon altlarına etkiyen yatay tepki kuvveti denklem (5.107) ile bulunur;

$$H_A = P_{maf} \cdot \frac{a_{maf}}{h_{maf}} = 50161kg \quad (5.107)$$

şekil 5.42' de ve şekil 5.43' te kolonlara etkiyen yükler serbest cisim diyagramında gösterilmiştir.



şekil 5.42 : Mafsalsal Bacak zerine etkiyen yükler



Şekil 5.43 : Mafsal Bacak üzerine etkiyen yükler

$$P_H = 14973kg$$

Tepki kuvvetlerinin Mafsal Bacak mafsalına göre oluşturduğu moment tesiri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$M'_2 = \frac{(P_H \cdot h_{maf})}{2} - \frac{(P_H \cdot h_{maf})}{L_e} \cdot a_{maf} = 18581kgm \quad (5.108)$$

Momentlerin dengesinden düşey tepki kuvvetleri denklem (5.109)' dan bulunur;

$$A' = \frac{(P_H \cdot h_{maf})}{L_e} = 32231kg \quad (5.109)$$

Yatay kuvvetler dengesinden;

$$H'_A = \frac{P_H}{2} = 7487kg \quad (5.110)$$

Mafsal Bacak' ın ağırlığı aşağıda verilmiştir. Hesaplamalar sırasında bu ağırlık denklem (5.111)' de görüldüğü gibi ömür faktörü ile çarpılarak kullanılacaktır.

$$G_{maf} = 23000kg$$

$$G_{mb} = G_{maf} \cdot \gamma_c = 24840kg \quad (5.111)$$

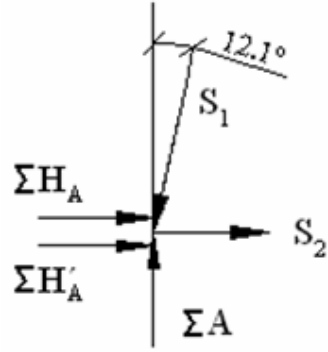
Toplam düşey yük denklem (5.112) ile bulunur;

$$\Sigma A = A + A' + G_{mb} = 515393 \text{ kg} \quad (5.112)$$

Yatay kuvvetler toplamı aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$\Sigma H_A = H_A + H'_A = 57648 \text{ kg} \quad (5.113)$$

Şekil 5.44' te Mafsal Bacak alt kesiti üzerine etki eden kuvvetler görülmektedir.

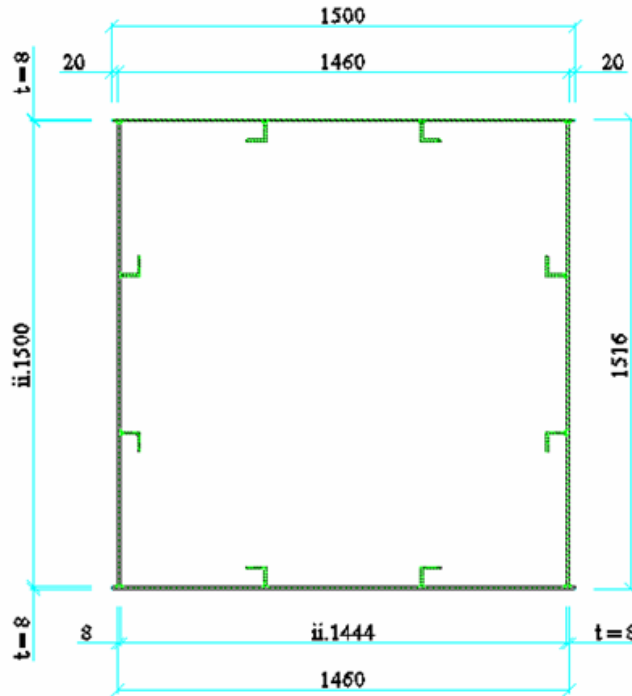


Şekil 5.44 : Mafsal Bacak alt kesitine etkiyen kuvvetler

Bacak üzerine gelen bileşke kuvvet S_1 ile dikey eksen arasındaki açı:

$$\theta_{maf} = 12.1^\circ$$

Aşağıdaki şekilde Mafsal Bacak alt kesiti görülmektedir.



Şekil 5.45 : Mafsal Bacak alt kesiti

X ve Y eksenlerindeki atalet momentleri:

$$J_{xma} = 2006998cm^4 \quad J_{yma} = 1890158cm^4$$

X ve Y eksenlerindeki mukavemet momentleri:

$$W_{xma} = 26478cm^3 \quad W_{yma} = 25202cm^3$$

Alt kesit yüzey alanı: $F_{ma} = 549cm^2$

Ana Kiriş eksenini ile Gergi Kirişi eksenini arasındaki mesafe: $h_{maf2} = 47931mm$

Atalet yarıçapı: $i_y = 604mm$

Narinlik derecesi denklem (5.114)' teki gibi hesaplanır;

$$\lambda_a = \frac{h_{maf2}}{i_y} = 79 \quad (5.114)$$

Bulunan narinlik derecesine ve St42 malzemesine göre katsayı, $w = 1.63$ olarak seçilir.

Denklem (5.115)' ten kolonlara etkiyen bileşke kuvvet bulunur;

$$S_1 = \frac{-\Sigma A}{\cos(\theta_{maf})} = -527104kg \quad (5.115)$$

Bileşke kuvvetinin oluşturduğu gerilme denklem (5.116)' da hesaplanmıştır;

$$\sigma_{1alt} = \frac{w.S_1}{F_{ma}} = -1565 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.116)$$

Mafsal Bacak alt kesitine yatay yönde etkiyen kuvvet, denklem (5.117)' deki gibi bulunur;

$$\Sigma H'_A = H_A - H'_A = 42675kg \quad (5.117)$$

S_1 kuvvetinin yatay yöndeki etkisi denklem (5.118) ile bulunur;

$$S_1 \cdot \sin(\theta_{maf}) = -110491kg \quad (5.118)$$

Yatay tepki kuvvetlerinin toplamı aşağıdaki denklemlerle bulunur;

$$S_{2max} = S_1 \cdot \sin(\theta_{maf}) + \Sigma H'_A = -67816kg \quad (5.119)$$

Bulunan bu kuvvetlerin Gergi Kirişı' ne maksimum tesiri denklem (5.120)' de bulunur;

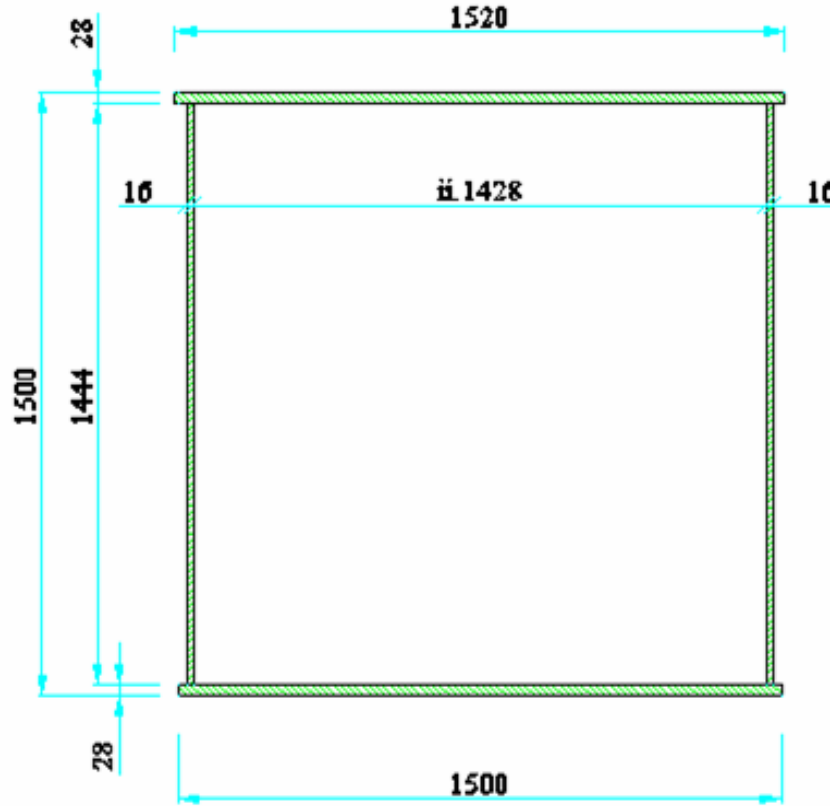
$$G_{grm} = -S_1 \cdot \sin(\theta_{maf}) + \Sigma H'_A = 153165 kg \quad (5.120)$$

Gergi Kirişi alanı: $A_{gk} = 237.5 cm^2$

Yatay kuvvetlerin Gergi Kirişi üzerinde oluşturduğu gerilme denklem (5.121)' deki gibi hesaplanır;

$$\sigma_{maf} = \frac{G_{grm}}{A_{gk}} = 645 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.121)$$

Mafsals Bacak üst kesiti Şekil 5.46' da görülmektedir.



Şekil 5.46 : Mafsals Bacak üst kesiti

$$G_{mb} = -24840 kg$$

Mafsals Bacak üst kesitine etki eden kuvvetler göz önüne alınarak kesit üzerinde meydana gelen gerilmeler denklem (5.122) ve (5.123)' de hesaplanmıştır.

$$\sigma_{1üst} = \sigma_{1alt} \cdot \frac{(S_1 + G_{mb})}{S_1} = -1639 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.122)$$

$$\sigma_{2üst} = \frac{-M'_2}{W_{xma}} = -70 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.123)$$

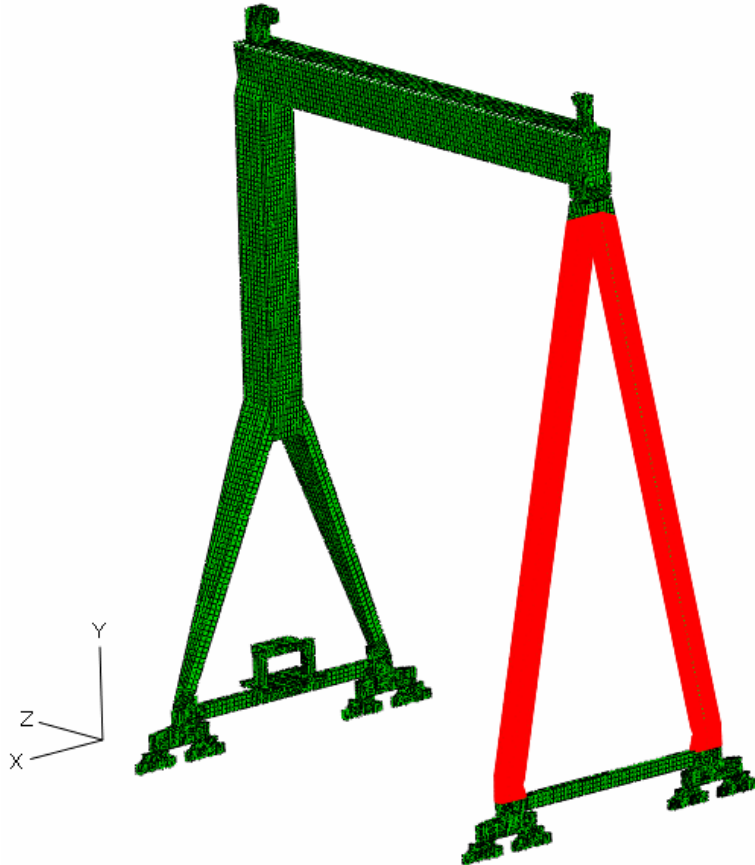
Gerilmelerin toplamı aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$\Sigma \sigma_{üst} = \sigma_{1üst} + \sigma_{2üst} = -1709 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.124)$$

$$\Sigma \sigma_{üst} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

5.5.2 Mafsal Bacak - Sonlu elemanlar analizi

Şekil 5.47' de Mafsal Bacak' ın kren üzerindeki yeri gösterilmiştir.

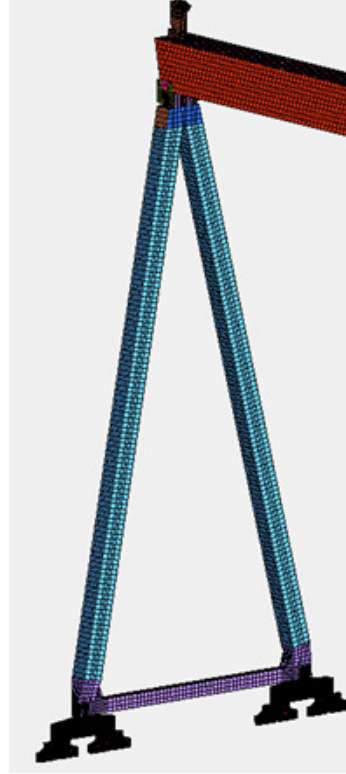


Şekil 5.47 : Mafsal Bacak

Mafsal Bacak sacları ve iç yapısındaki parçalar da Ana Kiriş ve Rijit Bacak' ta olduğu gibi dörtgen elemanlar (quad mesh) ile bölünmüşlerdir. Mafsal bölgesinde ise

mafsalın daireselliğinin oluşturulabilmesi için daha küçük elemanlar kullanılmış ve mafsaldaki bağlantı bölgesi çubuk (pin) model ile tanımlanmıştır. Bu sayede mafsalın belli bir serbestliğe sahip olduğu analiz programına aktarılmış olur.

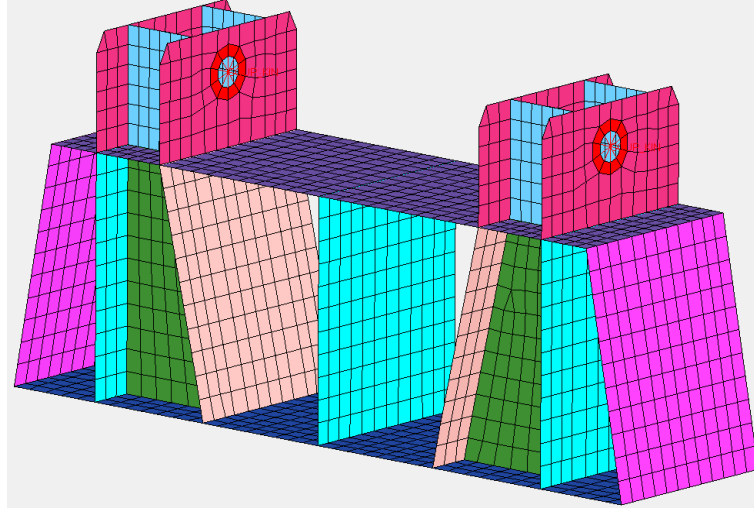
Şekil 5.48' de Mafsalsal Bacak' ın sonlu elemanlara bölünmüş modeli görölmektedir.



Şekil 5.48 : Mafsalsal Bacak modeli

Şekil 5.49' da görölen Mafsalsal Bacak Üst Kutusu, bacaklardan ayrı olarak modellenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, kutu üzerindeki sacların farklı renklerde olması, kalınlıklarının farklılığından ileri gelmektedir.

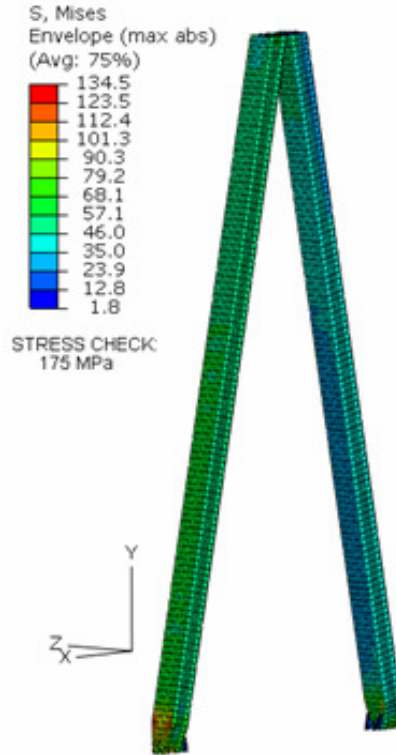
Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında, elemanların sürekliliğinin sağlanmasına dikkat edilmiştir. Örneğin mor renkle gösterilen kutu üst sacının eni 12 elemana bölünmüştür. Bu saca temas eden diğer yüzeyler, mafsalsal kutularının yan sacları, üst kutunun yan sacı ve içerisindeki perdelerin de enleri 12 elemana bölünmüştür. Böylece kuvvet akışının da bozulmaması sağlanmaktadır.



Şekil 5.49 : Mafsal kutusu

Daha önce de belirtildiği gibi mafsal bölgelerinde daha küçük elemanların kullanıldığı şekilde rahatlıkla görülmektedir. Kenar bölgelerde daha büyük olan elemanlar, mafsalın olduğu orta bölgeye doğru giderek küçülmektedirler.

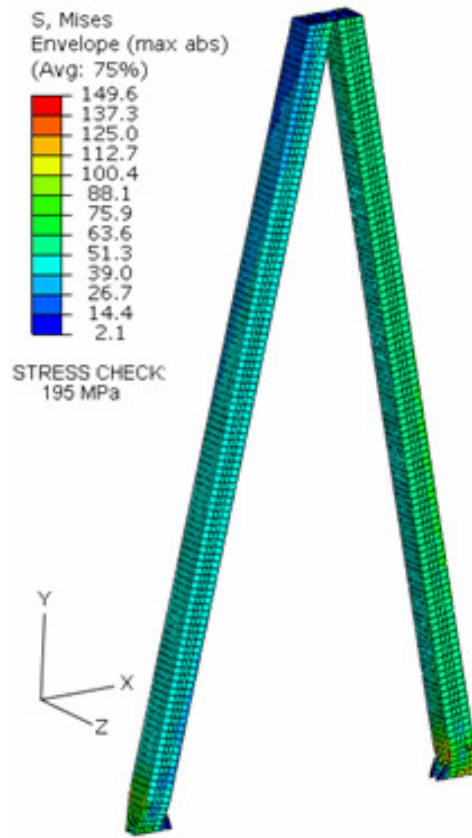
Statik analiz sonucunda Mafsal Bacak' ta oluşan gerilme değerleri Şekil 5.50' de gösterilmektedir.



Şekil 5.50 : Mafsal Bacak gerilme değerleri - Statik Analiz

Bulunan en yüksek gerilme değeri (134.5 Mpa) emniyet gerilmesinden düşük çıkmıştır.

Şekil 5.51’ de ise Mafsals Bacak’ ın dinamik analiz sonuçları görülmektedir. Gerek statik gerekse dinamik analiz sonucundan görüleceği gibi, maksimum gerilme, bacağın Gergi Kirişi ile birleştiği noktaya destek amacıyla yerleştirilmiş olan takviyelerin üst noktalarında meydana gelmektedir. Bu bölge kuvvet akışının yön değiştirdiği bölge olduğundan gerilmelerin artması olağandır. Eğer takviyeler konulmamış olsaydı, Mafsals Bacak ile Gergi Kirişi’ nin birleştiği noktada daha büyük gerilmeler meydana gelecekti.



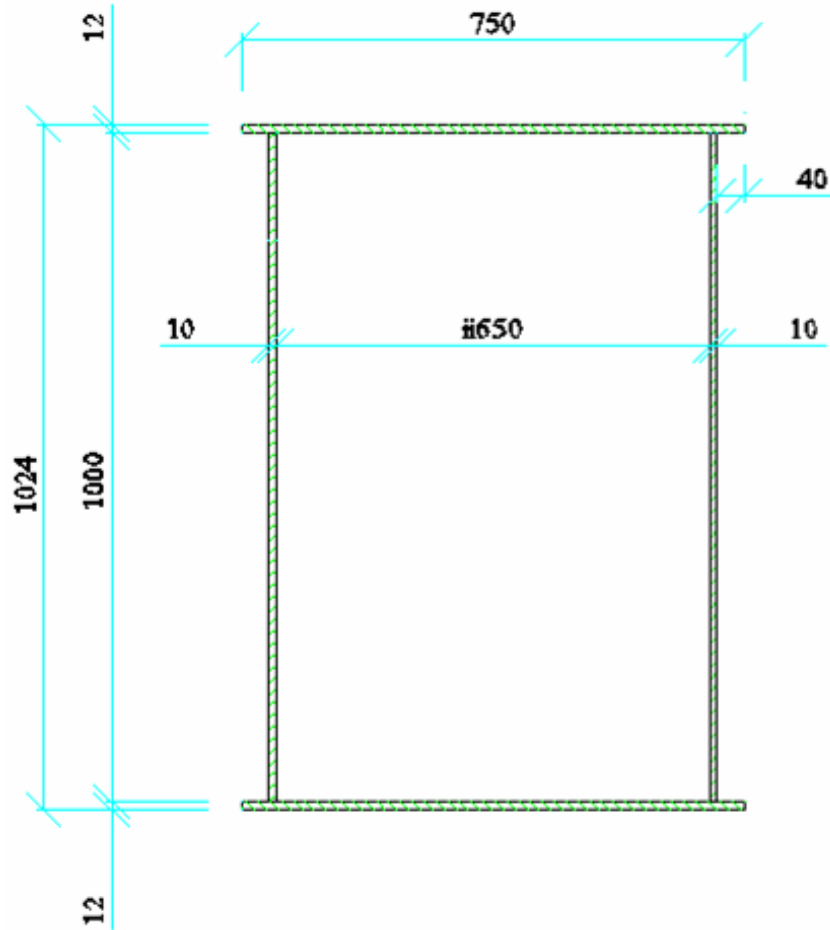
Şekil 5.51 : Mafsals Bacak gerilme değerleri – Dinamik Analiz

Statik analizde bulunan en yüksek gerilme değeri (134.5 Mpa) ve dinamik analizde bulunan en yüksek gerilme değeri (149.6 Mpa), Rijit Bacak analizinde bulunan değerlerden daha düşüktür. Bu da Mafsals Bacak' a, mafsalsın hareket serbestliği nedeniyle daha az yük geldiğinin bir göstergesidir.

5.6 Gergi Kirişi

5.6.1 Gergi Kirişi - Mukavemet hesapları

Gergi Kirişleri, hem Rijit Bacak hem de Mafsalsal Bacak' ın altında olmak üzere iki adettir. Daha önce de belirtildiği gibi bacaklar ile yürüyüş grubu arasında bir bağlantı oluştururlar. Bacaklardan gelen yükün bir kısmı Gergi Kirişi tarafından taşınır ve böylece tekerlere giden yükün azalmasına yardımcı olurlar. Gergi Kirişi' nin kesiti Şekil 5.52' de görülmektedir.



Şekil 5.52 : Gergi Kirişi kesiti

X ve Y eksenindeki atalet momentleri:

$$J_{xgk} = 62137cm^4 \quad J_{y gk} = 343575cm^4$$

X ve Y eksenindeki mukavemet momentleri:

$$W_{xgk} = 12136cm^3 \quad W_{y gk} = 9162cm^3$$

Kesit yüzey alanı: $F_{gk} = 380cm^2$

Kesite etkiyen S_3 kuvvetinin kesit yüzeyinde meydana getirdiği basma gerilmesi denklem (5.125)' teki gibi hesaplanır;

$$\sigma_1 = \frac{S_3}{F_{gk}} = 343 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.125)$$

Kiriş ortasına etkiyen momentten dolayı oluşan eğilme gerilmesi denklem (5.126)' da hesaplanmıştır;

$$\sigma_2 = \frac{M_{ort2}}{W_{xgk}} = 713 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.126)$$

Orta kesite etkiyen toplam gerilme denklem (5.127)' deki gibi bulunur.

$$\Sigma\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 1056 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.127)$$

Kesme gerilmelerinin bulunabilmesi için kiriş kesiti ile ilgili bazı verilere ihtiyaç vardır. Kirişe etkiyen yük ve kesite ait uzunluk değerleri aşağıda verilmiştir;

Gergi Kirişi' ne etkiyen halat yükleri toplamı: $P_{gergi} = 15367kg$

Gergi Kirişi yan sac yüksekliği: $h_{yansac} = 1000mm$

Yan sac kalınlığı: $t_{yansac} = 10mm$

Yan sacların merkezlerinin mesafesi: $L_{ym} = 660mm$

Üst sacların merkezlerinin mesafesi: $L_{üm} = 1012mm$

Halatların orta noktalarından tamburun merkezine olan uzaklık: $L_{ht} = 500mm$

Halat yükünün Gergi Kirişi' nde oluşturduğu kayma gerilmeleri denklem (5.128) ve (5.129)' daki gibi hesaplanır;

$$\tau_1 = \frac{P_{gergi}}{2.h_{yansac}.t_{yansac}} = 77 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.128)$$

$$\tau_2 = \frac{L_{ht}.T_{halat}}{2.(L_{ym}).(L_{üm}).(t_{yansac})} = 196 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.129)$$

Kayma gerilmelerinin toplamı aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$\Sigma \tau = \tau_1 + \tau_2 = 273 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.130)$$

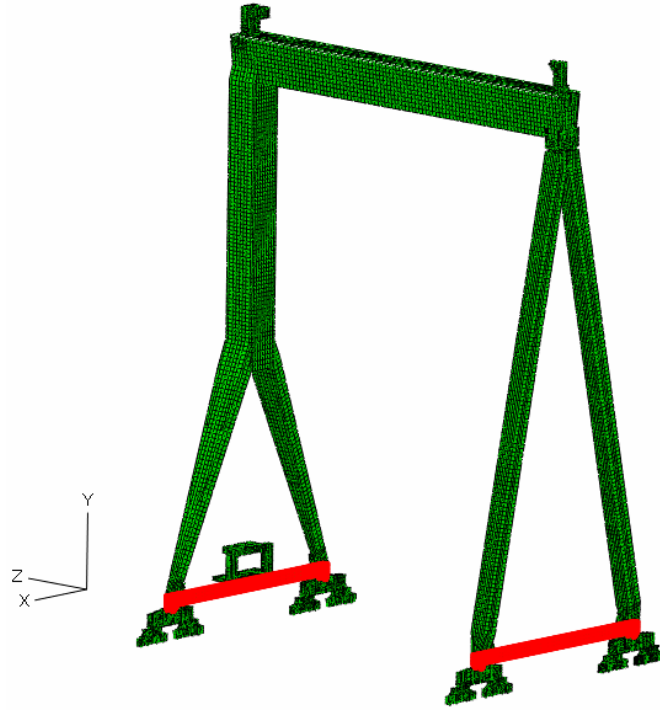
Eşdeğer gerilme denklem (5.131)' deki gibi hesaplanır;

$$\sigma_{cpgergi} = \sqrt{\Sigma \sigma^2 + 3 \cdot \Sigma \tau^2} = 1157 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.131)$$

$$\sigma_{cpgergi} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

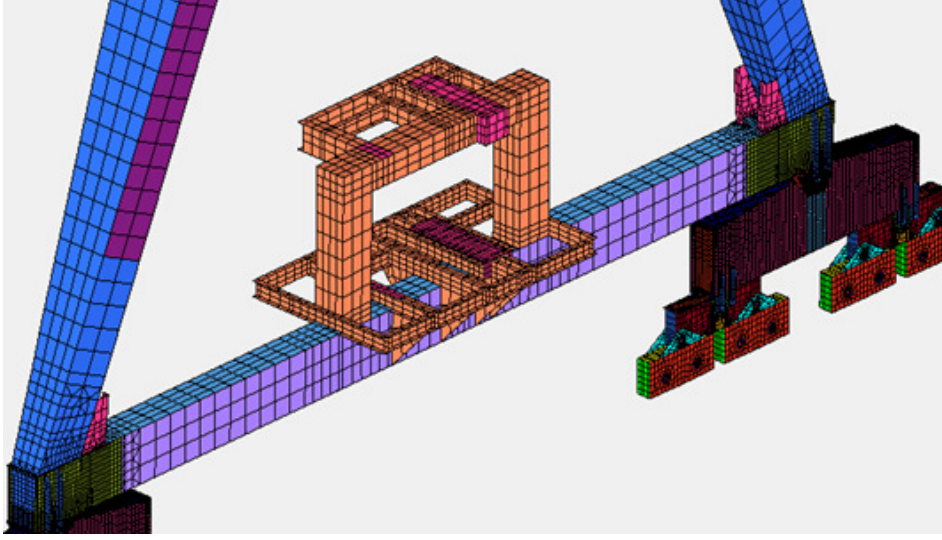
5.6.2 Gergi Kirişi - Sonlu elemanlar analizi

Gergi Kirişleri' nin model üzerindeki yeri aşağıdaki Şekil 5.53' te gösterilmiştir.



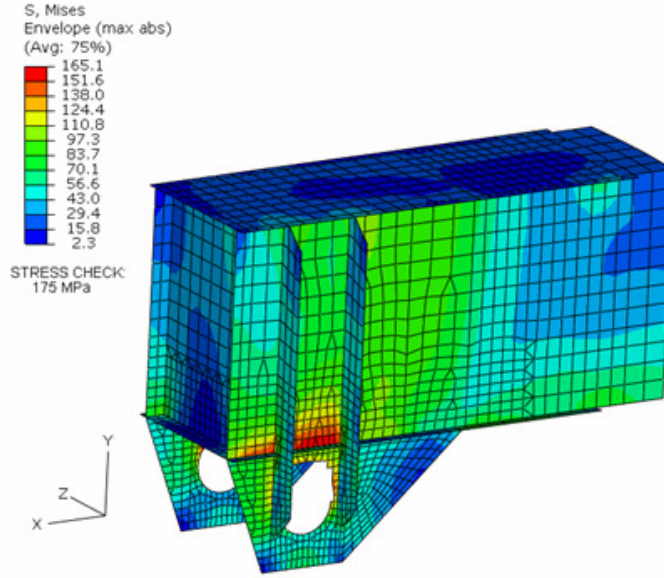
Şekil 5.53 : Gergi Kirişi

Daha önce belirtildiği gibi ilgilendiğimiz Gergi Kirişi, Rijit Bacak Gergi Kirişi' dir. Şekil 5.54' te Gergi Kirişi' nin sonlu elemanlara ayrılmış modeli görülmektedir. Gergi Kirişi üzerindeki parça kaldırıcı şasesidir. Şasenin modeli de yapılarak ağırlığı kiriş üzerine etkilmiştir.



Şekil 5.54 : Gergi Kirişi modeli

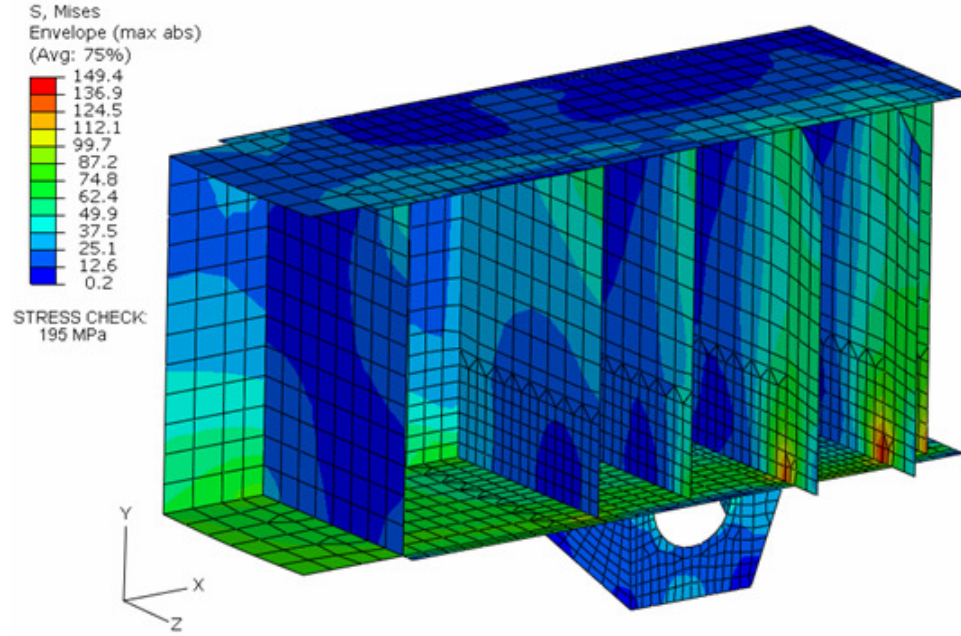
Gergi Kirişi' nin kesiti değişmediğinden, kirişin tamamı dörtgen elemanlar ile modellenmiştir. Sadece mafsal bölgesinde bulunan takviyelerde dörtgen ve üçgen elemanlar birlikte kullanılmıştır. Statik analiz sonucu Gergi Kirişi' nde oluşan gerilmeler Şekil 5.55' te gösterilmektedir.



Şekil 5.55 : Gergi Kirişi gerilme değerleri – Statik Analiz

Maksimum gerilmenin kirişin alt kısmında mafsala yakın bir bölgede olduğu görülmektedir. Bulunan değer emniyet gerilmesine yakın çıkmıştır. Bu nedenle kirişin yan sacını kalınlaştırmak gerekebilir. Takviyelerin kalınlıklarının artırılması veya başka takviyeler daha yerleştirilmesi de uygun bir çözüm olarak düşünülebilir.

Kirişin iç bölgesinde de buna yakın gerilmeler olup olmadığı tespit edilmelidir. Bu yüzden dinamik analiz sonuçlarında yan sac kaldırılarak iç bölgedeki gerilmelere de bakılmıştır. Bu gerilme değerleri Şekil 5.56’ da görülmektedir.



Şekil 5.56 : Gergi Kirişi gerilme değerleri – Dinamik Analiz (İç Bölge)

Görüldüğü gibi iç bölgedeki maksimum gerilme değeri 149.4’ tür. Emniyet gerilmesine göre oldukça düşük olduğundan kiriş içerisine konulan takviyelerin (perdelerin) uygun olduğu rahatlıkla söylenebilir.

5.7 Denge Kirişleri

5.7.1 Büyük Denge Kirişi - Mukavemet hesapları

Rijit Bacak’ a, Mafsal Bacak’ a oranla daha fazla yük etki ettiğinden, Rijit Bacak’ ın altına monte edilen Denge Kirişler’ i dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır. Denge Kirişleri’ ne gelen yükleri hesaplamak için öncelikle, bu kirişlerin üzerinde bulunan diğer elemanların ağırlıkları da dikkate alınmalıdır.

Rijit Bacak çelik konstrüksiyon ağırlığı aşağıdaki denklemle bulunur;

$$G_{rb\check{c}k} = G_{rb} + G_{iik} = 87538kg \quad (5.132)$$

Kaldırıcı şasesinin ağırlığı: $G_{kş} = 3000kg$

Bacağın toplam ağırlığı aşağıdaki denklem ile bulunur;

$$G_{rbtop} = G_{rbçk} + \text{Vinçler} + \text{Panolar} + G_{kş} + \text{Şaseler} = 107278kg \quad (5.133)$$

Atalet kuvveti: $F_{at} = 70746kg$

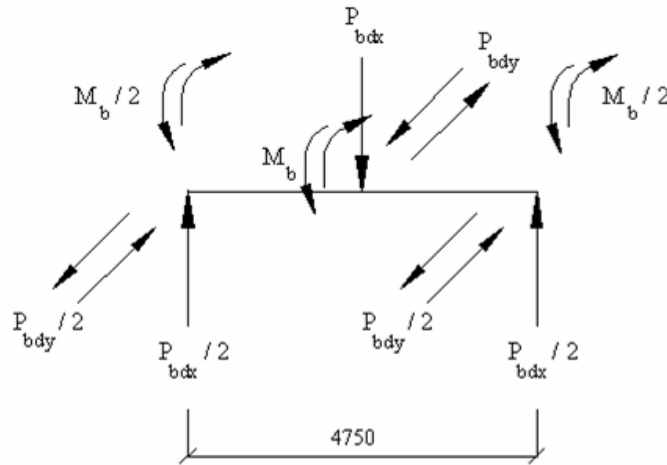
Büyük Denge Kirişi' ne etkiyen yük denklem (5.134)' te hesaplanmıştır;

$$P_{bdx} = \frac{G_{rbtop} + F_{at} + P''}{2} = 318173kg \quad (5.134)$$

Küçük Denge Kirişi' ne etkiyen yük aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$P_{kdx} = \frac{P_{bdx} + G_{bd}}{2} = 162587kg \quad (5.135)$$

Büyük Denge Kirişi' ne etki eden kuvvetler ve momentler Şekil 5.57' de gösterilmiştir.



Şekil 5.57 : Büyük Denge Kirişi' ne etkiyen kuvvetler

Mukavemet hesapları kirişin orta kesitine göre yapılmıştır.

$$L_{bd} = 4750mm \quad P_{bdx} = 318173kg$$

Büyük Denge Kirişi ağırlık merkezinin ray üstüne mesafesi: $h_{bd} = 2120mm$

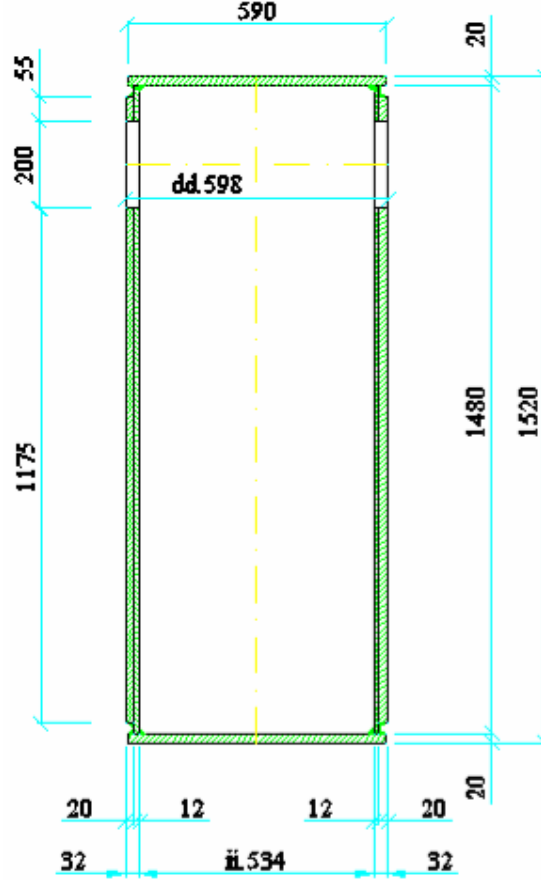
Kiriş üzerine etkiyen yatay kuvvet denklem (5.136)' daki gibi bulunur.

$$P_{bdy} = \frac{P_{bdx}}{30} = 10606kg \quad (5.136)$$

Bu yükten dolayı oluşan moment denklem (5.137)' de hesaplanmıştır;

$$M_b = h_{bd} \cdot \frac{P_{bdy}}{2} = 11242 \text{kgm} \quad (5.137)$$

Büyük Denge Kirişi' nin kesiti değişkenlik göstermekte, orta bölgeden yanlara doğru yan sacların yükseklikleri azalmaktadır. Şekil 5.58' de Büyük Denge Kirişi' nin orta kesiti görülmektedir. Hesaplamalar bu kesit dikkate alınarak gerçekleştirilecektir.



Şekil 5.58 : Büyük Denge Kirişi orta kesiti

X ve Y eksenlerindeki kesit atalet momentleri:

$$J_{xbd} = 2541320 \text{cm}^4 \quad J_{ybd} = 716912 \text{cm}^4$$

X ve Y eksenlerindeki mukavemet momentleri:

$$W_{xbd} = 30804 \text{cm}^3 \quad W_{ybd} = 24302 \text{cm}^3$$

Denklem (5.138) ve (5.139)' da sırasıyla X ve Y eksenlerine göre oluşan momentler hesaplanmıştır.

$$M_{xort} = \frac{L_{bd}}{2} \cdot \frac{P_{bdx}}{2} = 377831 \text{kgm} \quad (5.138)$$

$$M_{yort} = \frac{L_{bd}}{2} \cdot \frac{P_{bdy}}{2} = 12594 \text{kgm} \quad (5.139)$$

Denklem (5.140) ve (5.141)' de sırasıyla X ve Y eksenlerine göre oluşan gerilmeler, yukarıda bulunan moment değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{xort} = \frac{-M_{xort}}{W_{xbd}} = -1277 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.140)$$

$$\sigma_{yort} = \frac{-M_{yort}}{W_{ybd}} = -52 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.141)$$

Toplam gerilme denklem (5.142)' deki gibi bulunur;

$$\Sigma \sigma_{ort} = \sigma_{xort} + \sigma_{yort} = -1278 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.142)$$

Kesit ile ilgili veriler aşağıda verilmiştir. Bu değerlerden kesme kuvvetinin bulunmasında yararlanılacaktır:

Toplam yan sac kalınlığı: $t_{ys} = 32 \text{mm}$

Yan sac takviye kalınlığı: $t_{yst} = 20 \text{mm}$

Büyük Denge alt sac yüksekliği: $h_{bdas} = 590 \text{mm}$

Yan sac delik üstü: $h_{ysd\ddot{u}} = 55 \text{mm}$

Yan sac delik altı: $h_{ysda} = 1175 \text{mm}$

I profiller için kullanılan gerilme katsayısı: $\rho = 1.25$

Kesme kuvveti denklem (5.143)' te hesaplanmıştır;

$$\tau_{max} = \frac{M_b \cdot t_{yst}}{\frac{1}{3}[(h_{ysd\ddot{u}} + h_{ysda}) \cdot (t_{ys})^3 + h_{bdas} \cdot (t_{bdas})^3] \cdot 2 \cdot \rho} = 599 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.143)$$

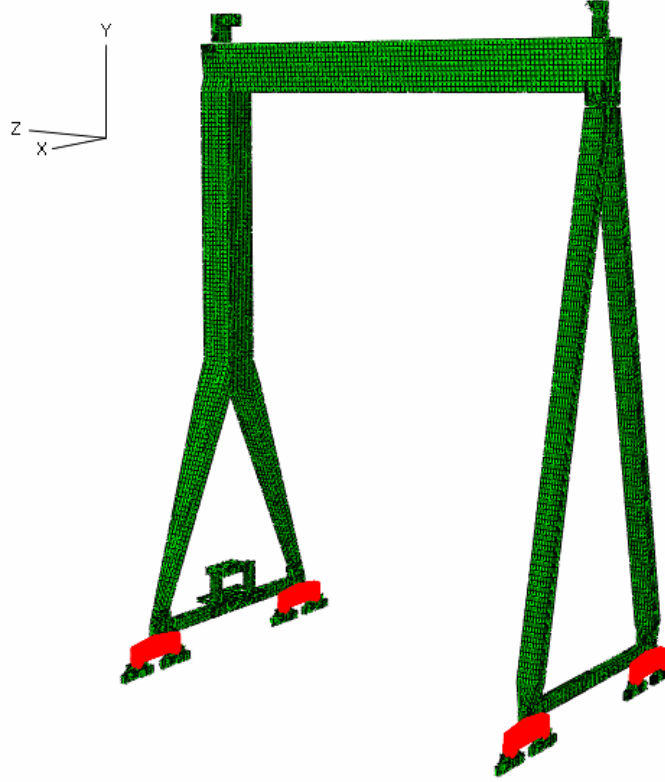
Eşdeğer gerilme denklem (5.144)' teki gibi bulunur;

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\Sigma \sigma_{ort}^2 + 3 \cdot \Sigma \tau_{ort}^2} = 1671 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.144)$$

$$\sigma_{cp} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

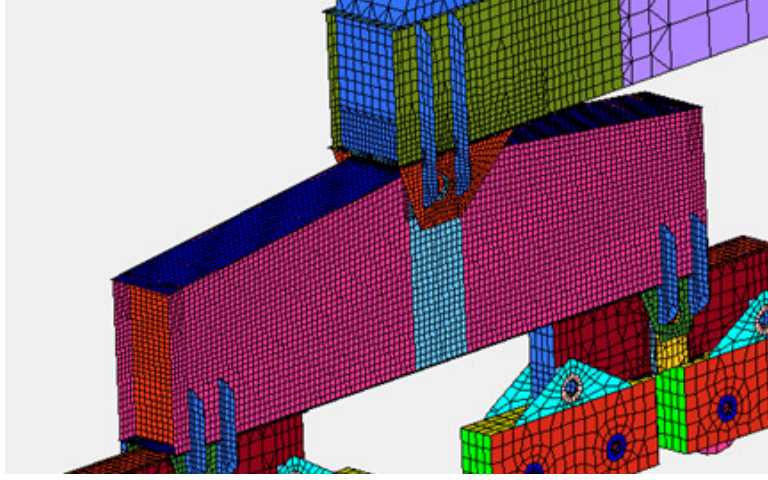
5.7.2 Büyük Denge Kirişi - Sonlu elemanlar analizi

Büyük Denge Kirişleri' nin model üzerindeki yeri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.59 : Büyük Denge Kirişleri

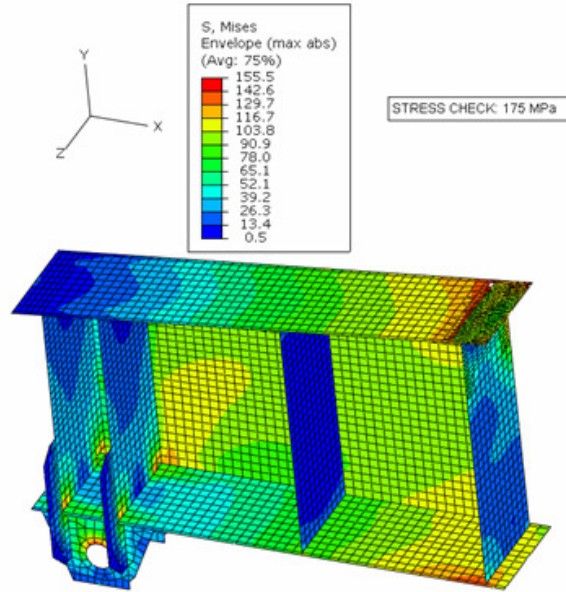
Büyük Denge Kirişi' nin sonlu elemanlara ayrılmış modeli Şekil 5.60' da görülmektedir. Modelleme sırasında mafsallardaki elemanlar daha küçük boyutlarda oluşturularak daireselliğin bozulmaması sağlanmıştır.



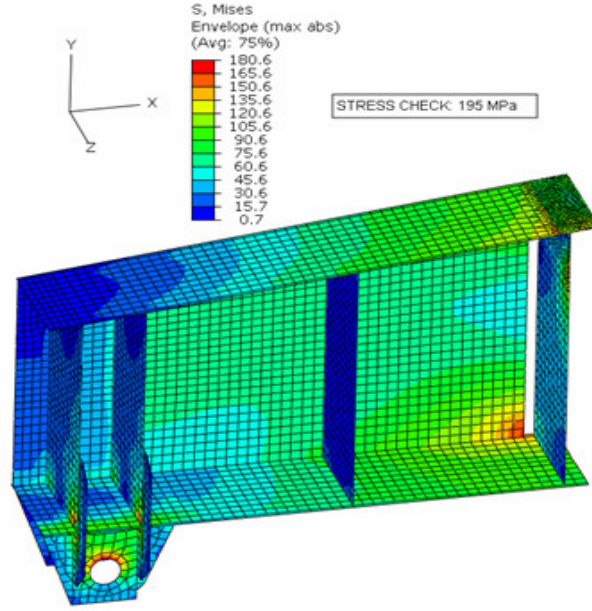
Şekil 5.60 : Büyük Denge Kirişi modeli

Yürüyüş takımının parçaları birbirlerine basit pim modeliyle bağlanmışlardır. Bunun amacı basit pim modelinin hazırlanış süresinin kısa olması ve analiz sürecinin de hızlı olmasıdır. Fakat, basit pim modeliyle modellenen mafsallı bağlantılarında, pimler üzerinde oluşan gerilme ve deformasyon değerleri görülememektedir. Bu değerlerin bulunabilmesi için gerçek pim modeli kullanılmalıdır. Bu çalışmada, pimler ile ilgili herhangi bir veriye ihtiyaç duyulmadığından basit pim modelleme yöntemi kullanılarak modelleme ve analiz süreci hızlandırılmıştır.

Büyük Denge Kirişi' nin statik ve dinamik analiz sonuçları sırasıyla Şekil 5.61 ve 5.62' de gösterilmiştir.



Şekil 5.61 : Büyük Denge Kirişi gerilme değerleri – Statik Analiz



Şekil 5.62 : Büyük Denge Kirişi gerilme değerleri – Dinamik Analiz

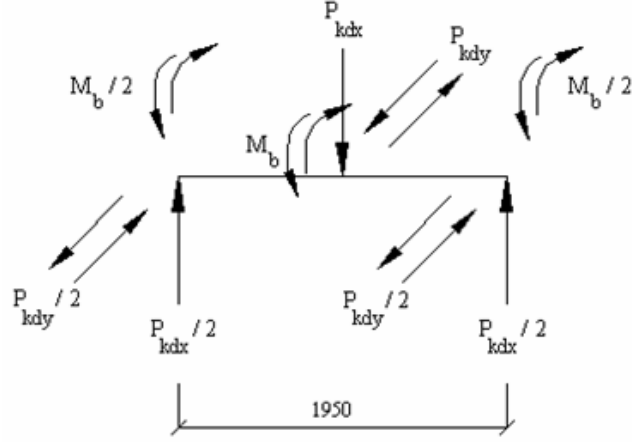
Maksimum gerilmeler şekilden de görüldüğü gibi kirişin orta bölgesinde ve mafsalları civarında bulunmuştur. Bunun nedeni, Büyük Denge Kirişi' nin, Gergi Kirişi mafsallarından gelen yükleri Küçük Denge Kirişleri' ne dağıtmasından dolayı orta kısmında basma kuvvetlerine maruz kalmasıdır. Orta kısımdaki gerilmelerin düzensiz bir biçimde dağılmasının nedeni, üst sacın altında bulunan takviyelerin, yükün bir kısmını üzerine almasından kaynaklanmaktadır.

Kirişin içerisinde soldan üçüncü sırada bulunan takviyenin üzerinde hiçbir gerilmenin oluşmadığı görülmektedir. Bu durum, bu takviyenin yük taşımadığı ve pasif bir durumda olduğunu gösterir. İmalat sırasında bu takviyenin konulmasına gerek yoktur.

Analiz sonuçlarına göre Büyük Denge Kirişi tasarımının uygun olduğu söylenebilir.

5.7.3 Küçük Denge Kirişi - Mukavemet hesapları

Şekil 5.63' te Küçük Denge Kirişi' ne etkiyen kuvvetler ve momentler görülmektedir.



Şekil 5.63 : Küçük Denge Kirişi' ne etkiyen kuvvetler

Küçük Denge Kirişi' nin mukavemet hesapları kirişin köşesinden 825mm mesafe uzaklık baz alınarak yapılmıştır. Bu noktada dikey perdeler bulunmaktadır. Sonlu elemanlar analizinden de görüleceği üzere en büyük gerilmeler bu noktada çıkmaktadır.

Gerilmenin hesaplanacağı noktanın köşeden uzaklığı: $L_{kd} = 825mm$

Köşelere gelen kuvvet: $P_{kdx} = 162587kg$

Bu kuvvetin oluşturduğu moment denklem (5.145)' teki gibi hesaplanır;

$$M_{kdx} = L_{kd} \cdot \frac{P_{kdx}}{2} = 67067kgm \quad (5.145)$$

Bu kuvvetin yatay bileşeni, daha önce belirtildiği gibi kuvvetin 1/30' u olarak alınmıştır. Yatay kuvvetten doğan moment aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır.

$$M_{kdy} = L_{kd} \cdot \frac{P_{kdy}}{2} = 2236kgm \quad (5.146)$$

Şekil 5.64' te Küçük Denge Kirişi' nin kesiti görülmektedir.

$$h_{kdy} = h_{kdys} + 2.t_{kdas} = 640mm \quad (5.150)$$

Kirişin eninin uzunluğu: $L_1 = 403mm$

Kirişin alanı denklem (5.151)' deki gibi hesaplanır;

$$F_0 = h_{kdy} . L_{kd} = 2579cm^2 \quad (5.151)$$

Kesme kuvvetleri ise denklem (5.152) ve (5.153)' teki gibi bulunur;

$$\tau_1 = \frac{P_{kdy}}{2.(h_{kdas}).(t_{kdas})} = 17 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.152)$$

$$\tau_2 = \frac{2.M_{kdy}}{2.F_0 t_{min}} = 87 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.153)$$

Kesme kuvvetlerinin toplamı aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır;

$$\Sigma \tau = \tau_1 + \tau_2 = 104 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.154)$$

Son olarak eşdeğer gerilme denklem (5.155)' teki gibi hesaplanır;

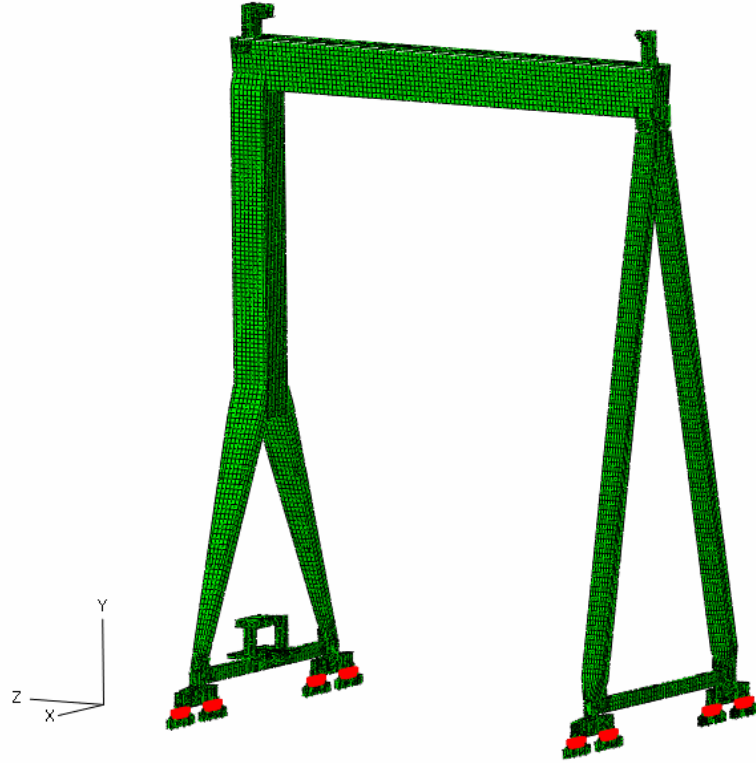
$$\sigma_{cp1} = \sqrt{\Sigma \sigma_1 + 3.\Sigma \tau^2} = 1230 \frac{kg}{cm^2} \quad (5.155)$$

$$\sigma_{cp1} < 1750 \frac{kg}{cm^2}$$

5.7.4 Küçük Denge Kirişi - Sonlu elemanlar analizi

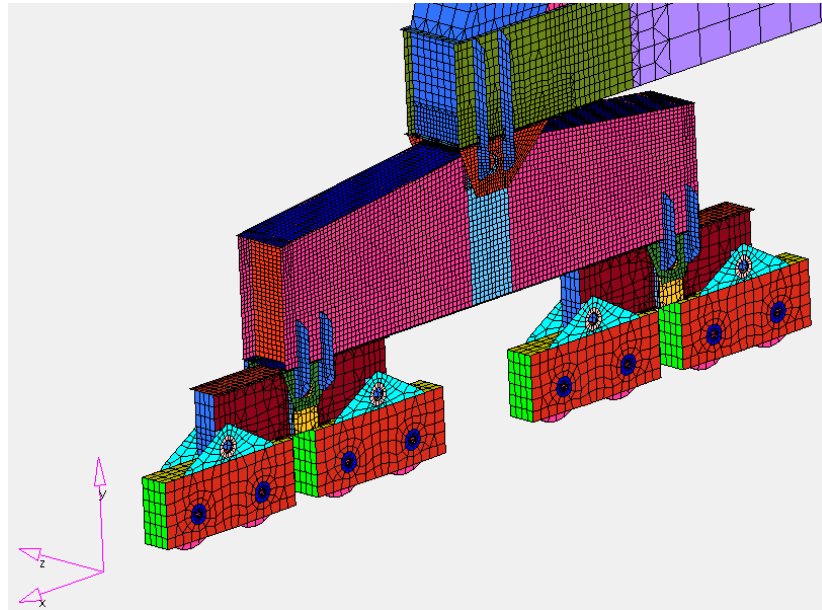
Küçük Denge Kirişleri, Büyük Denge Kirişleri' nden gelen yüklerin Bojiler' e aktarılmasını sağlarlar. Basma kuvvetlerinin yanı sıra, dinamik yüklerden kaynaklanan yatay yüklere de maruz kalmaktadırlar.

Küçük Denge Kirişleri' nin model üzerindeki yeri Şekil 5.65' te gösterilmiştir.



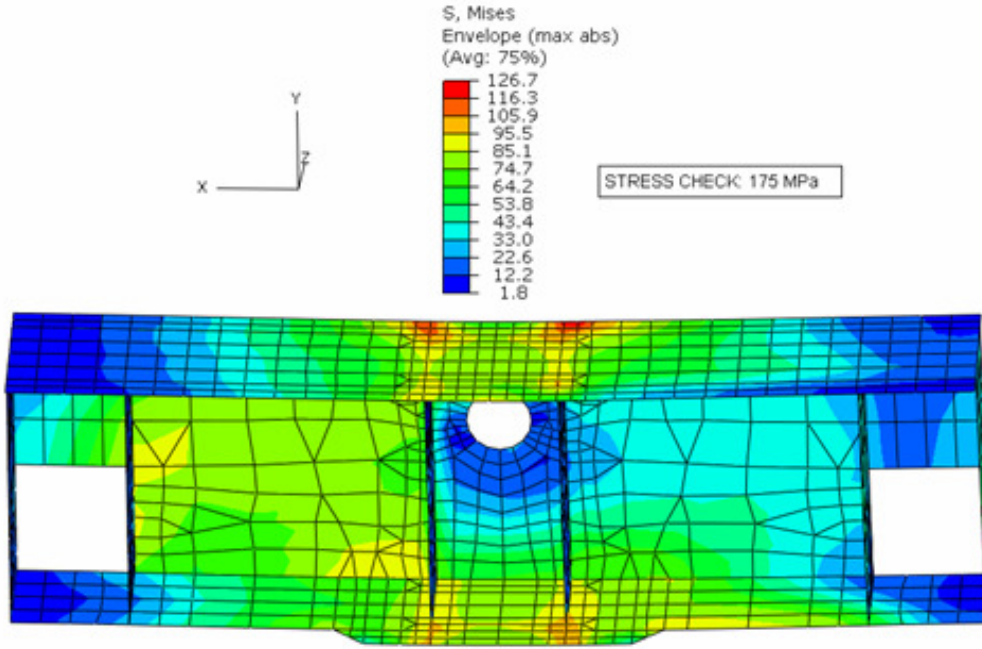
Şekil 5.65 : Küçük Denge Kirişleri

Küçük Denge Kirişleri'nde de, Büyük Denge Kirişleri'nde olduğu gibi mafsal bölgesindeki elemanlar daha küçük boyutlarda oluşturulmuştur. Küçük Denge Kirişleri'nin sonlu elemanlara ayrılmış modeli Şekil 5.66'da görülmektedir.



Şekil 5.66 : Küçük Denge Kirişleri modeli

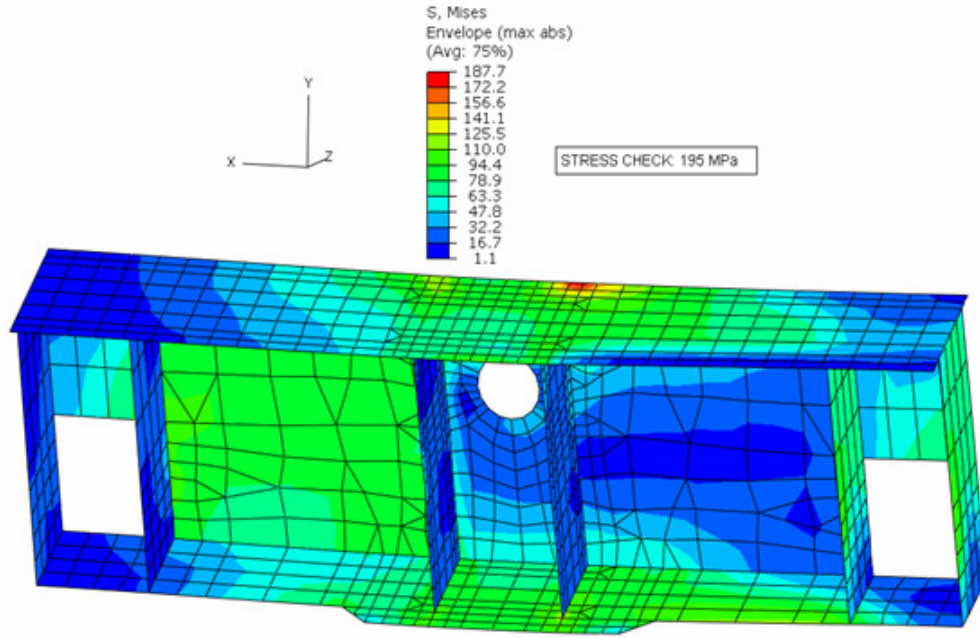
Küçük Denge Kirişi' nin statik analiz sonuçları Şekil 5.67' de görülmektedir.



Şekil 5.67 : Küçük Denge Kirişi gerilme değerleri – Statik Analiz

Bulunan maksimum gerilme değeri emniyet gerilmesine göre oldukça küçüktür. Tıpkı Büyük Denge Kirişi' nde olduğu gibi Küçük Denge Kirişi' nde de maksimum gerilmeler, takviyelerin bulunduğu bölgede, üst sac üzerinde görülmektedir. Mafsal bölgesi etrafındaki bu takviyelerin gerekliliği bir kez daha kanıtlanmıştır. Takviyelerin olmadığı bir durumda, üst sac, gelen kuvvetlere dayanamayarak kutunun içine doğru çökebilir.

Statik analiz sonuçlarına göre sacların veya takviyelerin kalınlıkları azaltılabilir sonucuna varılabilir. Fakat dinamik etkiler göz önüne alındığında gerilmelerin oldukça arttığı görülmektedir. Küçük Denge Kirişi' nin dinamik analiz sonuçları Şekil 5.68' de gösterilmiştir.



Şekil 5.68 : Küçük Denge Kirişi gerilme değerleri – Dinamik Analiz

Dinamik analiz sonucunda bulunan maksimum gerilme değeri emniyet gerilmesine oldukça yakın çıkmıştır. Bu durumda statik analiz sonuçlarına bakarak sac kalınlıklarının azaltılması söz konusu değildir. Tam tersine orta bölgedeki takviyelerin kalınlıklarının artırılması gerekebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Analitik hesap ile bulunan sonuçlar ile sonlu elemanlar analizi sonuçları Çizelge 6.1’ de verilmiştir. Çizelgedeki değerler statik analiz sonuçlarıdır.

Çizelge 6.1 : Analitik hesap ve sonlu elemanlar analizi sonuçları

Kontrol Bölgeleri	Analitik Hesap - Birleşik Gerilme (N/mm²)	Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları (N/mm²)
ANA KİRİŞ	168	163
RİJİT BACAK KULE	153	138
RİJİT BACAK PANTOLON	157	141
MAFSAL BACAK	170	135
GERGİ KİRİŞİ	116	165
BÜYÜK DENGİ KİRİŞİ	165	156
KÜÇÜK DENGİ KİRİŞİ	147	127

Görüldüğü gibi Gergi Kirişi hariç bütün parçalarda sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar analitik hesap sonuçlarına göre düşük çıkmıştır. Gergi Kirişi’nde iki hesap yöntemi arasında oluşan fark, analitik hesapların kirişin orta eksenine göre yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, bulunan değer Gergi Kirişi’ nin orta kesitindeki gerilme değeridir. Analiz sonucunda elde edilen maksimum gerilmenin ise kirişin mafsallık bölgesinde olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarında kirişin orta eksenine bakıldığında 100N/mm² civarında bir gerilme meydana geldiği görülmektedir ki, bu da sonuçların örtüştüğünü gösterir.

Ana Kiriş, Gergi Kirişi ve Büyük Denge Kirişi' nin analiz sonuçları, emniyet gerilmesine yakın değerlerde bulunmuştur. Bu parçaların analitik hesap sonuçları da analiz sonuçlarına yakın değerlerdir. Dolayısıyla bu üç parçanın tasarımının uygun olduğu söylenebilir.

Kule, Pantolon, Mafsal Bacak ve Küçük Denge Kirişi' nin analiz sonuçları ise emniyet gerilmesi değerinden oldukça düşüktür. Mafsal Bacak haricinde diğerlerinin analitik hesap sonuçlarında çıkan değerlerin de düşük olduğu görülmektedir. Bu verilere dayanarak, Kule, Pantolon ve Küçük Denge Kirişi' nde, sac kalınlıklarının veya takviyelerin azaltılması gibi işlemler uygulanabilir. Çünkü bir parçanın gereksiz yere fazla emniyetli yapılması, ekonomik açıdan makul değildir.

Mafsal Bacak' ın analitik hesapları sonucunda ise maksimum gerilme 170N/mm^2 olarak bulunmuştur ki bu değer emniyet gerilmesine oldukça yakındır. Analitik hesap sonucunda bulunan maksimum gerilme ise 135N/mm^2 dir. Analiz sonuçları ve analitik hesaplar arasındaki farkın genellikle maksimum %20 olabileceği öngörülmektedir. Bu sonuçlarda bu değer az da olsa aşılmaktadır. Bu sebeple gerek analitik hesaplar gerekse analiz işlemleri tekrar gözden geçirilmiş fakat aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Aradaki bu farkın, analitik hesaplarda takviyelerin ve profillerin varlıkları dikkate alınmadığı için ortaya çıktığı düşünülebilir.

Sonuç olarak birkaç revizyon dışında krenin tasarımının imalata uygun olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<http://www.bayursan.com.tr>>, alındığı tarih 06.04.2009.
- [2] **Url-2** <<http://www.biymed.com/femmuh/analiz/fem/seynedir.htm>>, alındığı tarih 09.04.2009.
- [3] **Arıkan M.A.S.**, *Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları*, O.D.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, pp. 3-7.
- [4] **Topçu, M., Taşgetiren, S.**, *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu*, TMMOB Makina Müh. Odası, Denizli.
- [5] **Bedir, S.**, 2007. Çift Yönlü Asansör Fren Bloklarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanların Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Can, Ö., Kaya, A.İ.**, 2007. Örneklerle Abaqus'a Giriş, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [7] **F.E.M.**, 2000. Recommendation for the Calculation of Wind Loads on Crane Structures
- [8] **F.E.M.**, 1998. 1.001 3. Baskı 1998.10.01
- [9] **Savci, M., Arpacı, A.**, 1999. *Mukavemet*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [10] **Hibbeler, R.C.**, 1993. *Statics and Mechanics of Materials*, Prentice Hall, New Jersey

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hasan Onur ALKAN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 30/06/1984

Adres: Acıbadem/İST.

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi/İmalat Mühendisliği, 2007

