

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN KULESİ VE ASANSÖRÜ SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metin ALTUN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN KULESİ VE ASANSÖRÜ SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Metin ALTUN
(503121217)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

**Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ
Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim
Programı : Herhangi Program**

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503121217 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Metin ALTUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MADEN KULESİ VE ASANSÖRÜ SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cüneyt FETVACI

İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **19 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

HEMA ENDÜSTRİ A.Ş. Büyükdere cad. No 53 Maslak İstanbul/Türkiye, enerji grubuna ait, Batı Karadeniz'deki Amasra kömür havzasında mevcut yeni açılmış taş kömürü üretim shaftlarından 1 nolu kuyu, Tarlaağzı yapılacak olan kömür çıkarma vincinin yapılan uzun süreli görüşme, seyahat ve incelemeler sonucu, gerek uygun geometrili ve gerekse uygun kullanım amaçlı A-frame (Şövelman) projesi imalata verilmek üzere hazırlanmıştır. Tedarik edilmiş ekipmanlarında dikkate alınarak, tüm sisteminin dizaynı, hesaplanması, projelendirilmesi, imalatı, kolay montaj ilgili metod hazırlanması, işletme sırasında üretim artırıcı şartların irdelenmesi, halen kullanılan ve yürürlükte bulunan FEM, MDG, DIN ve TAS standartları ve çalışanların ve işin emniyet kurallarında dikkate alınması ile hazırlanmıştır. Tezimde projenin gizliliğine ve firma çıkarlarına zarar verecek kadar detay vermeden, benden sonraki mühendis arkadaşlarında faydalanabileceği bir kaynak hazırlamak amacındayım.

Bu projenin gerçekleşmesinde beni ve firmamı (**İstanbul Euro Crane**) finans olarak destekleyen ve imalatını gerçekleştirip Türkiye ekonomisine katkıda bulunan **Sn. Mehmet HATTAT**'a, projenin dizayn ve hesabında bana yol gösteren **Dr. Mehmet Çevik**'e ve kıymetli hocam **Y. Doç. Dr. İsmail Gerdemeli**'ye teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2014

Metin ALTUN
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
2. ELEMANLARIN TANIMI.....	3
2.1 Şövelman	3
2.2 Molet	4
2.3 Tambur	5
2.4 Asansör.....	5
2.5 Kafes.....	6
2.6 Halat	8
3. KULE VE ASANSÖR HESAPLARI	11
3.1 Kule ve Halat Eksenlerinin Tespiti	11
3.2 Asansör ve Kafes Hesapları	13
3.2.1 Asansör hesabı	13
3.2.2 Kafes hesabı	16
3.2.2.1 Kafes ile insan taşınması	16
3.2.2.2 Kafes ile kömür veya paso taşınması	19
3.3 Kule Kesit Alanlarının Teorik Hesabı.....	22
4. MADEN KULESİNİN ANSYS PROGRAMI İLE ANALİZİ	27
4.1 Temel Veriler	27
4.1.1 Genel veriler.....	27
4.1.2 Birimler	27
4.1.3 Koordinat sistemi	27
4.2 Modelin Kurulması	28
4.2.1 Kullanılan elemanlar	31
4.2.2 Sınır koşulları	33
4.3 Yükleme Durumları.....	34
4.3.1 Yükleme durumu 1	35
4.3.2 Yükleme durumu 2.....	38
4.3.3 Yükleme durumu 3.....	40
4.3.4 Yükleme durumu 4.....	42
4.4 Sonuçlar.....	44
4.4.1 Yükleme durumu 1 sonucu	44
4.4.2 Yükleme durumu 2 sonucu	48

4.4.3 Yükleme durumu 3 sonucu	51
4.4.4 Yükleme durumu 4 sonucu	55
4.4.5 Burkulma analizi sonucu	58
5. MADEN KULESİNİN ANSYS PROGRAMI İLE DEPREM ANALİZİ	61
5.1 Temel Veriler.....	61
5.1.1 Genel veriler.....	61
5.1.2 Birimler	63
5.1.3 Koordinat sistemi	63
5.2 Modelin Kurulması.....	63
5.2.1 Kullanılan elemanlar	63
5.2.2 Sınır koşulları	63
5.3 Yükleme Durumları.....	63
5.3.1 Yükleme durumu 5.....	65
5.3.2 Yükleme durumu 6.....	67
5.4 Sonuçlar.....	70
5.4.1 Yükleme durumu 5 sonucu	70
5.4.2 Yükleme durumu 6 sonucu	75
6. SONUÇLAR TABLOSU VE PROJENİN UYGULAMA ALANI	81
6.1 Sonuçlar Tablosu	81
6.2 Projenin Uygulama Alanı	82
6.3 Projenin Bitmiş Resimleri	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	87

KISALTMALAR

Bak	: Bakınız
BV	: Bureau Veritas
dk	: Dakika
etc	: Et cetera (english summary)
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
MPa	: Mega Pascal
mm	: Milimetre
N	: Newton
s	: Saniye
vb	: Ve benzeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1 : Sonuçlar Tablosu.....	81
-------------------------------------	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Şövelman.....	3
Şekil 2.2 : Molet grubu.....	4
Şekil 2.3 : Tambur.....	5
Şekil 2.4 : Asansör.....	6
Şekil 2.5 : Kafes.....	7
Şekil 2.6 : Kafes.....	7
Şekil 2.7 : Yük halatları.....	8
Şekil 2.8 : Kuyruk halatları.....	9
Şekil 2.9 : Klavuz halatları.....	9
Şekil 3.1 : Şövelman üst yapısı.....	11
Şekil 3.2 : Şövelman ayak eksenini tespiti.....	12
Şekil 3.3 : Şövelman asansör-asansör çalışma şekli.....	13
Şekil 3.4 : Yük halatı özellikleri.....	14
Şekil 3.5 : Asansör-asansör çalışma hız-zaman diyagramı.....	15
Şekil 3.6 : Şövelman kafes-karşı ağırlık çalışma şekli.....	16
Şekil 3.7 : Yük halatı özellikleri.....	17
Şekil 3.8 : Kafes-karşı ağırlık çalışma hız-zaman diyagramı (insan taşınırken).....	18
Şekil 3.9 : Şövelman kafes-karşı ağırlık çalışma şekli.....	19
Şekil 3.10 : Kafes-karşı ağırlık çalışma hız-zaman diyagramı (kömür taşınırken).....	21
Şekil 3.11 : Şövelman ayak kesiti.....	25
Şekil 3.12 : Örnek şövelman ayak kesit ölçüleri.....	25
Şekil 4.1 : Koordinat sistemi.....	28
Şekil 4.2 : Üst bölge.....	29
Şekil 4.3 : Ağ örgüsü genel görünüş.....	30
Şekil 4.4 : Detay ağ örgüsü (üst görünüş).....	30
Şekil 4.5 : Detay ağ örgüsü (alt görünüş).....	31
Şekil 4.6 : Katı 186 eleman yapısı.....	31
Şekil 4.7 : Katı 187 eleman yapısı.....	32
Şekil 4.8 : Kabuk 181 eleman yapısı.....	32
Şekil 4.9 : Sınır koşulu.....	33
Şekil 4.10 : Sınır koşulu.....	33
Şekil 4.11 : Yükleme durumu.....	34
Şekil 4.12 : Çekme yükü.....	35
Şekil 4.13 : Çekme yükü.....	36
Şekil 4.14 : Vinç yükü.....	36
Şekil 4.15 : Rüzgar yükü (önden basma).....	37
Şekil 4.16 : Rüzgar yükü (arkadan çekme).....	37
Şekil 4.17 : Çekme yükü.....	38
Şekil 4.18 : Vinç yükü.....	39

Şekil 4.19 : Rüzgar yükü (sağdan basma).....	39
Şekil 4.20 : Rüzgar yükü (soldan çekme).....	40
Şekil 4.21 : Vinç yükü	41
Şekil 4.22 : Rüzgar yükü (önden basma).....	41
Şekil 4.23 : Rüzgar yükü (arkadan çekme).....	42
Şekil 4.24 : Vinç yükü	43
Şekil 4.25 : Rüzgar yükü (sağdan basma).....	43
Şekil 4.26 : Rüzgar yükü (soldan çekme).....	44
Şekil 4.27 : Eşdeğer gerilme	45
Şekil 4.28 : Maksimum eşdeğer gerilme	45
Şekil 4.29 : Üst yapı eşdeğer gerilme	46
Şekil 4.30 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.....	46
Şekil 4.31 : Toplam yer değiştirme.....	47
Şekil 4.32 : Maksimum y eksenel gerilme.....	47
Şekil 4.33 : Eşdeğer gerilme	48
Şekil 4.34 : Maksimum eşdeğer gerilme	49
Şekil 4.35 : Üst yapı eşdeğer gerilme	49
Şekil 4.36 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.....	50
Şekil 4.37 : Toplam yer değiştirme.....	50
Şekil 4.38 : Maksimum y eksenel gerilme.....	51
Şekil 4.39 : Eşdeğer gerilme	52
Şekil 4.40 : Maksimum eşdeğer gerilme	52
Şekil 4.41 : Üst yapı eşdeğer gerilme	53
Şekil 4.42 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.....	53
Şekil 4.43 : Toplam yer değiştirme.....	54
Şekil 4.44 : Maksimum y eksenel gerilme değeri.....	54
Şekil 4.45 : Eşdeğer gerilme	55
Şekil 4.46 : Maksimum eşdeğer gerilme	56
Şekil 4.47 : Üst yapı eşdeğer gerilme	56
Şekil 4.48 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.....	57
Şekil 4.49 : Toplam yer değiştirme.....	57
Şekil 4.50 : Maksimum y eksenel gerilme değeri.....	58
Şekil 4.51 : Burkulma değerleri	59
Şekil 4.52 : Birinci burkulma modu.....	59
Şekil 5.1 : Malzeme özellikleri	62
Şekil 5.2 : Bilinear malzeme özellikleri	62
Şekil 5.3 : Vinç kütlesi	63
Şekil 5.4 : Çekme yükü	64
Şekil 5.5 : Çekme yükü	65
Şekil 5.6 : Rüzgar yükü (önden basma)	66
Şekil 5.7 : Rüzgar yükü (arkadan çekme)	66
Şekil 5.8 : Deprem yükü	67
Şekil 5.9 : Çekme yükü	68
Şekil 5.10 : Rüzgar yükü (sağdan basma)	69
Şekil 5.11 : Rüzgar yükü (soldan çekme)	69
Şekil 5.12 : Deprem yükü	70
Şekil 5.13 : Eşdeğer gerilme	71
Şekil 5.14 : Maksimum eşdeğer gerilme	71
Şekil 5.15 : Tekil gerilme bölgesi.....	72
Şekil 5.16 : Ayak eşdeğer gerilme	73

Şekil 5.17 : Üst yapı eşdeğer gerilme	73
Şekil 5.18 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme	74
Şekil 5.19 : Toplam yer değiştirme.....	74
Şekil 5.20 : Toplam yer değiştirme.....	75
Şekil 5.21 : Eşdeğer gerilme	76
Şekil 5.22 : Maksimum eşdeğer gerilme bölgesi.....	77
Şekil 5.23 : Tekil gerilme noktası.....	77
Şekil 5.24 : Üst yapı eşdeğer gerilme	78
Şekil 5.25 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme	78
Şekil 5.26 : Toplam yer değiştirme.....	79
Şekil 5.27 : Toplam yer değiştirme.....	79
Şekil 6.1 : Maden kulesi resim	83
Şekil 6.2 : Maden kulesi resim	84
Şekil 6.3 : Maden kulesi resim	84

MADEN KULESİ VE ASANSÖRÜ SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

ÖZET

Bu tezde bir maden kulesinin dizaynının nasıl yapıldığına ilişkin temel bilgileri bulabilirsiniz. Öncelikle temel elemanları ve görevleri tanımlanmış, ardından da maden kulesinin nasıl boyutlandırılması gerektiği açıklanmıştır. Kule ayak eksenlerinin nasıl tespit edildiği ve maden çıkarma moletlerinin hangi prensiple çalıştığı denklemleriyle anlatılmıştır. Maden kulesinin ne kadar cevher çıkaracağı ile ilgili asansör ve kafes hesapları yapılmış, hız zaman diagramı şema gösterimi ile anlatılmıştır. Kule ayak kesit alanının nasıl hesaplandığı ve bu hesap kullanılarak kule ayak saçlarının nasıl tespit edildiği açıklanmıştır. Bu kısımda gerçek bir kule ayak kesit alanı çizimi de gösterilmiştir.

Tezin ikinci kısmında Solidworks programı ile modellenen kule Ansys programına alınmış, burada üç tip mesh elemanı kullanarak mesh edilmiş ve bütün parçaların kuvvet akışlarını düzgün olarak iletebilmesi için birbiri ile düzgün bir mesh geçişine sahip olması sağlanmıştır. Sınır koşulları tanıtılmış, modele gelen kuvvetler altı farklı kombinasyon şeklinde etki ettirilmiş ve sonuçları tablo halinde okuyucuya sunulmuştur.

El ile yapılan hesaplamalardaki geri dönüş süreleri Ansys programı kullanılarak kısaltılmıştır. Ve sadece ana kesitlerin incelenmesi değil bütün modelin her noktasının ayrı ayrı ele alınmasını sağlamıştır. Böylelikle gerilmelerin az olduğu bölgelerin inceltilmesi ve gerilmelerin fazla olduğu bölgelerin kalınlaştırılması veya geometrilerinde değişiklik yapılarak kuvvetlendirilmesi sağlanmıştır. Dizayn aşamasına temel teşkil etmesi için yapılan çalışmalar sonrasında iki şövelman ayağının toplam kütlesi 700 ton olarak düşünülürken, Ansys programı ile yapılan analizler sonucunda kule 497 ton olarak sonlandırılmıştır.

Yapılan statik analizden sona burkulma analizi ile kulenin 3 kritik nodu ve kritik burkulma yükü bulunmuştur. Burkulma analizi neticesinde minimum kuvvet değeri dikkate alınmış ve bu değer elde edildiği bölgedeki aksenal gerilme değerleri ile karşılaştırılarak burkulma faktörü hesaplanmıştır. Hesaplanan burkulma faktörüne göre, kulenin burkulmadan önce saçlarında akma başlayacağı görülmüş ve burkulmaya karşı emniyetli bölgede kaldığı tespit edilmiştir.

Statik analizlerin haricinde, kuleye yandan ve önden 0.45 g ivme ile deprem dalgası vurmuş gibi iki tane de deprem analizi incelenmiştir. Bütün koşullarda kulenin üzerindeki von mises gerilmeleri ve toplam deformasyonlar renkli olarak bölge bölge resimlendirilmiştir. Her analiz sonucu, sonuçlar tablosunda gösterilmiştir. Ve görülmüştürki ihraç kulesi her yükleme durumu için güvenli bölgede kalmaktadır.

HEAD FRAME AND ELEVATOR ANALYSIS WITH FINITE ELEMENT

SUMMARY

After investigation and long term negotiations a coal mining head frame project has prepared for the owner of the mine HEMA ENDÜSTRİ A.Ş. Büyükdere cad. No 53 Maslak İstanbul/Türkiye.

Consideration of the procured equipment, system design, calculations, preparing the project for the production, setup, work and workers safety has prepared according to FEM, MDG, DIN, TAS standards. Hoping that this project will assist as an example design of a head frame to whom may interest technically on coal mining process.

The principal and main information regarding the design of head tower has stated in this project. Primarily main elements of the head tower determined and then explained how to scale a head tower in light of the foregoing. Skip and cage calculations have been made mainly taking into consideration the required capacity.

In the second part of the thesis head frame which has modelled with Solidworks program and imported to the Ansys program and has been meshed here by using three types of mesh elements. All the force flows which has to be in uniformity provided by a mesh transition. All boundary conditions are entered into program reflecting the effects of the forces that have shaped pattern six different combinations and results are presented to the reader in a table.

Return periods of hand calculations are reduced by using Ansys software. Finally entire model has determined other than main sections determination due to advantage of Ansys. Thus, the thickness of the steel plates has reduced where the stresses seem less, in contrary the thickness of the steel plates has increased where the stresses are becoming high or by changing the geometry of design required stresses have been achieved.

Firstly the two shovelman leg mass considering the design stage as 700 tons, the head frame as a result of analysis by Ansys program was concluded as 497 tons.

Three critical modes made by the end of the tower buckling analysis after static analysis; critical buckling load has obtained. After the result of buckling analysis the minimum force value was taken and comparing the result obtained in the region where the axial stress values obtained and calculated buckling factor. According to the calculated buckling factor, it was seen that yield starts before buckling at the steel tower and was determined to stay in the safe zone against buckling.

Apart from the static analysis, 0.45 g of acceleration as two earthquakes applied (side and front) hit the tidal wave analysis were examined. In all conditions on the head frame von mises stress and total deformation is illustrated by regions in different colors. All analysis results are shown in the table and it was found that the head frame is in safe zone for each analysis.

Head frame which is used to carry molet and top crane, positioned on the mine. It can be made steel or concrete construction. It is consisting cage and skips.

Molets used to pilot for the wires which is covered by viscous putty and to determine the friction force to hold and pull the skip or cage. Molets contain PE 1000 material inside to guide the rope.

Drum is used to drive the system, in both directions for efficiency when pulling the skip up let the other one go into shaft. Mostly the drums are on ground but some types designed for working on top of the head frame.

Skips are special bucket which are used for the transportation of ore or stone. In the loading station, filling the ore to skip from the top, when it comes the unloading station, by opening of the slide door; it is discharging by means of gravity.

Cages are one or more layers of steel construction cabin which works in vertical shafts to carry workers; material and lining (car). The extracted material may not be directly loaded into the cage. Ore or stones are carried inside this linings. According to the skips, their operating speeds planned slower because of carrying workers.

Wires carrying skip or cage can be determined in three main topics. The first is have long physical life under the high friction force, the second is connects skip/skip underneath them to maintain balance, these are the high density steel wires, and the last one is in use for guiding the skip/cage and the counterweight and these need to be resistant to corrosion.

After planning the information about the mine capacity per year, how deep is vertical shaft and the location of the project, and finally the capacity are used for setting the size of the skips and cage. Skip/cage periods in a day are determined by the same way but using the daily basis. Set of position of the molets on head frame has determined by using the data herein above (capacity, sizes of skips and cage).

Tensions in the wires used for determining the leg angles of the head frame. Tension differences in the wires T_1 and T_2 ; T_3 and T_4 can be determined with the formula "Koepe friction". After finding the leg angles it is possible to define the principal construction in the solidworks.

The friction (or Koepe) hoist is a machine where one or more ropes pass over the drum from one conveyance to another or from a conveyance to a counterweight. In either case, separate tail ropes are looped in the shaft and connected to the bottom of each conveyance or counterweight. The use of tail ropes lessens the out-of-balance load and hence the peak horsepower required of the hoist drive. When compared with a drum hoist for the same service, the tail ropes reduce the required motor HP rating by about 30%, but the power consumption remain virtually the same. Tail ropes have been used for a few double drum hoist installations to the same effect, but this practice has not gained acceptance by the mining industry.

The difference between the lines determined by the formula.

$$T_{\text{load}} = T_{\text{hold}} e^{\mu\alpha}$$

When we check skip calculations; depending on calculated results of the how much load the skips will carry, the safety factor, engine power will be determined afterwards by making the controls of the chosen wire and the engine. All work period shown on the speed/time chart. When the skip is on the top being unloaded, the one in the bottom is being loaded. A single time of the period is; unload time + acceleration time + constant speed time + deceleration time. By using this period, how much ore will be taken from this shaft can be calculated.

Cage operation is different from the operation of skip. Skips, while working as skip-skip; cage works against counterweight. Cage take ore at loading station at bottom of the shaft and unload at unloading station at top level and cage turns back to the loading station at bottom of shaft. And after this cage period is finishing. Therefore cage period has calculated according to; loading time + acceleration time + constant speed time + deceleration time + unloading time + acceleration time + constant speed time + deceleration time. The total of these make one period. By using this period, how much ore or how many workers transported from this shaft can be calculated.

When calculation of the head frame section area, we apply all forces on head frame (etc. wind, gravity...) and we calculate the force on the single leg and then we arrange the steel plates thickness and sizes. When sizing the leg of head frames section it is better to design rectangular shape rather than square shape. The strength of the head frame shall increase due to selection of top and bottom steel plates more thicker than the side steel plates. For more information pls refer "Theoretical section area" in thesis.

Note that if wind force impact on the head frame; yield stress of the material should be accepted 65%, if there is no wind force impact on head frame yield stress of the material should be accepted 60%. For example if we select S235J0 steel plate and we apply wind impact on head frame, we must use 153N/mm^2 for calculations. But S275J0 steel plates are oftenly used at head towers . And important sections on the head frame as under molet beams or shovelman legs should be better to choose S355J0 steel plates.

This project can be used in every kind of mining for designing the head frame.

1. GİRİŞ

Bu tezde yaklaşık 800 metre toprak altında bulunan kömürün yeryüzüne çıkarılması için kurulması gereken maden kulesi ve asansörünün tanımı, çalışma prensibi, kule ve halat eksenlerinin nasıl tespit edildiği, sonlu elemanlar analizleri ve sonuçları bulunmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Amasra bölgesinde bulunan kömür ocağındaki kömürün yeryüzüne çıkartılması için yapılması gereken maden kulesi ve asansörünün hesaplarının yapılması; Solidworks ve Ansys programlarını kullanılarak minimum ağırlıkta ve en efektif geometride dizaynının yapılmasıdır.

1.2 Literatür Araştırması

J.M.C. CORLETTE (1907) “*The design of head frames for mines*” makalesinde şövelmanın (head frame), nasıl olması gerektiği, makaraların nasıl desteklendiği hakkında temel bilgiler vermiştir. Ayrıca şövelmanın nasıl boyutlandırılacağı ile ilgili elle taslak resimler çizmiş, bu resimlerde şövelmanın üst bölgesindeki makara yataklarıyla bahsetmiştir. Makalede ‘Frame Diagram’ adı altında çizilen diagram, şövelman ayak açılarının nasıl olması gerektiği ile ilgili önemli bilgiler vermiştir.

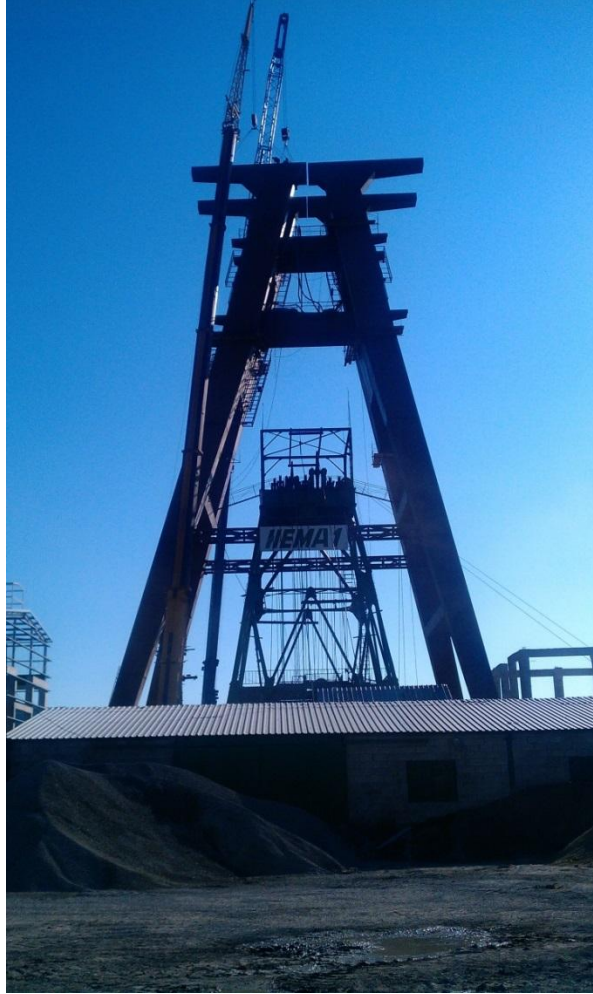
D.D. WILLIAMS (1907) “*Design of a steel head frame*” tezinde şövelmanın, ölü yüklerinin ve hareketli yüklerinin bulunmasını; rüzgar yükü altında gerilme hesaplarının nasıl yapıldığını anlatmıştır. Ek olarak molet hesapları ve maliyet hesapları anlatılmıştır.

2. ELEMANLARIN TANIMI

2.1 Şövelman (Head Frame, A-Frame)

Yeryüzünde maden kuyusu üzerine kurulu bir çelik konstrüksiyon veya betonarme olarak inşa edilen ve kafes halatını yönlendiren, moletleri havi ihraç tesisi ünitesi. Bazı hallerde ihraç vinci de şövelmanın içine monte edilir. 2) İhraç kulesi. 3) Maden kulesi. 4) Kule.

Görevi molet, molet krişlerini ve tepe vincini taşımak. Üzerindeki ekipman ve ünitelere kılavuzluk ve yataklık etmektedir.

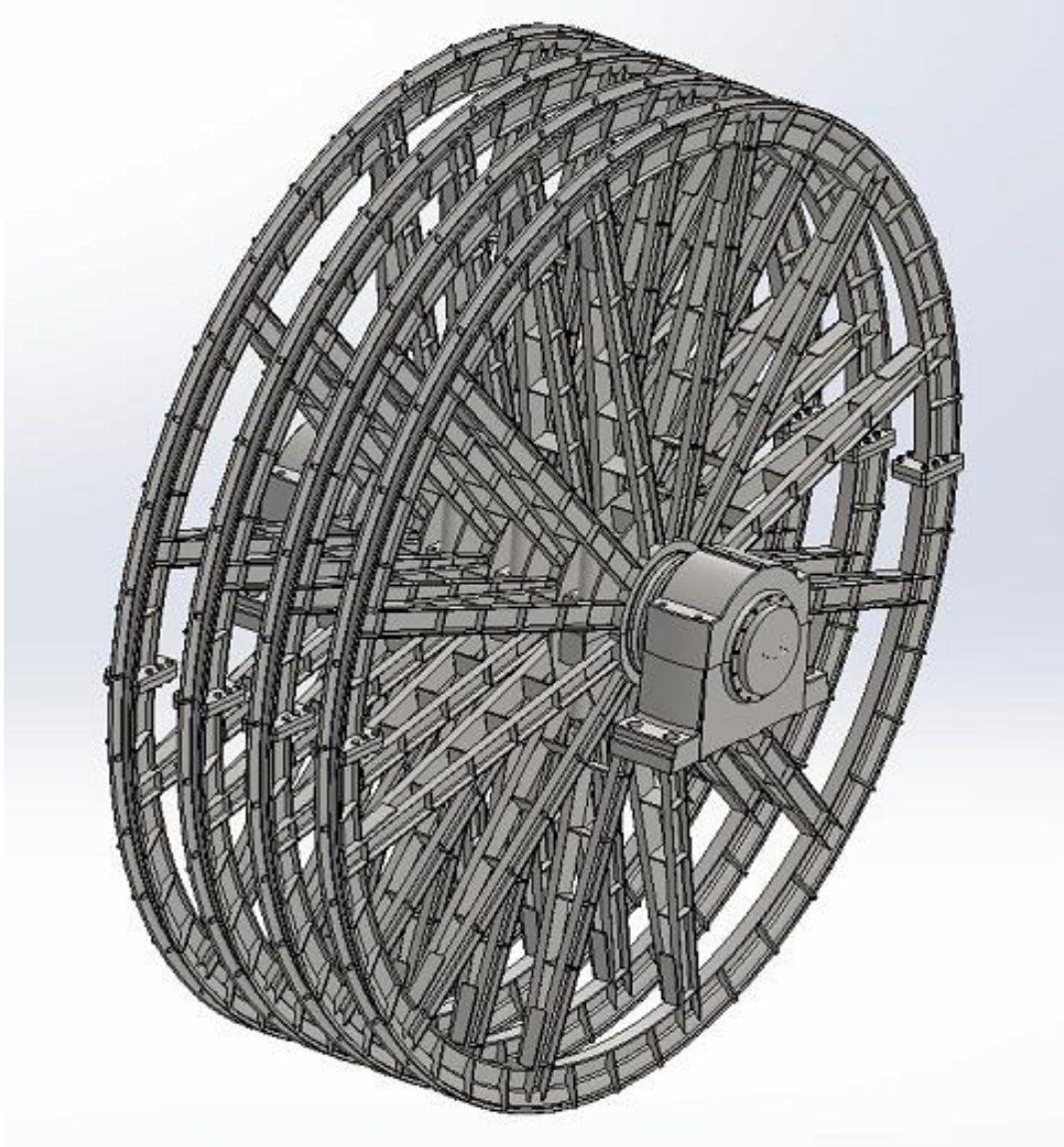


Şekil 2.1 : Şövelman.

2.2 Molet

Şövelman tepesinde bulunan ve üzerinde cer halatının geçtiği makara. 2) Cer makarası. 3) Makara.

Makaralar halatlara kılavuzluk edip yönlendirme yaparlar. Halatların üzerine sürülen katran benzeri yapışkan macunun ve makara içindeki PE1000 malzemenin halatla sürtünmesinden oluşan sürtünme kuvveti ile asansör veya kafesin kaymasını engellenir.



Şekil 2.2 : Molet grubu.

2.3 Tambur (Drum)

İhraç kulesi sisteminde tahriği sağlayan ünite. Vinç tamburlarından farklı olarak halat tek yiv içinde çalışır.

Görevi, bir düz bir ters çalışarak asansörlerden birini boşaltma istasyonuna çıkartırken diğerini kuyu dibindeki yükleme istasyonuna indirmektir. Aynı çalışma prensibi kafes ve karşı ağırlık için de geçerlidir.

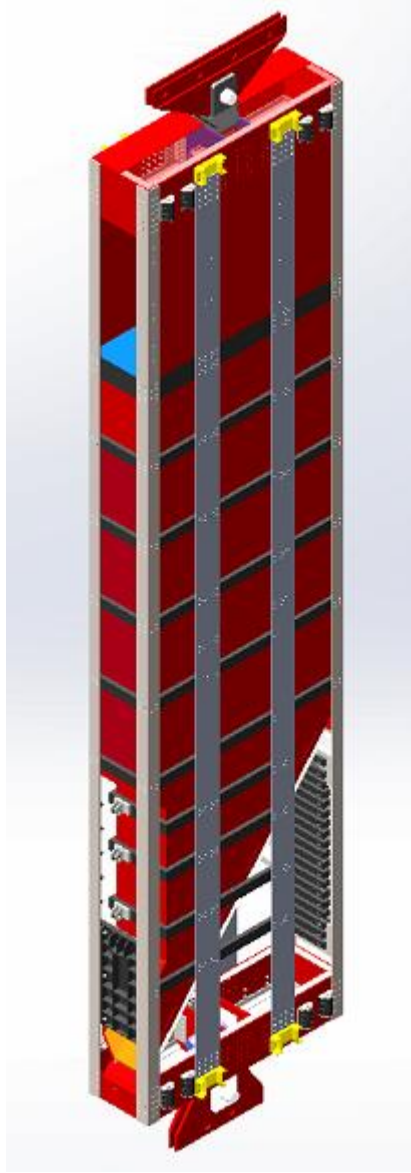


Şekil 2.3 : Tambur.

2.4 Asansör (Skip)

İhraç kuyusunda cevher veya taş taşımada kullanılan ve malzemenin içine doldurulup taşındığı özel kova. 2) Kova.

Cevher; kuyu dibi yükleme pozisyonunda, asansöre yukarıdan dolar. Boşaltma istasyonuna gelince altındaki sürgülü kapağın açılması ile yerçekimi etkisiyle boşaltılır. Asansörlerde sadece malzeme taşınması yapılır. İnsan taşınmaz.

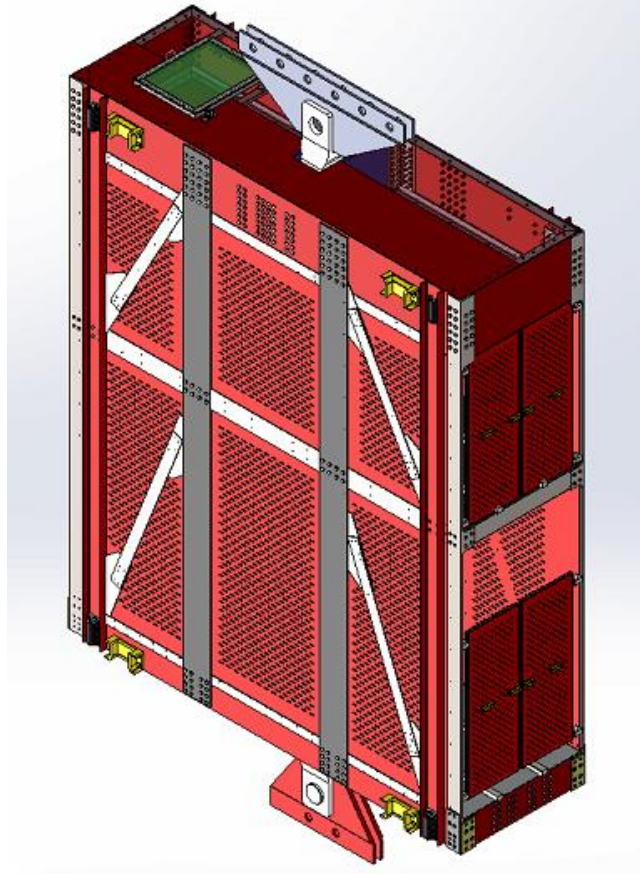


Şekil 2.4 : Asansör (skip).

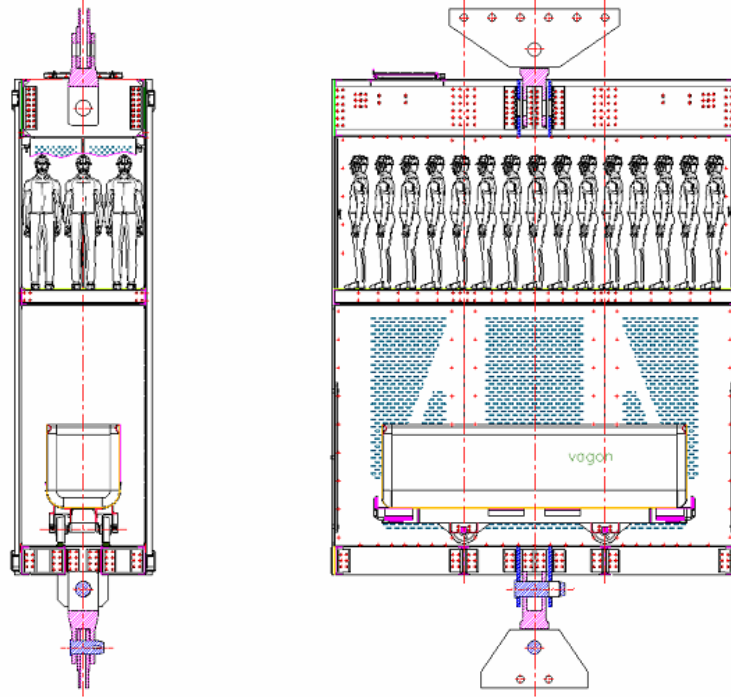
2.5 Kafes (Cage)

Dikey maden kuyularında insan, malzeme ve vagon (araba) nakliyatını sağlamak için kullanılan tek veya daha fazla katlı çelik konstrüksiyonlu kabin.

Çalışma hızları asansörlere göre daha yavaş planlanır. Özellikle insan taşıma ve maden galerileri açılırken çıkan taş, toprak gibi atık malzemelerin taşınmasında kullanılır. Çıkarılan malzemeler direk olarak kafese yüklenmez. Taşıma sadece kafes içine giren vagonlar vasıtası ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.5 : Kafes (Cage).



Şekil 2.6 : Kafes (Cage).

2.6 Halat

Kendir veya çelik tellerden örülmüş kuvvet nakil elemanı.

Maden halatları yük, kuyruk ve kılavuz halatı olarak üç ana grupta toplanabilir. Yük halatları; Koepe sürtünme şartlarında uzun ömür sergileyen halatlardır. Kuyruk halatları; (balans halatları da denir) iki asansörü alttan birbirine bağlayan, yüksek ağırlığa sahip, dengeyi sağlayan halatlardır. Kılavuz halatları; asansör, kafes ve karşı ağırlıklara maden kuyusunda kılavuzluk eden korozyona karşı yüksek direnç gösteren halatlardır.

Tréfileurope Notorplast® Head Ropes

Notorplast head ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
30	1 1/4	3.71	2.49	661	148 546
32		4.22	2.84	750	168 547
34		4.76	3.20	847	190 346
36	1 3/8	5.04	3.39	897	201 583
38		5.34	3.59	949	213 269
38	1 1/2	5.92	3.98	1054	236 865
40		6.58	4.42	1170	262 934
42	1 5/8	7.27	4.89	1294	290 800
44		7.97	5.36	1418	318 667
46	1 3/4	8.34	5.61	1483	333 274
46		8.71	5.85	1550	348 331
48	1 7/8	9.49	6.38	1688	379 344
50		10.29	6.92	1831	411 480
51	2	10.71	7.20	1905	428 110
52		11.13	7.48	1981	445 190
54	2 1/8	12.00	8.07	2136	480 023
56		12.91	8.68	2297	516 205
57	2 1/4	13.38	8.99	2370	532 610
58		13.85	9.31	2454	551 487
60		14.82	9.96	2627	590 365
61	2 3/8	15.32	10.30	2715	610 142
62		15.83	10.64	2805	630 367
64	2 1/2	16.86	11.33	2988	671 493
66		17.93	12.05	3178	714 192
67	2 5/8	18.48	12.42	3275	735 990
68		19.04	12.80	3374	758 239
70	2 3/4	20.17	13.56	3575	803 409

- Bright, drawn galvanised, or drawn galvanised wires
- Other dimensions and characteristics can be studied on demand



High fatigue performances for Koepe Hoists

Based on its knowledge of mine hoisting, and on the experience of very difficult machines, Tréfileurope developed head rope solutions allowing :

- high performance
- high service life
- easy installation and maintenance

Transposing our knowledge of non-rotating ropes to mine hoisting, and using our experience in ropes including steel + plastic components, we developed our Notorplast head ropes :

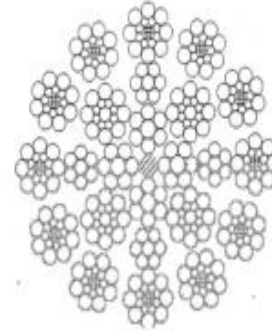
The contact pressure is shared by the outer strands with a plastic centre, and transmitted to a massive, but very flexible Warrington core, through linear wire contacts avoiding any internal nicking, and carefully chosen sisal inserts

Its non rotating properties make the Notorplast ropes very easy to install, very steady when hoisting, and very easy to maintain. No rotational stresses are transmitted to the guidance systems, reducing their maintenance cost.

The Notorplast ropes are able to provide a very high service life, even in the case of very difficult hoists, notably with fleet angles, or high dynamic effects.

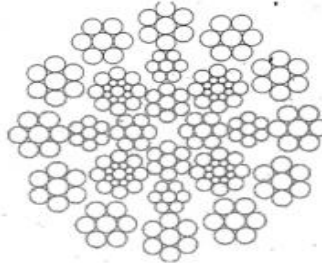
Their follow-up by NDT inspections, together with stretch and diameter checks is totally reliable, as demonstrated by many of our customers.

Our Notorplast ropes are a powerful tool to increase your shaft productivity. They can be used on new installations as well as replacement products to Full Locked Coils or flattened strand ropes.



Şekil 2.7 : Yük halatları (Head ropes).

Tréfileurope



NRHD24 Balance ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
30	1 1/4	3,95	2,66	544	122 253
32		4,50	3,02	618	138 883
34		5,08	3,41	698	156 861
35	1 3/8	5,38	3,62	740	166 300
36		5,69	3,82	782	175 739
38	1 1/2	6,34	4,26	872	195 964
40		7,03	4,73	966	217 089
42	1 5/8	7,75	5,21	1065	239 337
44		8,50	5,71	1169	262 709
45	1 3/4	8,90	5,98	1223	274 845
46		9,3	6,25	1278	287 205
48	1 7/8	10,12	6,80	1391	312 599
50		10,98	7,38	1510	339 342
51	2	11,43	7,68	1571	353 051
52		11,88	7,99	1633	366 984
54	2 1/8	12,81	8,61	1761	395 749
56		13,78	9,26	1894	425 638
57	2 1/4	14,27	9,59	1962	440 920
58		14,78	9,93	2032	456 651
60		15,81	10,63	2174	488 563
61	2 3/8	16,35	10,99	2247	504 968
62		16,89	11,35	2321	521 598
64	2 1/2	17,99	12,09	2474	555 982
66		19,14	12,87	2631	591 264
67	2 5/8	19,72	13,26	2711	609 243
68		20,31	13,65	2793	627 671
70	2 3/4	21,53	14,47	2959	664 976

- Other dimensions and characteristics can be studied on demand
 - Bright, drawn galvanised, or drawn galvanised wires

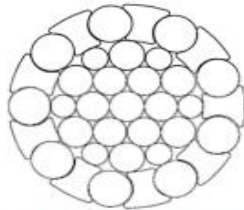
Şekil 2.8 : Kuyruk halatları (Balance ropes).

Tréfileurope Guide Ropes for Mining Shafts



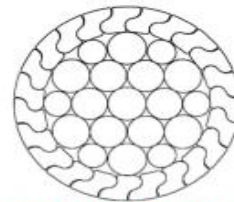
Tréfileurope offers, as guide ropes, half-lock and full-lock constructions.

These ropes can be manufactured with bright, final galvanised or Corzal wires, for an adapted answer to your particular shaft conditions.



Half-lock coil guide ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
29	1 1/8	3,03	2,64	420	94 387
32	1 1/4	4,9	3,29	525	117 983
35	1 3/8	7,12	4,79	765	171 918
38	1 1/2	8,4	5,65	900	202 257
41		9,8	6,59	1050	235 966
44		11,2	7,53	1200	269 676
48	1 7/8	13,3	8,94	1430	321 364
51	2	15	10,08	1620	364 062

- Other dimensions and characteristics can be studied on demand
 - Bright, drawn galvanised, or drawn galvanised wires



Full-lock coil guide ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
32	1 1/4	6,08	4,09	767	172 368
34		6,87	4,62	866	194 616
36		7,70	5,18	971	218 213
38	1 1/2	8,58	5,77	1082	243 158
40		9,50	6,39	1198	269 226
42	1 1/2	10,48	7,04	1321	296 868
44		11,50	7,73	1450	325 858
45	1 5/8	12,03	8,09	1517	340 915

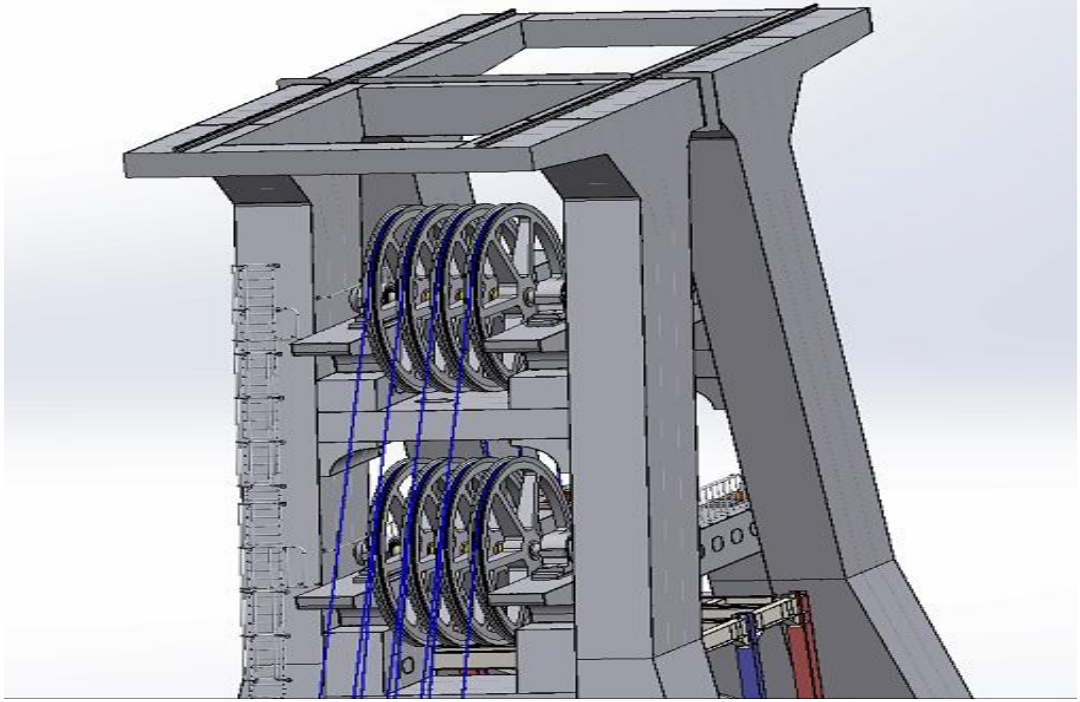
- Other dimensions and characteristics can be studied on demand
 - Bright, drawn galvanised, or drawn galvanised wires

Şekil 2.9 : Kılavuz halatları (Guide ropes).

3. KULE VE ASANSÖR HESAPLARI

3.1 Kule ve Halat Eksenlerinin Tespiti

Şövelman ayağı ve halat eksenlerinin tespitini yapmak için öncelikle bazı bilgilerin, maden (bu projede kömür) çıkaracak firmadan alınması gereklidir. Bunlar sene bazında ne kadar kömür çıkarılacağı, kömür çıkarılacak maden kuyusunun derinliği ve kulenin nerede yapılacağıdır. Çıkarılmak istenen kömür miktarı asansör ve kafes boyutlandırması için gereklidir. Boyutlandırılan kafes ve asansör iç kule içindeki boşaltma ve bakım istasyonlarının yerinin tespiti için kullanılır. Bu istasyonlardan sonra çarpma takozları yerleştirildikten sonra moletleri koyabileceğimiz minimum yüksekliği bulmuş oluruz. Aynı zamanda çıkarılacak kömür miktarı ve hangi derinlikten çıkarıldığı, bir gün içindeki çevrim oranını hesaplamakta kullanılır. Bu verilerden molet çapı ve kaç molet ile asansörü veya kafesi çalıştıracığımız bulunur. Yan yana dizilen moletler kule üst bölgesi genişliğinin tespitinde kullanılır.



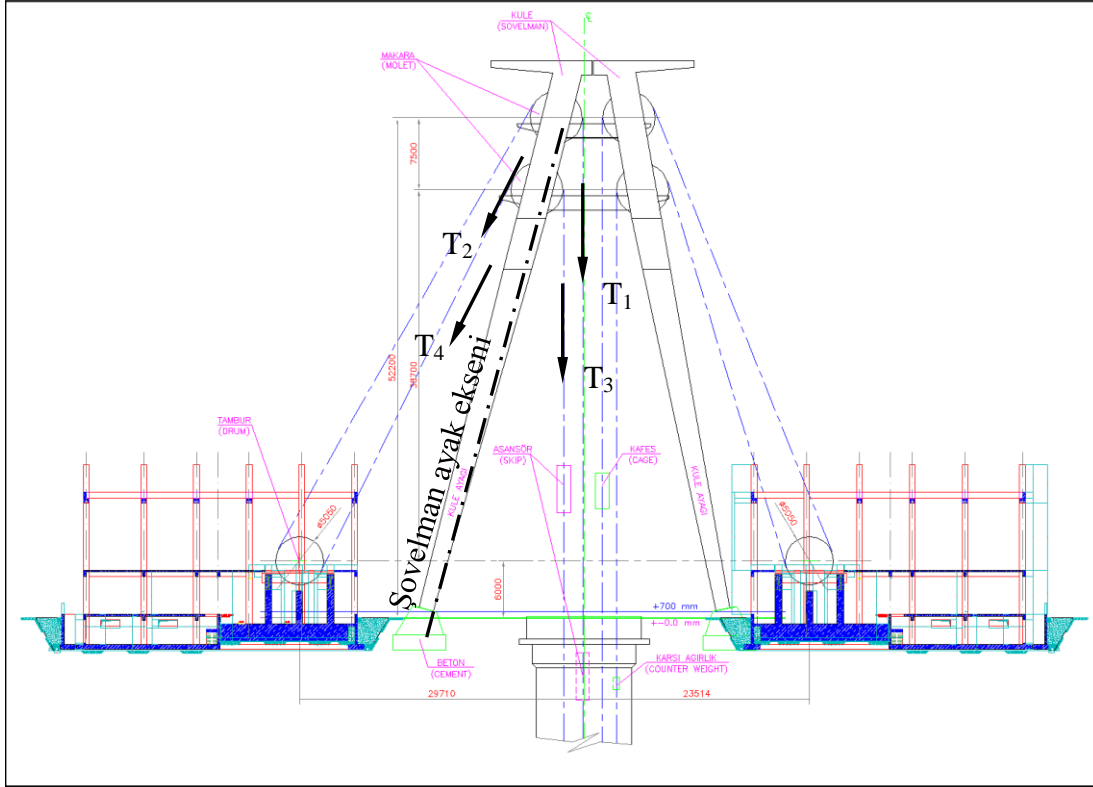
Şekil 3.1 : Şövelman üst yapısı.

Şövelman ayak açıları bulunurken, halatlardan gelen kuvvetlerin açıortayları şövelman ayağından geçecek şekilde şövelman ayak açısı bulunur (Şekil 3.2). Bu açı bulunurken T_1 ve T_2 ; T_3 ve T_4 halatlarındaki çekme kuvvetlerinin farklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu fark Eytelwein formülü ‘Koepe sürtünmesi’ (3.1) ile hesaplanabilir.

$$T_{yük} = T_{tutma} e^{\mu\alpha} \quad (3.1)$$

$$T_1 = T_2 e^{\mu\alpha}; T_3 = T_4 e^{\mu\alpha}$$

Kulenin yapılacağı yer; zemin etütleri, rüzgar ve kar yükü hesapları için gereklidir.



Şekil 3.2 : Şövelman ayak eksenini tespiti.

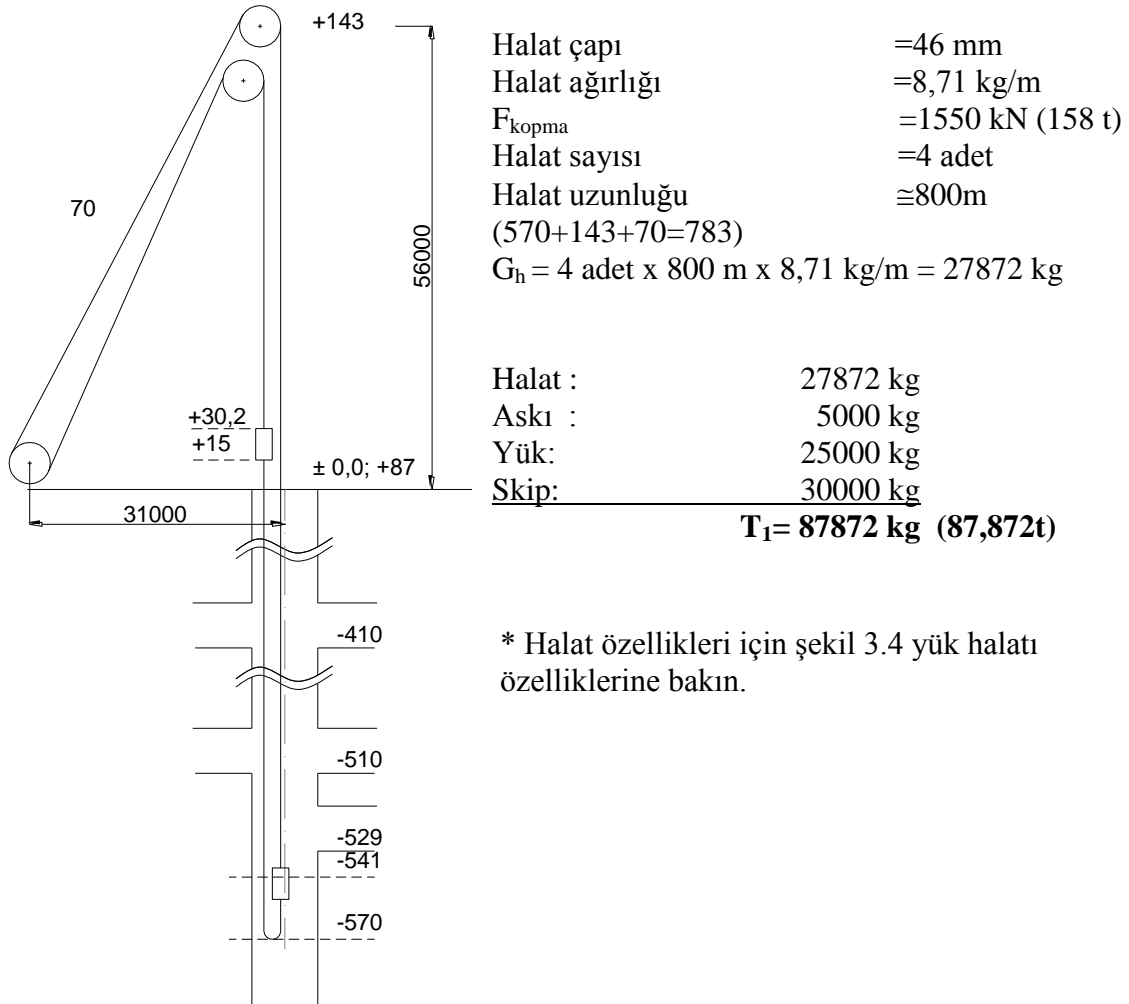
Şövelman ayak açıları da bulunduktan sonra Solidworks modeli için temel eksenleri oluşturmak mümkün olur.

3.2 Asansör ve Kafes Hesapları

Hesaplarda asansör ve kafesin ne kadar yük taşıyacağı, emniyet faktörü, gerekli motor gücü hesaplanacak, seçilen halat ve motorun kontrolü yapılacaktır. Bütün çalışma periyodu hız zaman çizelgesi üzerinde gösterilecektir.

3.2.1 Asansör hesabı

Asansörlerin çalışma şekli bir asansör boşaltma yaparken diğerinin kuyu dibindeki yükleme istasyonundan doldurulması şeklindedir (Şekil 3.3). Bu yüzden bir periyot hesaplanırken boşaltma süresi + hızlanma süresi + sabit hızla gittiği süre ve yavaşlama süresi alınır. Dolum işlemi bir asansör boşaltma yaparken diğerinde gerçekleşir.



Şekil 3.3 : Şövelman asansör-asansör çalışma şekli.

Notorplast® Head Ropes

Notorplast head ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
30	1 1/4	3,71	2,49	661	148 546
32		4,22	2,84	750	168 547
34		4,76	3,20	847	190 346
35	1 3/8	5,04	3,39	897	201 583
36		5,34	3,59	949	213 269
38	1 1/2	5,92	3,98	1054	236 865
40		6,58	4,42	1170	262 934
42	1 5/8	7,27	4,89	1294	290 800
44		7,97	5,36	1418	318 667
45	1 3/4	8,34	5,61	1483	333 274
46		8,71	5,85	1550	348 331
48	1 7/8	9,40	6,38	1680	379 344
50		10,29	6,92	1831	411 480
51	2	10,71	7,20	1905	428 110

Şekil 3.4 : Yük halatı özellikleri.

Halat kontrol;

$$S_{emniyet} = \frac{F_{Kopma} * Halat Sayısı}{T_1} \quad (3.2)$$

$$S_{emniyet} = \frac{158 * 4}{87,87} = 7,19 > 7$$

Seçilen halatlar kömür taşınması için uygundur.

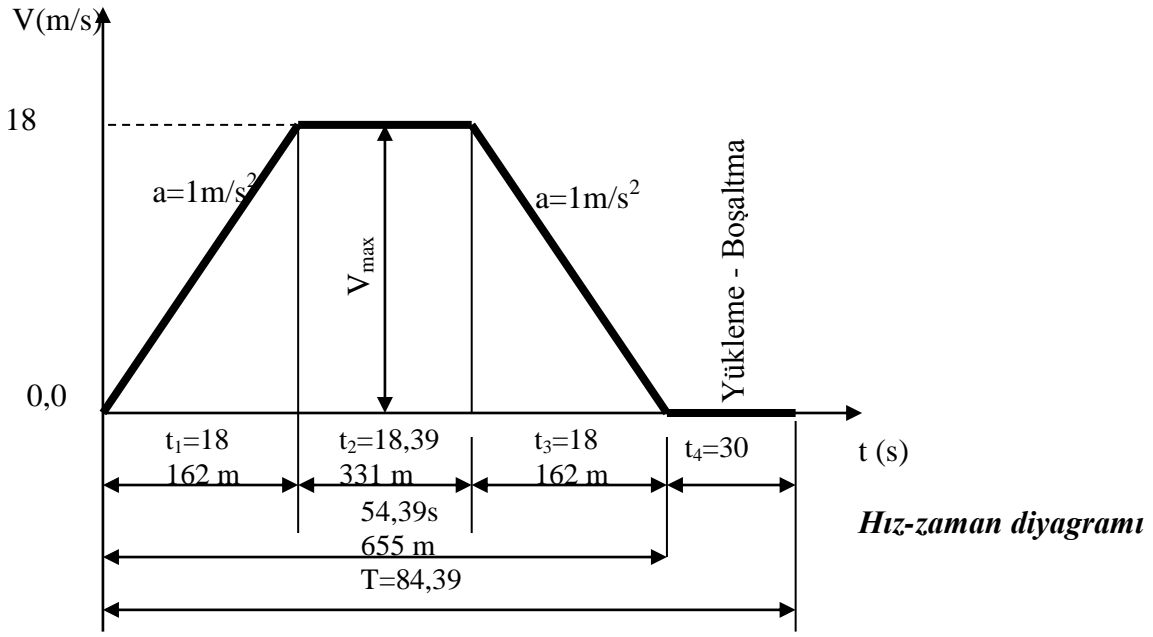
Motor gücü kontrol;

$$\frac{m * v}{102 * \eta} = P (kW) \quad (3.3)$$

$$\frac{25000 * 18m/s}{102 * 0,85} = 5190 < 2 * 3200 kW$$

Seçilen iki adet 3200kW motor asansörlerin çalıştırılması için uygundur.

Asansör asansör çalışma hız zaman diagramında (Şekil 3.5) asansörün hızlanma, sabit hızla gitme yavaşlama ve yüklenme/boşaltma diagramını görebiliriz.



Şekil 3.5 : Asansör-asansör çalışma hız-zaman diyagramı.

$$V = a \cdot t \quad (3.4)$$

$$V_1 = V_3 = 18 \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad 18 = 1 \cdot t_1 \quad \Rightarrow \quad t_1 = t_3 = 18 \text{ s}$$

$$h = \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.5)$$

$$h_1 = h_3 = 0.5 \cdot 1 \cdot (18)^2 \quad \Rightarrow \quad h_1 = h_3 = 162 \text{ m}$$

Toplam alınması gereken yol 655 metredir

$$h_2 = 655 - (2 \cdot 162) = 331 \text{ m}$$

$$X = V \cdot t \quad (3.6)$$

$$331 \text{ m} = 18 \text{ m/s} \cdot t_2 \quad \Rightarrow \quad t_2 = 18,39 \text{ s}$$

Periyot;

$$t_{\text{periyot}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 18 + 18,39 + 18 + 30 \quad \Rightarrow \quad t_{\text{periyot}} = 84,39 \text{ s}$$

Doldurma boşaltma süresi 30 saniyeden 35.61 saniyeye çıkartılarak 1 periyodun 90 saniye olması sağlanmıştır. Bu durumda:

Kapasite;

$$3600s / 90s = 40 \text{ sefer/saat}$$

$$40 \text{ sefer/saat} * 25 \text{ ton/sefer} = 1000 \text{ ton/saat}$$

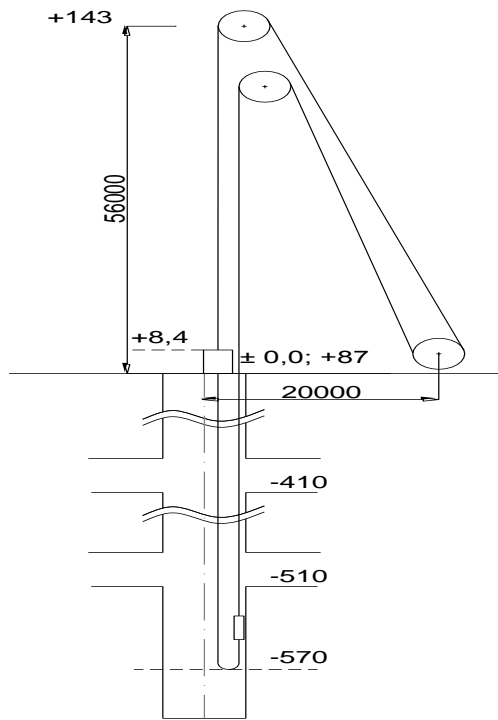
İşletmenin haftada 5 gün ve günde 3 vardiya çalışacağı göz önünde bulunursa;

$$1000 \text{ t/saat} * 24 \text{ saat/gün} * 22 \text{ gün/ay} * 12 \text{ ay/yıl} = 6,3 \text{ milyon ton/yıl kömür çıkarması hesaplanır.}$$

3.2.2 Kafes hesabı

Kafesin çalışma sistemi asansörden farklıdır. Asansörler; asansör-asansör şeklinde çalışırken kafesler; kafes-karşı ağırlık şeklinde çalışır. Burada kafes hesabı iki alt grup şeklinde yapılacaktır. İlkinde kafeste insan nakli yapılırken (Şekil 3.6), ikincisinde ise kömür veya paso nakli yapılırken (Şekil 3.9). İlk hesabımızda hızımız insan konforu düşünüldüğü için 12 m/s seviyesine düşürülmüştür. Kafes ile paso nakli yapılırken, hız yine 18 m/s olarak hesaplanacaktır.

3.2.2.1 Kafes ile insan taşınması



Halat çapı	= 34 mm
Halat ağırlığı	= 4,76 kg/m
F_{kopma}	= 847 kN (86,3 t)
Halat sayısı	= 6 adet
Halat uzunluğu	$\cong 800\text{m}$
	(570+143+70=783)
G_1	= 6 adet x 800 m x 4,76 kg/m = 22848 kg

Kafes 3 kat olarak düşünülürse; her kata 45 kişi sığar.
Ve $3 * 45 = 135$ insan nakli yapılabilir.
 $G_i = 135 \text{ adet} * 75 \text{ Kg} = 10125 \text{ Kg}$

Halat :	22848 kg
Askı :	5400 kg
Yük (insan):	10125 kg
Kafes:	17000 kg
T_1	55373 kg (55,373 t)

* Halat özellikleri için şekil 3.7 yük halatı özelliklerine bakın.

Şekil 3.6 : Şövelman kafes-karşı ağırlık çalışma şekli.

Notorplast® Head Ropes

Notorplast head ropes					
Nominal diameter		Nominal lineic mass		Minimum breaking load	
mm	inches	kg/m	lbs/ft	kN	lbs
30	1 1/4	3,71	2,49	661	148 546
32		4,06	2,84	750	168 547
34		4,76	3,20	847	190 346
35	1 3/8		3,39		201 583
36		5,34	3,59	949	213 269
38	1 1/2	5,92	3,98	1054	236 865
40		6,58	4,42	1170	262 934
42	1 5/8	7,27	4,89	1294	290 800
44		7,97	5,36	1418	318 667
45	1 3/4	8,34	5,61	1483	333 274
46		8,71	5,85	1550	348 331
48	1 7/8	9,49	6,38	1688	379 344
50		10,29	6,92	1831	411 480
51	2	10,71	7,20	1905	428 110

Şekil 3.7 : Yük halatı özellikleri.

Halat kontrol;

$$S_{emniyet} = \frac{F_{Kopma} * Halat Sayısı}{T_1} \quad (3.7)$$

$$S_{emniyet} = \frac{86,3 * 6}{55,373} = 9,35 > 9$$

İnsan taşımada halat emniyet katsayısı 7 değil en az 9 seçilmelidir. Halatlar insan taşımak için uygun.

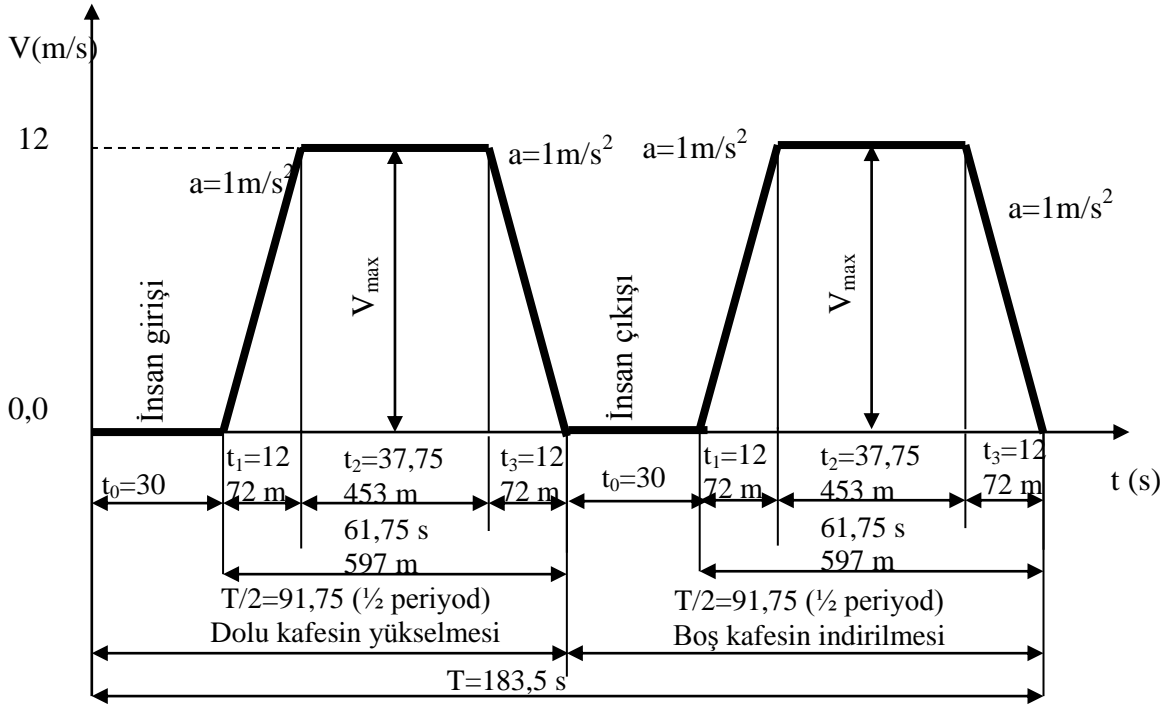
Motor gücü kontrol;

$$\frac{m * v}{102 * \eta} = P (kW) \quad (3.8)$$

$$\frac{10125 * 12m/s}{102 * 0,85} = 1401kW < 2600 kW$$

Kafes için seçilen 2600kW elektrik motoru insan nakli için uygundur.

Kafes karşı ağırlık çalışma hız zaman diagramında (Şekil 3.8) kafesin dolması, hızlanması, sabit hızla gitmesi, yavaşlaması, boşalması, tekrar hızlanması, sabit hızla gitmesi ve yavaşlayıp durma diagramını görebiliriz.



Şekil 3.8 : Kafes-karşı ağırlık çalışma hız-zaman diyagramı (insan taşınırken).

$$V = a * t \quad (3.9)$$

$$V_1=V_3=12\text{m/s} \quad \Rightarrow \quad 12 = 1 * t_1 \quad \Rightarrow \quad t_1 = t_3 = 12 \text{ s}$$

$$h = \frac{1}{2} at^2 \quad (3.10)$$

$$h_1 = h_3 = 0.5 * 1 * (12)^2 \quad \Rightarrow \quad h_1 = h_3 = 72 \text{ m}$$

Toplam alınması gereken yol 597 metredir. (Not: Asansörlerin yük aldığı seviye ile kafesin yük aldığı istasyon derinlikleri farklıdır.)

$$h_2 = 597 - (2 * 72) = 453 \text{ m}$$

$$X = V * t \quad (3.11)$$

$$453\text{m} = 12 \text{ m/s} * t_2 \quad \Rightarrow \quad t_2 = 37,75 \text{ s}$$

Periyot;

$$t_{\text{periyot}} = (t_0 + t_1 + t_2 + t_3) * 2 = (30 + 12 + 37,75 + 12) * 2 \Rightarrow t_{\text{periyot}} = 183,5 \text{ s}$$

Kafes periyodunu hesaplamamızın nedeni, kafes karşı ağırlıkla birlikte çalıştığı ve yarım periyotta doldurma diğer yarım periyotta boşaltma işlemi yaptığı içindir. Asansörlerde iki asansör çalıştığı için, bir asansör boşaltma yaparken diğer asansör doldurma işlemini yapar. Bu yüzden zaman kaybı yaşanmaz.

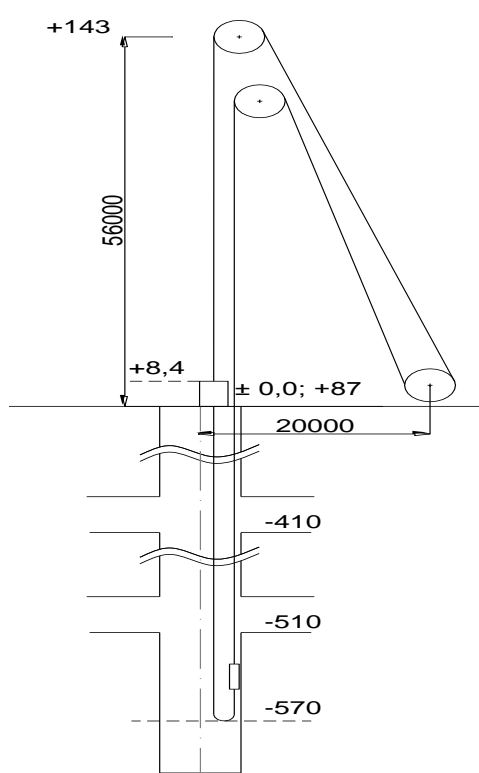
Kapasite;

$$3600 \text{ s} / 183,5 \text{ s} = 19,6 \text{ sefer/saat}$$

$$19,6 \text{ sefer/saat} * 135 \text{ kişi/sefer} = 2646 \text{ kişi/saat kapasiteye sahiptir}$$

3.2.2.2 Kafes ile kömür veya paso taşınması

Kafeslerde sadece insan taşınmaz, vagonların içine kömür doldurarak kömür çıkartma veya galeri açılması sırasında paso (taş, toprak vb.) taşınması da yapılır.



Halat çapı	= 34 mm
Halat ağırlığı	= 4,76 kg/m
F_{kopma}	= 847 kN (86,3 t)
Halat sayısı	= 6 adet
Halat uzunluğu	$\cong 800 \text{ m}$
	(570+143+70=783)
G_n	= 6 adet x 800 m x 4,76 kg/m = 22848 kg

Halat :	22848 kg
Askı :	5400 kg
Yük (kömür):	12000 kg
<u>Kafes:</u>	<u>17000 kg</u>
	$T_1 = 57248 \text{ kg (57,248 t)}$

Halat :	22848 kg
Askı :	5400 kg
Yük (paso):	18000 kg
<u>Kafes:</u>	<u>17000 kg</u>
	$T_1 = 63248 \text{ kg (63,248 t)}$

* Halat özellikleri için şekil 3.7 Yük halatı özelliklerine bakın.

Şekil 3.9 : Şövelman kafes-karşı ağırlık çalışma şekli.

Halat kontrol;

$$S_{emniyet} = \frac{F_{Kopma} * Halat Sayısı}{T_1} \quad (3.22)$$

Kömür taşınırsa;

$$S_{emniyet} = \frac{86,3 * 6}{57,248} = 9,04 > 7$$

Paso taşınırsa;

$$S_{emniyet} = \frac{86,3 * 6}{63,248} = 8,18 > 7$$

Seçilen halatlar kömür ve paso taşımak için uygundur.

Motor gücü kontrol;

$$\frac{m * v}{102 * \eta} = P (kW) \quad (3.13)$$

$$\frac{12000 * 18m/s}{102 * 0,85} = 2491kW < 2600 kW$$

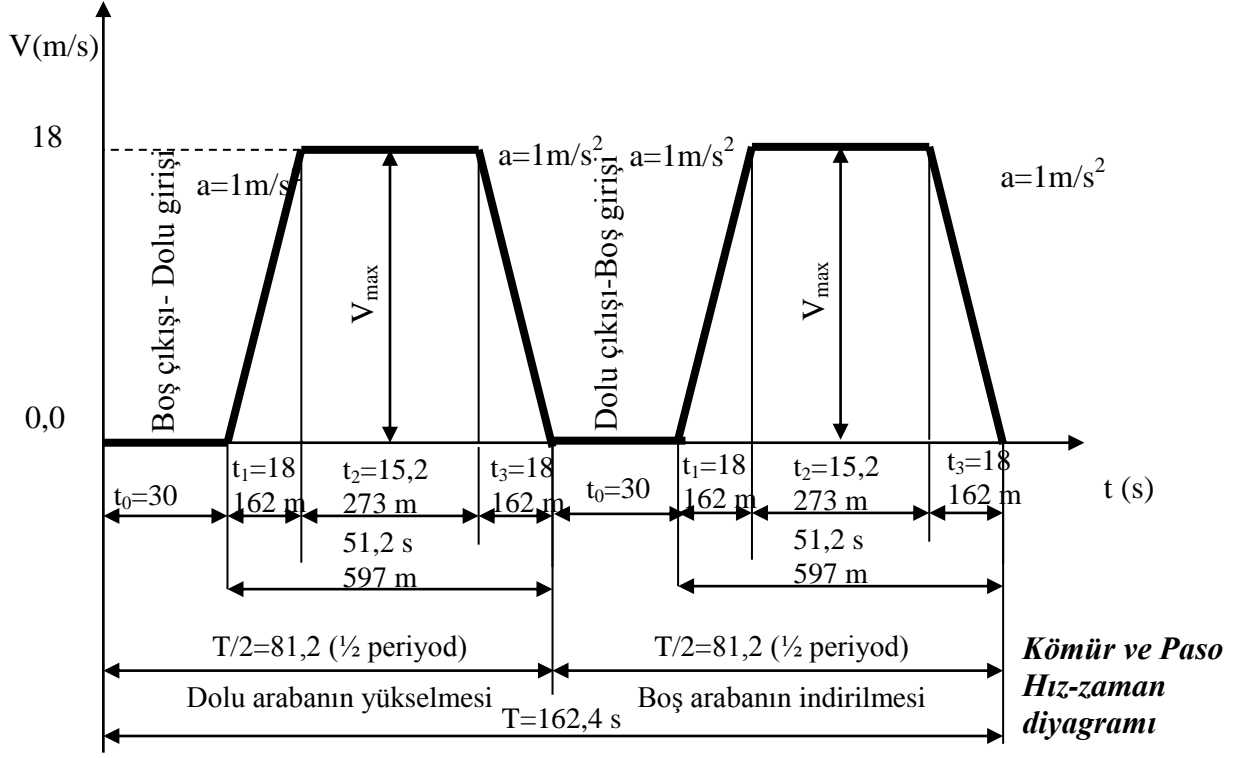
Kafes için seçilen 2600kW elektrik motoru kömür nakli için uygundur.

Fakat aynı hacme kömür yerine paso doldurulursa özgül ağırlıklarının farklı olması nedeniyle 18 ton paso dolmaktadır. Paso taşınması sırasında kafesin hızını 12 m/s ile çalıştırmak gereklidir.

$$\frac{18000 * 12m/s}{102 * 0,85} = 2491kW < 2600 kW$$

12m/s hız ile paso taşınması halinde 2600kW motor uygundur. 18m/s ile taşınma istenirse vagonlar 12 tonu geçmeyecek şekilde doldurulmalıdır.

Kafes karşı ağırlık çalışma hız zaman diagramında (Şekil 3.10) kafesin yüklenmesi (boş araba çıkışı, dolu araba girişi), hızlanması, sabit hızla gitmesi, yavaşlaması, boşalması (dolu araba çıkışı, boş araba girişi), tekrar hızlanması, sabit hızla gitmesi ve yavaşlayıp durma diagramını görebiliriz.



Şekil 3.10 : Kafes-karşı ağırlık çalışma hız-zaman diyagramı (kömür taşınırken).

$$V = a * t \quad (3.14)$$

$$V_1=V_3=18\text{m/s} \quad \Rightarrow \quad 18 = 1 * t_1 \quad \Rightarrow \quad t_1 = t_3 = 18 \text{ s}$$

$$h = \frac{1}{2} at^2 \quad (3.35)$$

$$h_1 = h_3 = 0.5 * 1 * (18)^2 \quad \Rightarrow \quad h_1 = h_3 = 162 \text{ m}$$

Toplam alınması gereken yol 597 metredir. (Not: Asansörlerin yük aldığı seviye ile kafesin yük aldığı istasyon derinlikleri farklıdır.)

$$h_2 = 597 - (2 * 162) = 273 \text{ m}$$

$$X = V * t \quad (3.46)$$

$$273\text{m} = 18 \text{ m/s} * t_2 \quad \Rightarrow \quad t_2 = 15,2 \text{ s}$$

Periyot;

$$t_{\text{periyot}} = (t_0 + t_1 + t_2 + t_3) * 2 = (30 + 18 + 15,2 + 18) * 2 \quad \Rightarrow \quad t_{\text{periyot}} = 162,4 \text{ s}$$

Kapasite;

$$3600 \text{ s} / 162,4 \text{ s} = 22,16 \text{ sefer/saat}$$

$$22,16 \text{ sefer/saat} * 12 \text{ ton/sefer} = 265,92 \text{ ton/saat}$$

İşletmenin haftada 5 gün ve günde 3 vardiya çalışacağı göz önüne alınır;

$265,92 \text{ t/saat} * 24 \text{ saat/gün} * 22 \text{ gün/ay} * 12 \text{ ay/yıl} = 1,7 \text{ milyon ton/yıl}$ kömür çıkarması hesaplanır.

3.3 Kule Kesit Alanlarının Teorik Hesabı (İlk yaklaşım)

Kule ayak kesiti hesaplanırken bir ayağa gelecek teorik yük hesaplanır. Bu bulunan yük düşünülen ayak kesitine bölüldüğünde olması gereken gerilme değeri BV standartlarına göre; analizlerde rüzgar yükü ekleniyorsa malzemenin akma gerilmesinin %65'ini geçmeyecek şekilde (3.54), rüzgar yükü etki ettirilmiyorsa %60'ını geçmeyecek şekilde hesaplanmalıdır. FEM ve diğer standartlarda bu değerleri ve/veya buna yakın değerleri kabul etmektedir. Malzeme listesi projenin başında bilinmediğinden hangi sacların stoklarda olduğu; bulunup, bulunamayacağı belirlenemez. Bu yüzden saclar S235J0 olarak düşünülerek ilk hesaplar yapılır. Bu durumda hesaplamalarımızda maksimum gerilme değerimiz;

$$\sigma_{\text{max}} = 235 * 0.65 = 153 \text{ N/mm}^2 \quad (3.67)$$

değerini aşmayacak şekilde olmalıdır. Bu değeri yakalamamız için $\sigma_{\text{Seçim}} = 100-130 \text{ N/mm}^2$ değer aralığını ve teorik yükü kullanarak kesit alanı tespit edilir. Fakat ön hesaplar bitip analizler yapıldıktan, kesin hesaplarda sac kalınlıkları belli olduktan sonra, dizaynerin direk olarak kuvvet eğrilerinin akışının olduğu, şövelman ayakları ve molet altı kirişleri gibi yerlerde en azından S275J0 veya S355J0 gibi yüksek akma değerlerine sahip saclarla yönelmesi daha uygun olacaktır.

(FEM 1.001 3rd EDITION)

Çevrim sayısı 'Number of hoisting cycles' : U9 (FEM tablo T.2.1.2.2)

Spektrum sınıfları 'Spectrum classes' : Q4 (FEM tablo T.2.1.2.3)

Uygulama grubu 'Appliance groups' : A8 (FEM tablo T.2.1.2.4)

(FEM Tabloları EK B'de bulabilirsiniz).

Ekipmanların sabit kütleleri (Kule, yataklar vb.) : S_G

Ekipmanların hareketli kütleleri (Asansör, kafes vb.) : S_L

Toplam Sistem Ağırlığı;

$$W_s = \delta_c (S_G + \psi * S_L) \quad (3.18)$$

$\delta_c =$ Yükseltme katsayısı 'Amplifying coefficient' $\Rightarrow \delta_c = 1.2$

$\psi = 1 + \xi \cdot V_L$ Dinamik katsayı 'Dynamic coefficient' $\Rightarrow \psi = 1.15$

δ_c (FEM standartları tablo T.2.3.4)

ψ (FEM standartları kısım 2.2.2.1.1)

(FEM Tabloları EK B'de bulabilirsiniz.)

Moletlere Gelen Yük;

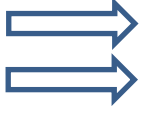
Toplam asansör yükü: 155,8 TON yuvarlatma : 156T

Toplam kafes yükü: 126,8 TON yuvarlatma : 127T

Toplam asansör ve kafes yükleri taşınan yük, asansör veya kafesin kütlesi, taşıyıcı halatların kütlesi ivmelenme yükleri ve arttırma faktörleri eklenmiş asansörün veya kafesin moletlere uyguladıkları yüklerin hesaplanmış halidir.

$$\delta_c \cdot (1 + \xi \cdot V_L) \quad (3.19)$$

(FEM standartları kısım 2.2.2.1.1)



$$156 * \{1,2 * (1 + 0,0083 * 18)\} \cong 215TON$$

$$127 * \{1,2 * (1 + 0,0083 * 12)\} \cong 168TON$$

Ayaklara gelen yük;

Şovelman ağırlığı toplamda 700 ton olacağı kabul edilip (kesin hesaplar ve analizler sonrasında bu ağırlık 497 ton olmuştur) hesaplamalar yapılırsa;

$$S_G = 700T \text{ (System weight)} + 40T \text{ (Crane weight)} + 40T \times 4 \text{ (Molet Weight)}$$

$$S_G = 900T$$

$$S_L = 156T \text{ (Genişletilmiş asansör ağırlığı)} * 2 + 127T \text{ (Genişletilmiş kafes ağırlığı)} + 127T \text{ (Genişletilmiş karşı ağırlık)}$$

$$S_L = 566T$$

$$W_{sistem} = 1,2 * 900 + 1,15 * 566 \cong 1861 TON$$

Bir ayağa gelen yük;

İhraç kulesi iki A-Frame şeklinde yükseleceği ve kuvvet açılarının yakın olmasından dolayı, sistem ağırlığının ayaklara eşit olarak etkiyeceğini düşünerek kesit hesaplamalarımıza başlayabiliriz (3.17). Fakat beton bir iç kuleye yaslanarak çalışan veya ince bir karşı ayak kullanılarak dizayn edilecek şovelman tasarımlarında ayak yüklerini; halat açıları, mesafeleri, yük dağılımları vb. dikkate alınarak paylaşılması gerekmektedir.

$$F_{ayak} = \frac{W_S}{4} \quad (3.20)$$

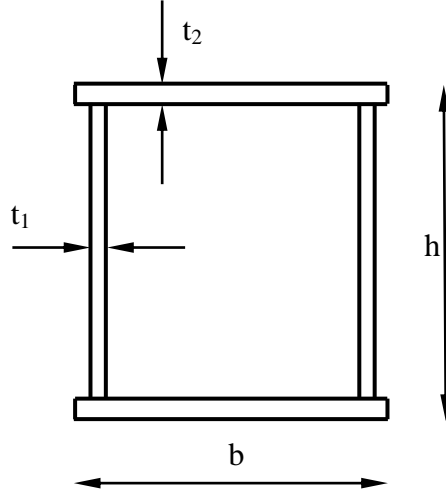
$$F_{ayak} = \frac{1861}{4} \cong 465 to$$

Teorik kesit alanı;

$$A_{Teorik} = \frac{F_{ayak}}{\sigma_{seçim}} \quad (3.21)$$

$$A_{Teorik} = \frac{465000kg * 9.81m/s^2}{110N/mm^2}$$

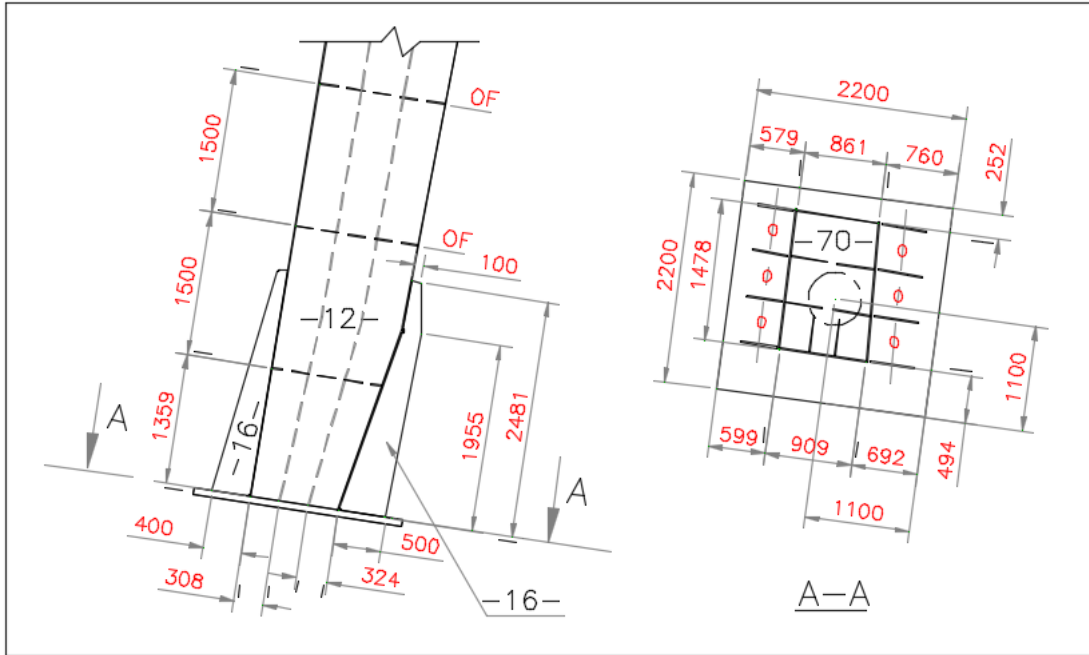
$$A_{Teorik} = 41469.5mm^2$$



Şekil 3.11 : Şövelman ayak kesiti.

$$A_{Teorik} = b * h - [b - 2t_1 * h - 2t_2] \quad (3.22)$$

(3.19) denklemini sağlayacak şekilde b, h, t₁ ve t₂ ebatları seçilir.



Şekil 3.12 : Örnek şövelman ayak kesit ölçüleri.

Ebatlar seçilirken kulenin dikdörtgen kesitli olması ve alın saclarının yan saclardan bir ebat büyük olması kirişin taşıma özelliğini dolayısıyla şövelmanın dayanımını arttıracaktır.

Bu durumda;

$h > b$; $t_2 = t_1 + 2$ mm seçmek uygun olacaktır.

Geometrik olarak bütün ölçüleri, kesitleri, sac kalınlıkları ve taşıyacağı yükler belirlenen ihraç kulesi Solidworks programı ile modellenir. Ve katı plakalar yüzey formlarına dönüştürülerek, Ansys programına alınır.

4. MADEN KULESİNİN ANSYS PROGRAMI İLE ANALİZİ

Bu bölümde katı modeli Solidworks programı ile hazırlanıp yüzey elemanlarına çevrilen, sonlu elemanlar modeli Ansys ile gerçekleştirilen Şövelman yapısının tanımlı 4 farklı yük altındaki statik mukavemet ve burkulma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda yapının en kritik gerilme değeri yükleme durumu 3'de 176.99 MPa olarak bulunmuştur ve burkulma analizi neticesinde sistemin burkulma faktörü 37.8 olarak elde edilmiştir. Elde edilen gerilme değerlerinin sınır değerleri aşmadığı ve sistemin tanımlı yükler altında güvenli olduğu hesaplanmıştır.

4.1 Temel Veriler

4.1.1 Genel veriler

Hesaplaması yapılan sistemde S275J0 çelik malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin materyal özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

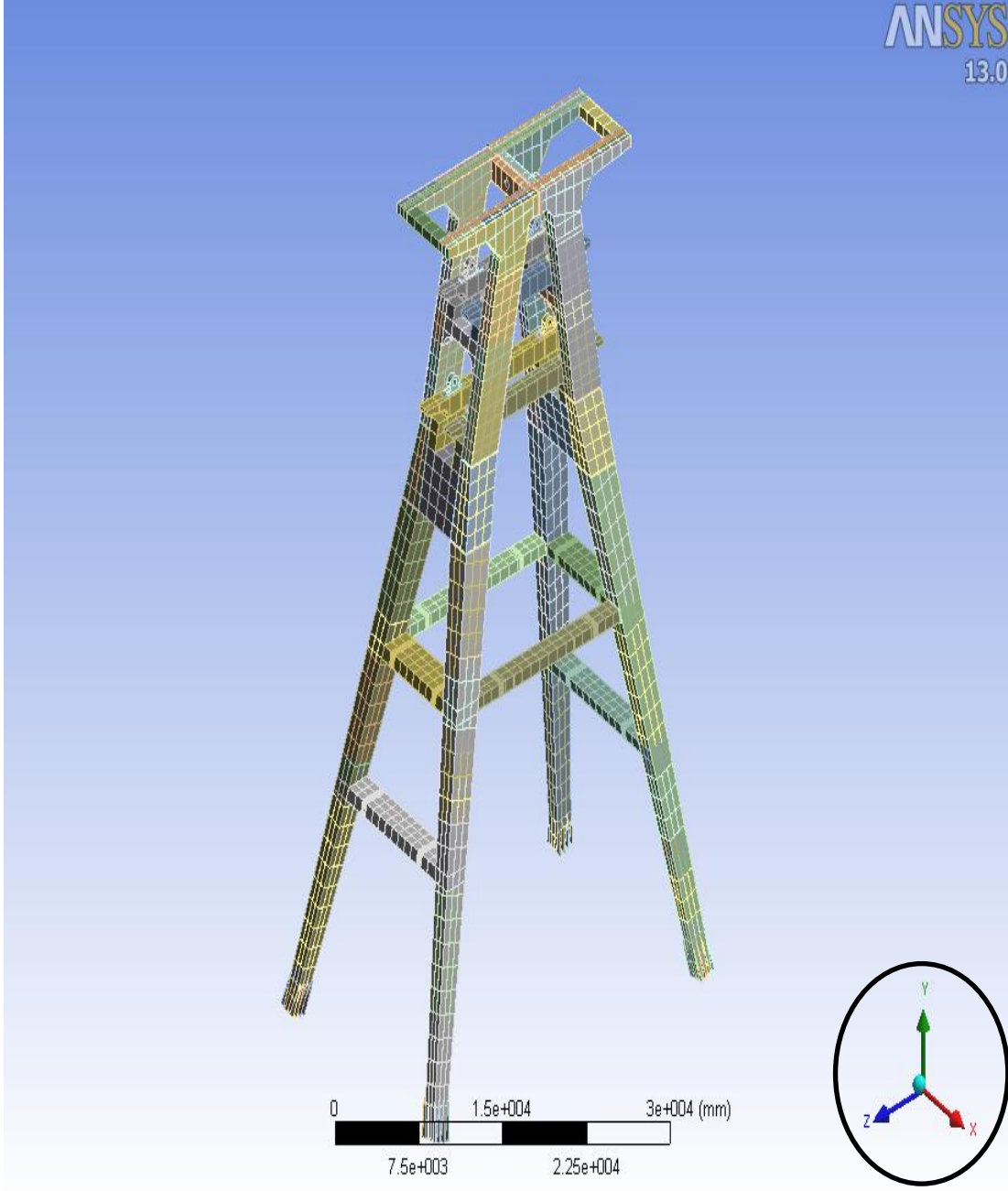
Akma Sınırı	: 275 MPa
Yoğunluğu	: 7,85 ton/m ³
Elastiklik Modülü	: 210000 MPa
Poisson Oranı	: 0.3

4.1.2 Birimler

Uzunluk	: Milimetre (mm)
Ağırlık	: Ton (t)
İvme	: mm/sn ²

4.1.3 Koordinat sistemi

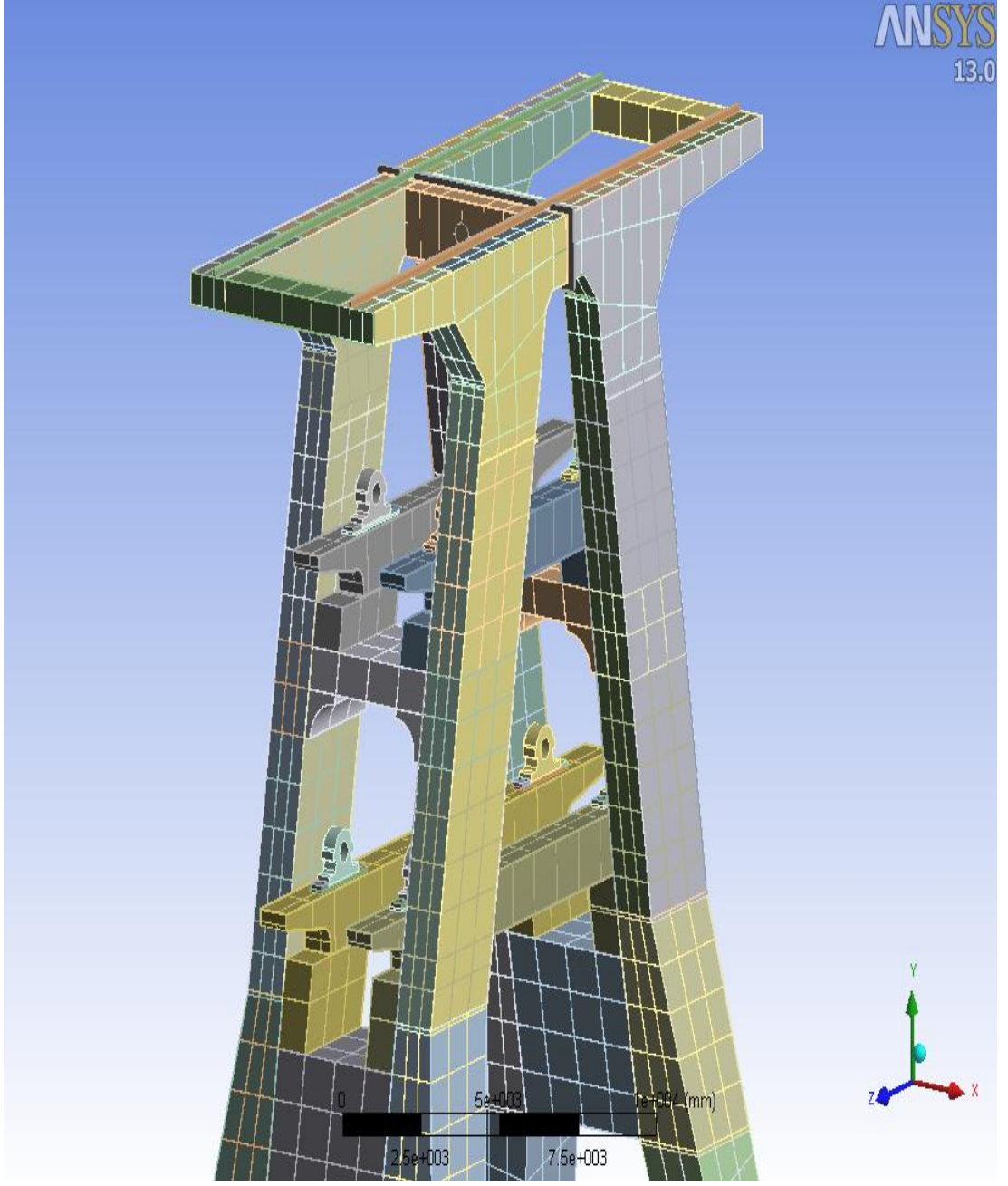
Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken yükseklik Y ile, boy yönü X ile, en yönü Z ile temsil edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Koordinat sistemi.

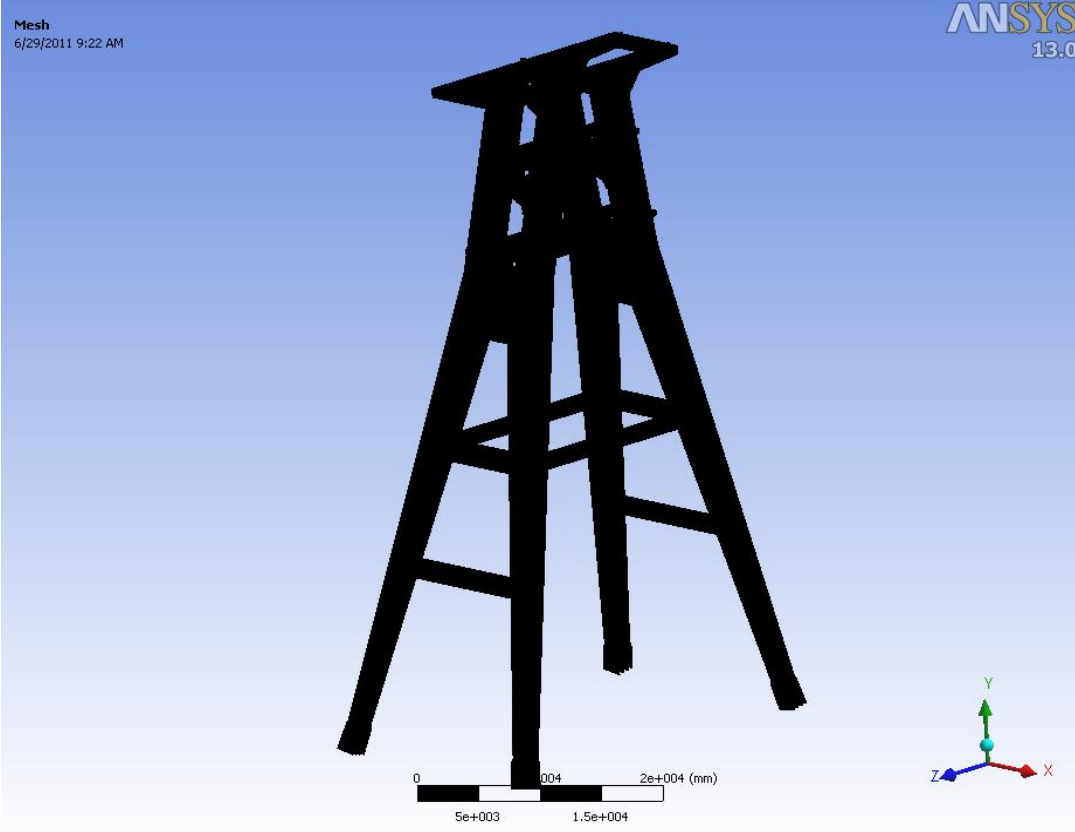
4.2 Modelin Kurulması

Sonlu elemanlar modeli oluştururken doğru ağ örgüsü oluşturmak amacı ile mukavemete etkisi olmadığı düşünülen bazı parçalar modelden çıkarılıp (moletler ve molet milleri), ufak radiuslar kaldırılmıştır (Şekil 4.2).

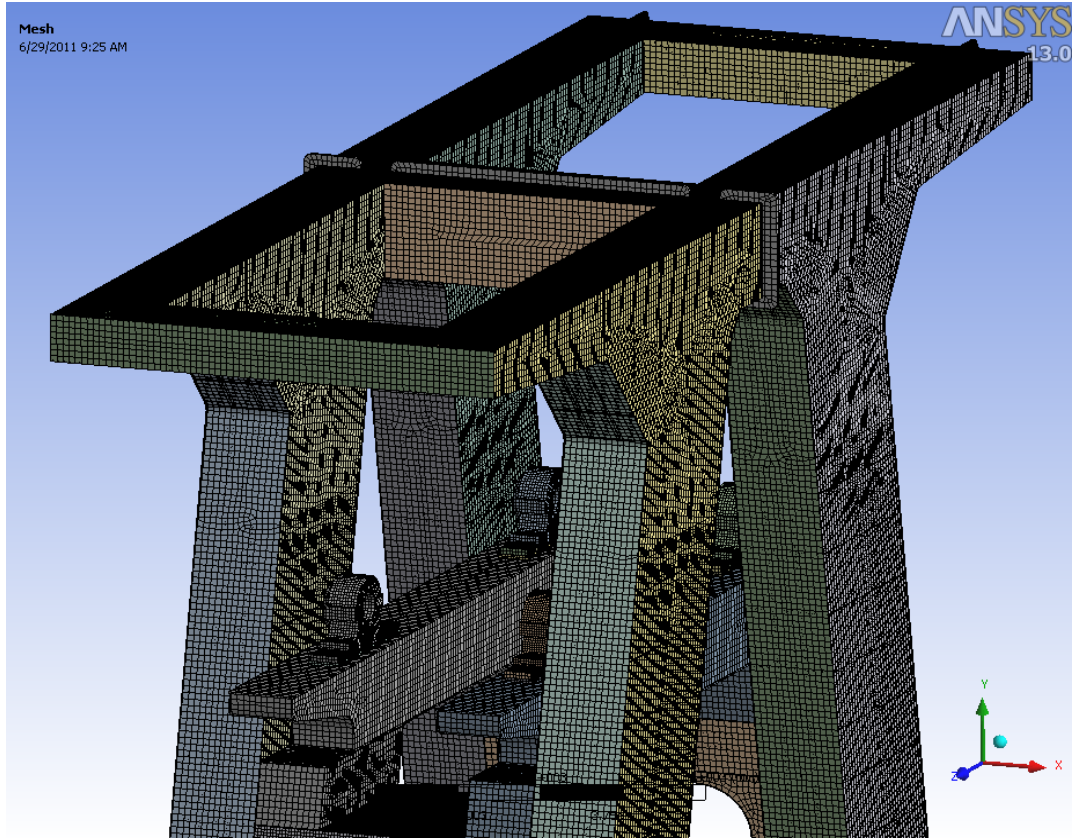


Şekil 4.2 : Üst bölge.

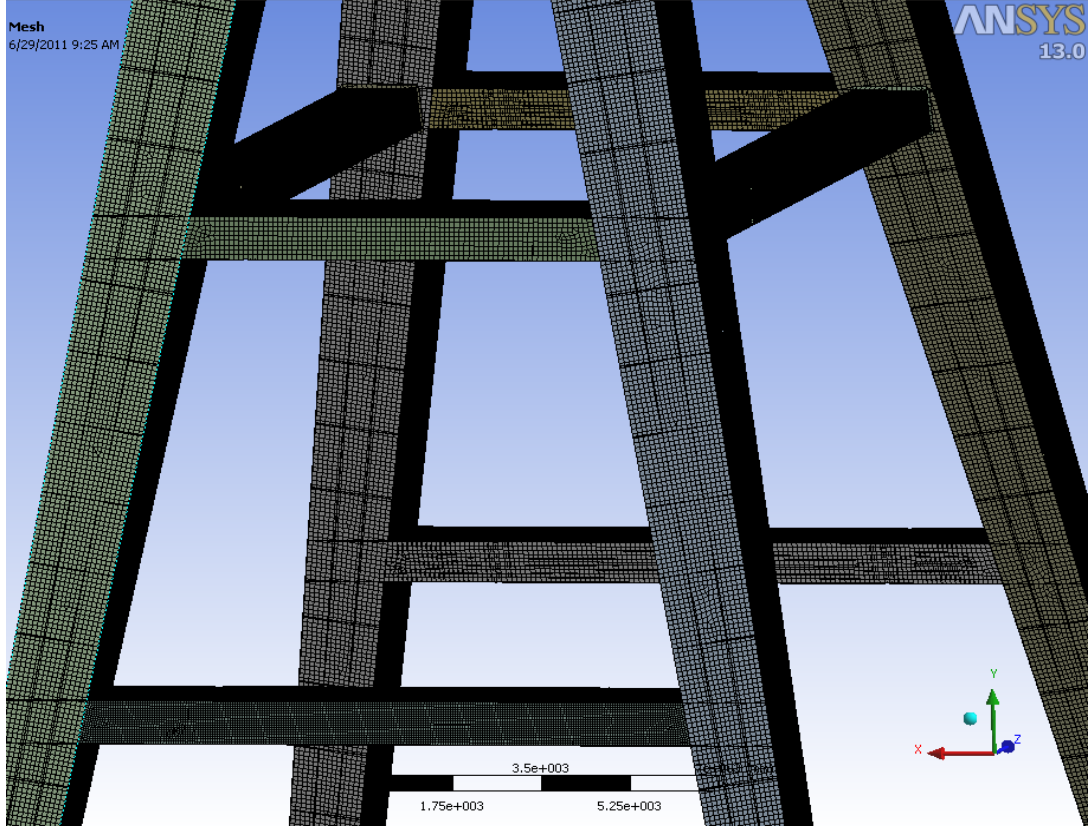
Yapılan sadeleştirmelerden sonra mevcut elemanlar arasında kontaklar “contact” tanımlanmış ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur (Şekil4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Oluşturulan sonlu elemanlar modelinde 1551843 adet düğüm sayısı 1394061 adet eleman bulunmaktadır.



Şekil 4.3 : Ağ örgüsü genel görünüş.



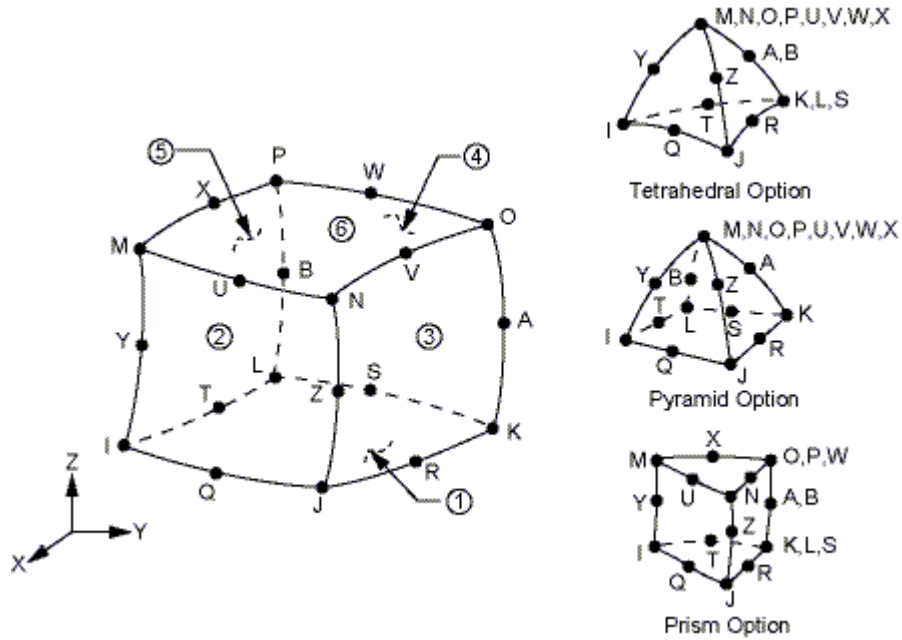
Şekil 4.4 : Detay ağ örgüsü (üst görünüş).



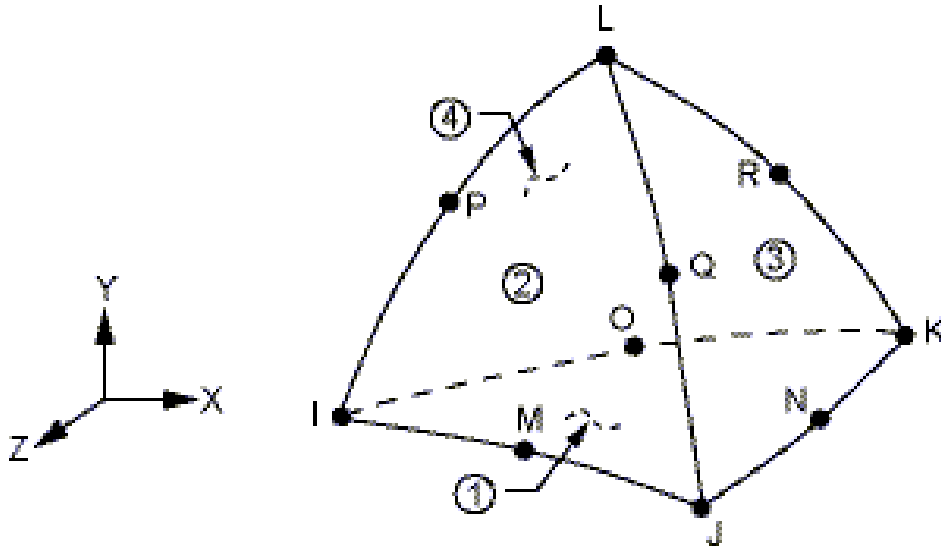
Şekil 4.5 : Detay ağ örgüsü (alt görünüş).

4.2.1 Kullanılan elemanlar

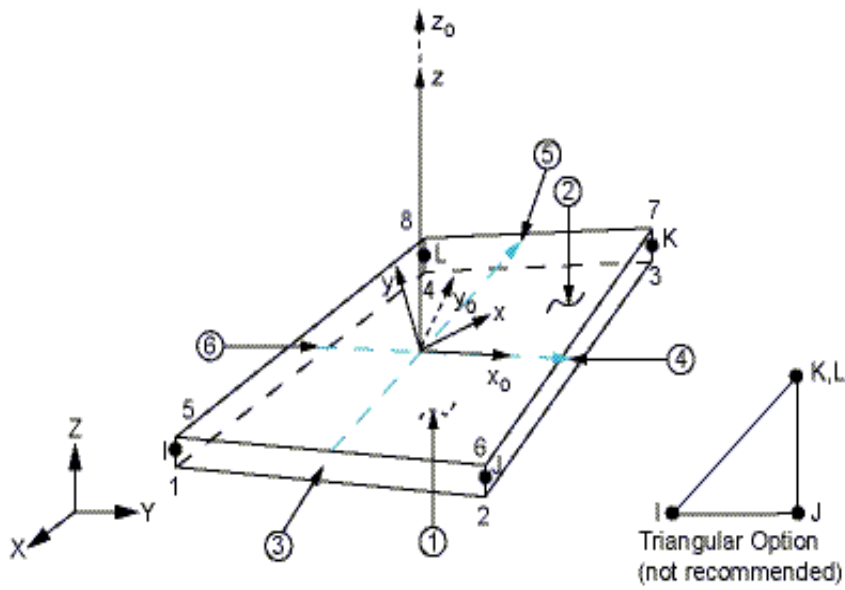
Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken katı 186 (Şekil 4.6), katı 187 (Şekil 4.7) ve kabuk 181 (Şekil 4.8) elemanları kullanılmıştır.



Şekil 4.6 : Katı 186 eleman yapısı.



Şekil 4.7 : Katı 187 eleman yapısı.



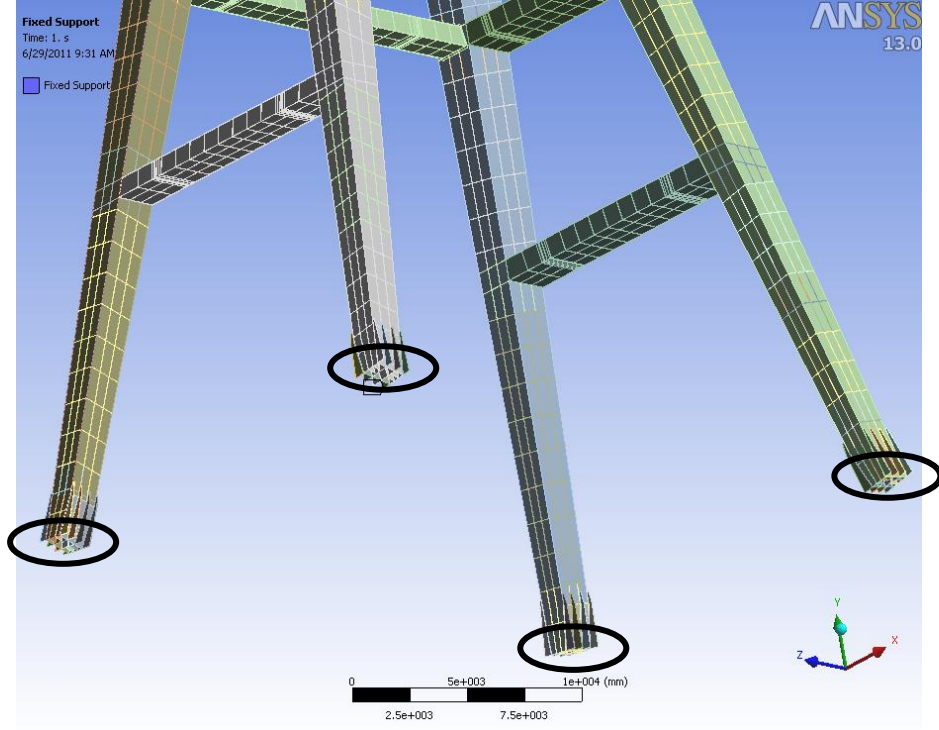
x_0 = Element x-axis if ESYS is not provided.

x = Element x-axis if ESYS is provided.

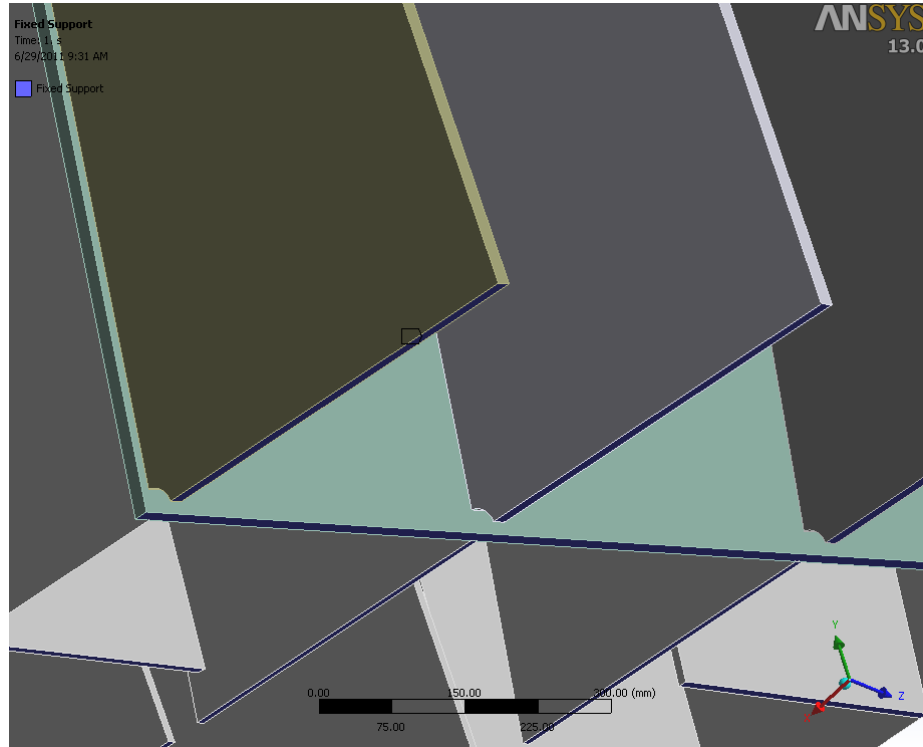
Şekil 4.8 : Kabuk 181 eleman yapısı.

4.2.2 Sınır koşulları

Sonlu elemanlar modeli hazırlanan yapının sınır koşulları Şekil 4.9’de görüldüğü üzere dip kısımdan ankastre tutularak verilmiştir.



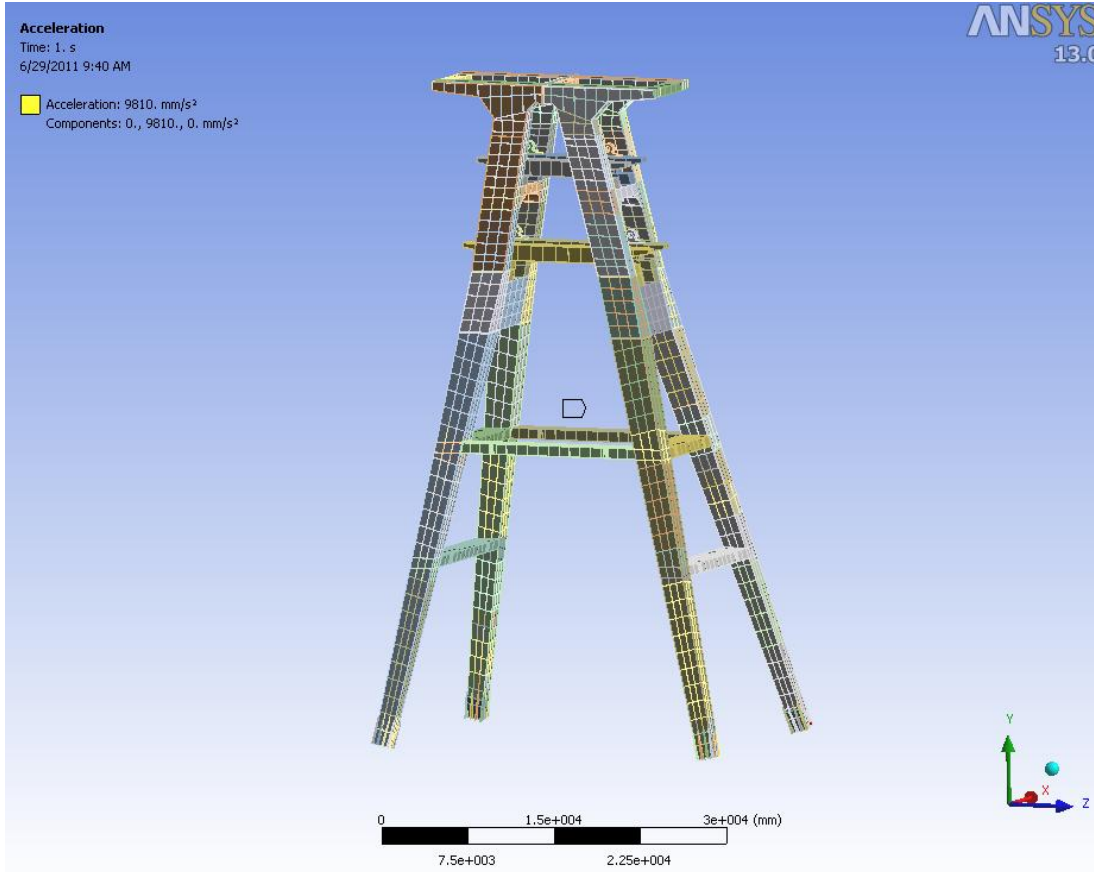
Şekil 4.9 : Sınır koşulu.



Şekil 4.10 : Sınır koşulu.

4.3 Yükleme Durumları

Hazırlanan sonlu elemanlar modeli ile 4 farklı yükleme durumu için analizler gerçekleştirilmiştir. Bütün analizlerde yerçekimi kuvveti (Şekil 4.11) sisteme etki ettirilmiş ve sistemin kendi ağırlık etkisinden kaynaklanacak gerilme değerleri hesaplamalara katılmıştır.



Şekil 4.11 : Yükleme durumu.

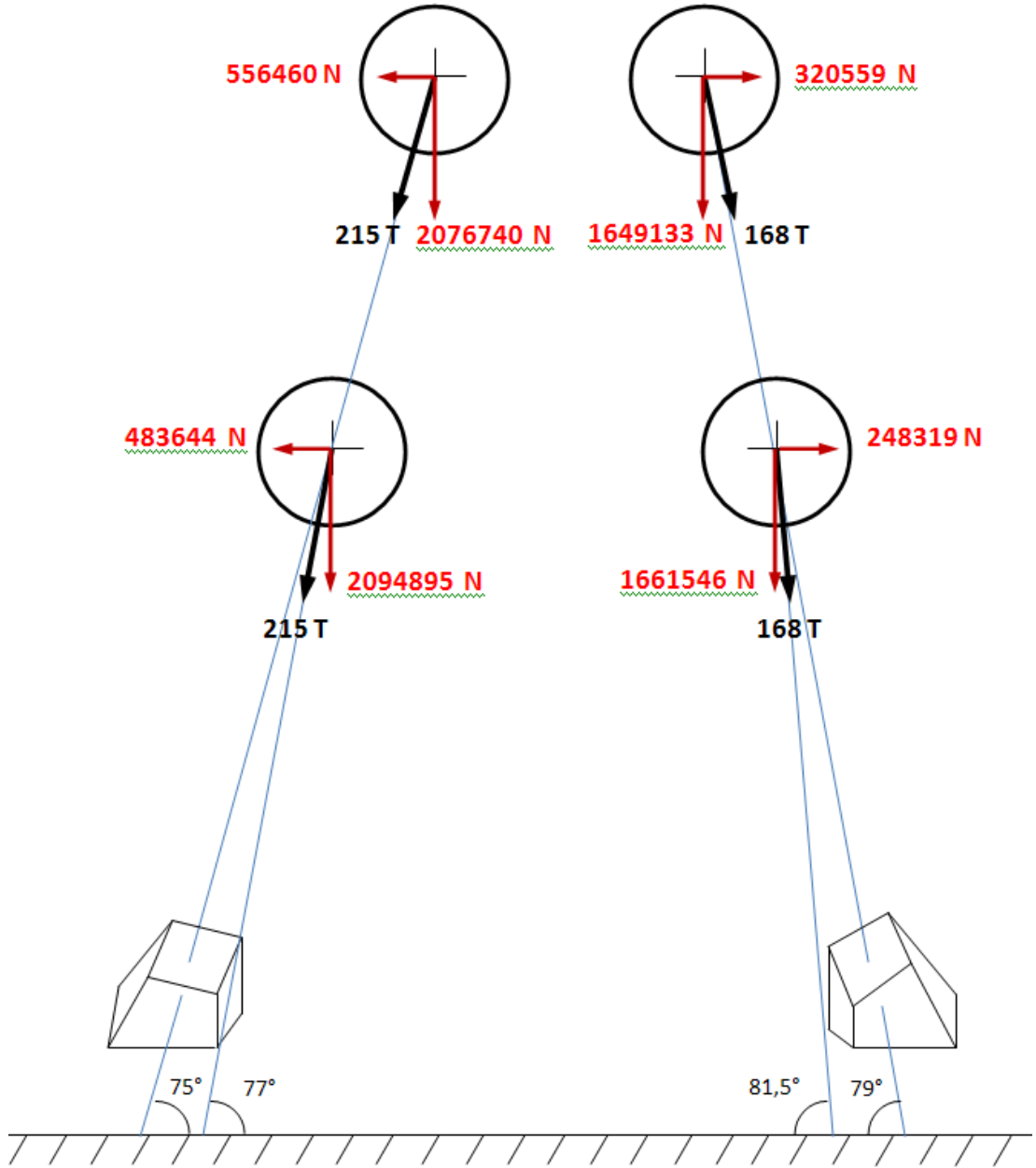
Yerçekimi ivmesi düşey yönde 9810 mm/s^2 olarak uygulanmıştır.

Yapılan bütün yükleme durumlarında yapıya rüzgâr yükü uygulanmıştır. Bu yükleme önden (hem önden hem de arkadan) ve yandan (hem sağdan hem soldan) olmak üzere 2 farklı şekilde uygulanmıştır. Rüzgar yükü yapıya uygulandığı yönde yapının ön tarafından basma arka tarafından çekme oluşturacak şekilde uygulanmıştır.

$$P_{\text{basma}} = 882.10^{-6} \text{ MPa}$$

$$P_{\text{çekme}} = 441.10^{-6} \text{ MPa}$$

Çekme yükü molet merkezlerinden halat eksenleri baz alınarak Şekil 4.12’de belirtildiği şekilde uygulanmıştır.



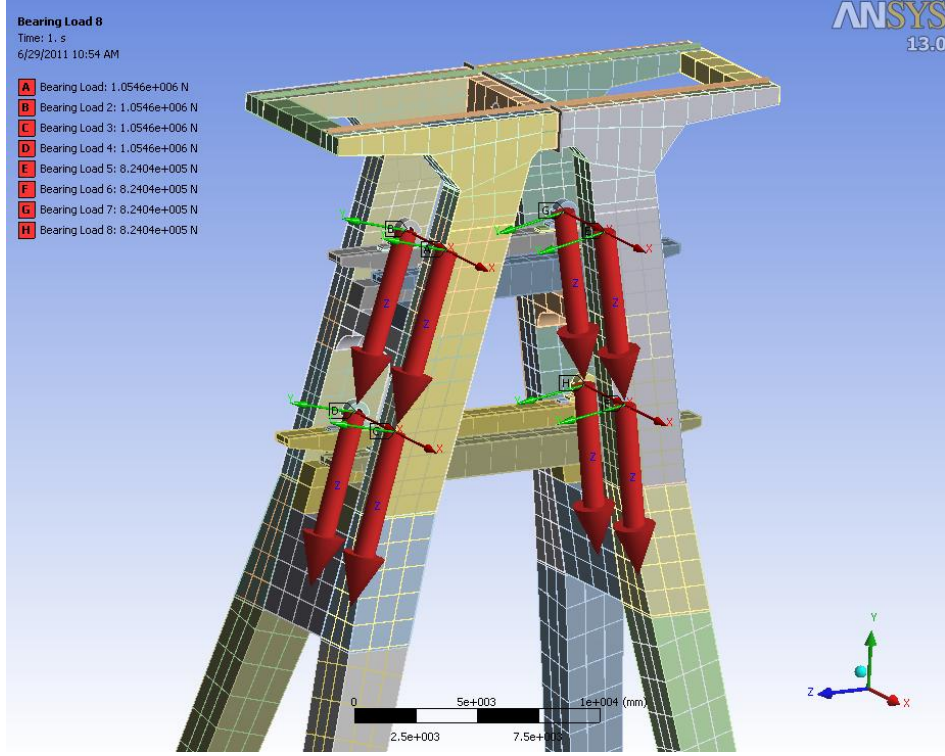
Şekil 4.12 : Çekme yükü.

4.3.1 Yükleme durumu 1

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgede bulunan moletlerden çekme yükü, vinç yükü ve önden etkiyen rüzgar yükü uygulanmıştır.

Çekme yükü;

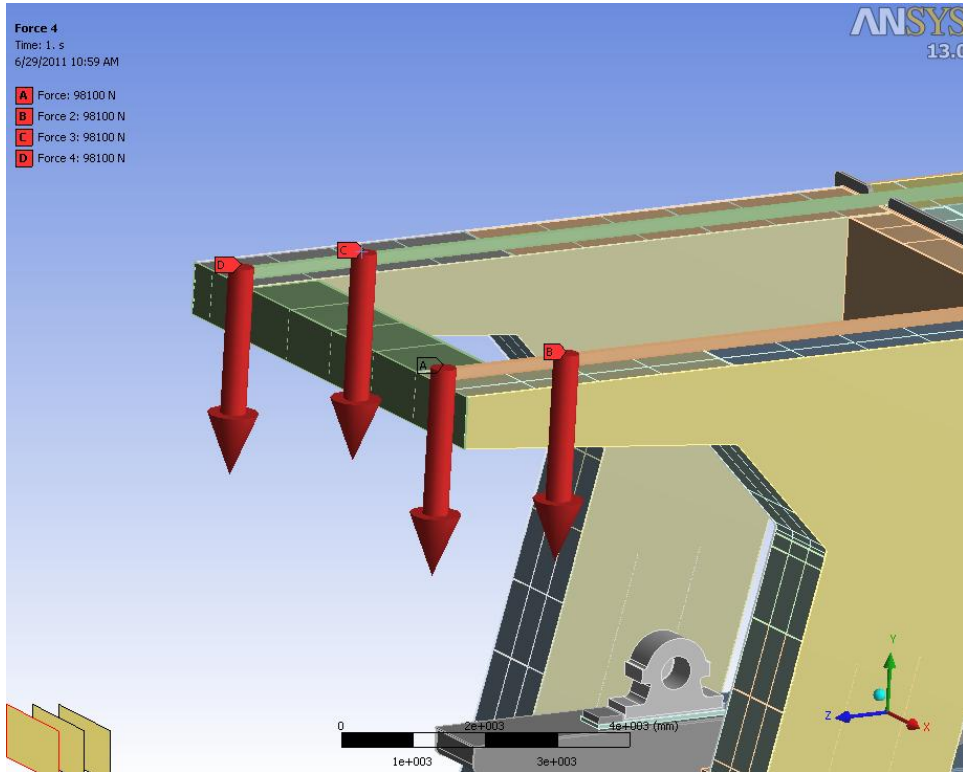
Çekme yükü molet bağlantılarında oluşturulan lokal koordinat sistemleri yardımı ile +Z yönündeki moletlere 1054575 N ve -Z yönündeki moletlere 824040 N olarak uygulanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Çekme yükü.

Vinç yükü;

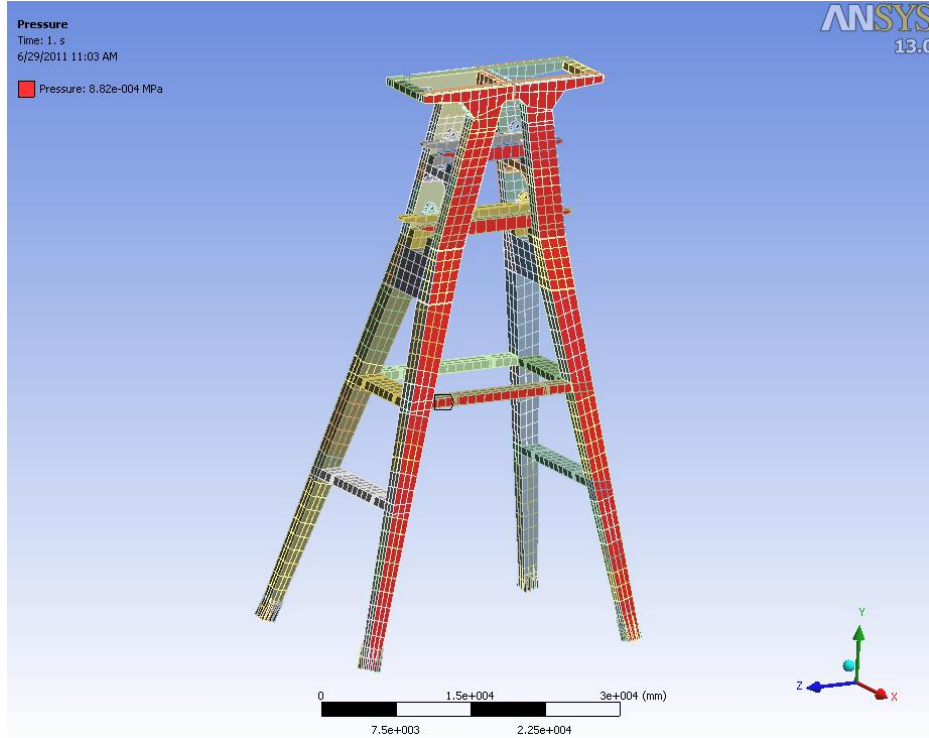
Vinç yükü (Şekil 4.14) olarak vincin 4 ayak basma bölgesine 98100 N (10 ton) toplamda 40 ton değerinde kuvvet uygulanmıştır.



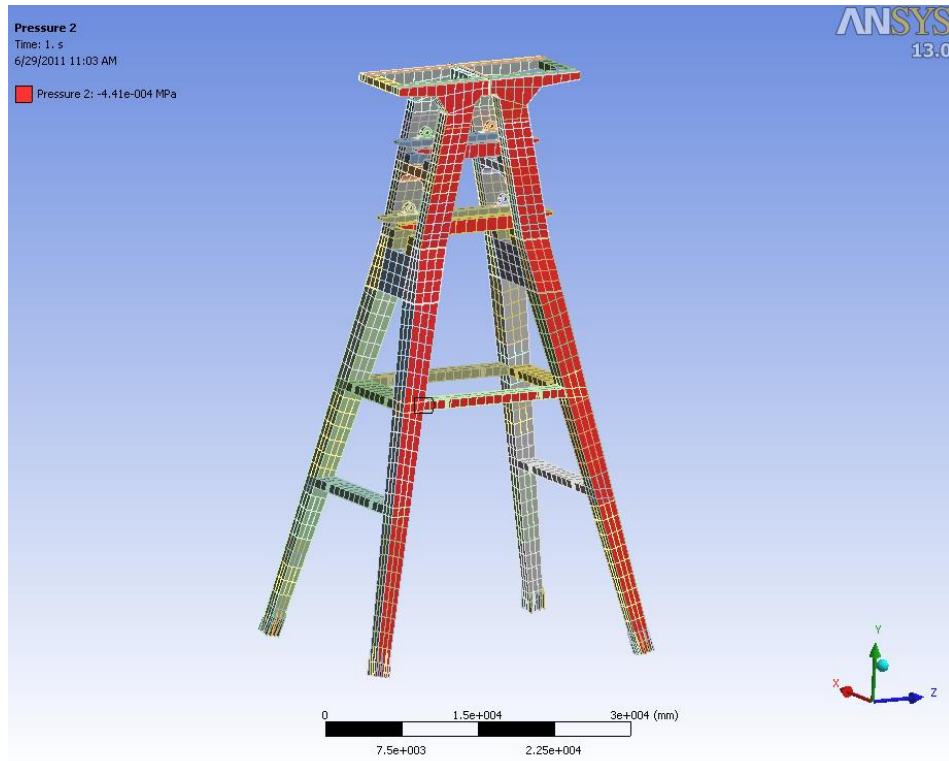
Şekil 4.14 : Vinç yükü.

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya önden basma (Şekil 4.15) ve arkadan çekme (Şekil 4.16) olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır.



Şekil 4.15 : Rüzgar yükü (önden basma).



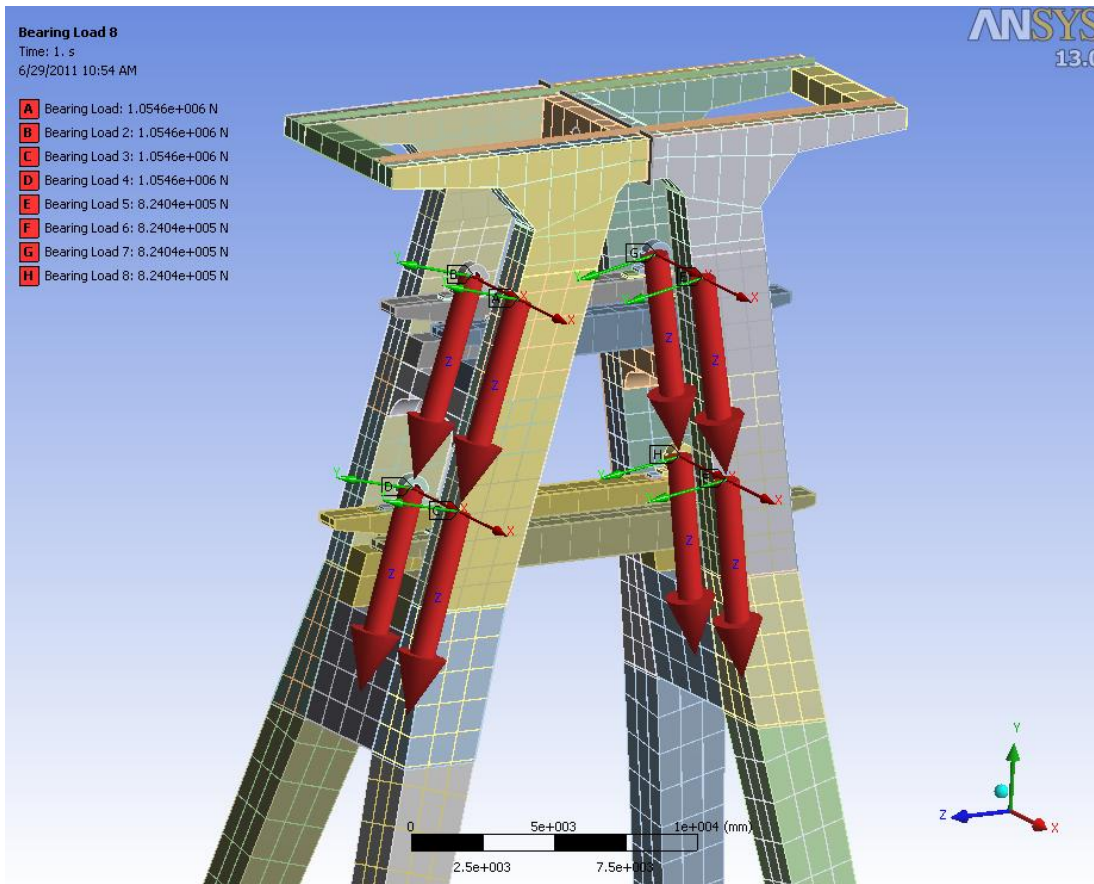
Şekil 4.16 : Rüzgar yükü (arkadan çekme).

4.3.2 Yükleme durumu 2

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgede bulunan moletlerden çekme yükü, vinç yükü ve yandan etkiyen rüzgar yükü uygulanmıştır.

Çekme yükü;

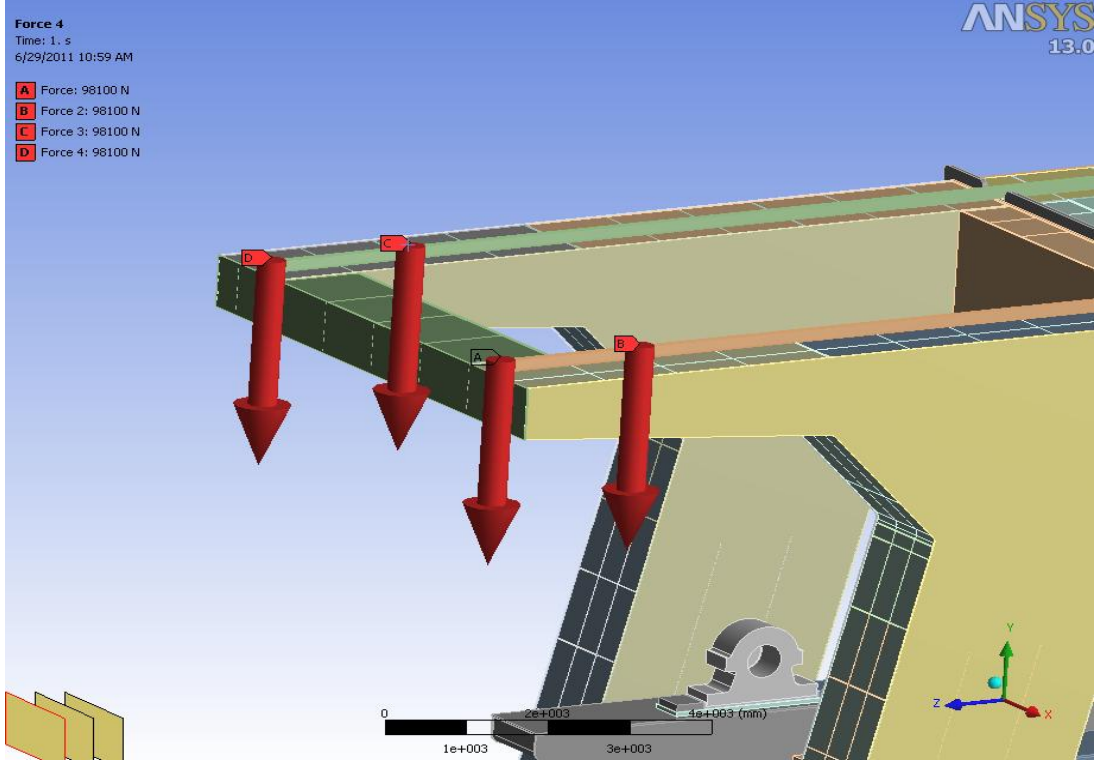
Çekme yükü (Şekil 4.17) molet bağlantılarında oluşturulan lokal koordinat sistemleri yardımı ile +Z yönündeki moletlere 1054575 N ve -Z yönündeki moletlere 824040 N olarak uygulanmıştır.



Şekil 4.17 : Çekme yükü.

Vinç yükü;

Vinç yükü (Şekil 4.18) olarak vincin 4 ayak basma bölgesine 98100 N (10 ton) toplamda 40 ton değerinde kuvvet uygulanmıştır.



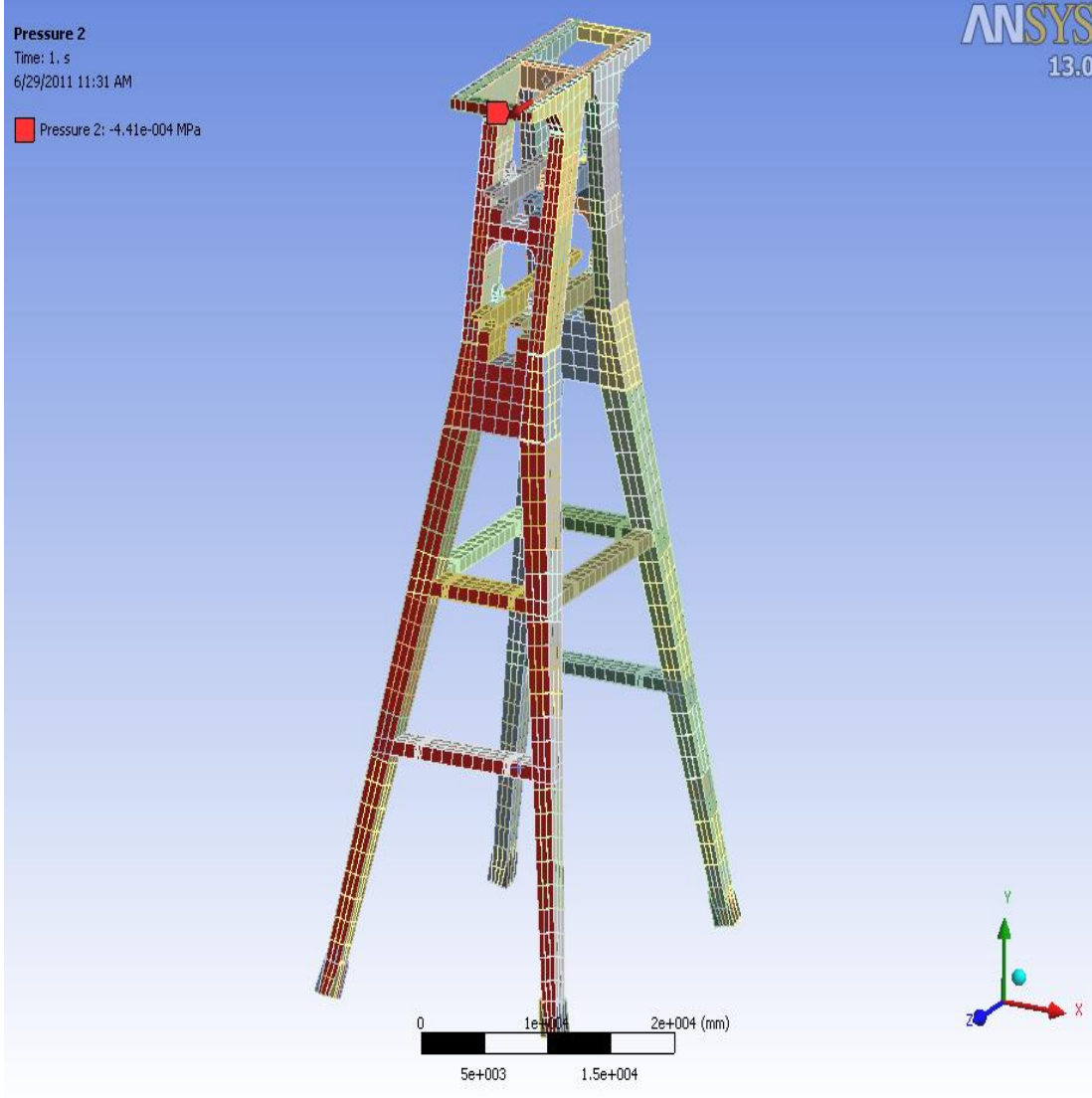
Şekil 4.18 : Vinç yükü.

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya sağdan basma (Şekil 4.19) ve soldan çekme (Şekil 4.20) olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır.



Şekil 4.19 : Rüzgar yükü (sağdan basma).



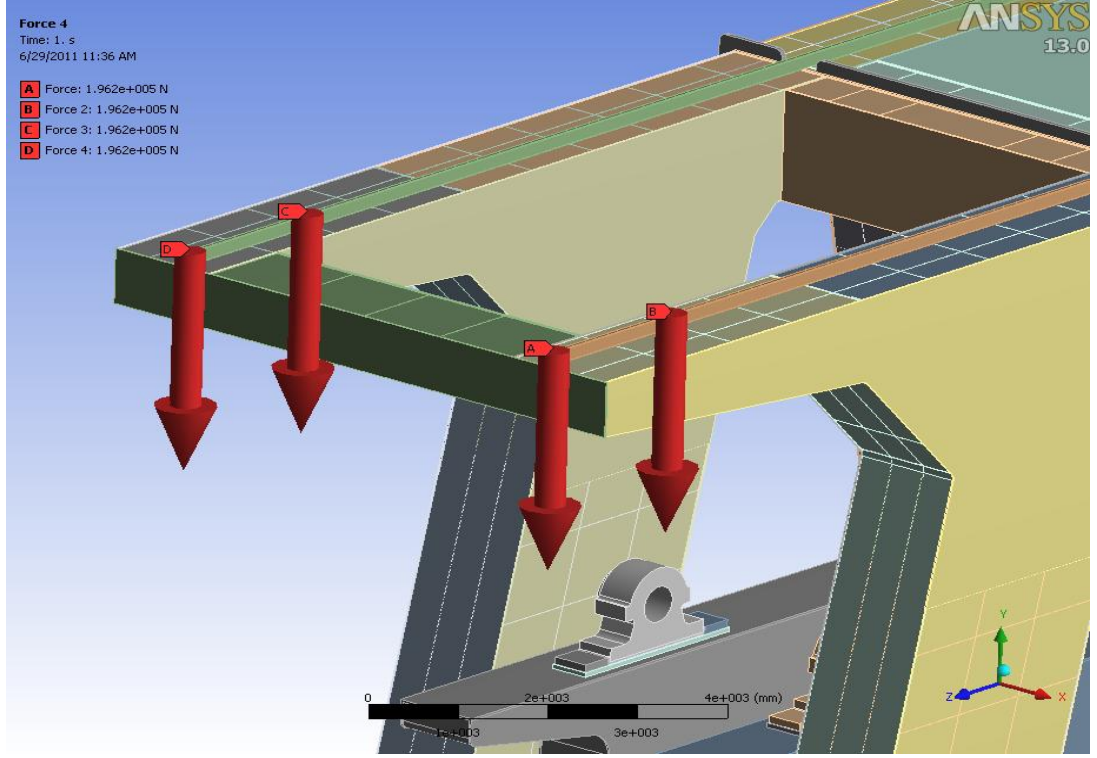
Şekil 4.20 : Rüzgar yükü (soldan çekme).

4.3.3 Yükleme durumu 3

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgeden vinç yükü ve önden etkiyen rüzgar yükü uygulanmıştır.

Vinç yükü;

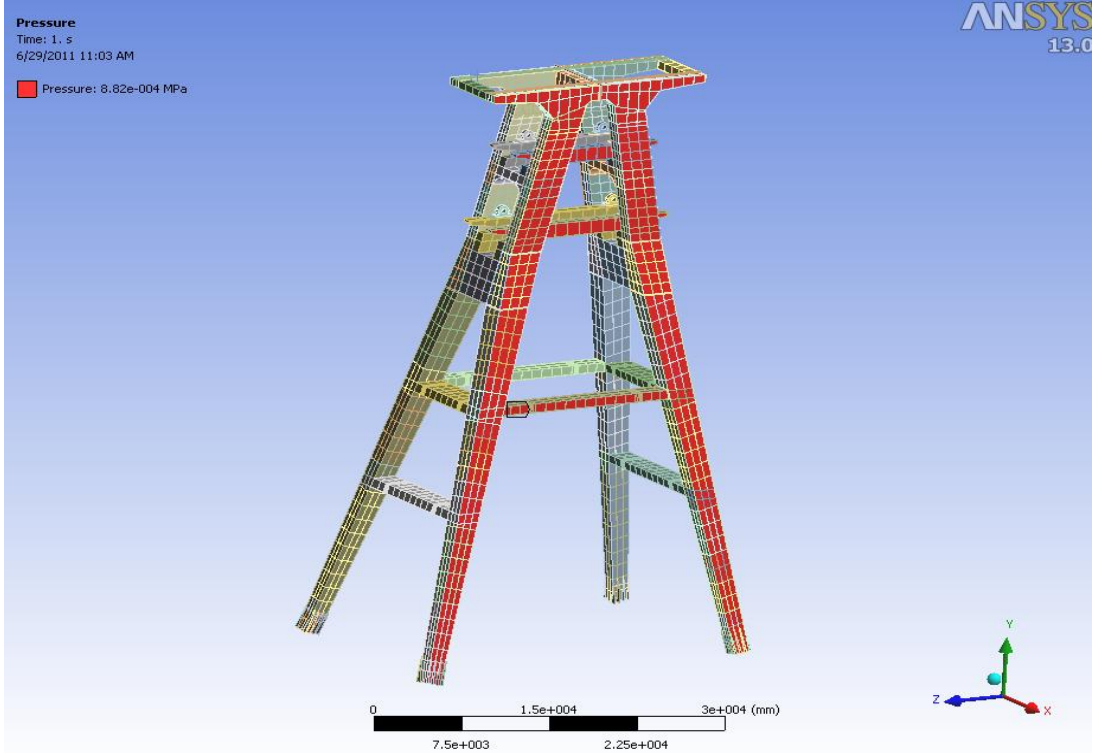
Vinç yükü (Şekil 4.21) olarak vincin 4 ayak basma bölgesine 196200 N (20 ton) toplamda 80 ton değerinde kuvvet uygulanmıştır. Bu analizde molet grubunun vinç yardımıyla yukarı çekilmesi sözkonusudur. Dolayısıyla 40 ton vinç kütlesine ek olarak 40 ton molet yükü gelir. Toplamda kule tepesine 80 ton yük etki ettirilmiştir.



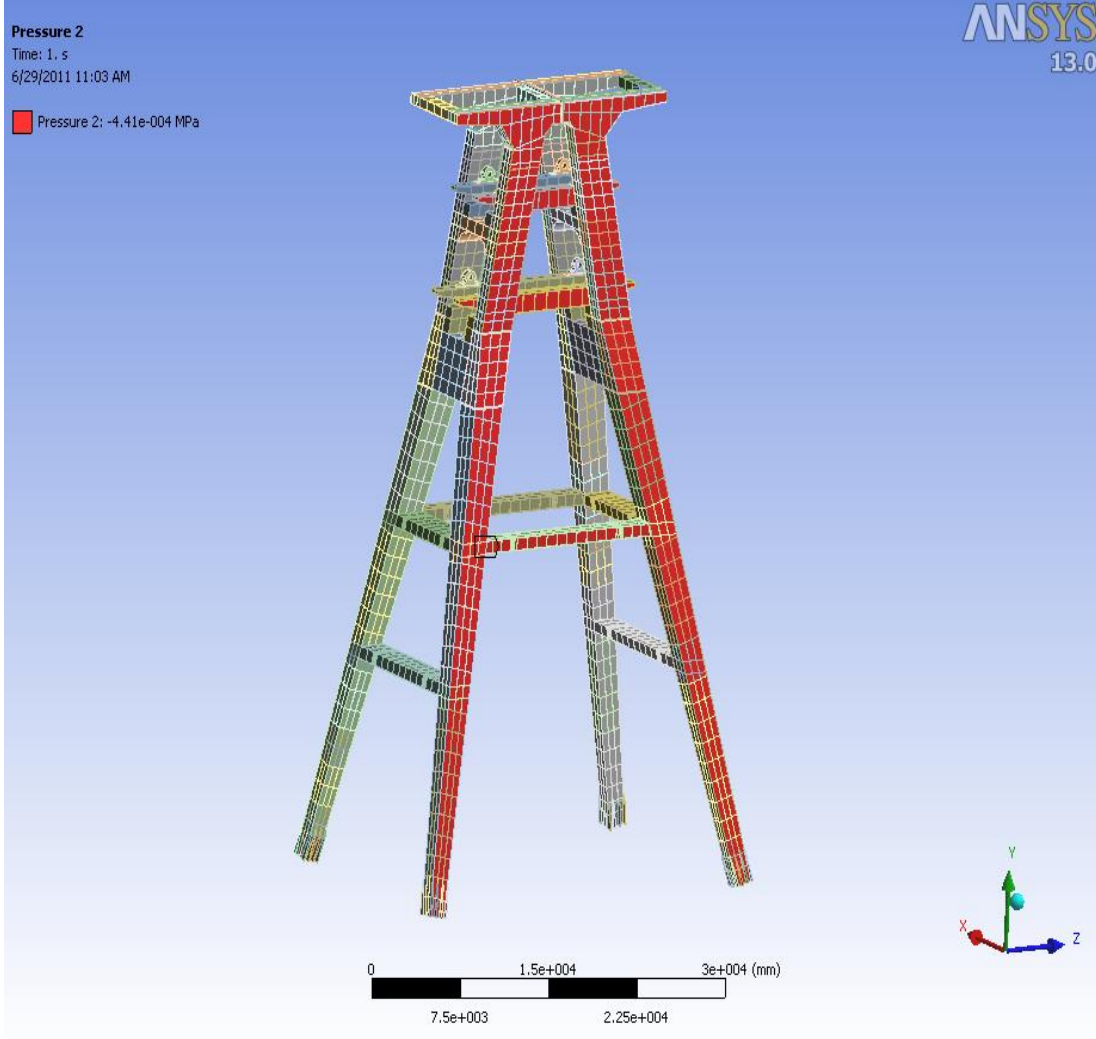
Şekil 4.21 : Vinç yükü (80 ton).

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya önden basma (Şekil 4.22) ve arkadan çekme (Şekil 4.23) olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır.



Şekil 4.22 : Rüzgar yükü (önden basma).



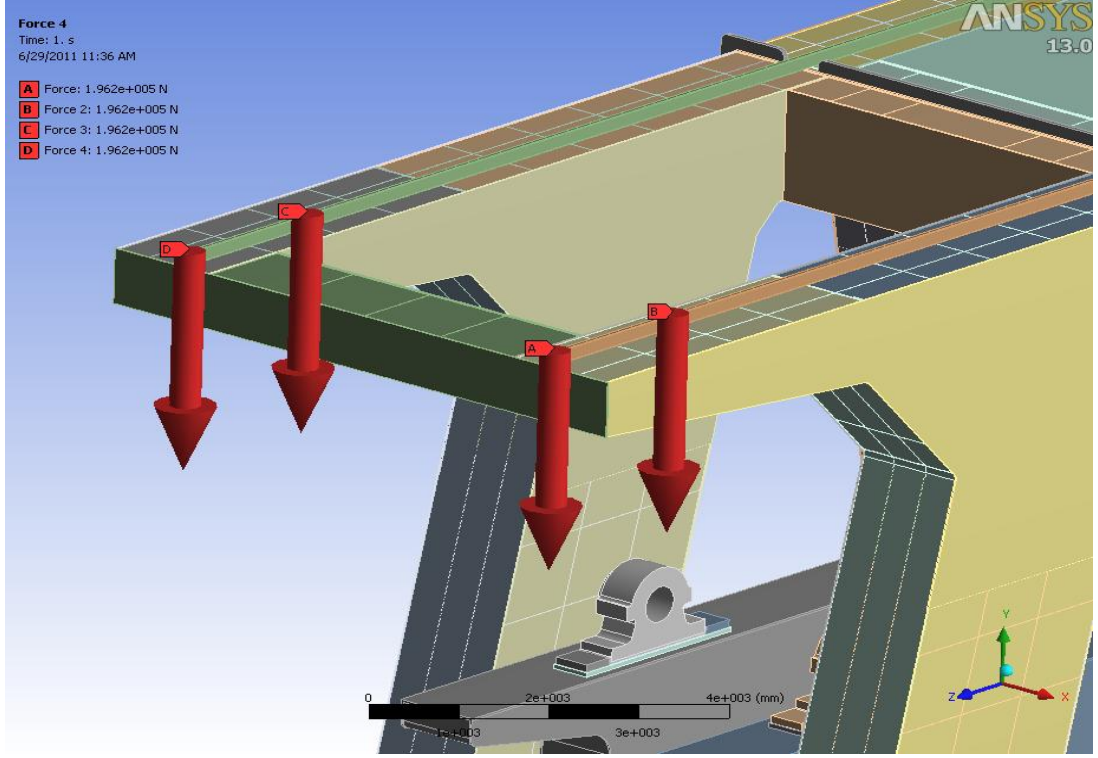
Şekil 4.23 : Rüzgar yükü (arkadan çekme).

4.3.4 Yükleme durumu 4

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgeden vinç yükü ve yandan etkiyen rüzgar yükü uygulanmıştır.

Vinç yükü;

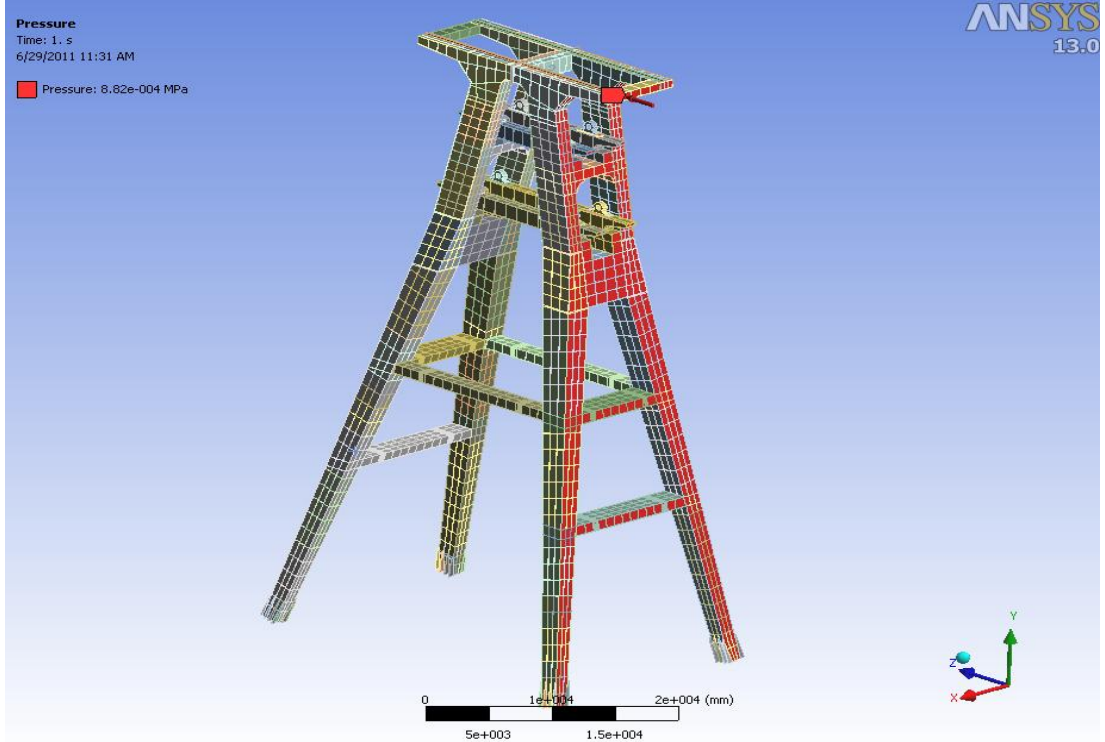
Vinç yükü (Şekil 4.24) olarak vincin 4 ayak basma bölgesine 196200 N (20 ton) toplamda 80 ton değerinde kuvvet uygulanmıştır. Bu analizde molet grubunun vinç yardımıyla yukarı çekilmesi sözkonusudur. Dolayısıyla 40 ton vinç kütlesine ek olarak 40 ton molet yükü gelir. Toplamda kule tepesine 80 ton yük etki ettirilmiş olur.



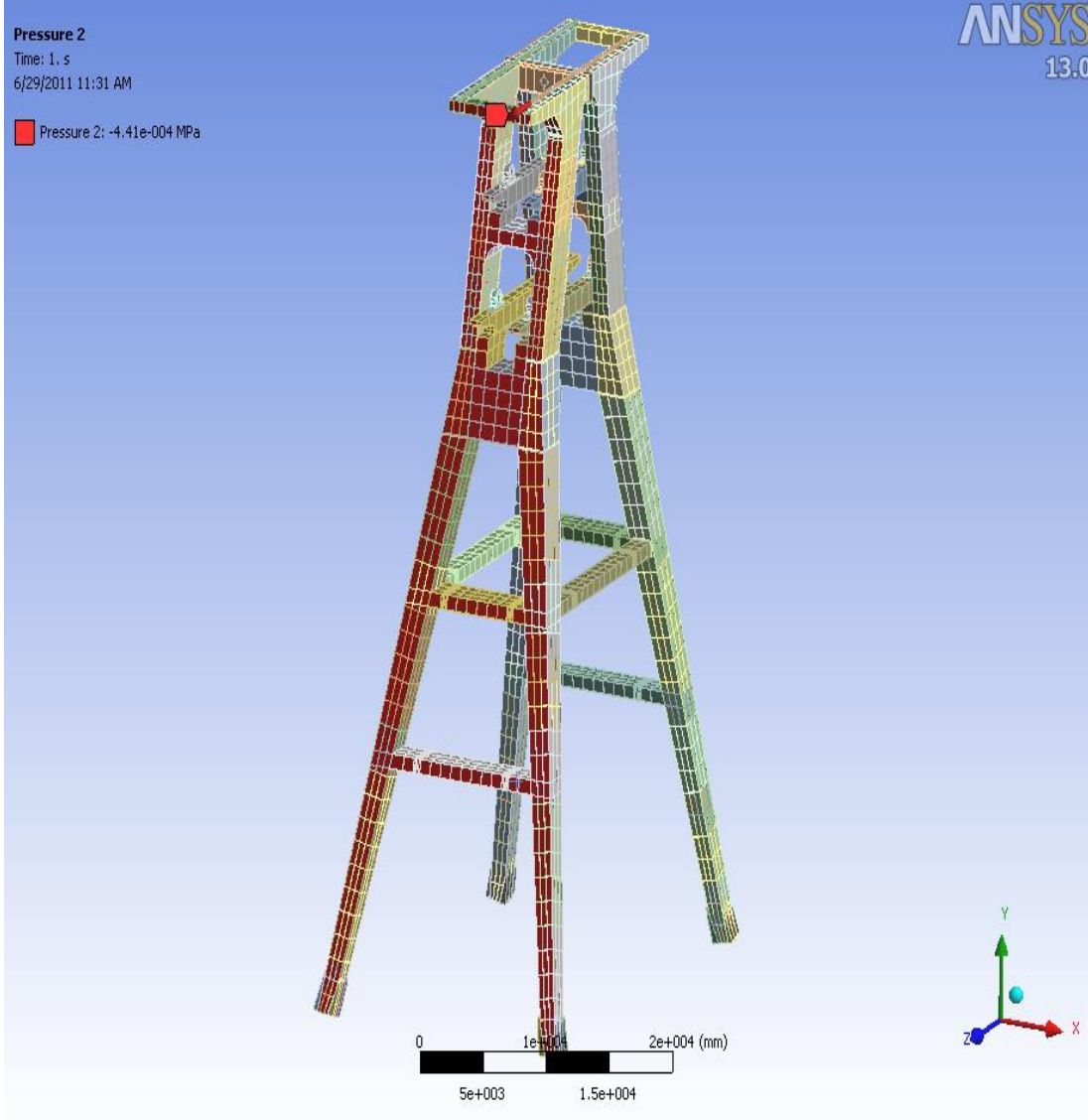
Şekil 4.24 : Vinç yükü (80 ton).

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya sağdan basma (Şekil 4.25) ve soldan çekme (Şekil 4.26) olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır.



Şekil 4.25 : Rüzgar yükü (sağdan basma).

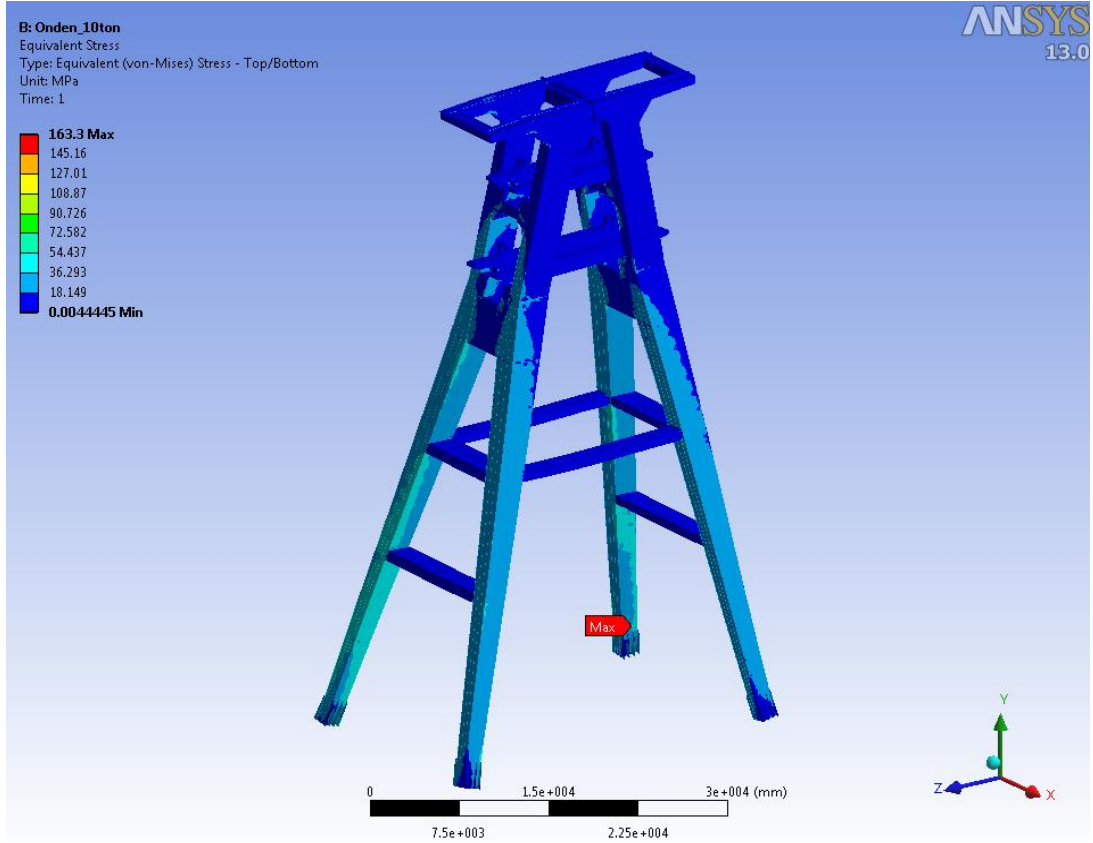


Şekil 4.26 : Rüzgar yükü (soldan çekme).

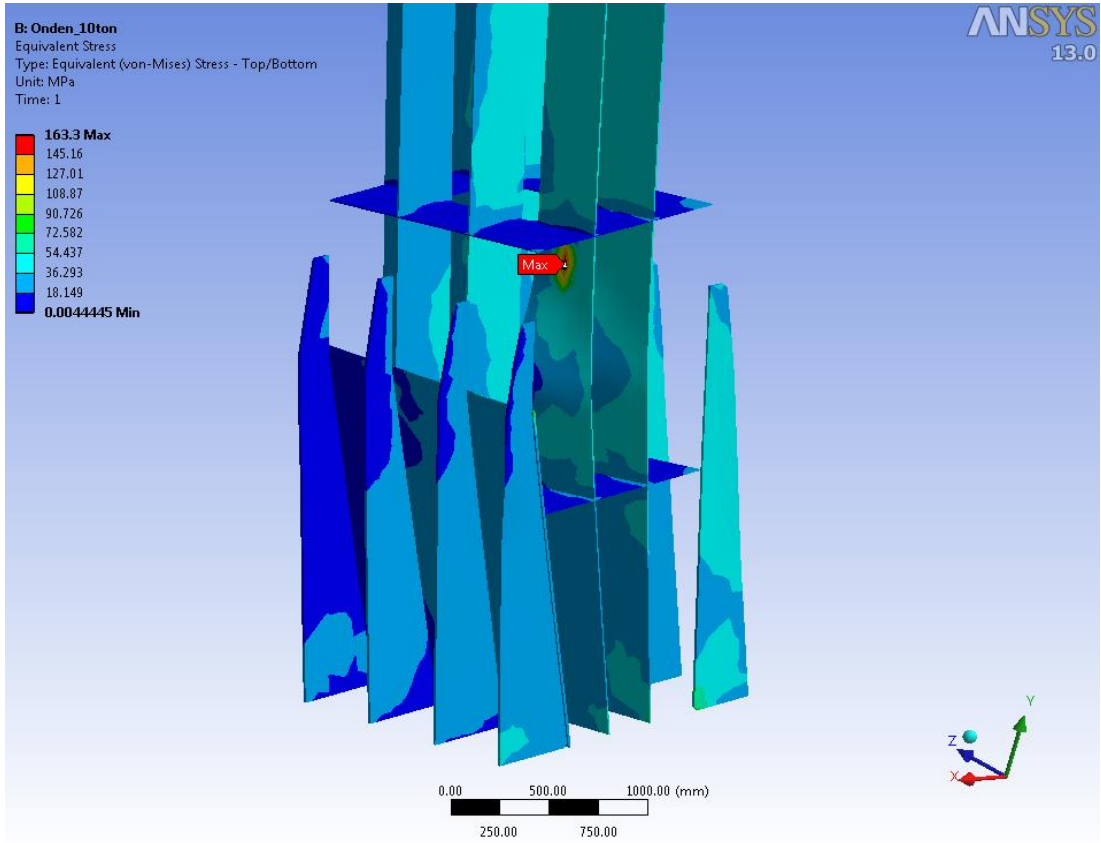
4.4 Sonuçlar

4.4.1 Yükleme durumu 1 sonucu

Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının ayak kısmında 163.3 MPa (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28), toplam yer değiştirme 15.738 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 100 kat abartılı gösterilmiştir.

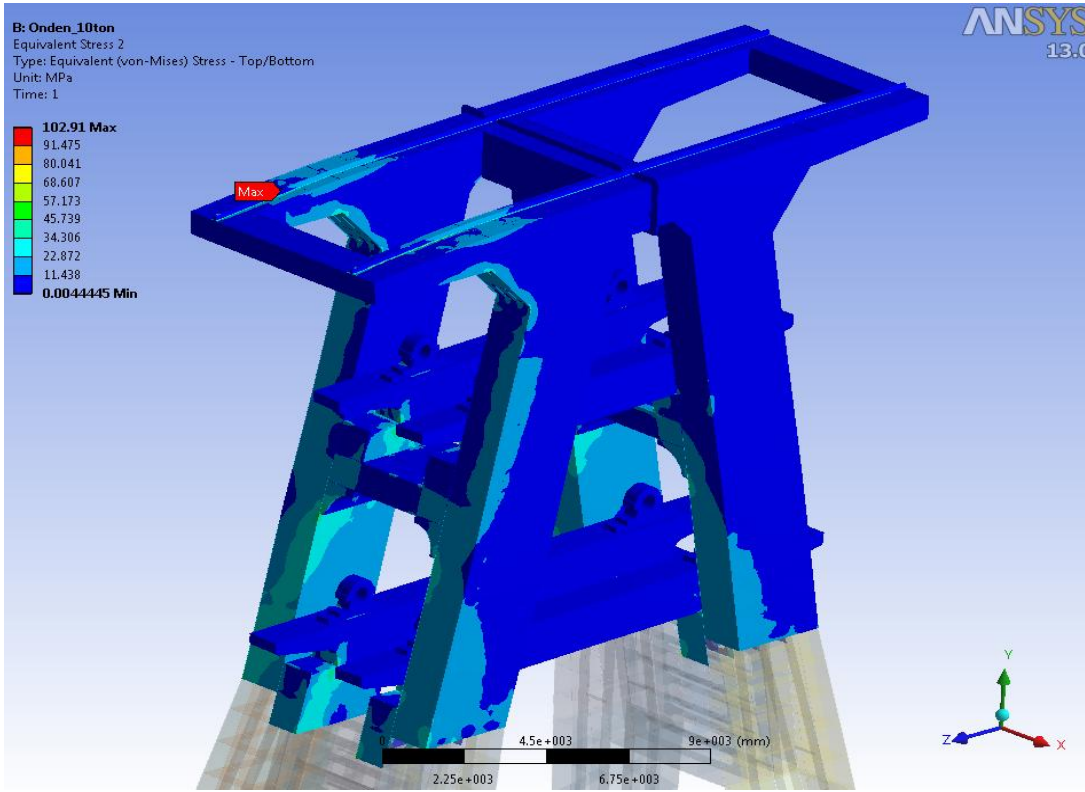


Şekil 4.27 : Eşdeğer gerilme.



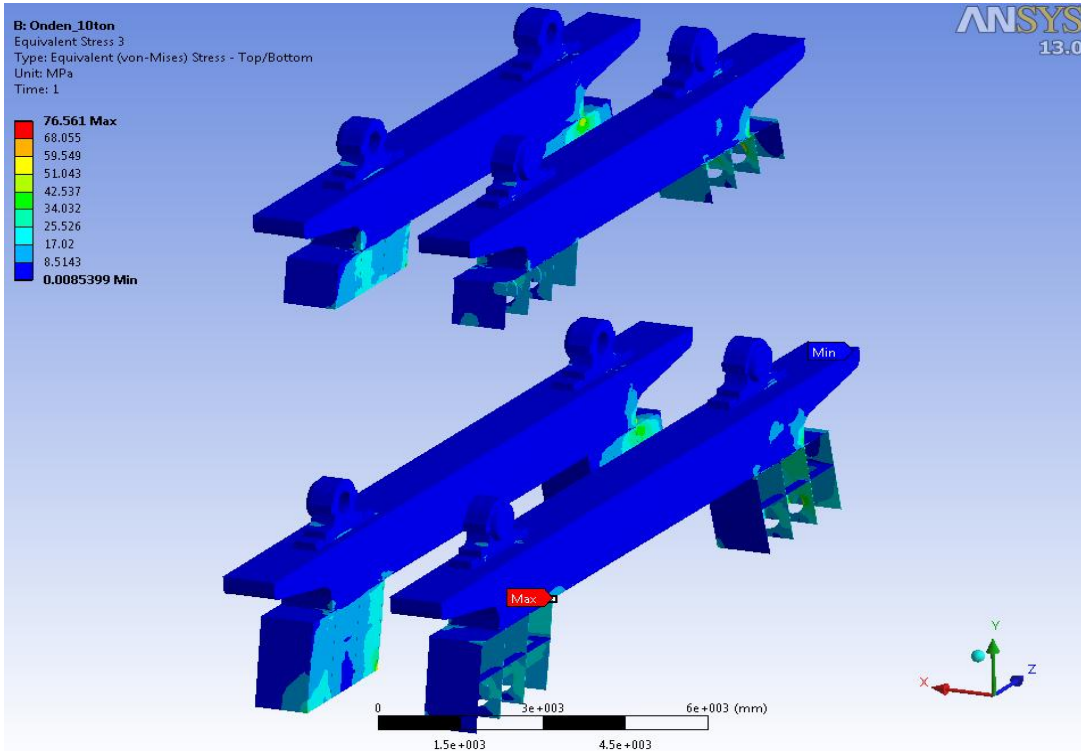
Şekil 4.28 : Maksimum eşdeğer gerilme.

Üst yapıda maksimum eşdeğer gerilme 102.9 N/mm^2 dir (şekil 4.29).



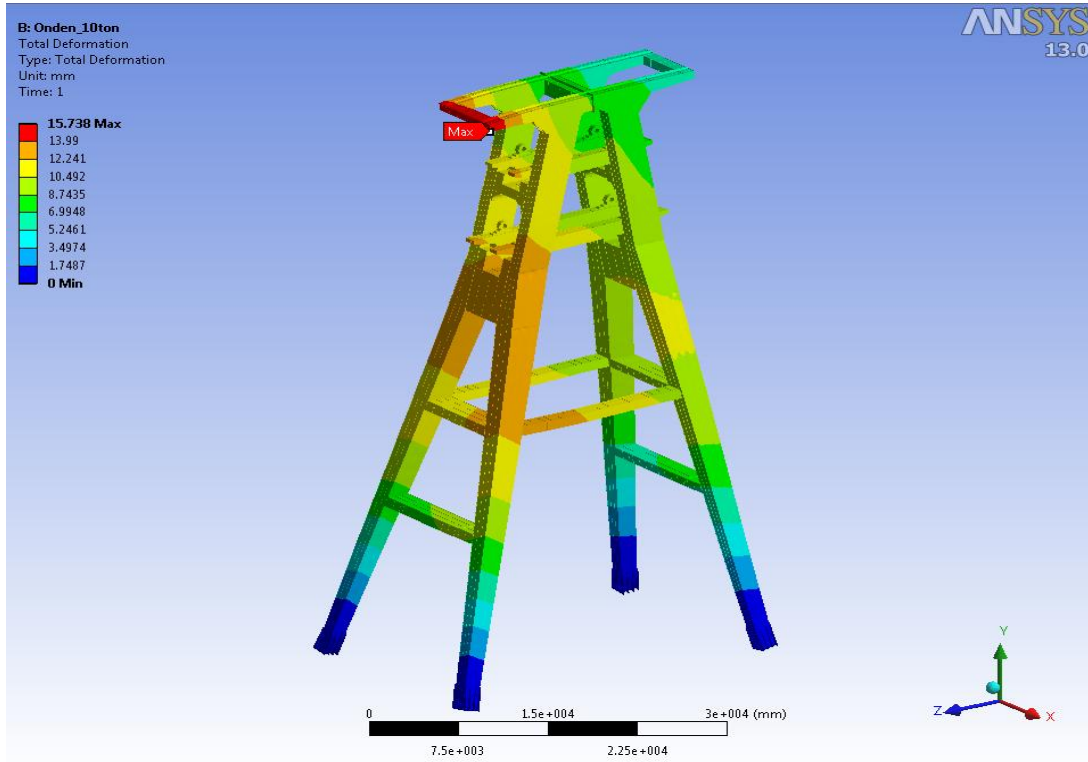
Şekil 4.29 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde maksimum eşdeğer gerilme 76.5 N/mm^2 dir (Şekil 4.30).



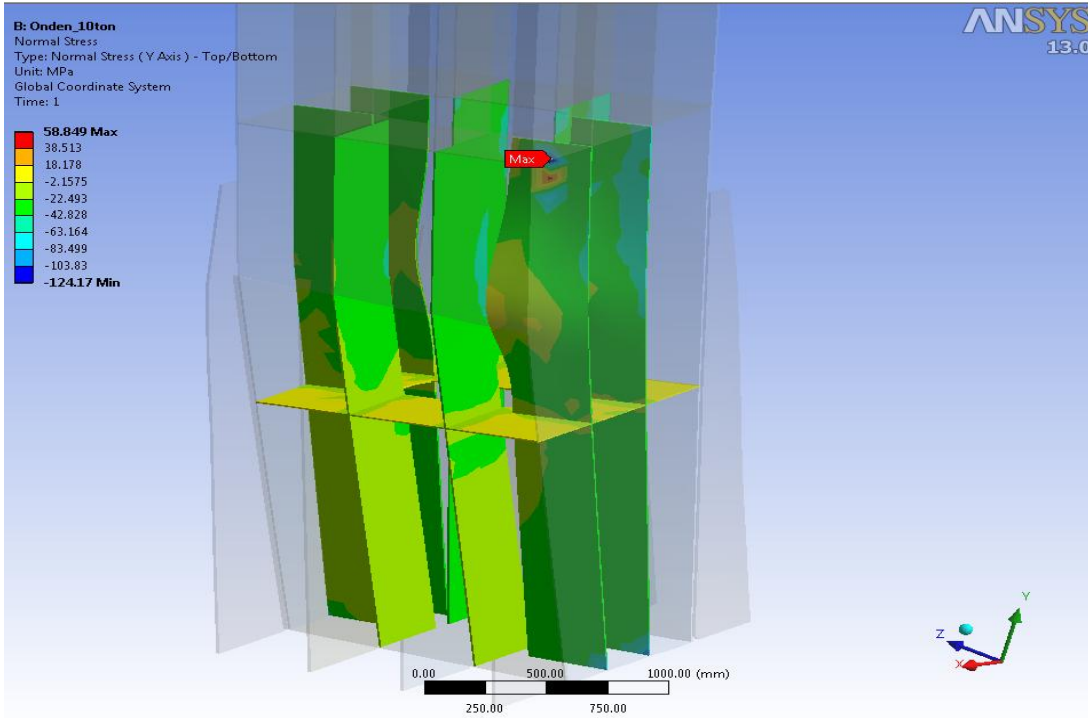
Şekil 4.30 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 15.7 mm olarak kule üst bölgesinde görülmüştür (şekil 4.31).



şekil 4.31 : Toplam yer değiştirme.

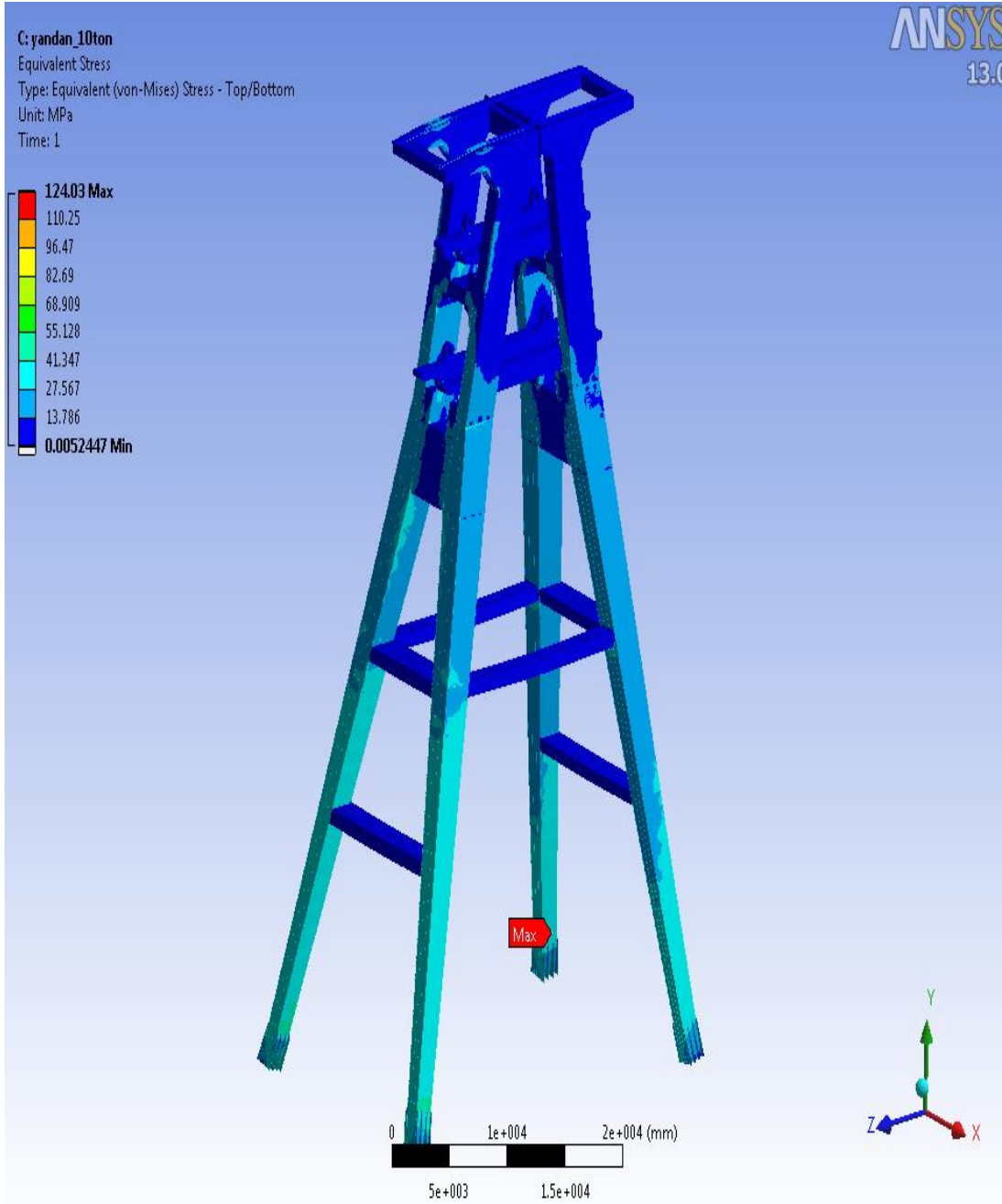
Y ekseninde oluşan maksimum gerilme 58.8 N/mm² ile ayak lamasında görülmüştür (şekil 4.32).



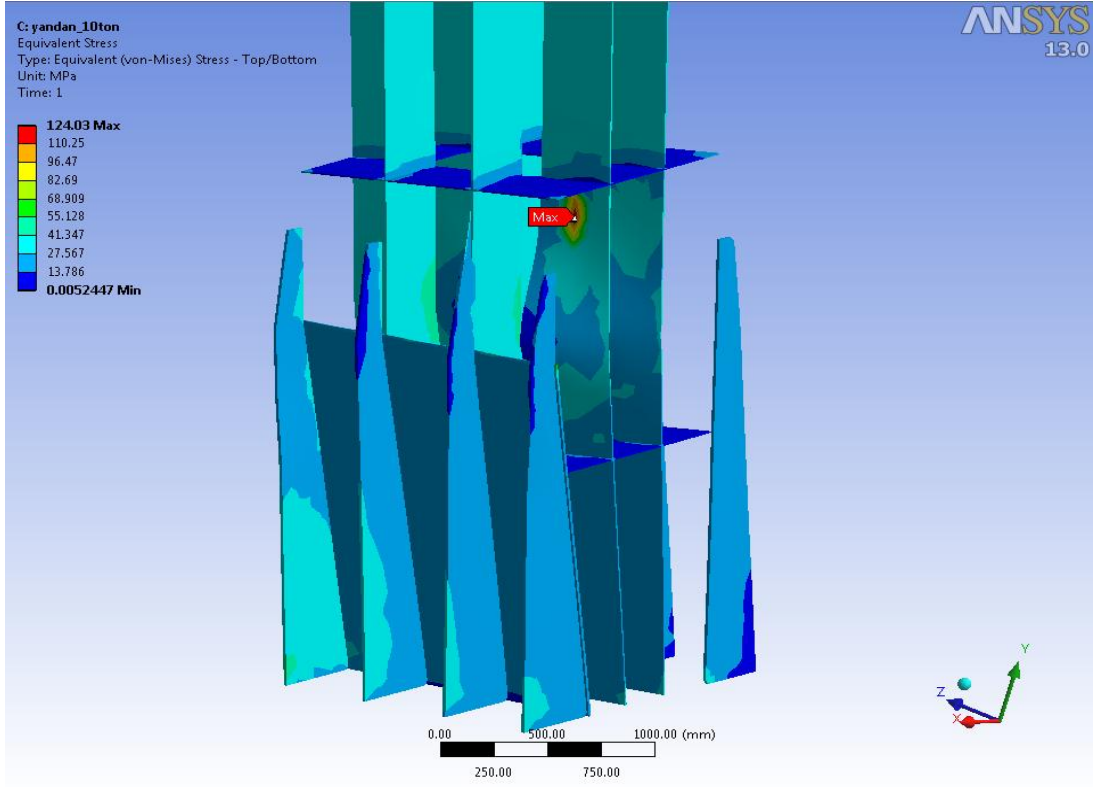
şekil 4.32 : Maksimum y eksenel gerilme.

4.4.2 Yükleme durumu 2 sonucu

Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının ayak kısmında 124.03 MPa (Şekil 4.33 ve Şekil 4.34), toplam yer değıştirme 12.151 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 126 kat abartılı gösterilmiştir.

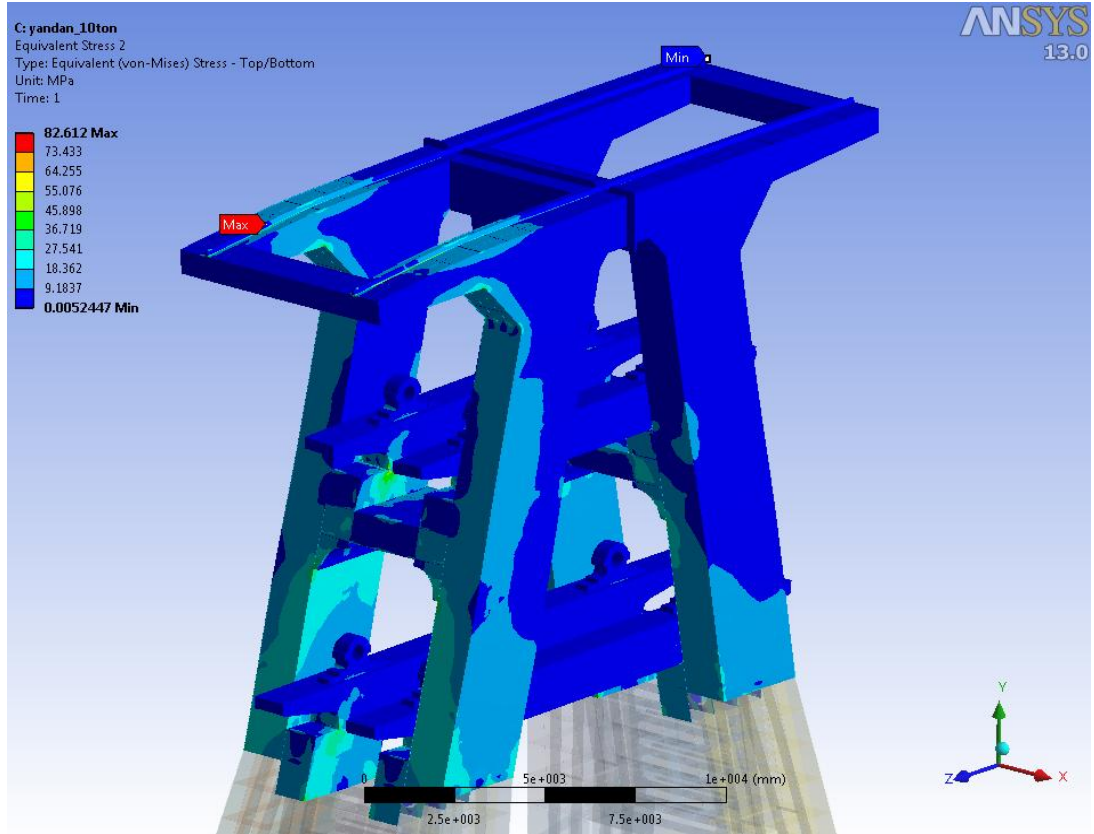


Şekil 4.33 : Eşdeğer gerilme.



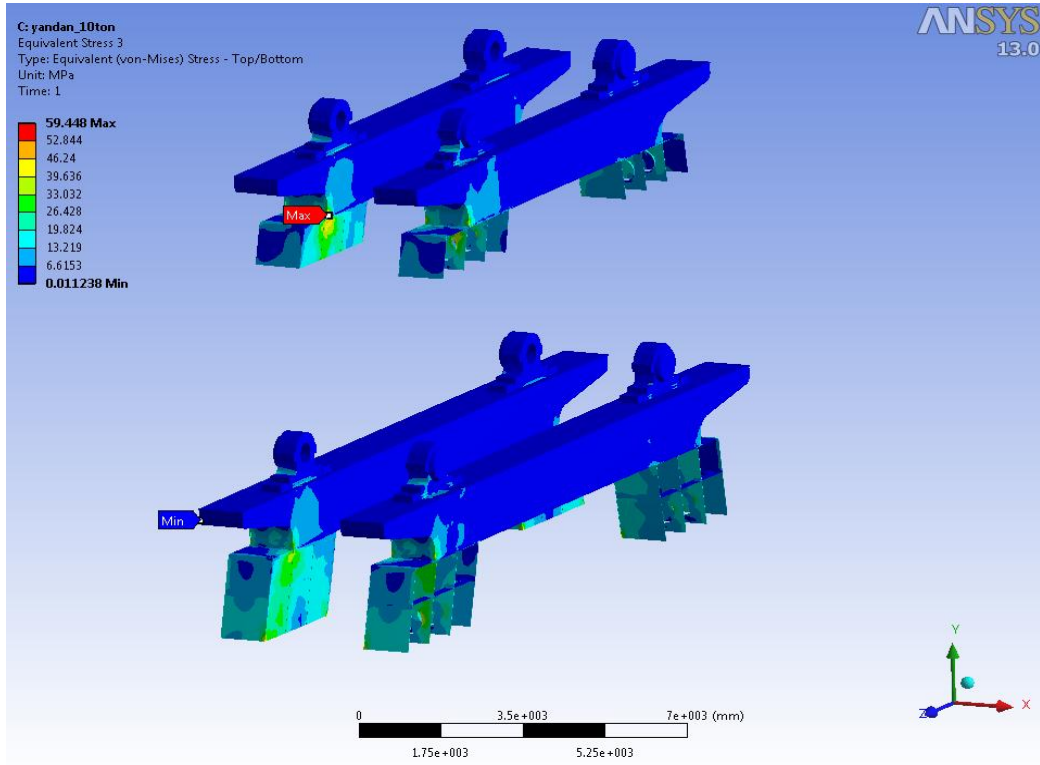
Şekil 4.34 : Maksimum eşdeğer gerilme.

Üst yapıda maksimum eşdeğer gerilme 82.6 N/mm^2 dir (Şekil 4.35).



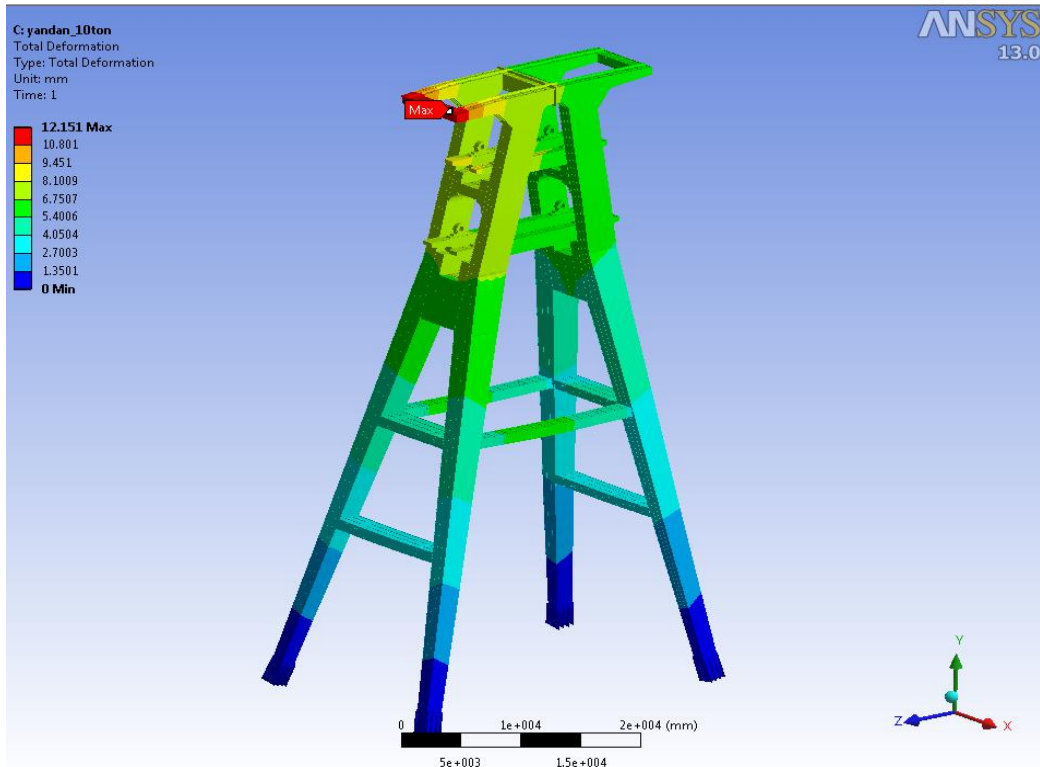
Şekil 4.35 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde maksimum eşdeğer gerilme 59.4 N/mm^2 dir (Şekil 4.36).



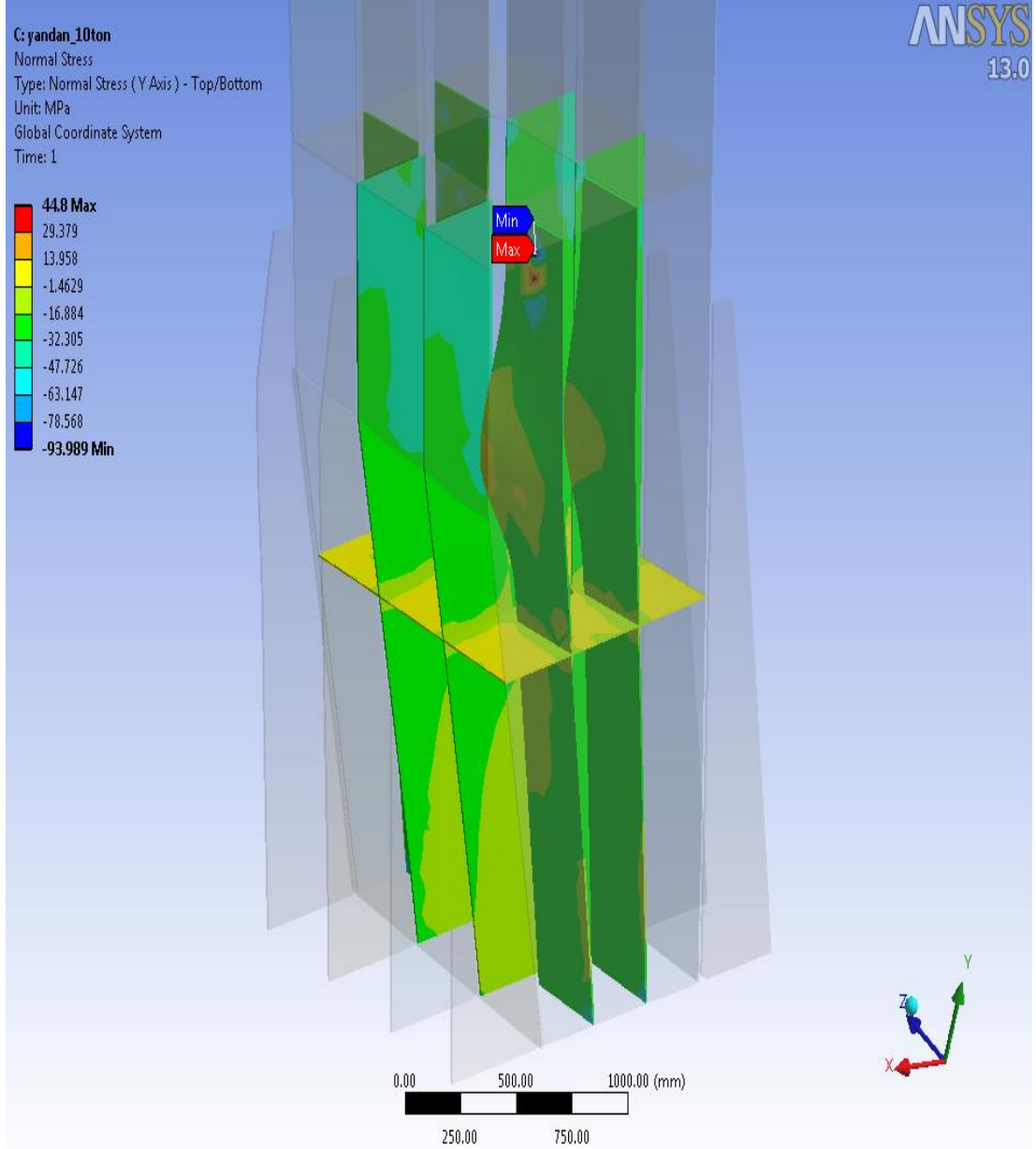
Şekil 4.36 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 12.1mm olarak kule üst bölgesinde görülmüştür (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 : Toplam yer değiştirme.

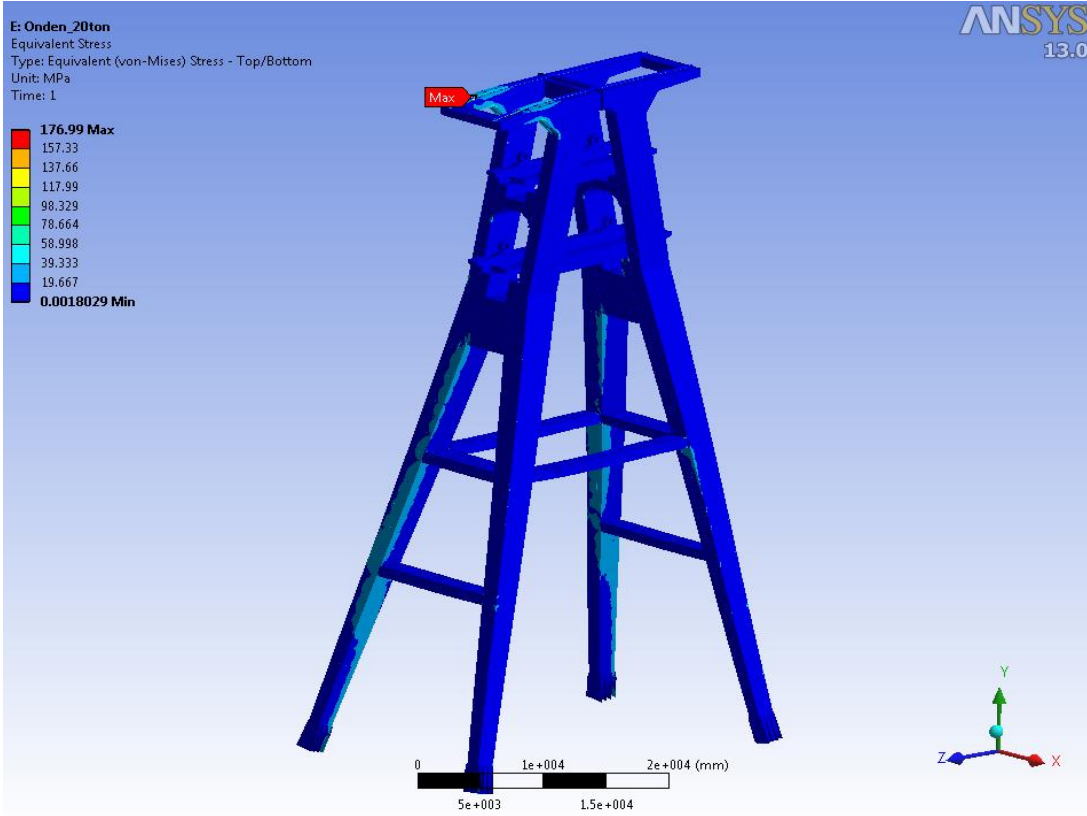
Y ekseninde oluşan maksimum gerilme 44.8 N/mm^2 ile ayak lamasında görülmüştür (Şekil 4.38).



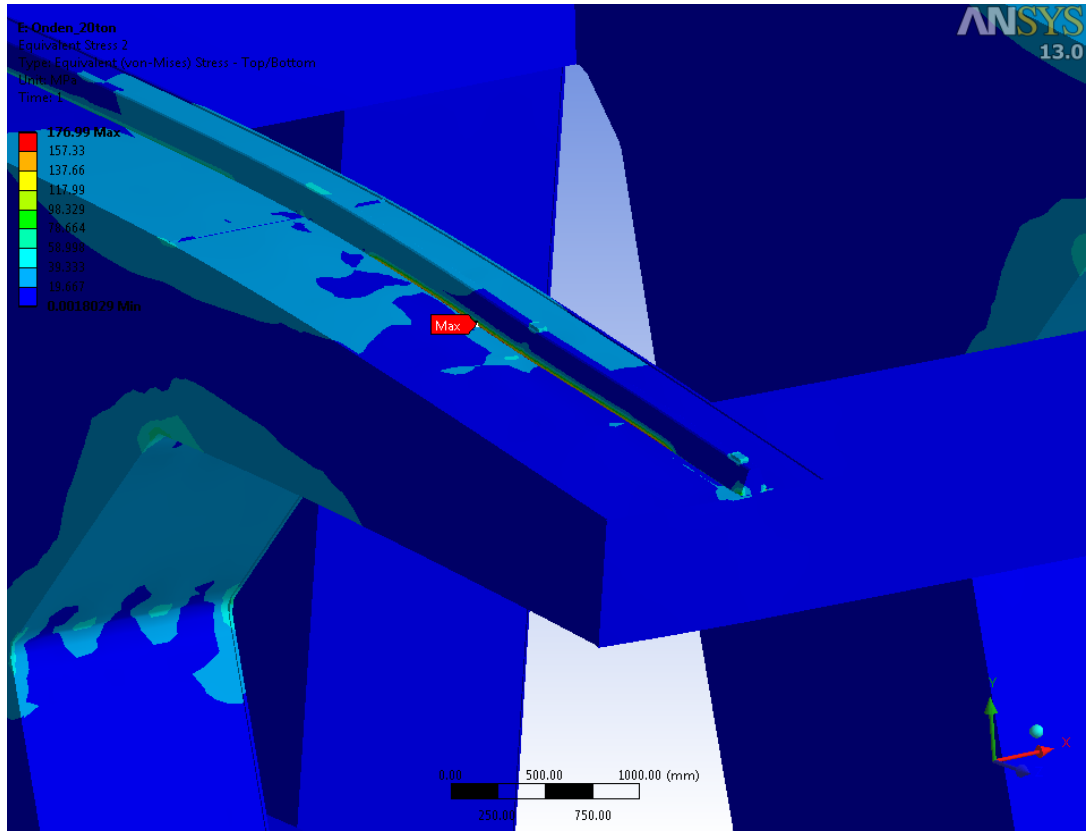
Şekil 4.38 : Maksimum y aksenal gerilme.

4.4.3 Yükleme durumu 3 sonucu

Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının üst kısmında 176.88 MPa (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40), toplam yer değiştirme 17.194 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 95 kat abartılı gösterilmiştir.

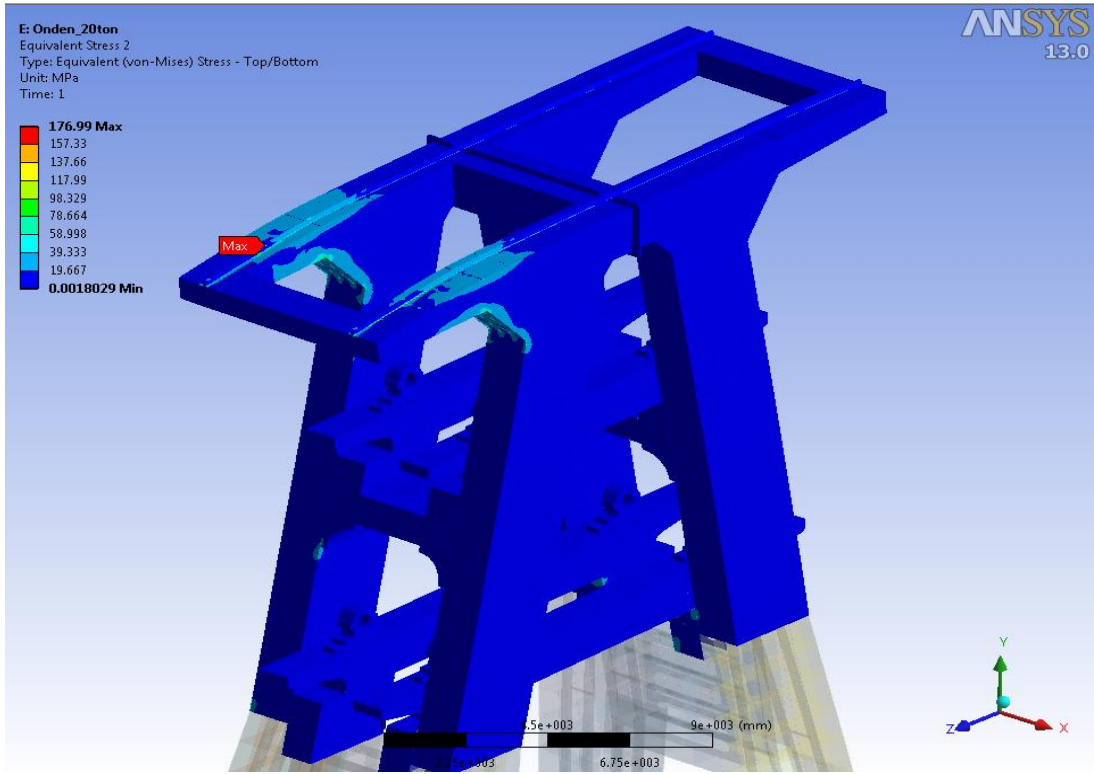


Şekil 4.39 : Eşdeğer gerilme.



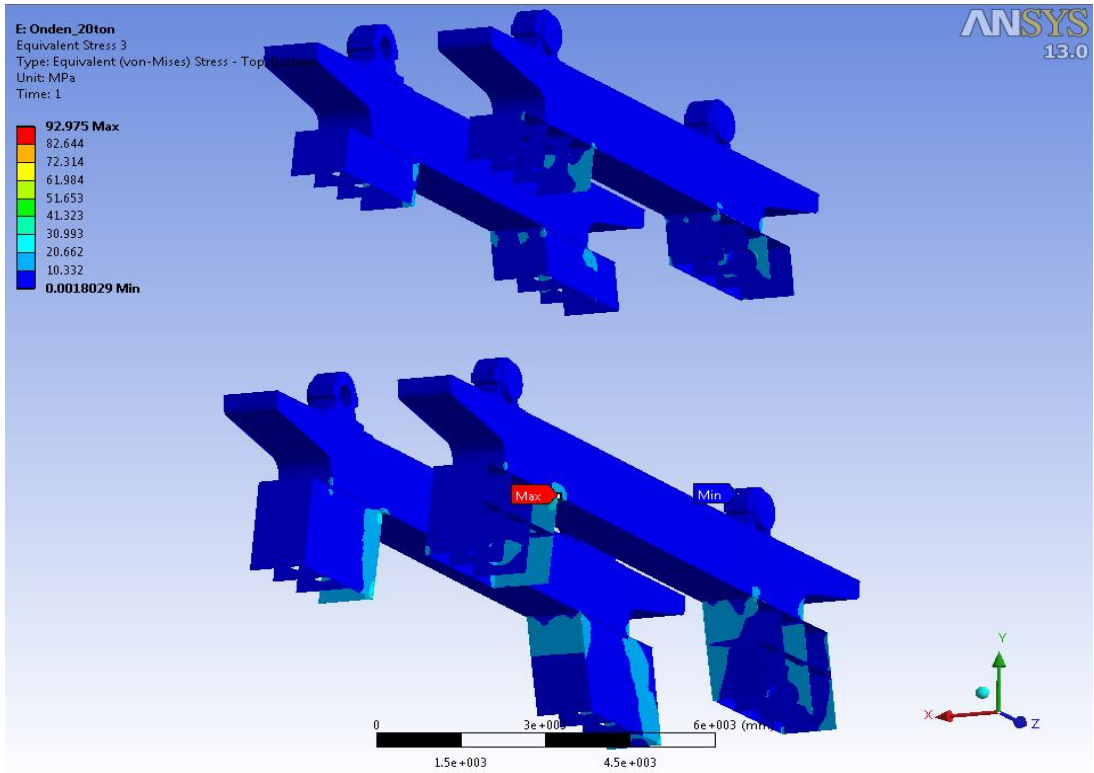
Şekil 4.40 : Maksimum eşdeğer gerilme.

Üst yapıda çıkan maksimum eşdeğer gerilme 176.9 N/mm^2 dir (Şekil 4.41).



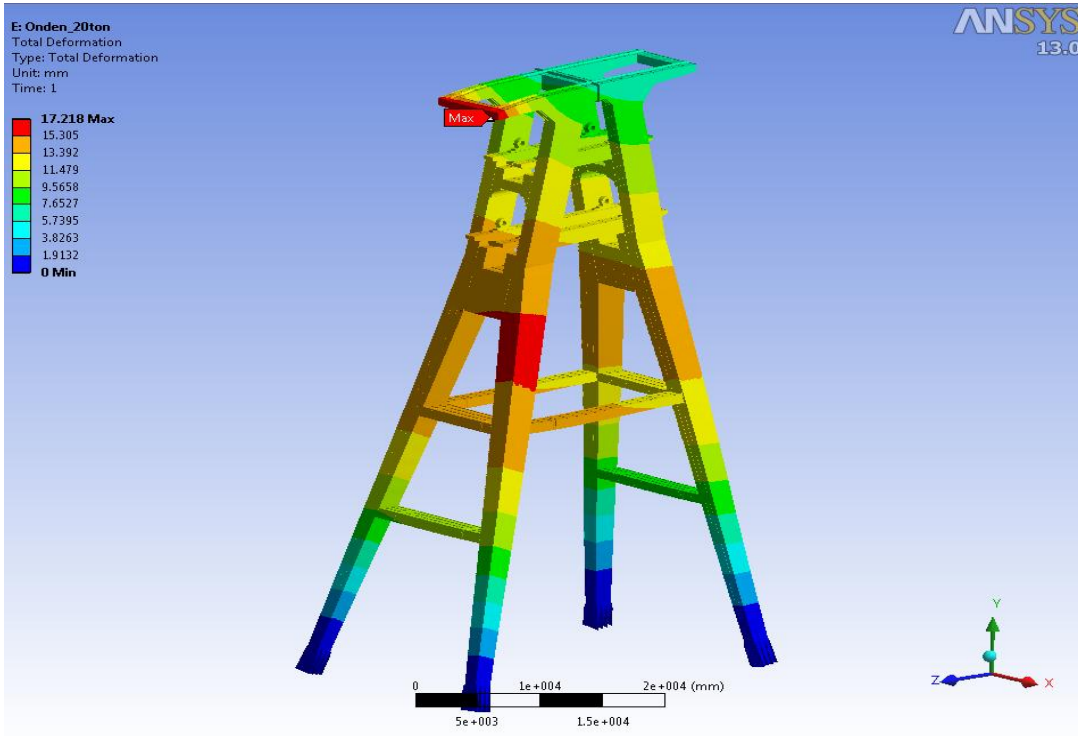
Şekil 4.41 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde maksimum eşdeğer gerilme 92.9 N/mm^2 dir (Şekil 4.42).



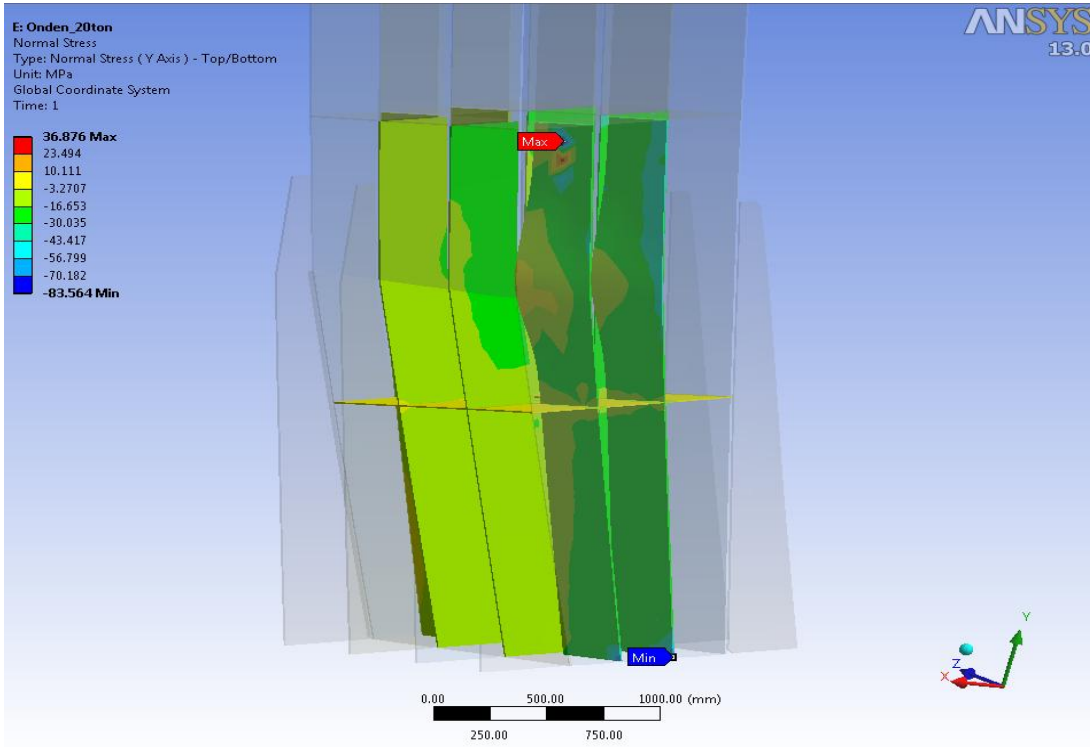
Şekil 4.42 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 17.2 mm olarak kule üst bölgesinde görülmüştür (şekil 4.43).



şekil 4.43 : Toplam yer değiştirme.

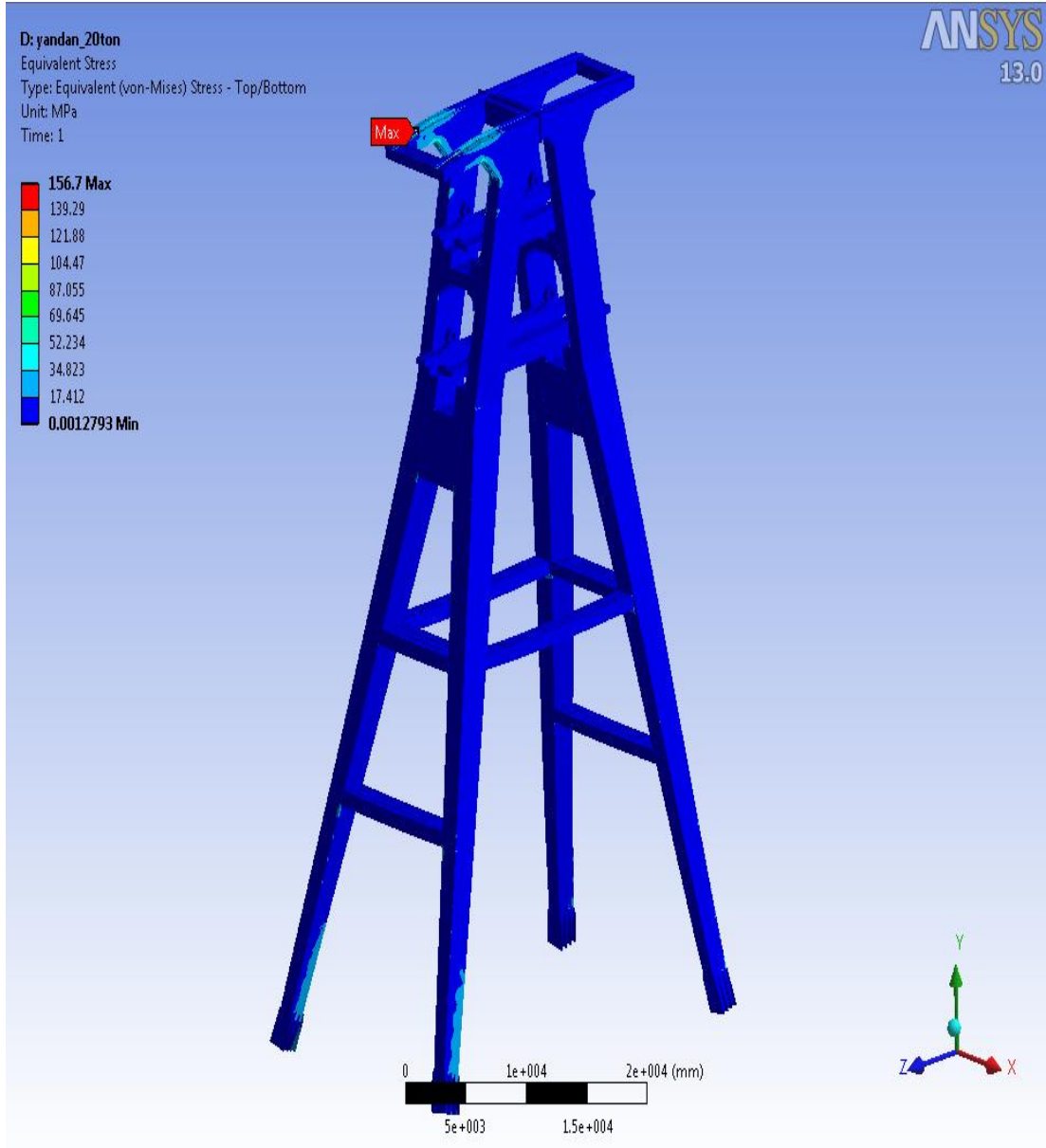
Y ekseninde oluşan maksimum gerilme 36.8 N/mm² ile ayak lamasında görülmüştür (şekil 4.44).



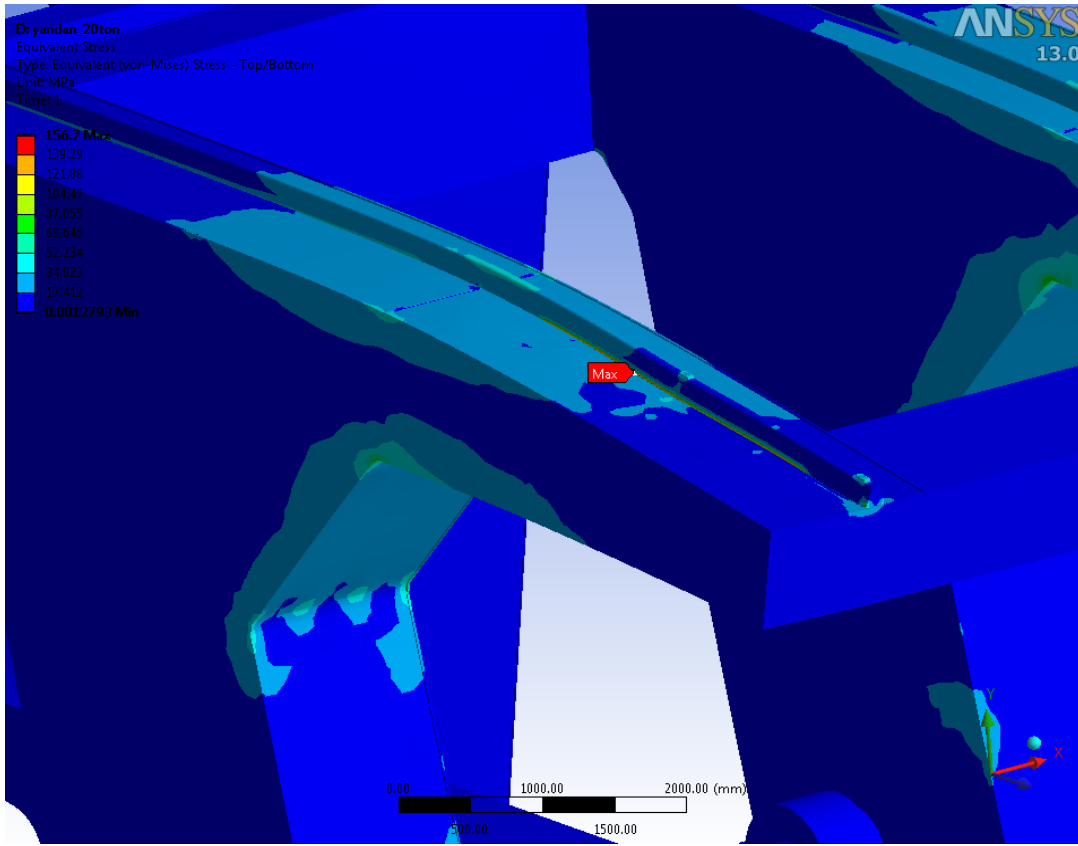
şekil 4.44 : Maksimum y eksenel gerilme değeri.

4.4.4 Yükleme durumu 4 sonucu

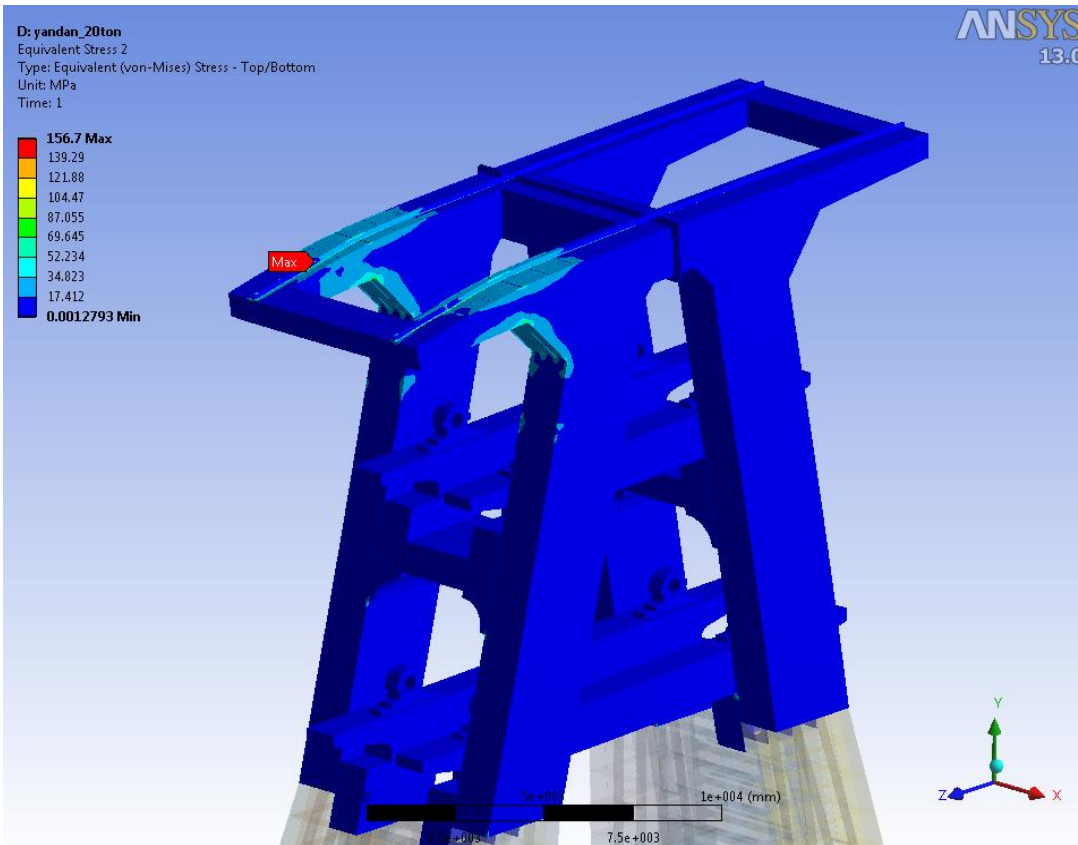
Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının üst kısmında 156.67 MPa (Şekil 4.45 ve Şekil 4.46), toplam yer değiştirme 12.808 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 118 kat abartılı gösterilmiştir.



Şekil 4.45 : Eşdeğer gerilme.

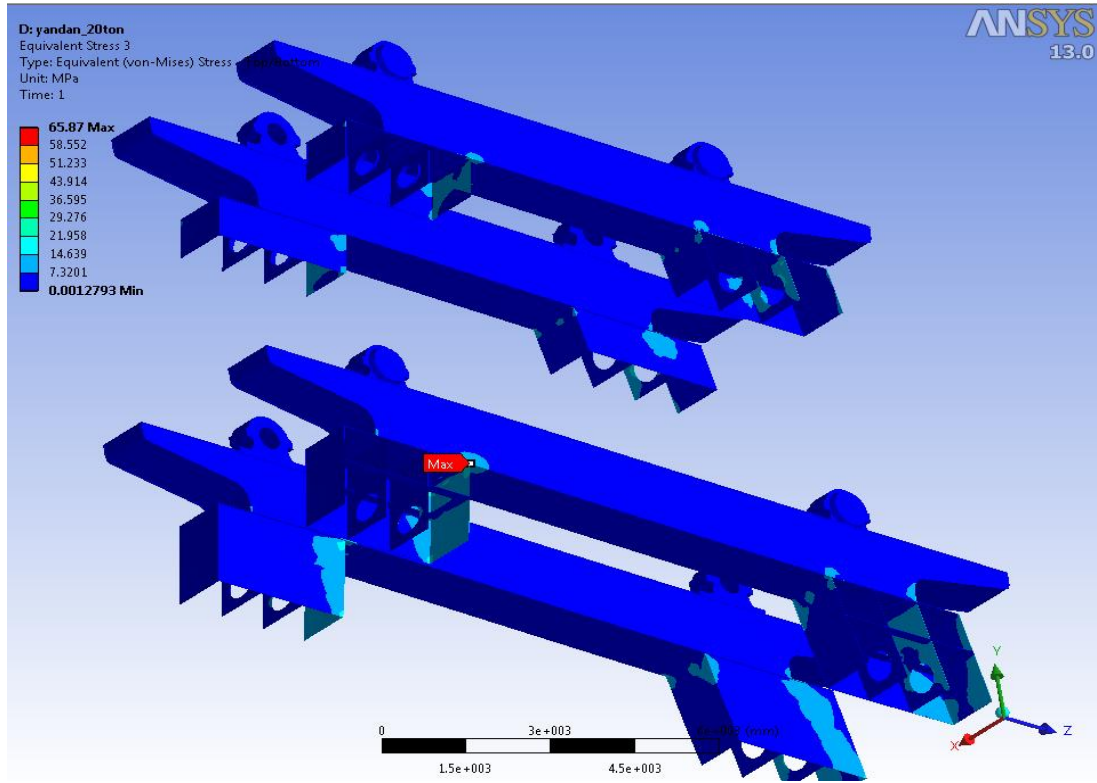


Şekil 4.46 : Maksimum eşdeğer gerilme.



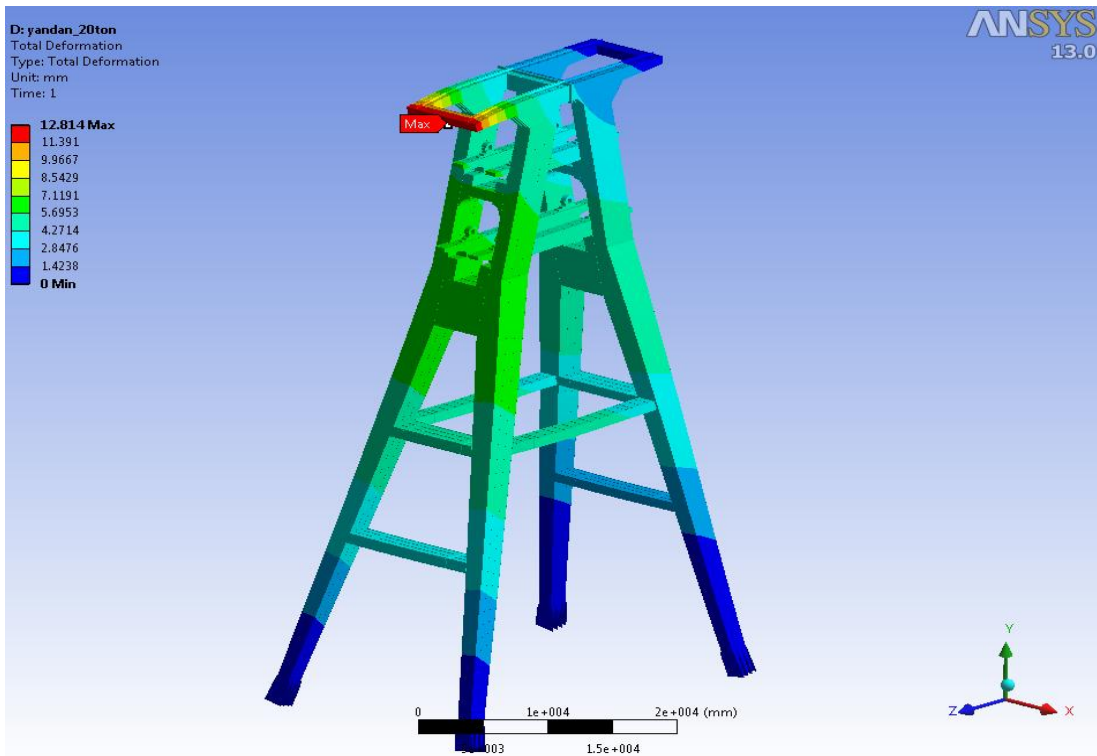
Şekil 4.47 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde maksimum eşdeğer gerilme 65.8 N/mm^2 dir (Şekil 4.48).



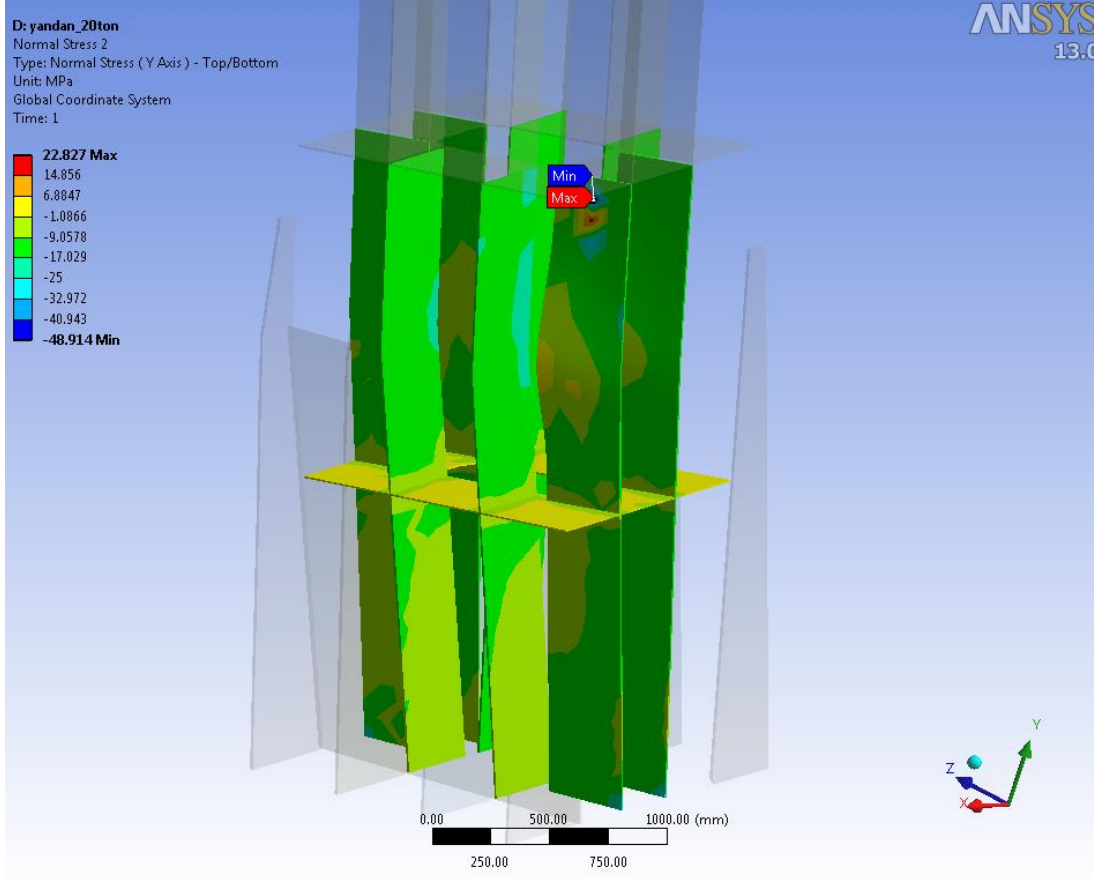
Şekil 4.48 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 12.8 mm olarak kule üst bölgesinde görülmüştür (Şekil 4.49).



Şekil 4.49 : Toplam yer değiştirme.

Y ekseninde oluşan maksimum gerilme 22.8 N/mm^2 ile ayak lamasında görülmüştür (Şekil 4.50).



Şekil 4.50 : Maksimum y aksenal gerilme değeri.

4.4.5 Burkulma analizi sonucu

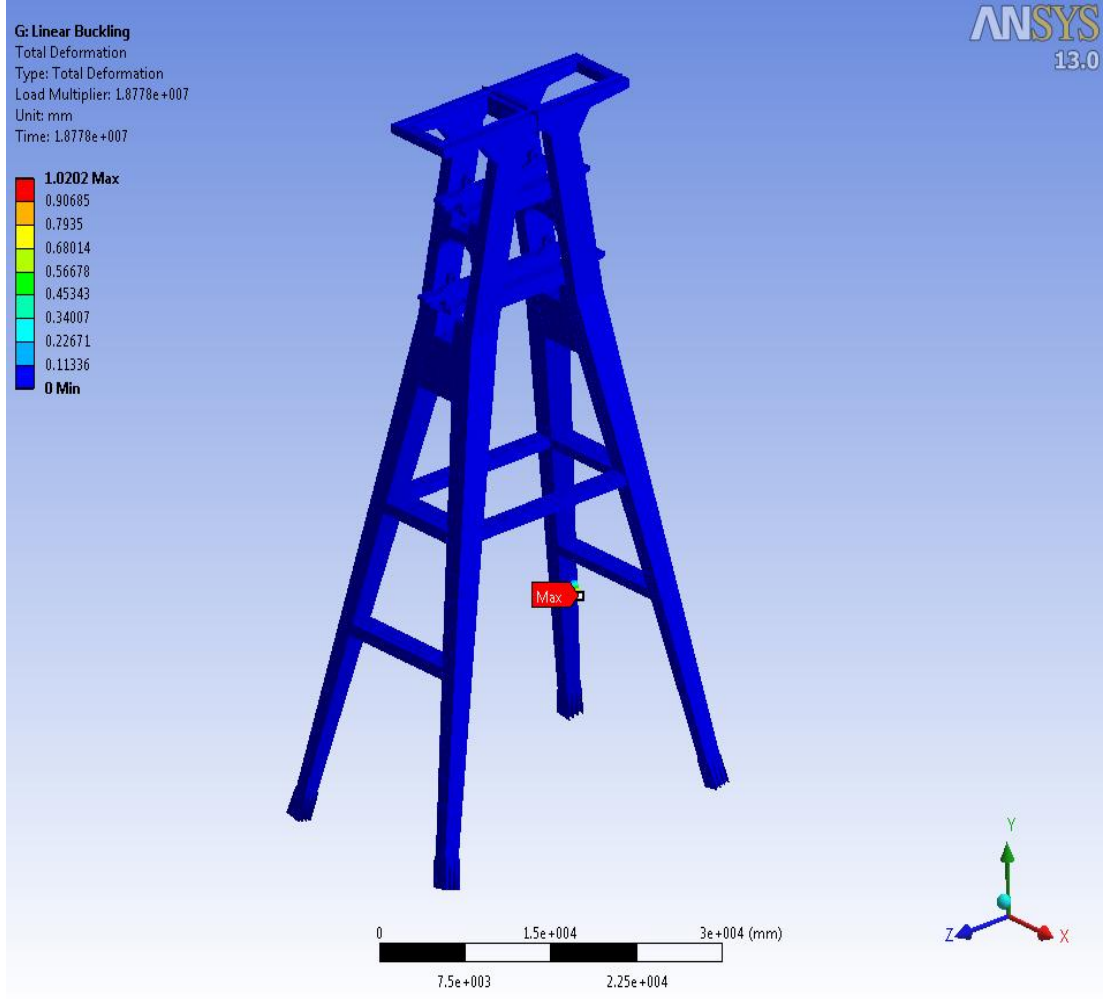
Burkulma analizi neticesinde yapının ilk 3 mod şekli hesaplanmıştır. Yapının burkulmaya maruz kaldığı ilk mod değeri 18778245 N olarak Şekil 4.51’de elde edilmiştir.

Analiz Lanczos algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bu algoritma; matris dekompozisyonunu kullanmayan ve sık olmayan matrislerden oluşan “power iterasyonunu” kullanarak, nonlinear sistemlerde eigen değerleri ve vektörlerini bulmaya yarayan bir algoritmadır. Sayısal olarak sabitleştirilmesi kolaydır ve mühendislik alanında geniş uygulamaya sahiptir. Kullanılan vektörlerin her derecede sadeleştirilmesi ile çözüm yapar.

***** EIGENVALUES (LOAD MULTIPLIERS FOR BUCKLING) *****
*** FROM BLOCK LANCZOS ITERATION ***

SHAPE NUMBER	LOAD MULTIPLIER
1	18778245.
2	19269021.
3	19364226.

Şekil 4.51 : Burkulma değerleri.



Şekil 4.52 : Birinci burkulma modu.

Burkulma analizi neticesinde minimum kuvvet değeri dikkate alınmış ve bu değerin elde edildiği bölgedeki aksenal gerilme değerleri ile karşılaştırılarak burkulma faktörü hesaplanmıştır.

Burkulmaya maruz kalan ilk bölgede elde edilen maksimum düşey gerilme değeri 124.17 MPa olarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}\text{Maksimum gerilme bölgesi kesit alanı} &= 4000 \text{ mm}^2 \\ \text{Maksimum gerilme değeri} &= 124,17 \text{ MPa} \\ \text{Maksimum gerilme bölgesine gelen yük} &= 4000 \times 124,17 = 496680 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\text{Analiz neticesinde elde edilen min. burkulma kuvveti} = 18778245 \text{ N}$$

$$\text{Burkulma faktör değeri} = 18778245 / 496680 = 37,8$$

Bu değeri yorumlamak gerekirse;

Şövelmanın burkulmaya karşı en zayıf olduğu yer Şekil 4.52 de görüldüğü üzere arka ayağındadır. Ve bu noktadan kulenin burkulması için gerekli olan yük 1878 ton dur.

Ve bu oluşması gereken yük şu an bu noktada çıkan maksimum değer olan 49,7 tondan 37,8 kat fazladır.

Sonuç olarak oradaki gerilme değeri 2.21 kat artıp akma değerine gelse bile,

$$\frac{275}{124,17} = 2,21 \quad (4.1)$$

burkulmaya karşı 17,1 kat emniyetli olacaktır.

$$\frac{37,8}{2,21} = 17,1 \quad (4.2)$$

Yani dizaynı yapılan sistemde, geometrisi dolayısıyla burkulmadan önce saclarda akma gerçekleşecektir.

5. MADEN KULESİNİN ANSYS PROGRAMI İLE DEPREM ANALİZİ

Bu bölümde katı modeli Solidworks programı ile hazırlanıp yüzey elemanlarına çevrilen, sonlu elemanlar modeli Ansys ile gerçekleştirilen şövelman yapısının tanımlı 2 farklı yük altındaki nonlinear statik deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler malzeme plastik dasetası kullanılarak ve large deflection özellikleri açılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda yapının en kritik gerilme değeri ikinci analiz; yükleme durumu 6'da; 151.65 MPa olarak bulunmuştur. Ve maksimum yer değıştirme 6.2542mm olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin belirtilen yükleme koşullarında gerekli mukavemeti sağladığı saptanmıştır.

5.1 Temel Veriler

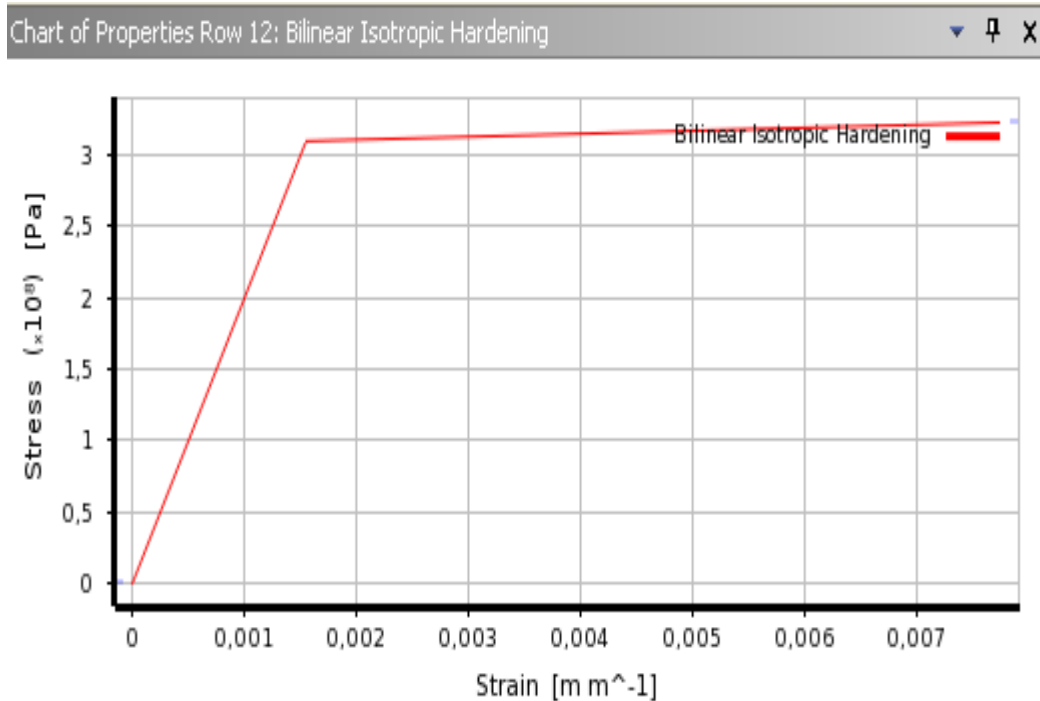
Hazırlanan Solidworks modeli statik analiz ve deprem analizi için ortak olarak kullanıldığından temel veriler ve modelin kurulması kısımları; 4. Bölümdeki temel veriler ve modelin kurulması kısmı ile aynıdır. Birimler, koordinat sistemi, kullanılan elemanlar ve sınır koşulları bu bölümden okunabilir.

5.1.1 Genel veriler

Hesaplaması yapılan sistemde S275J0 çelik malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin materyal özellikleri aşağıda belirtilmiştir Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).

	Density	7850	kg m ⁻³
	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
	Isotropic Elasticity		
	Derive from	Young's Modulu...	
	Young's Modulus	2E+11	Pa
	Poisson's Ratio	0,3	
	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
	Bilinear Isotropic Hardening		
	Yield Strength	310	MPa
	Tangent Modulus	2100	MPa
	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
	Strain-Life Parameters		
	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Şekil 5.1 : Malzeme özellikleri.



Şekil 5.2 : Bilinear malzeme özellikleri.

5.1.2 Birimler

Bak. Birimler (4.1.2)

5.1.3 Koordinat sistemi

Bak. Koordinat sistemi (4.1.3)

5.2 Modelin Kurulması

5.2.1 Kullanılan elemanlar

Bak. Kullanılan elemanlar (4.2.1)

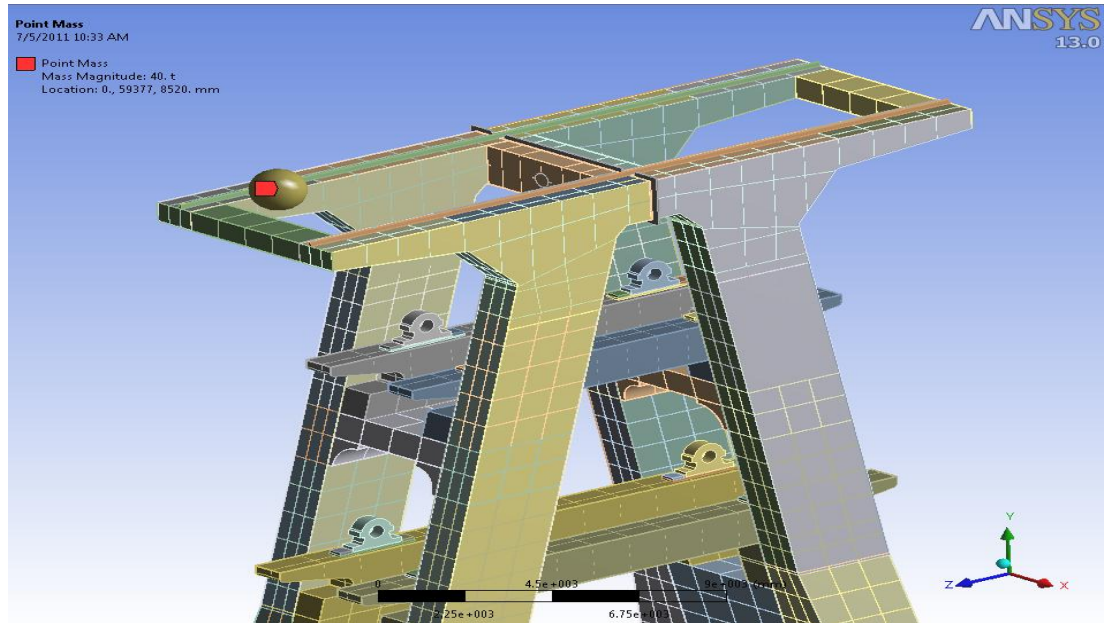
5.2.2 Sınır koşulları

Bak. Sınır koşulları (4.2.2)

5.3 Yükleme Durumları

Hazırlanan sonlu elemanlar modeli ile iki farklı yükleme durumu için (yükleme durumu 5 ve yükleme durumu 6), analizler gerçekleştirilmiştir. Bütün analizlerde 0.45g deprem yükü sisteme etki ettirilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Her iki yükleme durumunda da vinç yükü olarak yapının üst bölgesine 40 tonluk noktasal kütle yerleştirilmiştir (Şekil 5.3). Bu noktasal kütle koordinatlarına uygun bir şekilde oluşturularak basma bölgelerinden sisteme bağlanmıştır.



Şekil 5.3 : Vinç kütlesi.

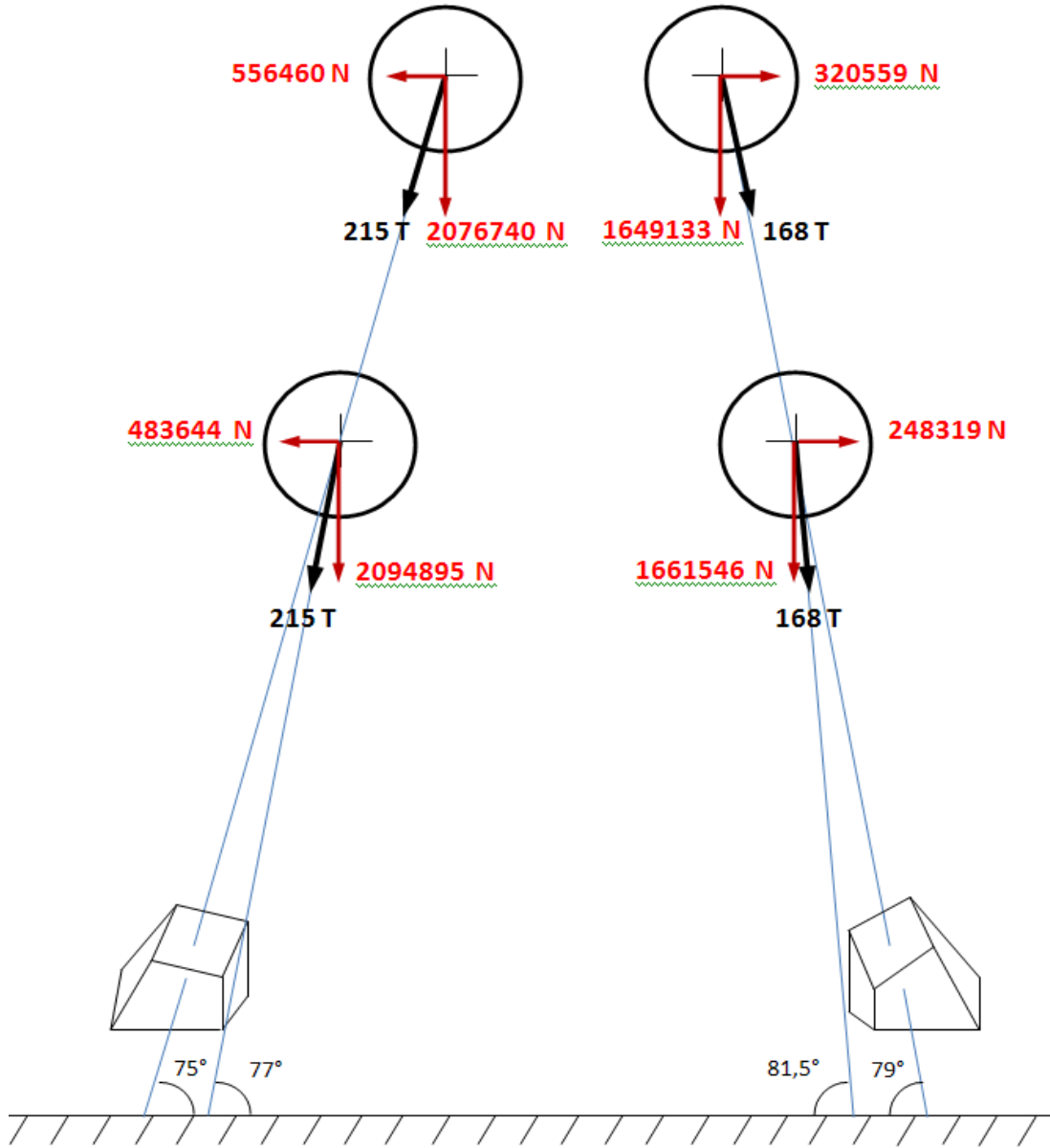
Deprem ivmesi yatay yönde 4415 mm/s^2 ($0.45g$) olarak uygulanmıştır.

Yapılan iki yükleme durumunda da yapıya rüzgâr yükü uygulanmıştır. Bu yükleme önden (hem önden hem de arkadan) ve yandan (hem sağdan hem soldan) olmak üzere 2 farklı şekilde uygulanmıştır. Rüzgar yükü yapıya uygulandığı yönde yapının ön tarafından basma arka tarafından çekme oluşturacak şekilde uygulanmıştır.

$$P_{\text{basma}} = 882.10^{-6} \text{ MPa}$$

$$P_{\text{çekme}} = 441.10^{-6} \text{ MPa}$$

Çekme yükü molet merkezlerinden halat akselleri baz alınarak Şekil 5.4'de belirtildiği şekilde uygulanmıştır.



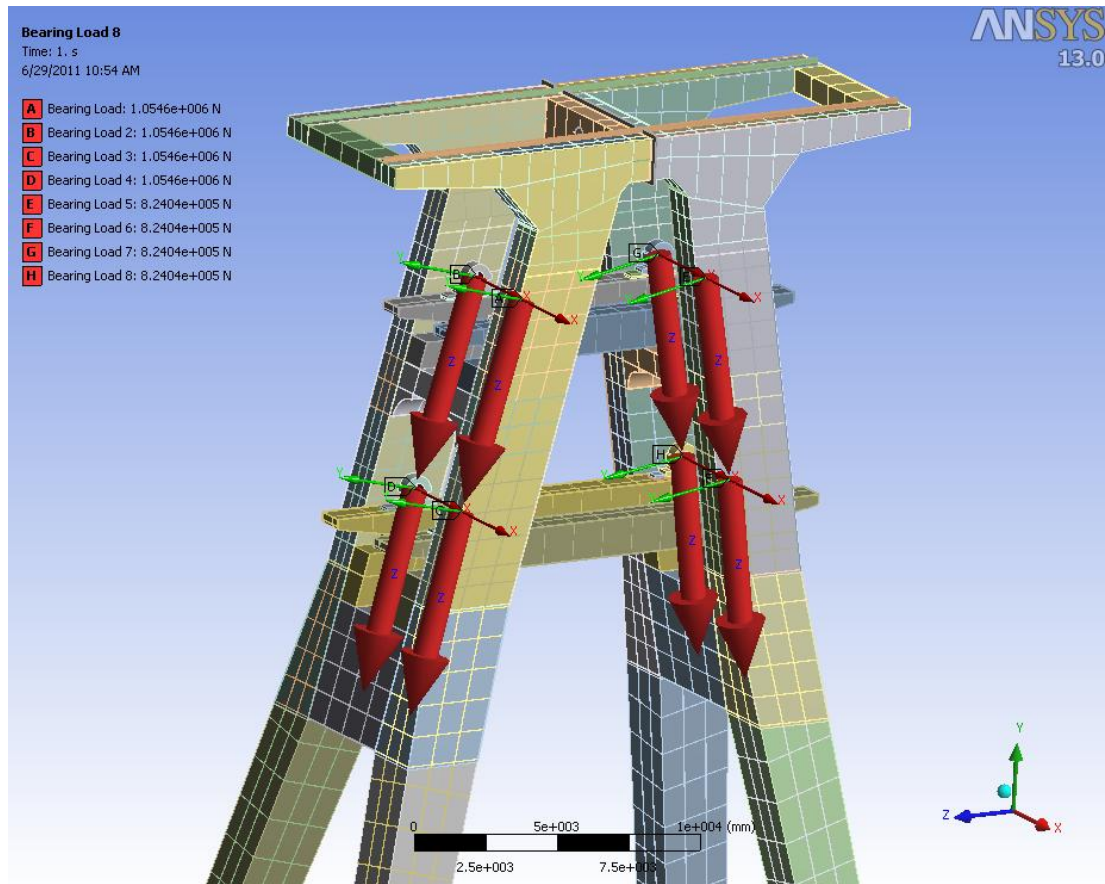
Şekil 5.4 : Çekme yükü.

5.3.1 Yükleme durumu 5

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgede bulunan moletlerden çekme yükü, önden etkiyen rüzgar yükü ve X yönünde deprem yükü uygulanmıştır.

Çekme yükü;

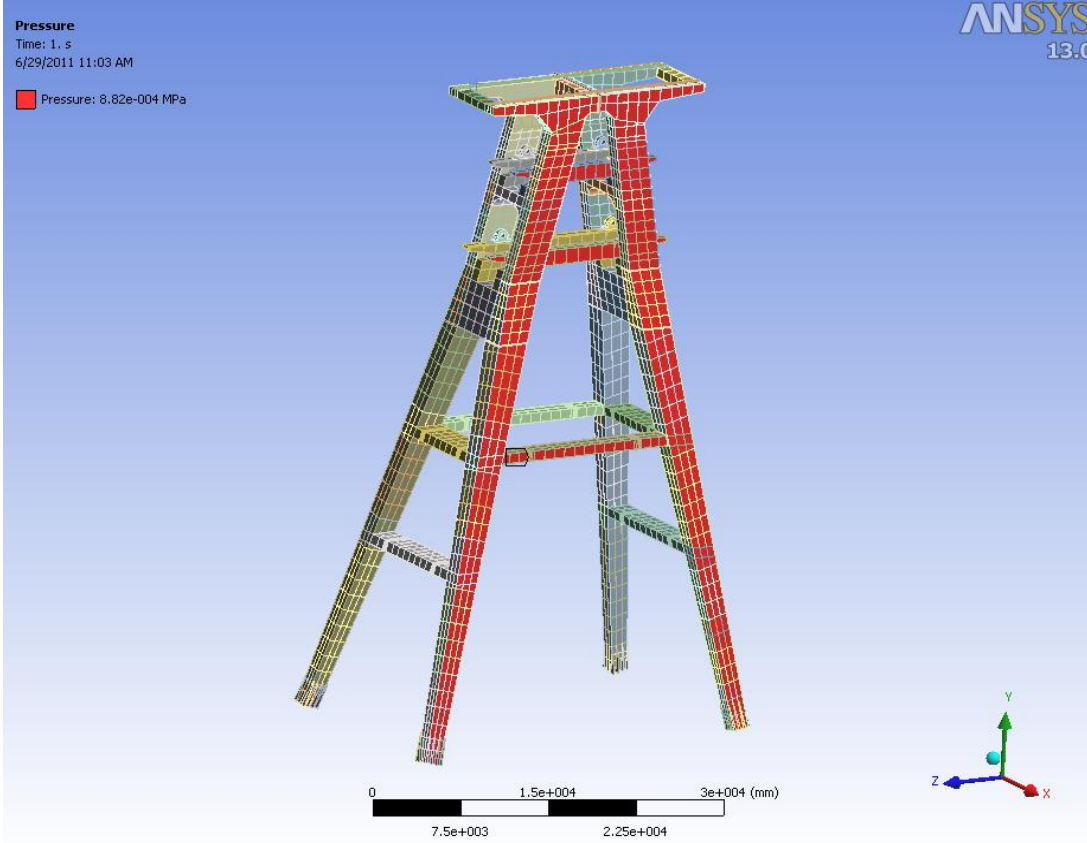
Çekme yükü molet bağlantılarında oluşturulan lokal koordinat sistemleri yardımı ile +Z yönündeki moletlere 1054575 N ve -Z yönündeki moletlere 824040 N olarak uygulanmıştır (Şekil 5.5).



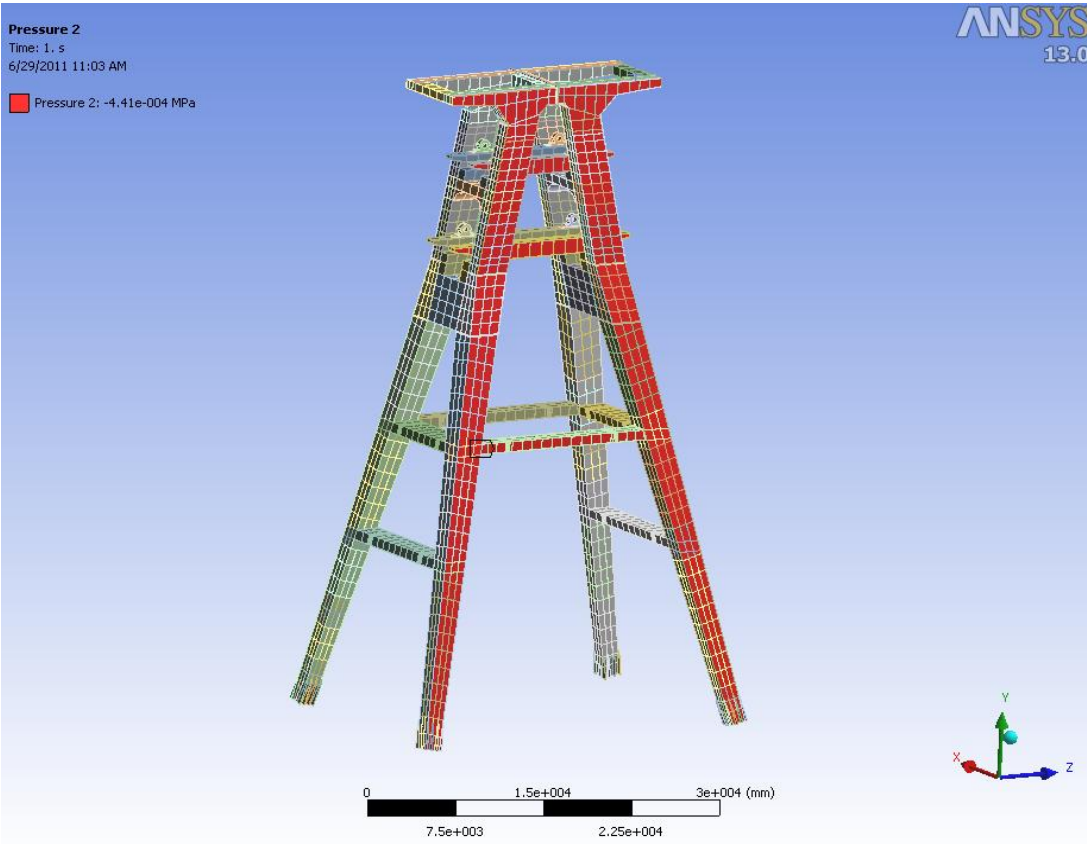
Şekil 5.5 : Çekme yükü.

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya önden ve arkadan olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



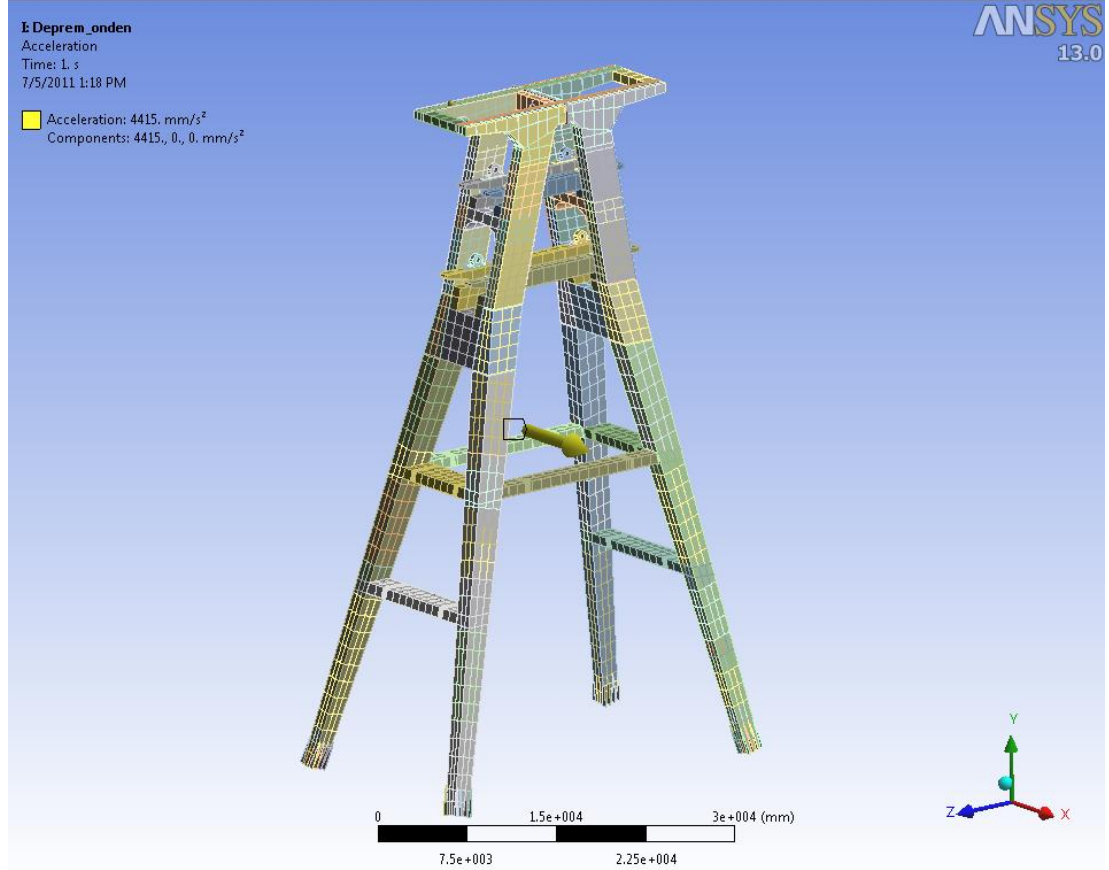
Şekil 5.6 : Rüzgar yükü (önden basma).



Şekil 5.7 : Rüzgar yükü (arkadan çekme).

Deprem yükü;

Bu yükleme durumunda deprem yükü sisteme etkiyen rüzgar yükü yönünde (X yönünde) 4415 mm/s^2 olarak uygulanmıştır (Şekil 5.8). Böylelikle en kötü yükleme durumu elde edilmeye çalışılmıştır.



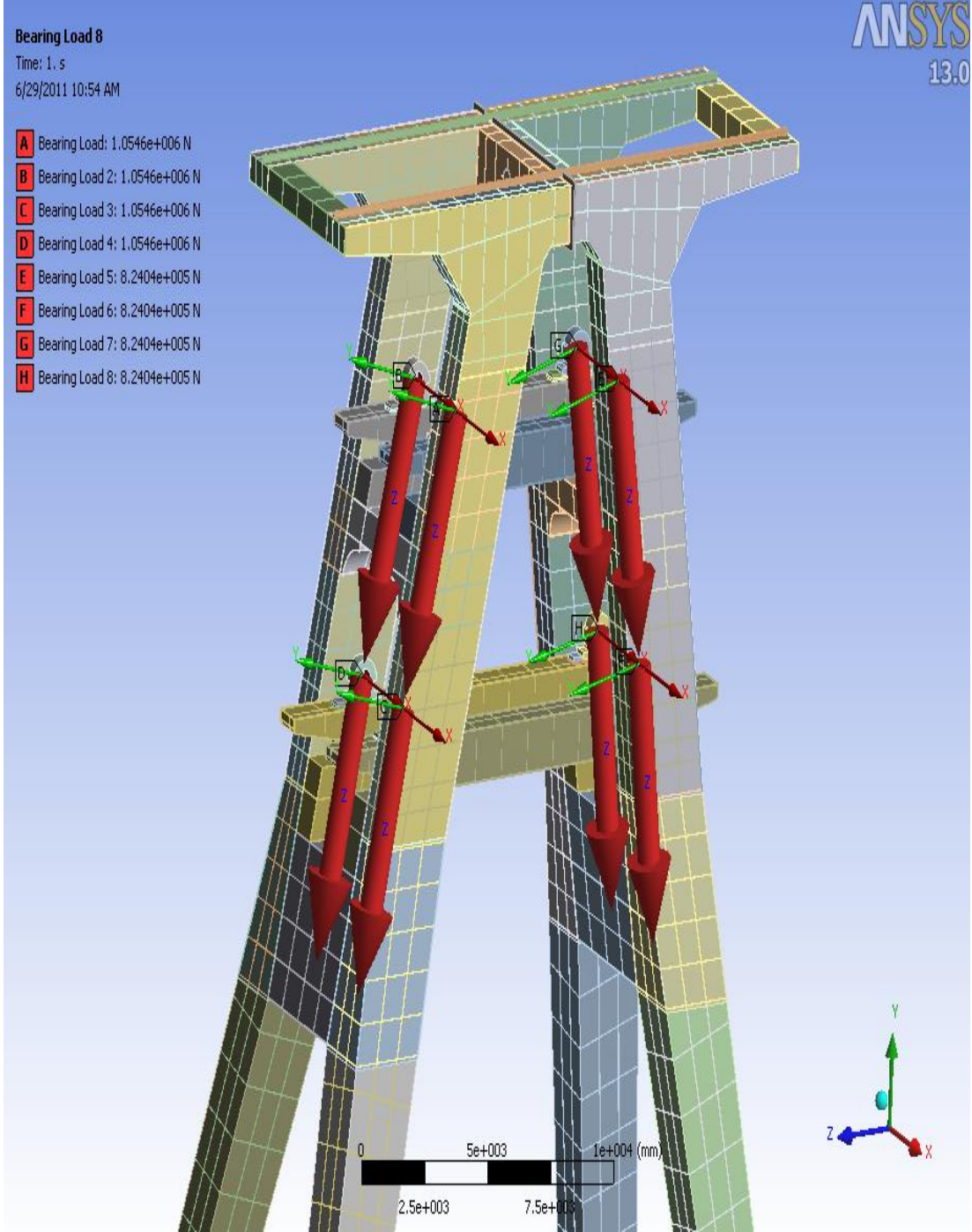
Şekil 5.8 : Deprem yükü.

5.3.2 Yükleme durumu 6

Bu yükleme durumunda yapıya üst bölgede bulunan moletlerden çekme yükü, yandan etkiyen rüzgar yükü ve deprem yükü uygulanmıştır.

Çekme yükü;

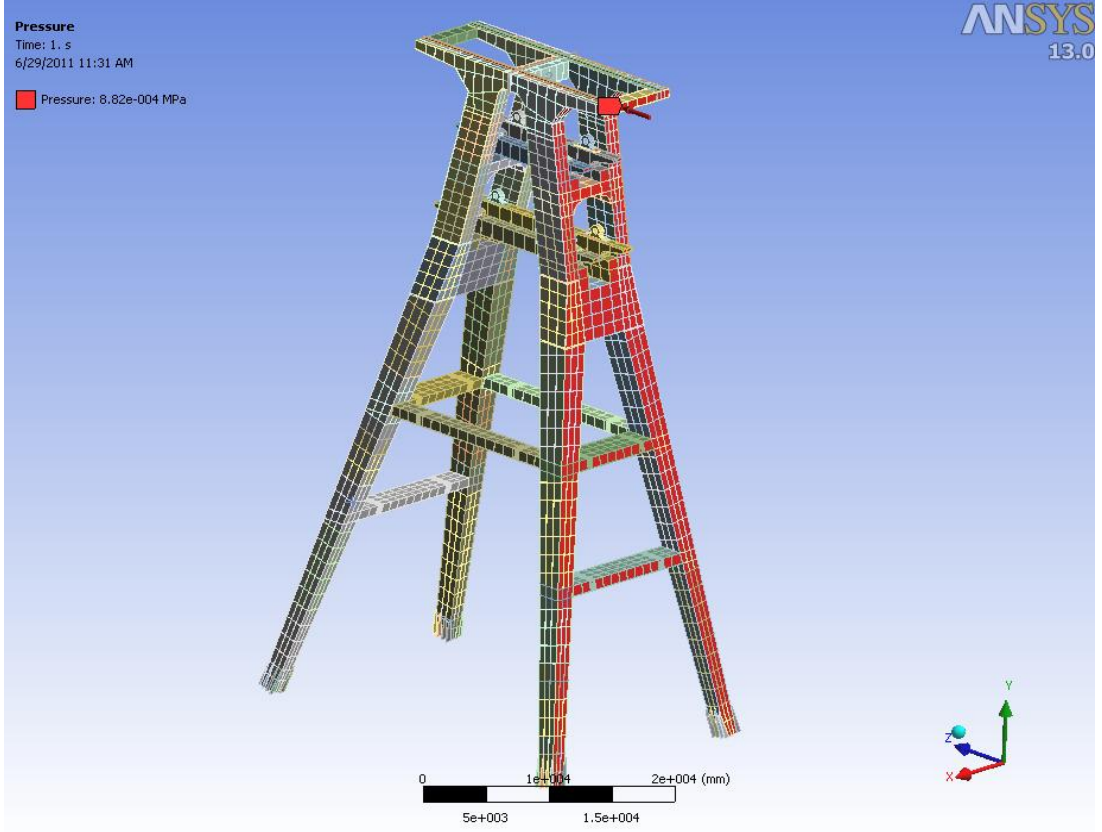
Çekme yükü molet bağlantılarında oluşturulan lokal koordinat sistemleri yardımı ile +Z yönündeki moletlere 1054575 N ve -Z yönündeki moletlere 824040 N olarak uygulanmıştır (Şekil 5.9).



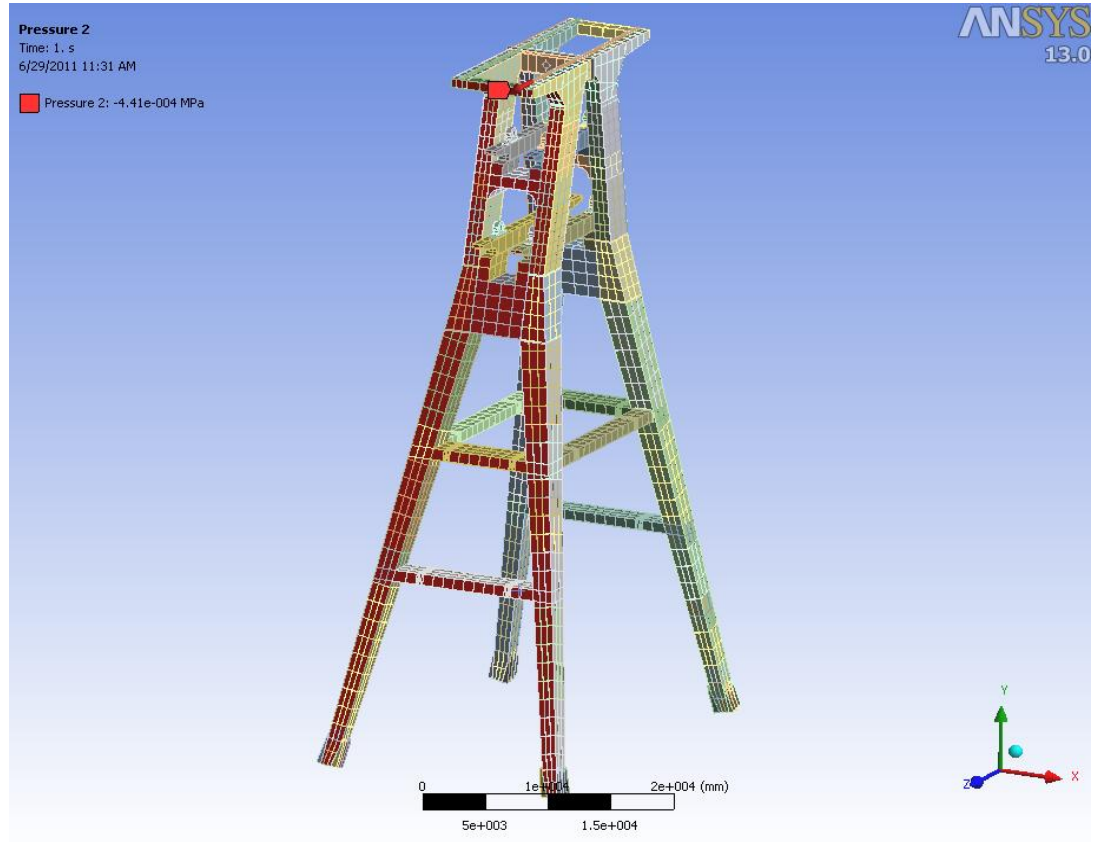
Şekil 5.9 : Çekme yükü.

Rüzgar yükü;

Rüzgar yükü olarak yapıya sağdan ve soldan olmak üzere 2 farklı basınç uygulanmıştır (Şekil 5.10 ve Şekil 5.11).



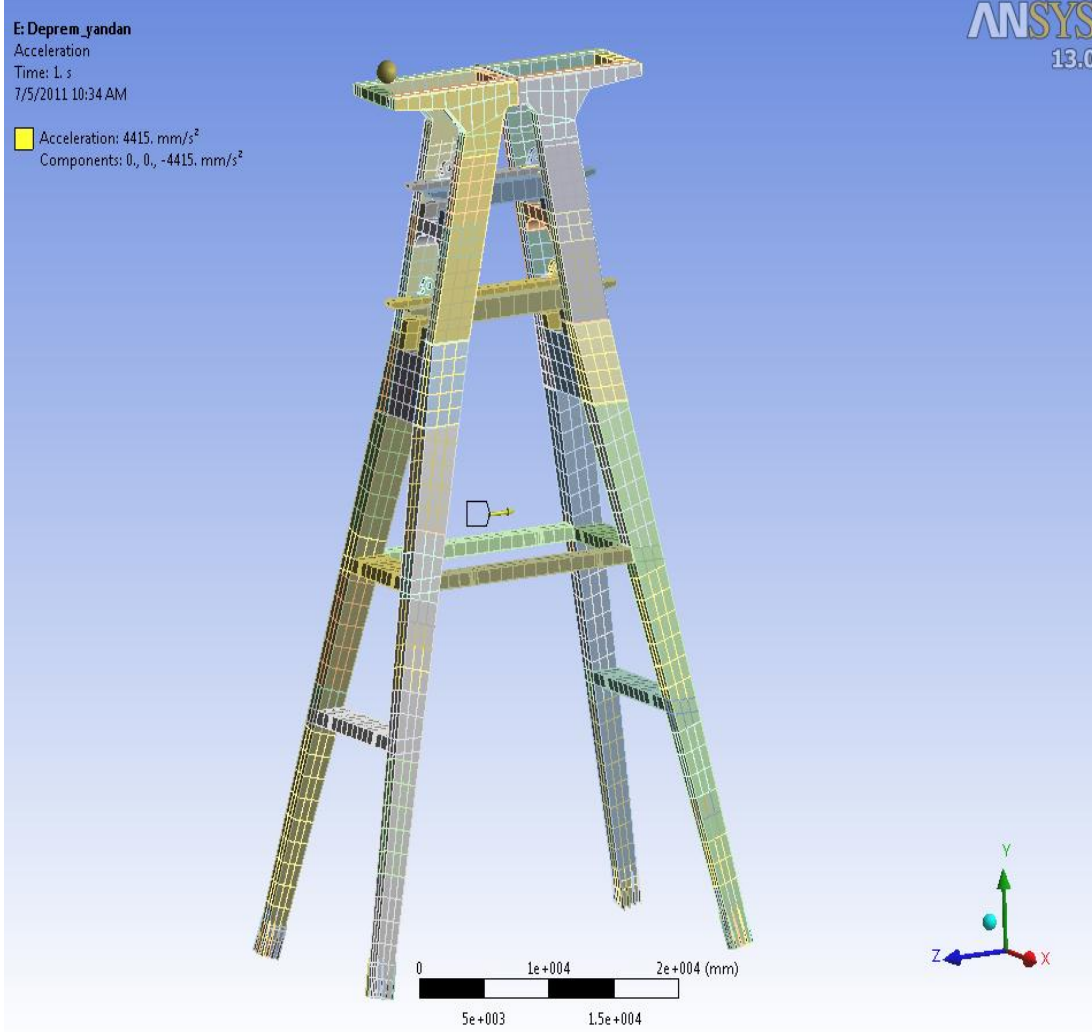
Şekil 5.10 : Rüzgar yükü (sağdan basma).



Şekil 5.11 : Rüzgar yükü (soldan çekme).

Deprem yükü;

Bu yükleme durumunda deprem yükü sisteme etkiyen rüzgar yükü yönünde (Z yönünde) 4415 mm/s^2 olarak uygulanmıştır. Böylelikle en kötü yükleme durumu elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.12).

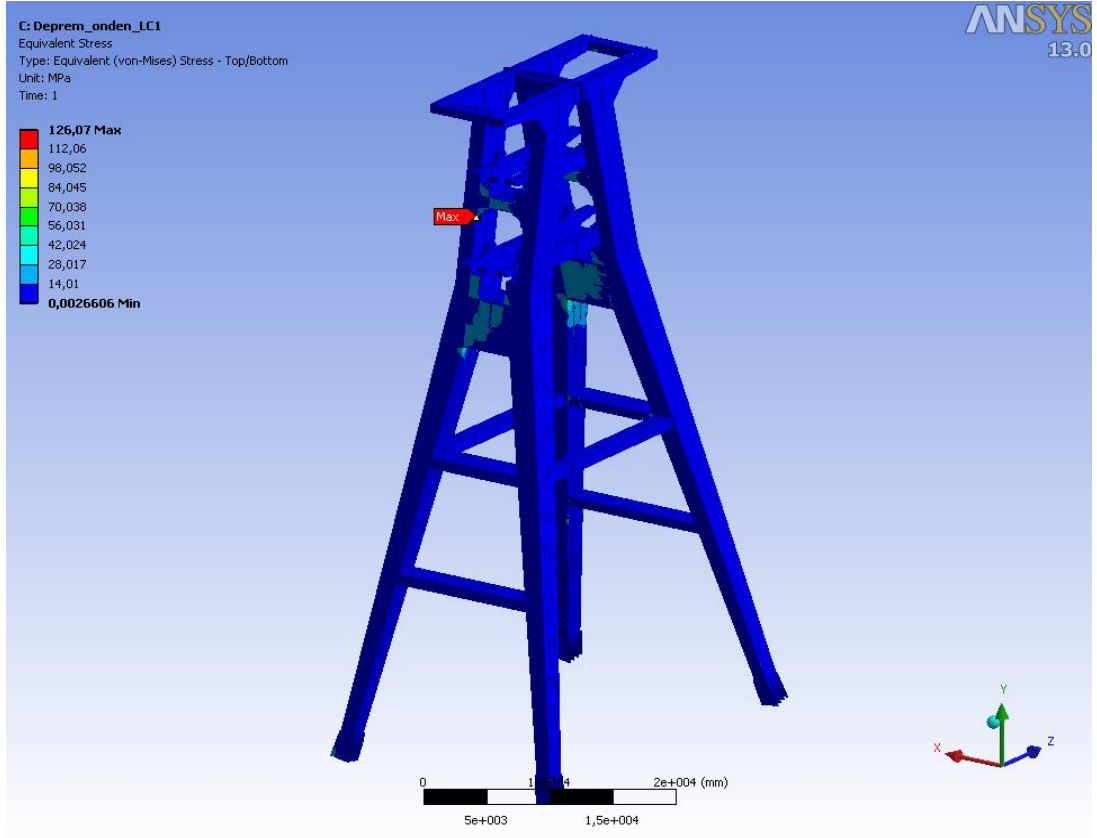


Şekil 5.12 : Deprem yükü.

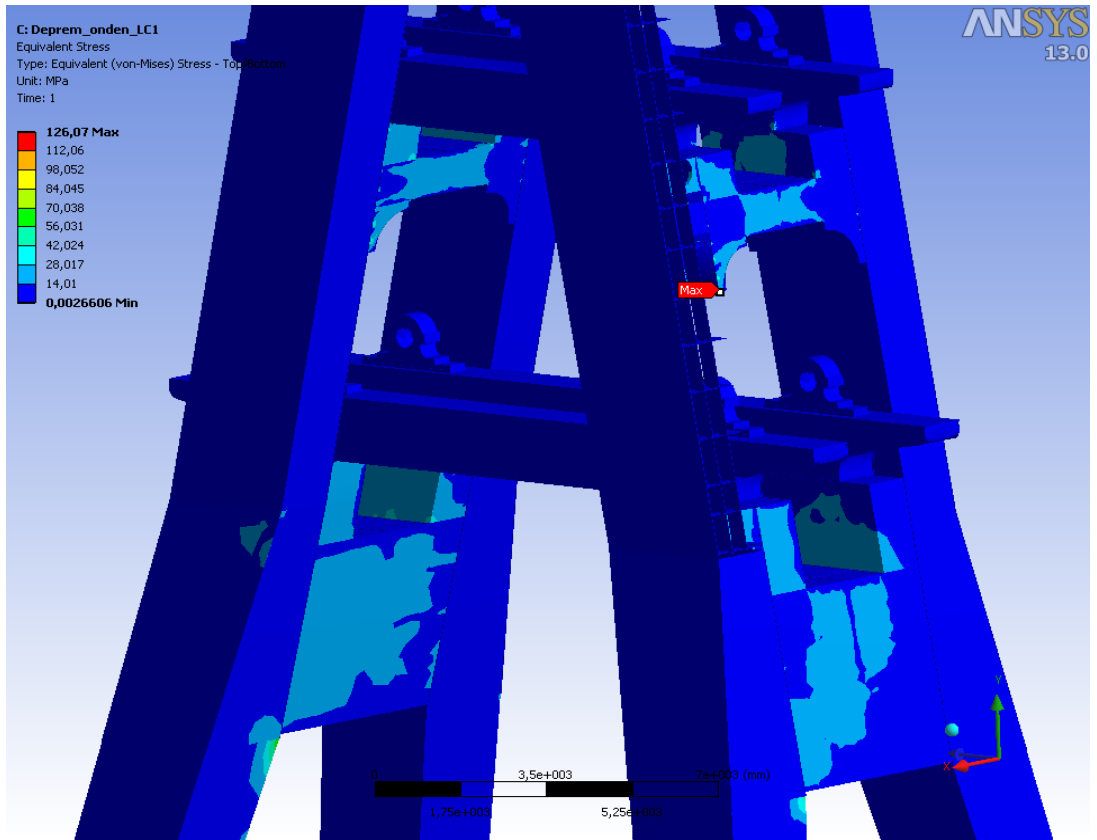
5.4 Sonuçlar

5.4.1 Yükleme durumu 5 sonucu

Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının ayak kısmında 93.816 MPa olarak (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14), toplam yer değiştirme ise 6.1879 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 100 kat abartılı gösterilmiştir.

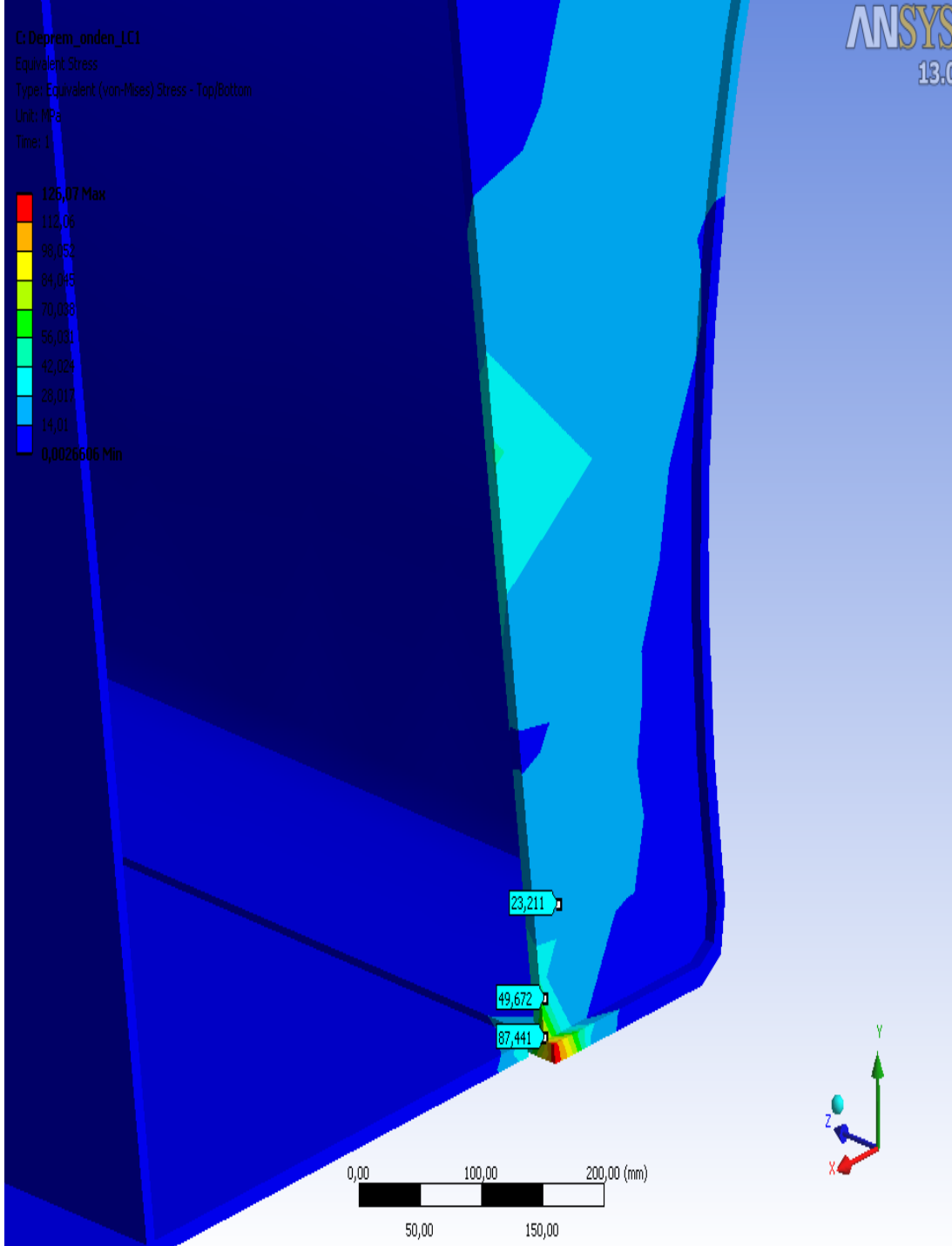


Şekil 5.13 : Eşdeğer gerilme.



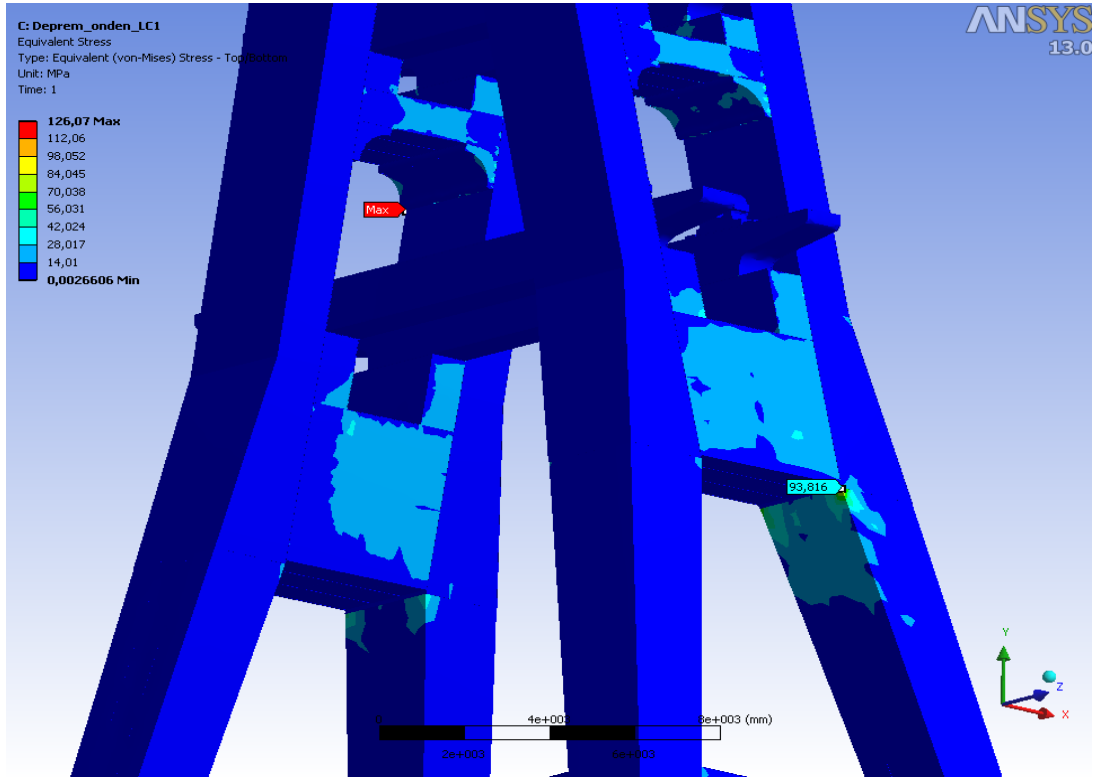
Şekil 5.14 : Maksimum eşdeğer gerilme.

Gerilme sonuçları incelenince maksimum gerilme değerinin 126.07 Mpa olarak tekil bölgede olduğu saptanmıştır. Gerilme değeri solid yapı uç bölgesinde elde edilmiştir (Şekil 5.15). Bu nedenle bu gerilme ihmal edilebilir. Bölgedeki gerilme değerleri incelendiğinde maksimum 87.441 Mpa civarında gerilme değerleri elde edildiği görülmüştür.



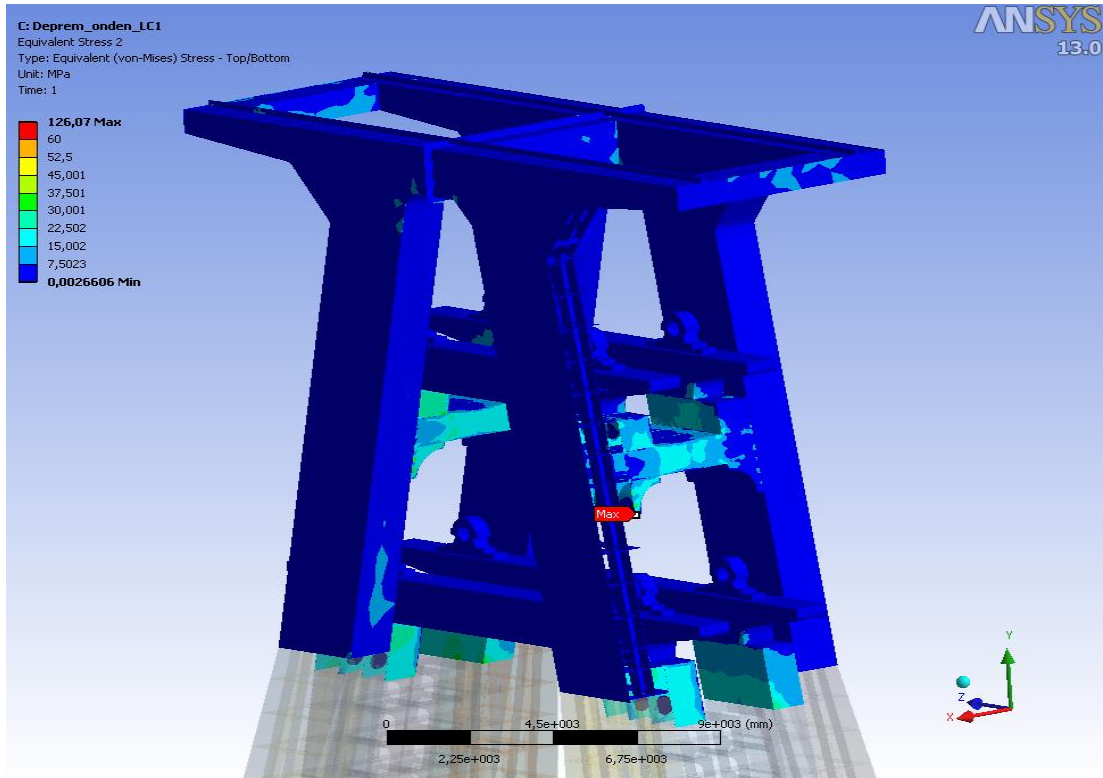
Şekil 5.15 : Tekil gerilme bölgesi.

Ayak bölgesinde çıkan gerilme değeri 93.8 N/mm^2 dir (Şekil 5.16).



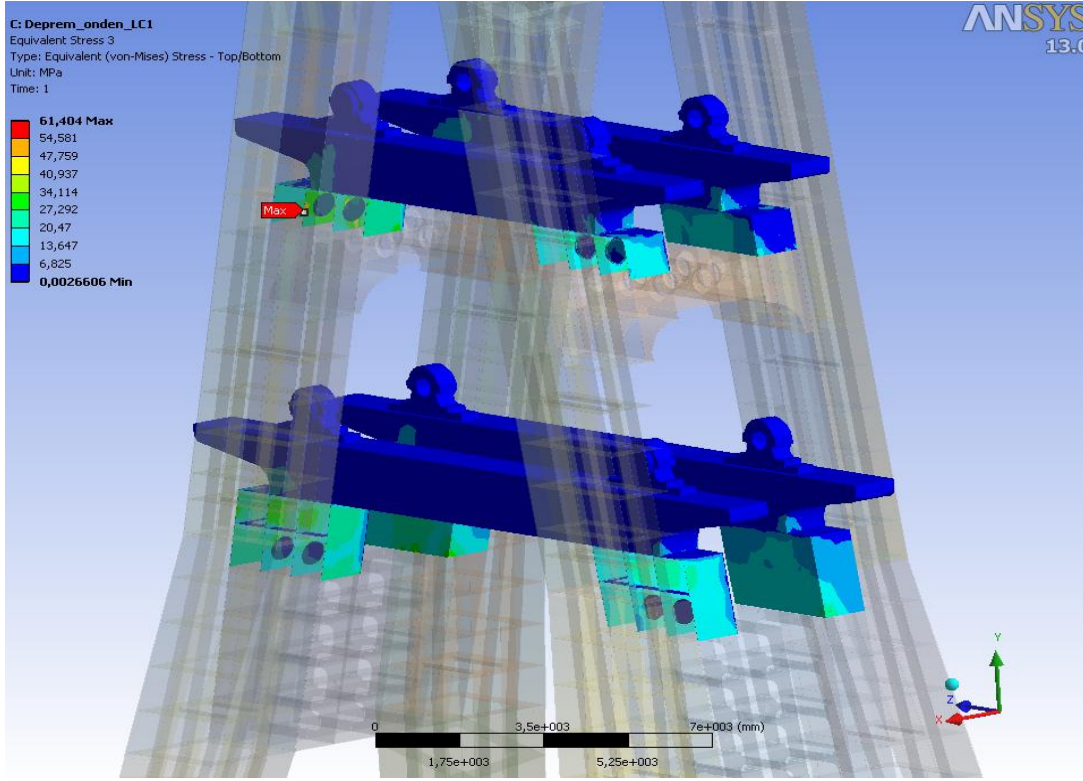
Şekil 5.16 : Ayak eşdeğer gerilme.

Üst yapıda çıkan eşdeğer gerilme 87.4 N/mm^2 dir (Şekil 5.17).



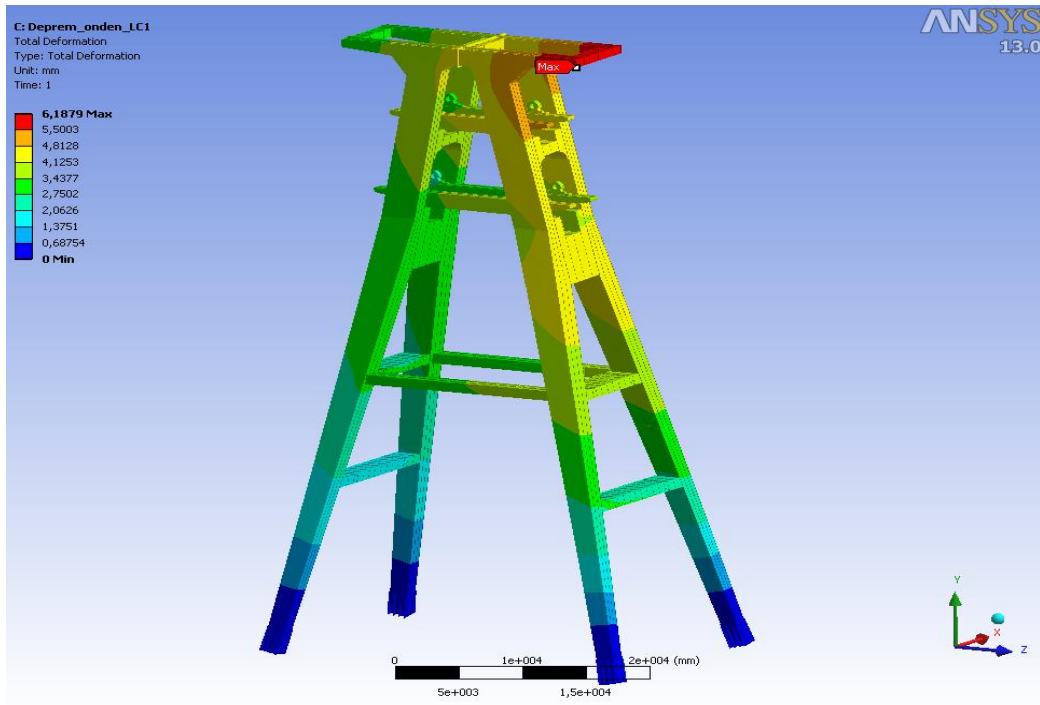
Şekil 5.17 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde çıkan maksimum eşdeğer gerilme 61.4 N/mm^2 dir (Şekil 5.18).

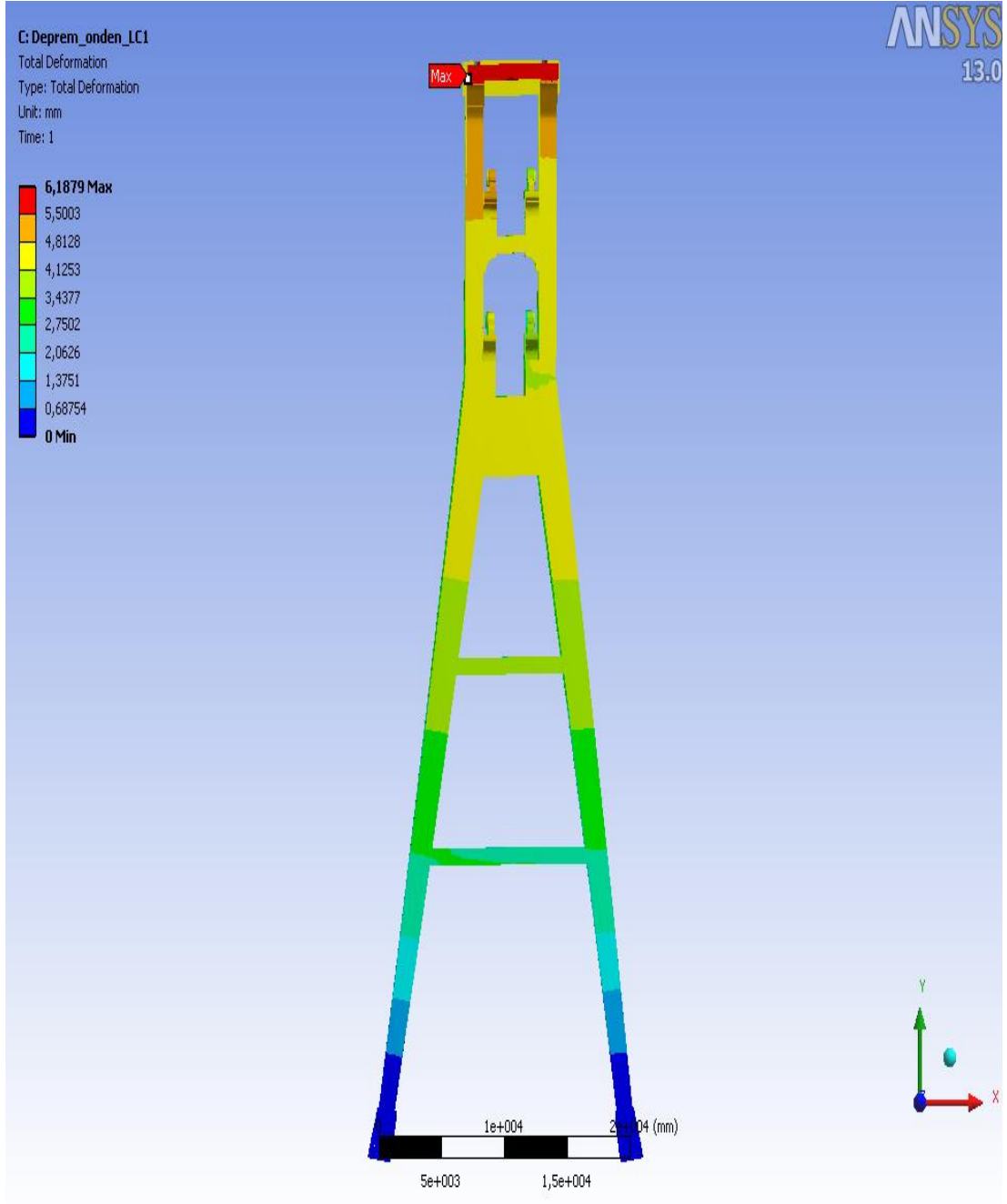


Şekil 5.18 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 6.1 mm olarak kule üst bölgesinde görülmüştür (Şekil 5.19 ve Şekil 5.20).



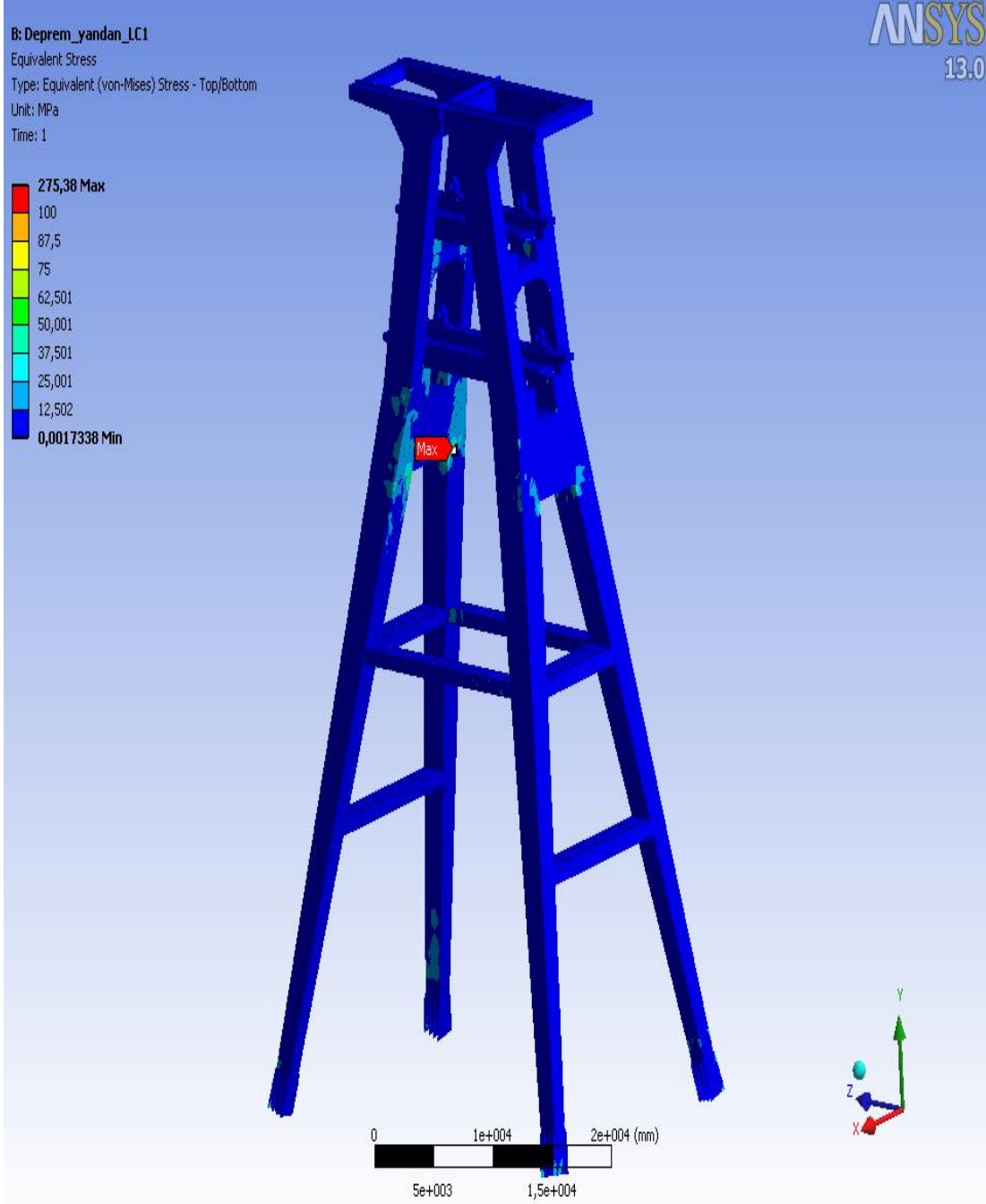
Şekil 5.19 : Toplam yer değiştirme.



Şekil 5.20 : Toplam yer değiştirme.

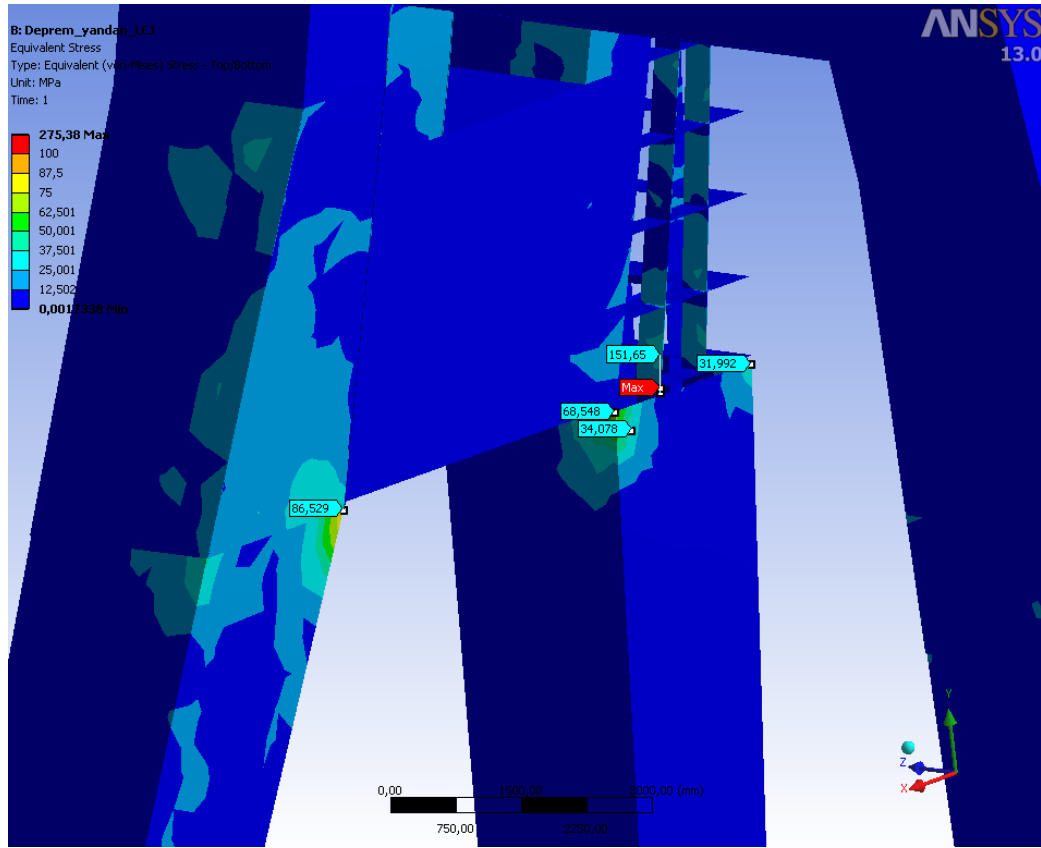
5.4.2 Yükleme durumu 6 sonucu

Bu yükleme durumunda maksimum gerilme değeri yapının ayak kısmında 151.65 MPa (Şekil 5.21), toplam yer değiştirme 6.2542 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar 100 kat abartılı gösterilmiştir.

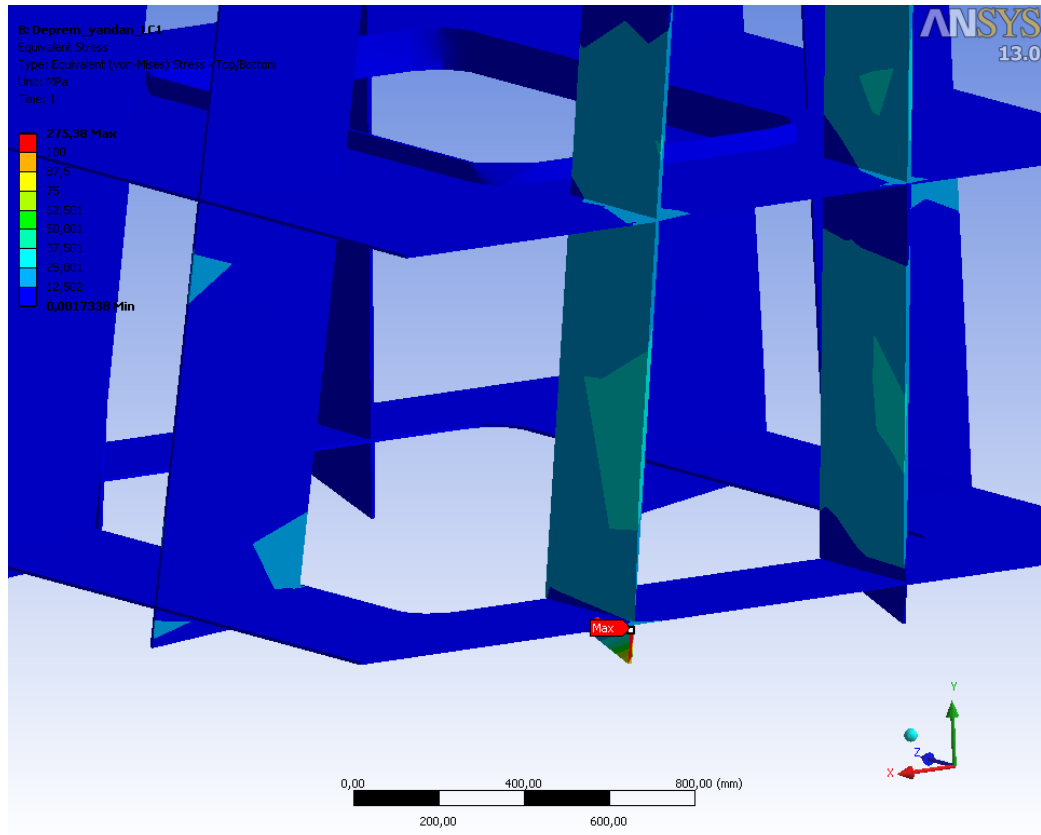


Şekil 5.21 : Eşdeğer gerilme.

Gerilme sonuçları incelenince maksimum gerilme değerinin 275.38 Mpa olarak tekil bölgede (Şekil 5.23) olduğu saptanmıştır. Gerilme değeri kontak bölgesinde elde edilmiştir. Bu nedenle bu gerilme ihmal edilebilir. Bölgedeki gerilme değerleri incelendiğinde 151 Mpa civarında maksimum gerilme değerleri elde edildiği görülmüştür.

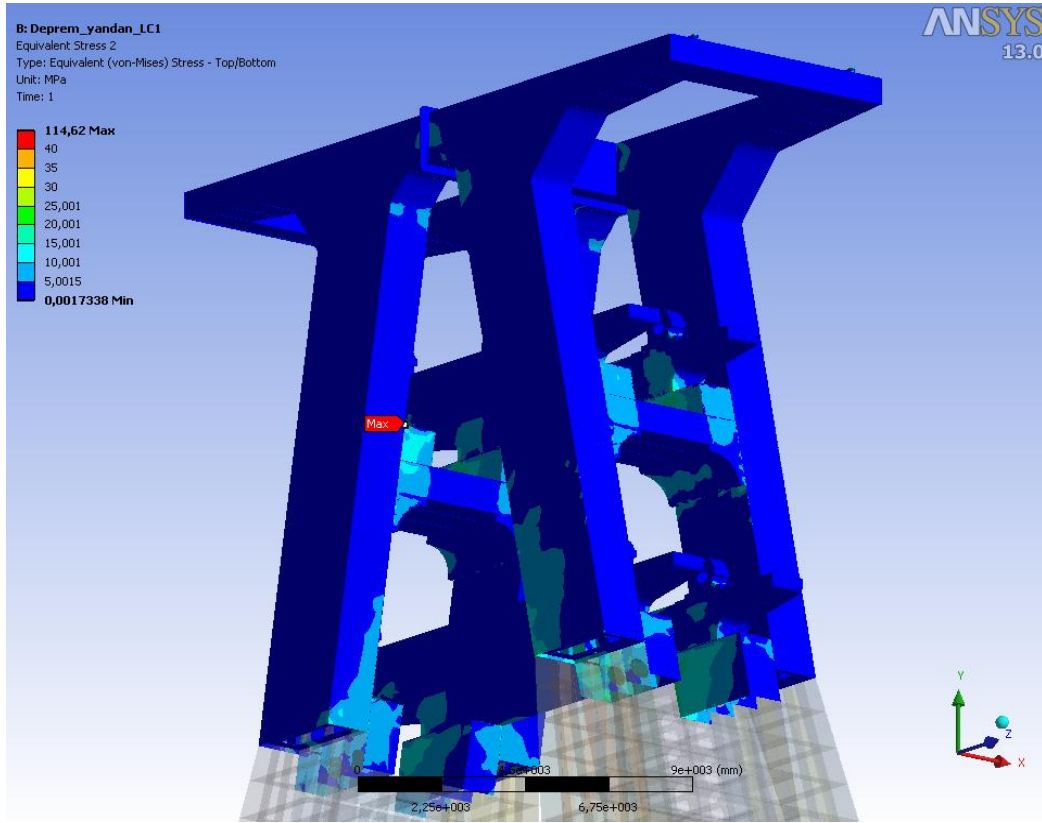


Şekil 5.22 : Maksimum eşdeğer gerilme bölgesi.



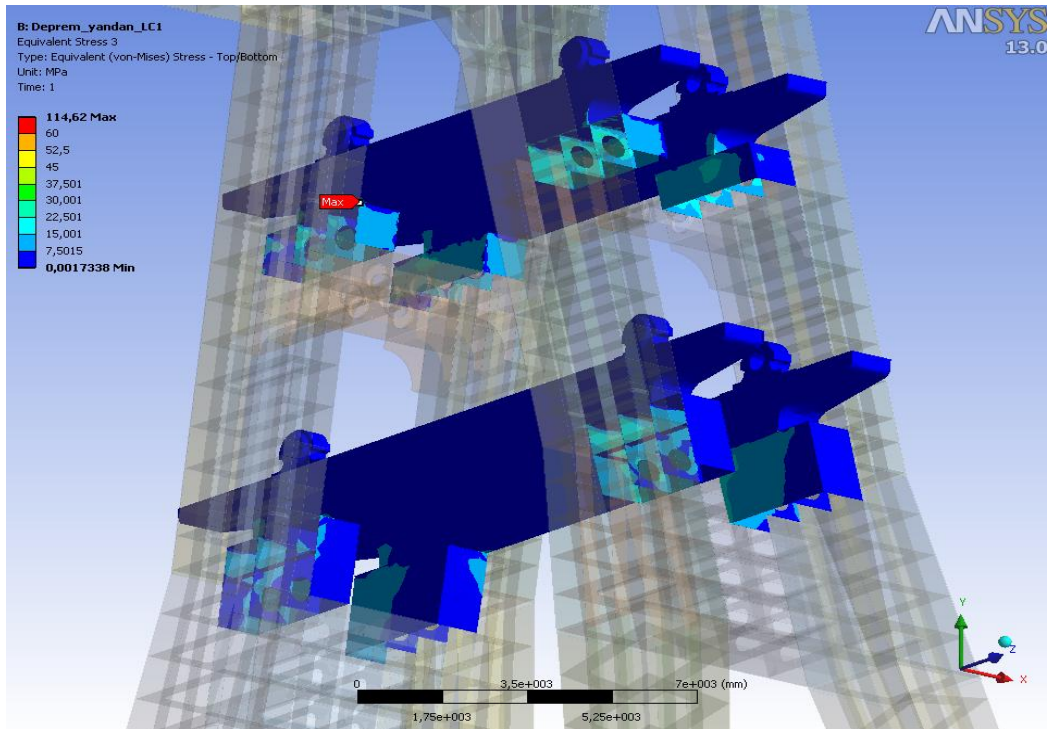
Şekil 5.23 : Tekil gerilme noktası.

Üst yapıda çıkan maksimum eşdeğer gerilme 114.6 N/mm^2 dir (Şekil 5.24).



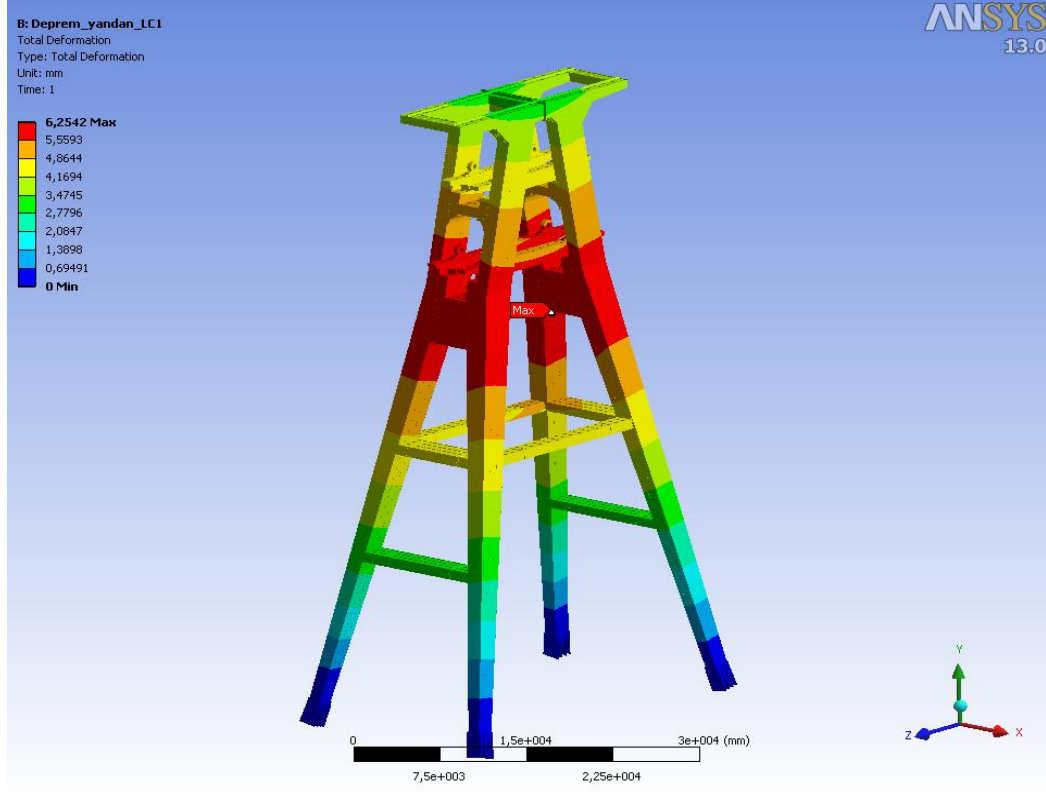
Şekil 5.24 : Üst yapı eşdeğer gerilme.

Molet bölgesinde çıkan maksimum eşdeğer gerilme 114.6 N/mm^2 dir (Şekil 5.25).

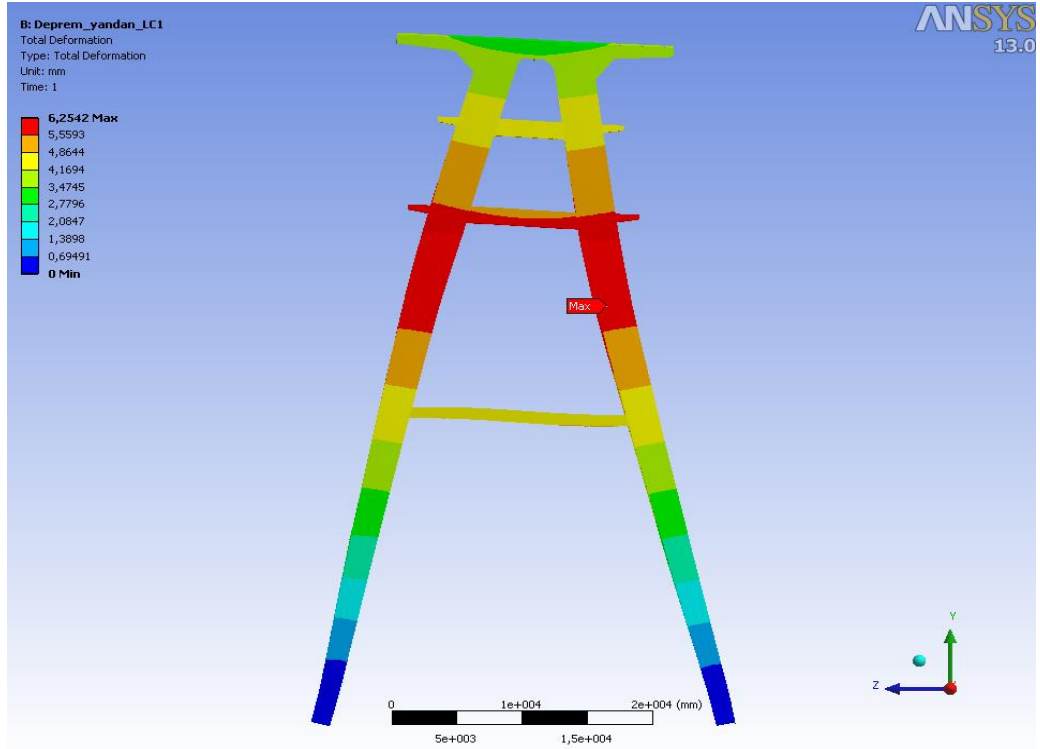


Şekil 5.25 : Molet bölgesi eşdeğer gerilme.

Toplam yer değiştirme 6.2 mm olarak kule ayak bölgesinde görülmüştür (şekil 5.26 ve şekil 5.27).



şekil 5.26 : Toplam yer değiştirme.



şekil 5.27 : Toplam yer değiştirme.

6. SONUÇLAR TABLOSU VE PROJENİN UYGULAMA ALANI

6.1 Sonuçlar Tablosu

Moletlerin çalıştığı sırada (yükleme durumu 1 ve yükleme durumu 2) maksimum gerilmelerin 163.3 MPa, maksimum yer değiştirmenin 15.738 mm olduğu ve sınır gerilme değerlerini aşmadığı görülmektedir. Bu nedenle mevcut yapının nominal çalışma koşullarında istenilen mukavemeti karşıladığı tespit edilmiştir.

Moletlerin montajı sırasında (yükleme durumu 3 ve yükleme durumu 4) maksimum gerilmelerin 176.99 MPa, maksimum yer değiştirmenin 17.218 mm olduğu ve sınır gerilme değerlerini aşmadığı görülmektedir. Bu nedenle mevcut yapının moletlerin montajı aşamasında istenilen mukavemeti karşıladığı tespit edilmiştir.

Moletlerin çalıştığı sırada deprem olduğu varsayılırsa (yükleme durumu 5 ve yükleme durumu 6) maksimum gerilmelerin 151.38 MPa, maksimum yer değiştirmenin 6.2542 mm olduğu ve sınır gerilme değerlerini aşmadığı görülmektedir. Bu nedenle mevcut yapının deprem sırasında gerekli mukavemeti sağladığı saptanmıştır.

Sonuçlar Tablosu

Açıklama	Analizler	Gerilme Değeri (MPa)	Sınır Gerilme Değeri (MPa)	Toplam Yer Değiştirme (mm)	Güvenlik Faktörü
[1]	Yükleme durumu 1	163.30	275	15.738	% 68.4
[2]	Yükleme durumu 2	124.03	275	12.151	% 121
[3]	Yükleme durumu 3	176.99	275	17.218	% 55.3
[4]	Yükleme durumu 4	156.70	275	12.814	% 75.5
[5]	Yükleme durumu 5	151.38	275	6.2542	% 81.6
[6]	Yükleme durumu 6	93.816	275	6.1879	% 193

Çizelge 6.1 : Sonuçlar tablosu.

[1] Moletler çalışırken etkiyen maksimum çekme yükü, kule üzerindeki 40 ton vinç kütlesi, önden etkiyen rüzgar yükü ve düşey yönde etkiyen yerçekimi ivmesi uygulanmıştır.

[2] Moletler çalışırken etkiyen maksimum çekme yükü, kule üzerindeki 40 ton vinç kütlesi, yandan etkiyen rüzgar yükü ve düşey yönde etkiyen yerçekimi ivmesi uygulanmıştır.

[3] Moletler vinç ile kule tepesine çekilirken ($40 + 40 = 80$ ton; vinç + molet grubu) kütlesi, önden etkiyen rüzgar yükü ve düşey yönde etkiyen yerçekimi ivmesi uygulanmıştır.

[4] Moletler vinç ile kule tepesine çekilirken ($40 + 40 = 80$ ton; vinç + molet grubu) kütlesi, yandan etkiyen rüzgar yükü ve düşey yönde etkiyen yerçekimi ivmesi uygulanmıştır.

[5] Moletler çalışırken etkiyen maksimum çekme yükü, kule üzerindeki 40ton vinç kütlesi, önden etkiyen rüzgar yükü ve yatay yönde etkiyen (0.45g) deprem ivmesi uygulanmıştır.

[6] Moletler çalışırken etkiyen maksimum çekme yükü, kule üzerindeki 40ton vinç kütlesi, yandan etkiyen rüzgar yükü ve yatay yönde etkiyen (0.45g) deprem ivmesi uygulanmıştır.

* Detaylı yük değerleri için 4.3 ve 5.3 ‘Yükleme Değerleri’ bölümlerine bakınız.

6.2 Projenin Uygulama Alanı

Yapılan bu çalışma; yeraltı madenciliğinde her türlü maden çıkartma, kule ve kule asansörü hazırlamasında kullanılabilir. Boyutlandırma çıkarılacak maden tipi, tonajı, asansör ve/veya kafesin bir gündeki çevrim oranı, yapılacak bölgenin iklim ve jeolojik özellikleri (nem: korozyon payı için; zemin yapısı: kule taban betonlarının çökme hesapları için, rüzgar: yanal yükleri hesaplamak için) göz önünde bulundurulurken yapılmalıdır. Bu tezde kulenin bazı kesit alanları, kesit daralmaları, sac kalınlıkları ve bazı hesaplar; tasarım ve imalat projeleri de hazırlanan **HEMA ENDÜSTRİ A.Ş**’nin haklarını korumak amacıyla gizlenmiştir.

6.3 Projenin Bitmiş resimleri

Bitirme tezi olarak hazırlanan bu projenin imalatı yapılmış olup, Amasra bölgesinde şövelmanın montajı bitirilmiştir (Şekil 6.1). Asansör ve molet grupları montajı 2015 yılı içinde bitirilip 2016 yılında kömür çıkarma için hazır olacaktır. Aşağıda montajı biten şövelman resimleri mevcuttur.



Şekil 6.1 : Maden kulesi resim.

Amasra'da bitmiş sövelman resimleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 de görülmektedir.



Şekil 6.2 : Maden kulesi resim.



Şekil 6.3 : Maden kulesi resim.

KAYNAKLAR

- Corlette J.M.C.** (1907). *The design of head frames for mines*. Sydney University Engineering Society; on August 14th, 1907.
- Çevik M.** (2011/2014). İstanbul Euro Crane firma sahibi. Kişisel görüşme.
- Federation Europeenne De La Manutention ‘FEM’** (1998). *Rules for the design of hoisting appliances*. Booklet 2. Classification And Loading On Structures And Mechanisms.
- Finch, K., Harriss, P., Forrest R. ve Wilkonson, J.** (2009). *Mining industry regulation*. Legislative council select committee, Parliament of Tasmania.
- Geç Ü.** (2011/2014). Hema holding statik danışmanı. Kişisel görüşme.
- NSW Department of Primary Industries** (1998). *Guideline for design, commissioning and maintenance of drum winders*. 516 high st, Maitland NSW 2320 (PO box 344, Hunter region mail centre 2310).
- NSW Department of Primary Industries** (1999). *Guidelines for examination, testing and discard of mine winder ropes – For use in coal mines*. 516 high st, Maitland NSW 2320 (PO Box 344, Hunter region mail centre 2310).
- Safe Work Australia** (2011). *Underground Winding Systems Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco, CA.
- Ünal F.G.** (2011). *Development of a computer program for friction winding system design*. The graduate school of natural and applied sciences middle east technical university.
- Wenpeng X.^[1], Xiaohuan Q.^[2]**, (2010). *3D rapid modelling for the foundation of steel headframes*. ^[1]College of Computer Science & Technology, He’nan Polytechnic University, Jiaozuo, China. ^[2]College of Surveying & Land Information Engineering, He’nan Polytechnic University, Jiaozuo, China. ISBN 978-952-5726-10-7. Proceedings of the third international symposium on computer science and computational technology(ISCSCCT ’10) Jiaozuo, P. R. China, 14-15, August 2010, pp. 274-278.
- Williams D.D.** (1907). *Design of a steel head frame*. Thesis for degree of Bachelor of science in civil engineering. College of engineering University of Illinois.
- Url-1** <<http://www.etimaden.gov.tr/maden-terimleri-sozlugu-163k.htm>>, alındığı tarih: 01.12.2014.
- Url-2** <http://en.wikipedia.org/wiki/Shaft_mining>, alındığı tarih: 01.12.2014.
- Url-3** <http://www.researchgate.net/publication/220405435_3D_Rapid_Modeling_for_Head_frame_Foundation>, alındığı tarih: 01.12.2014.
- Url-4** <https://queensminedesign.miningexcellence.ca/index.php?title=Mine_hoisting_systems&oldid=1254>, alındığı tarih: 01.12.2014.

Url-5 <https://www.minewiki.org/index.php/HRMH_-_Headframes_and_Bins>, alındığı tarih: 01.12.2014.

Url-6 <<http://technology.infomine.com/reviews/Headgear/welcome.asp?view=full>>, alındığı tarih: 01.12.2014.

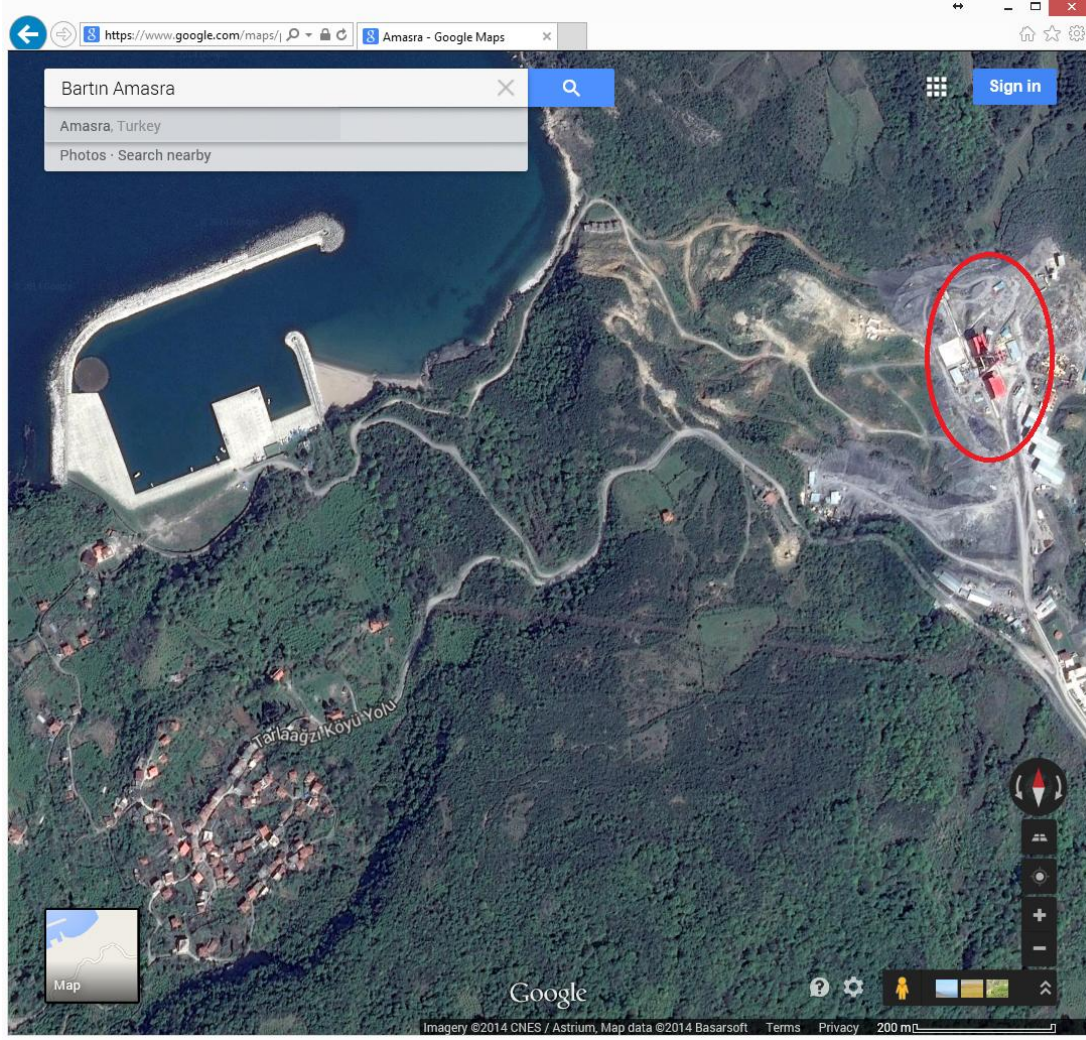
EKLER

EK A: Haritalar.

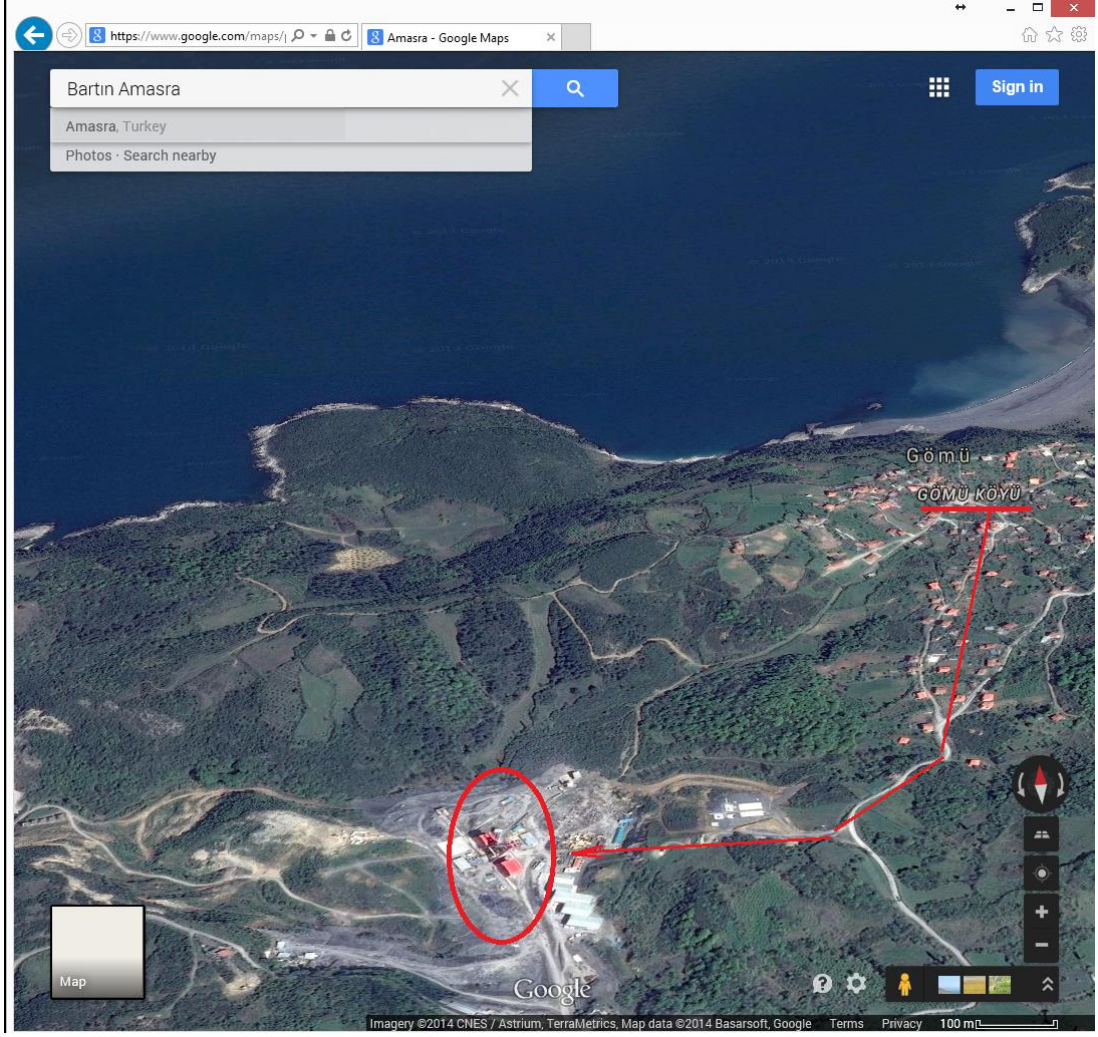
EK B: “*Rules for the design of hoisting appliances*” (Hesaplarda kullanılan sayfalar).

EK A:

Bartın Amasra'da montajı tamamlanan kulinin google maps'teki görüntüsü.



Şekil A.1 : Google maps görüntüsü.



Şekil A.2 : Google maps görüntüsü.

Çizelge 6.2 : İhraç kulesine Amasra'da Gömü Köyü içinden 10 dk. içinde ulaşmak mümkündür.

EK B:

Kullanılan tablolar.

2.1 GROUP CLASSIFICATION OF HOISTING APPLIANCES AND THEIR COMPONENT PARTS

2.1.1. GENERAL PLAN OF CLASSIFICATION

In the design of a hoisting appliance and its component parts, account must be taken of the duty which they will be required to perform during their duration of use ; for this purpose group classification is employed of :

- the appliance as a whole ;
- the individual mechanisms as a whole ;
- the structural and mechanical components.

This classification is based on two criteria, namely :

- the total duration of use of the item considered ;
- the hook load, loading or stress spectra to which the item is subjected.

2.1.2. CLASSIFICATION OF HOISTING APPLIANCES AS A WHOLE

2.1.2.1. CLASSIFICATION SYSTEM

Appliances as a whole are classified in eight groups, designated by the symbols A1, A2, ..., A8 respectively (see section 2.1.2.4.), on the basis of ten classes of utilization and four load spectra.

2.1.2.2. CLASSES OF UTILIZATION

By duration of use of a hoisting appliance is meant the number of hoisting cycles which the appliance performs. A hoisting cycle is the entire sequence of operations commencing when a load is hoisted and ending at the moment when the appliance is ready to hoist the next load.

The total duration of use is a computed duration of use, considered as a guide value, commencing when the appliance is put into service and ending when it is finally taken out of service.

On the basis of the total duration of use, we have ten classes of utilization, designated by the symbols U0, U1, ..., U9. They are defined in table T.2.1.2.2.

Table T.2.1.2.2. - Classes of utilization

Symbol	Total duration of use (number n_{max} of hoisting cycles)			
U0			n_{max}	\leq 16 000
U1	16 000	<	n_{max}	\leq 32 000
U2	32 000	<	n_{max}	\leq 63 000
U3	63 000	<	n_{max}	\leq 125 000
U4	125 000	<	n_{max}	\leq 250 000
U5	250 000	<	n_{max}	\leq 500 000
U6	500 000	<	n_{max}	\leq 1 000 000
U7	1 000 000	<	n_{max}	\leq 2 000 000
U8	2 000 000	<	n_{max}	\leq 4 000 000
U9	4 000 000	<	n_{max}	

2.1.2.3. LOAD SPECTRUM

The load spectrum characterizes the total number of loads hoisted during the total duration of use (see 2.1.2.2.) of an appliance. It is a distribution function (summed) $y = f(x)$, expressing the fraction x ($0 \leq x \leq 1$) of the total duration of use, during which the ratio of the hoisted load to the safe working load attains at least a given value y ($0 \leq y \leq 1$).

Examples of a load spectrum are given in figs. 2.1.2.3.1. - a and b.

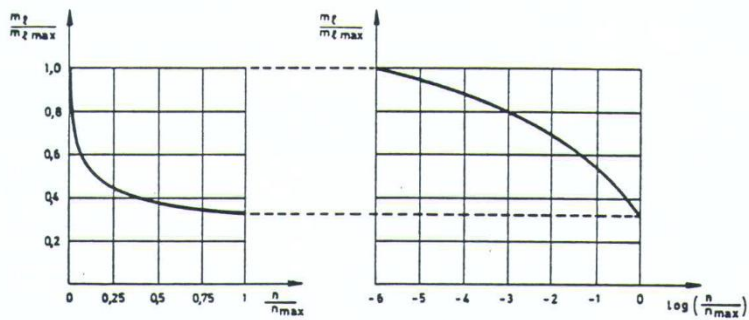


Figure 2.1.2.3.1. - a

Figure 2.1.2.3.1. - b

- m_l = loads ;
- $m_{l_{max}}$ = safe working load ;
- n = number of hoisting cycles in respect of which the hoisted load is greater than or equal to m_l ;
- n_{max} = number of hoisting cycles determining the total duration of use.

Each spectrum is assigned a spectrum factor k_p , defined by :

$$k_p = \int_0^1 y^d dx$$

For the purposes of group classification the exponent d is taken by convention as equal to 3.

In many applications the function $f(x)$ may be approximated by a function consisting of a certain number r of steps (see fig. 2.1.2.3.2.), comprising respectively n_1, n_2, \dots, n_r hoisting cycles, the load may be considered as practically constant and equal to $m_{\ell i}$ during the n_i cycles of the i^{th} step. If n_{max} represents the total duration of use and $m_{\ell \text{max}}$ the greatest among the $m_{\ell i}$ loads, there exists a relation :

$$n_1 + n_2 + \dots + n_r = \sum_{i=1}^r n_i = n_{\text{max}}$$

or in approximated form :

$$k_p = \left(\frac{m_{\ell 1}}{m_{\ell \text{max}}}\right)^3 \frac{n_1}{n_{\text{max}}} + \left(\frac{m_{\ell 2}}{m_{\ell \text{max}}}\right)^3 \frac{n_2}{n_{\text{max}}} + \dots + \left(\frac{m_{\ell r}}{m_{\ell \text{max}}}\right)^3 \frac{n_r}{n_{\text{max}}}$$

$$= \sum_{i=1}^r \left(\frac{m_{\ell i}}{m_{\ell \text{max}}}\right)^3 \frac{n_i}{n_{\text{max}}}$$

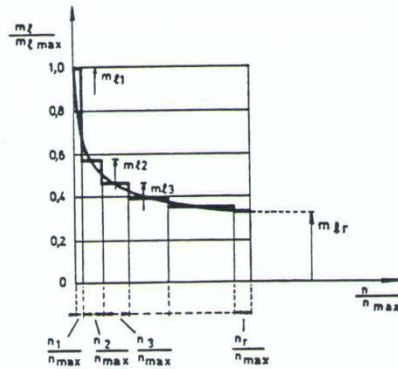


Figure 2.1.2.3.2.

According to its load spectrum, a hoisting appliance is placed in one of the four spectrum classes Q1, Q2, Q3, Q4 defined in table T.2.1.2.3.

Table T.2.1.2.3.

Spectrum classes

Symbol	Spectrum factor k_p
Q1	$k_p \leq 0.125$
Q2	$0.125 < k_p \leq 0.250$
Q3	$0.250 < k_p \leq 0.500$
Q4	$0.500 < k_p \leq 1.000$

2.1.2.4. GROUP CLASSIFICATION OF HOISTING APPLIANCES

Group classification of hoisting appliances as a whole is determined from table T.2.1.2.4.

Table T.2.1.2.4.

Appliance groups

Load spectrum class	Class of utilization									
	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

2.1.2.5. GUIDANCE ON GROUP CLASSIFICATION OF AN APPLIANCE

Directions concerning the classification of hoisting appliances are given in table T.2.1.2.5.

Since appliances of the same type may be used in a wide variety of ways, the grouping shown in this table can only be taken as a model. In particular, where several groups are shown as appropriate to an appliance of a given type, it is necessary to ascertain, on the basis of the appliance's computed total duration of use and load spectrum, in which classes of utilization and load spectrum it has to be placed, and consequently in which group.

2.1.3. CLASSIFICATION OF INDIVIDUAL MECHANISMS AS A WHOLE

2.1.3.1. CLASSIFICATION SYSTEM

Individual mechanisms as a whole are classified in eight groups, designated respectively by the symbols M1, M2, ..., M8 (see 2.1.3.4.), on the basis of ten classes of utilization and four classes of loading spectrum.

2.2.2.1. LOADS DUE TO HOISTING OF THE WORKING LOAD

Account shall be taken of the oscillations caused when lifting the load by multiplying the loads due to the working load by a factor called the "dynamic coefficient Ψ ".

2.2.2.1.1. VALUES OF THE DYNAMIC COEFFICIENT Ψ

The value of the dynamic coefficient Ψ to be applied to the load arising from the working load is given by the expression :

$$\Psi = 1 + \xi v_L$$

where v_L is the hoisting speed in m/s.

and ξ an experimentally determined coefficient (1).

The following values shall be adopted :

$\xi = 0,6$ for overhead travelling cranes and bridge cranes

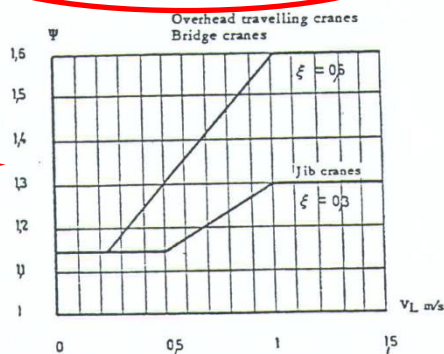
$\xi = 0,3$ for jib cranes.

The maximum figure to be taken for the hoisting speed when applying this formula is 1 m/s. For higher speeds, the dynamic coefficient Ψ is not further increased.

The value to be applied for the coefficient Ψ in the calculations shall in no case be less than 1,15.

The values of Ψ are given in the curves of figure 2.2.2.1.1. in terms of hoisting speeds v_L .

Figure 2.2.2.1.1.
Values of dynamic coefficient Ψ



(1) The figure given for this coefficient ξ is the result of a large number of measurements made on different types of appliances.

These three cases are expressed by the formulae :

- a) $S_G + S_{Wmax}$
- b) $S_G + S_L + S_T$ (1)
- c) $S_G + \psi \rho_1 S_L$ or $S_G + \rho_2 S_L$

Note 1 - It should be noted that the checks under (c) are only to be made in cases where the working load, when assumed to act alone, produces stresses opposed in direction to those caused by the dead weight up to the point at which the static test load does not exceed 1,5 times the safe working load.

Note 2 - When using decelerating devices in advance of buffer impact under the conditions mentioned in clause 2.2.3.4.1. S_T will be taken to be the highest load resulting either from the retardation previously caused by the decelerating device or from that finally caused by the buffer.

2.3.4.

CHOOSING THE AMPLIFYING COEFFICIENT γ_c

The value of the amplifying coefficient γ_c depends upon the group classification of the appliance.

Table T.2.3.4.

Values of amplifying coefficient γ_c

Appliance group	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

2.4.

SEISMIC EFFECTS

In general the structures of lifting appliances do not have to be checked for European seismic effects.

However, if official regulations or particular specifications so prescribe, special rules or recommendations can be applied in areas subject to earthquakes.

This requirement shall be advised to the supplier by the user of the installation who shall also provide the corresponding seismic spectra.

(1)

Loadings resulting from the working load are taken into account but the effects of load swing resulting from the shock are neglected because this swing only loads the structure when the other effects have been practically absorbed. This comment does not apply to rigidly guided loads which cannot swing.