

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TAŞIT ŞASI ÜSTÜ PLATFORMUNUN DİNAMİK PARAMETRELER  
ALTINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muammer TANRIVERDİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet ÇALIŞKAN**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TAŞIT ŞASI ÜSTÜ PLATFORMUNUN DİNAMİK  
PARAMETRELER ALTINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muammer TANRIVERDİ

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /  
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.  
Fehim FINDIK

Jüri Başkanı



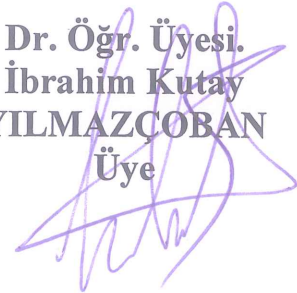
Doç. Dr.  
Mehmet ÇALIŞKAN

Üye



Dr. Öğr. Üyesi.  
İbrahim Kutay  
YILMAZCOBAN

Üye



## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muammer TANRIVERDİ

27.05.2018



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Çalışkan'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve proje kaynaklarının kullanılması, projemin detaylandırılması konularında hiçbir desteğini esirgemeyen Uzmanlar Platform A.Ş personeli ve ailesine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	ix
SUMMARY .....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
BÖLÜM 3.	
SEPETLİ PLATFORM GENEL YAPISI .....	7
3.1. Şasi Genel Yapısı.....	8
3.2. Kule Genel Yapısı.....	9
3.3. Bom Genel Yapısı.....	11
3.4. Sepet Genel Yapısı.....	13
BÖLÜM 4.	
SEPETLİ PLATFORM GENEL ÇALIŞMA MANTIĞI .....	15
BÖLÜM 5.	
SEPETLİ PLATFORM İMALATI .....	17
5.1. Şasi Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti .....	17

5.2. Kule Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti .....	21
5.3. Boom Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti .....	22

## BÖLÜM 6.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM MODELLEME .....	24
6.1. Sepetli Platform Statik Çalışma Modelleme .....	24
6.2. Sepetli Platform Dinamik Çalışma Modelleme .....	26
6.3. Sepetli Platform Yapısının Matematiksel Modellenmesi .....	28
6.4. MSc Adams® Programı ile Statik Devrilme Sınırının Tespiti .....	30
6.5. Sonuçların İncelenmesi .....	33

## BÖLÜM 7.

SEPETLİ PLATFORM BOOM YAPISININ GELİŞİMİ .....	34
7.1. Sepetli Platform Boom Mekanizmasının Çalışma Mantığı .....	34
7.2. Sepetli Platform Bomların Yapısal Davranışı.....	36
7.2.1. Boom zincirlerinin dinamik modellenmesi.....	41
7.2.2. Sonuçların incelenmesi .....	42

## BÖLÜM 8.

SEPETLİ PLATFORM ŞASI YAPISININ GELİŞİMİ.....	44
8.1. Sepetli Platform Şasi Yapı Elemanları .....	44
8.2. Sepetli Platform Şasi Yapısının Davranışı.....	46
8.2.1. Sepetli platform şasisi dinamik analizi .....	50
8.2.2. Sonuçların incelenmesi .....	51

## BÖLÜM 9.

SEPETLİ PLATFORM YAPISAL ANALİZİ .....	52
9.1. Bom Zincir Mekanizmasının Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Analizi .....	52
9.2. Sepetli Platform Bom Yapısal Analizi.....	55
9.3. Sepetli Platform Kule Yapısal Analizi.....	60
9.4. Sepetli Platform Şasi Yapısal Analizi ve Geliştirilmesi .....	62

BÖLÜM 10.	
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	73



## SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ

Bdf	: Nastran Bulk File
DOF	: Degree of Freedom
EMK	: Emniyet Katsayısı
HT26	: Hidrolik Teleskobik 26 Metre Sepetli Platform
KE, T	: Kinetik Enerji
L	: Langrange Denklemi
Mnf	: Modal Neutral File
PE, V	: Potansiyel Enerji



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Araç üstü mobil hidrolik platform modelleme ve konsept tasarımı.....	2
Şekil 2.2. Eklemlili teleskopik sepetli platformun elektrik işlerinde kullanılması.....	3
Şekil 2.3. Eklemlili teleskopik sepetli platformun elektrik işlerinde kullanılması.....	4
Şekil 2.4. Araç üstü mobil hidrolik iş platform kullanımının faydaları .....	5
Şekil 2.5. Düşeyde kaldırma, hem yatay hem de düşeyde kaldırma .....	6
Şekil 2.6. Sepetli platformların sınıflandırılması .....	6
Şekil 3.1. Sepetli platform genel yapısı ve elemanları.....	7
Şekil 3.2. Sepetli platform şasisi genel yapısı.....	8
Şekil 3.3. Sepetli platform kule genel yapısı.....	10
Şekil 3.4. Sepetli platform kule taban sacı kaynak gösterimi .....	11
Şekil 3.5. Sepetli platform ara montajı tamamlanmış bom mekanizması.....	12
Şekil 3.6. Mobil vinç boamlarının sehim miktarının hesaplanması.....	13
Şekil 3.7. Sepetli platform polyster sepet kullanımı.....	14
Şekil 4.1. HT26 sepetli platform çalışma diyagramı.....	16
Şekil 5.1. Sepetli platform makine şasisi ana bölümleri .....	17
Şekil 5.2. Örümcek ayaklı sepetli platform.....	18
Şekil 5.3. Sepetli platform makine şasi ana gövdesi ve traverslerin imalatı.....	19
Şekil 5.4. Sepetli platform makine şasisi yükseltme kutusu montajı .....	20
Şekil 5.5. Sepetli Platform kule ana bölümleri.....	21
Şekil 5.6. Sepetli platform boamlarının abkant büküm ile şekillendirilmesi.....	22
Şekil 6.1. Sepetli Platform yana açılma statik devrilme hesabı .....	24
Şekil 6.2. Anaboom statik bom yüklerinin moment etkisi.....	25
Şekil 6.3. Anabom kesit detayı.....	25
Şekil 6.4. Teleskobik boumlu sepetli platform matematiksel model şeması .....	28
Şekil 6.5. Yapısal ve dinamik analiz sürecindeki işlem basamakları.....	31
Şekil 6.6. Dinamik sistem modelleme ortamında constrain tanımlanması .....	32

Şekil 6.7. Sepetli platform katı model görünümü .....	32
Şekil 6.8. MSc Adams dinamik modelleme programı ile devrilme sınırının tespiti.....	33
Şekil 7.1. Sepetli platform boom zincirleme sisteminin fiziksel gösterimi .....	34
Şekil 7.2. Sepetli platform boamları üzerinde farklı zincir boyutlarının kullanımı .....	35
Şekil 7.3. Bom yapısı MSc Apex® programı ile hazırlanmış mesh ağı .....	37
Şekil 7.4. İkinci boomun bomlar 0 derece de iken üzerine gelen yük dağılımları.....	39
Şekil 7.5. Zincir Bağlantı Aparatı(sabit-kaynaklı) .....	39
Şekil 7.6. Bom zincir yataklama makarası.....	39
Şekil 7.7. Zincirlenmiş boom mekanizmasının teleskopik piston ile evlendirilmesi.....	40
Şekil 7.8. MSc Adams/Machinery® zincir yükleri analizi (Açma Hattı) .....	43
Şekil 7.9. MSc Adams/Machinery® zincir yükleri analizi (Toplama Hattı) .....	43
Şekil 8.1. Kule döner tabla dişlisi .....	44
Şekil 8.2. Şasi taşıyıcı araç ile bağlantı aparat tasarımı .....	46
Şekil 8.3. Şasi taşıyıcı araç şasisi kaynaklı bağlantı plakası montajı.....	47
Şekil 8.4. Makine şasisi MSc Simxpert® ortamında ASET tanımlanması.....	48
Şekil 8.5. Makine yükseltme kutusu ve ayak bölgeleri mesh modellemesi.....	48
Şekil 8.6. Şasi bağlantı plakası ve RBE2 ile cıvata bağlantılarının modellenmesi.....	49
Şekil 8.7. Sepetli platform şasisi yanal çalışma sınırına göre yapısal analizi .....	50
Şekil 8.8. Sepetli platform şasisi katı model yük dağılımı.....	51
Şekil 8.9. Sepetli platform şasisi dinamik analiz yük dağılımı .....	51
Şekil 9.1. MSc Adams® Step fonksiyonu ile hız zaman grafiğinin oluşturulması.....	54
Şekil 9.2. Sepetli platform boamları 250 yük ile yapısal sehim analizi.....	55
Şekil 9.3. Bomlarının FEM yöntemi ile yapısal analiz sürecine hazırlanması .....	56
Şekil 9.4. Sepetli platform anaboom yapısal analizi .....	57
Şekil 9.5. Sepetli platform ikinciboom yapısal analizi.....	57
Şekil 9.6. Sepetli platform üçüncüboom yapısal analizi .....	58
Şekil 9.7. Sepetli platform dördüncüboom yapısal analizi.....	58
Şekil 9.8. Sepetli platform besinciboom yapısal analizi .....	59
Şekil 9.9. Sepetli platform altınciboom yapısal analizi.....	59
Şekil 9.10. Kule yatak yüklerinin MSc Adams® ortamında hesaplanması .....	60
Şekil 9.11. Kule yapısının MSc Adams® ortamında dinamik hesaplanması .....	61
Şekil 9.12. Teleskobik vinç dengeleyici ağırlık uygulaması.....	65

Şekil 10.1. Kule arkası dengeleyici ağırlık uygulaması .....	67
Şekil 10.2. Kule arkası dengeleyici ağırlık yapısının statik devrilme analizi .....	67
Şekil 10.3. Farklı strok değerlerinin makine toplam yanıl uzama mesafesine etkisi .....	68
Şekil 10.4. Boom yapısının doğal frekansları (Ansys).....	69
Şekil 10.5. HT26 teleskobik boamların doğal frekans analizi .....	70



# TAŞIT ŞASI ÜSTÜ PLATFORMUNUN DİNAMİK PARAMETRELER ALTINDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

## ÖZET

Bu çalışmada, sepetli bir platformun yapısal dinamik analizi gerçekleştirilmiş ve platform ağırlık dağılımı, kule arkasına uygulanacak kütle ile yapısal standartları karşılayacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Analizler katı modelleme, sonlu elemanlar ve analitik metotlar ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar matematiksel teknikler ve mevcut üretilen model kullanılarak doğrulanmıştır. Yapısal ve dinamik analizler neticesinde yapı üzerinde geliştirilebilecek makine bölümleri belirlenmiştir. Ek olarak kule arkasına yerleştirilecek dengeleyici ağırlığın makine üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Yeni yapılanmış yapı üzerinde yapılan tüm hesaplamalar ile yapı dinamik olarak tekrar gözden geçirilmiştir ve makine dinamik parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Analiz, Yapısal Analiz, Mekanik, Sepetli Platform

# **TOPOLOGY OPTIMIZATION OF AERIAL WORK PLATFORM UNDER DYNAMIC PARAMETERS**

## **SUMMARY**

In this study, structural dynamic analysis of an aerial work platform is conducted and the platform weight distribution is reconstructed to satisfy structural standards with mass on the back of turret. The analysis is realized using solid modelling, finite elements and an analytical method. The results are verified using mathematical techniques and available produced model. Through structural and dynamic analysis approach developable part is determined. Additionally, the effect of mass which place on the back of turret on the machine is determined. All calculations made on the new structure which was dynamically revised and the effects on the machine dynamic parameters were examined.

Keywords: Dynamic Analysis, Structural Analysis, Mechanic, Aerial Work Platform

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Makine ve makineleşme sektöründe hızlı adımlar ile ilerleyen Platform sektörü özellikle sepetli platformlar alanında hızla yaygınlaşmakta ve hassas çalışma koşulları ile detaylı bir mühendislik alt yapısına ihtiyaç duymaktadır. Ülkemizde platform üretim sektörü çok eskilere dayanmamak ile birlikte yakın gelecekte, teknoloji ve yatırımların artması ile uluslararası kalitelere sahip platform çeşitliliği ve üretilebilirliğine sahip olunacağı aşikârdır.

Günümüzde üretilmekte olan sepetli platformlar özellikle elektrik, temizlik, boyama, montaj vb. birçok şirket tarafından kullanımı tercih edilmekte ve daha spesifik çalışmalarda çok daha hassas ayrıca uzun metrajlı makinelere ihtiyaç duymaktadırlar.

Sepetli platformlar çeşitli alanlara hizmet etmesi ile birlikte makine üretimi ve kullanımı sırasında birçok parametre ve sınır koşulları altında çalışmaktadır. Özellikle uzun metrajlı makinelerde; rüzgâr hızı, araç motor titreşim kaynağı, yük kapasitesi, yük dağılımı, hidrolik eleman kalitesi, mekanik malzeme kalitesi, üretim kalitesi vb. birçok parametreye bağlı olarak üretilmektedir.

Üretilmekte olan her bir platform boyutlarına, kullanılan hidrolik ve elektrik ekipmanlarına, taşıma kapasitelerine vb. üretim koşullarına göre farklı ağırlıklara sahip olmaktadır. Bununla birlikte müşteri, sahip olmak istediği aracın öncelikle yapısal ağırlığını şirket bünyesinden öğrenir ve bu metrajlı makine için uygun azami taşıma kapasitesine sahip araç tahsis ederek üretimin ilk adımlarını atmış olur.

Üretim süresince tasarlanmış makinenin imalatında hedef olarak güvenilir, daha hafif, efektif ve uzun ömürlü makine olarak belirlenen makinelerin gelişimi ülkemizde hızla ilerlemektedir. Üretim teknolojisi ve yöntemlerinin hızla gelişmesi ile ulaşılabilecek uzun metrajlar ile diğer dünya ülkeleri seviyesinde rekabetçi makine imalatına sahip olunabilecektir.

## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada yapılacak olan tasarımda dikkat edilecek hususları belirlemiştir. İnsan ve makine ilişkileri çok önemli bir araştırma konusu ve ürün tasarımında bir ilke olmuştur. Ürün biçimi ve insan makine ilişkisi analizine dayalı tasarım kavramı ve yöntemlerini önermektedir. İnsan ve makine işlevsel olarak şekillendirme yöntemi, araştırma nesnesi, tasarım, ürün modelleme gibi insan ve makine ilişkilerini içeren ve kullanıcı araştırmaları yapan bir yöntem olduğunu savunmuşlardır. Bu yöntemle, tasarlanan ürünlerin kullanımını ve çalışma prensibini anlamak çok daha kolay olabilir. Mobil hidrolik iş platformları ürünlerinde ileri teknoloji ve çağdaş estetik gereksinimlerini yansıtması gerekir. Ergonomiye dayalı ürün modelleme, tasarımı ve çalıştırılmak üzere eski ve teknolojiden uzak özelliklerinden kurtulmak ürünü daha kolay üretilebilir alır hale getirir(Şekil 2.1.). Ayrıca, ürün özelliklerinin daha akıllıca tahsisini yapar ve insan makine çevre ilişkilendirilmesi daha koordine olarak yapılabilir.



Şekil 2.1. Araç üstü mobil hidrolik platform modelleme ve konsept tasarımı.

İnsanların arzu edilen yüksekliklere ulaşabilmesi için birçok seçenek bulunmaktadır. Bu yüksekliklere örnek olarak platformların potansiyel çalışma alanı olarak nitelendirilen binalar, ağaçlar, uçaklar ve uzun yapılar olarak nitelendirebiliriz.

Sepetli platformlar birçok faydası olmasına karşın tehlike arz eden, ölüm ve yaralanmalara sebep olabilecek makinelerdir. Fakat bu can kayıplarının birçoğu kullanım hatası veya çevre koşullarına göre yetersiz kalmış önlemler olarak nitelendirilebilir. Elektrik sektöründe sık sık kullanılmakta olan sepetli platformlar uygun yalıtım malzemelerinin kullanılmamasından kaynaklı olarak birçok ölümlü kazalara sebep olmaktadır(Şekil 2.2.).

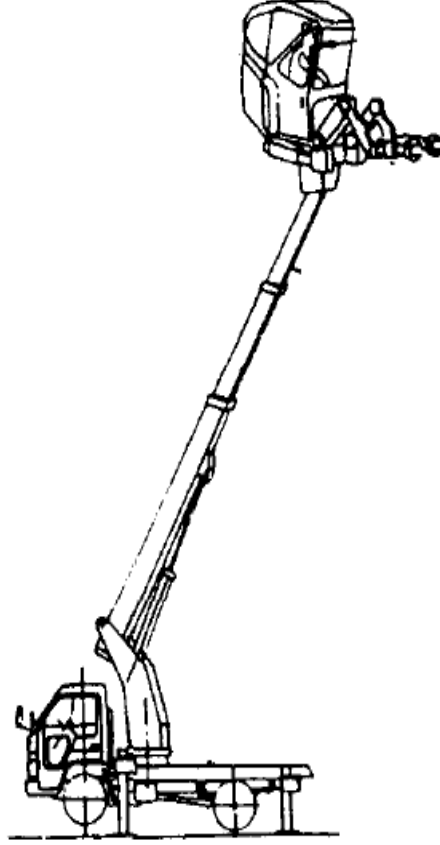


Şekil 2.2. Eklemlı teleskopik sepetli platformun elektrik işlerinde kullanılması.

Elektrik kablolarının direklere çekilmesini kolaylaştırmak için ve direklerdeki bağlantıların daha rahat yapılabilmesi için 1984 yılında çalışmalar başlatılmıştır. İlk olarak bir zemin üzerine monte edilmiş hidrolik boumlu bir prototip model 1985 yılında deneme amaçlı



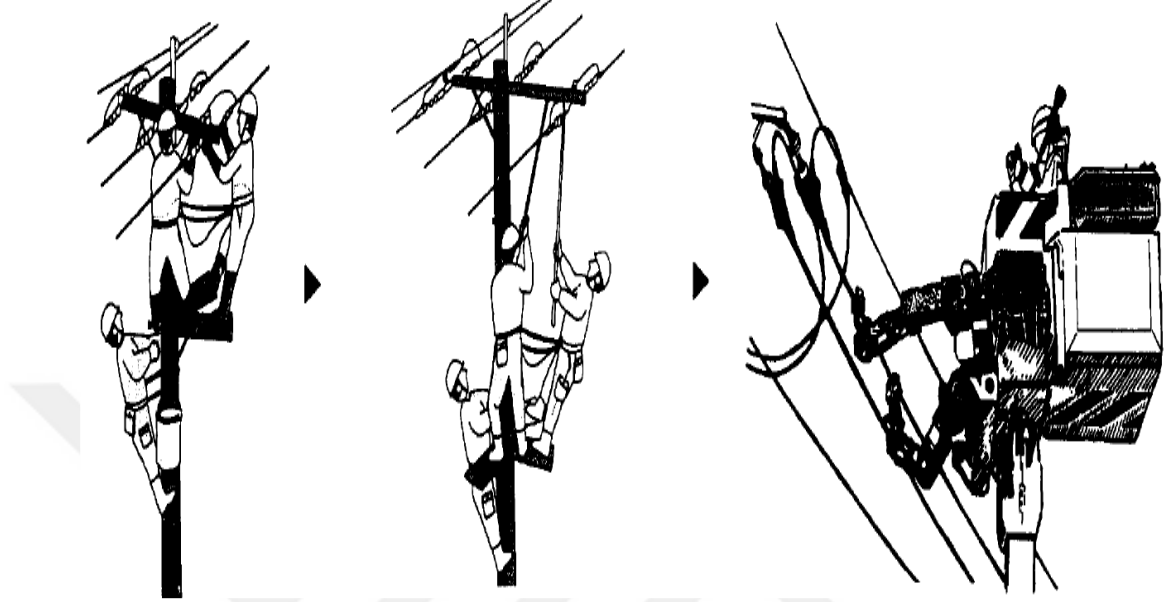
olarak üretilmiştir. İkinci çalışma 1988 yılında araç üstü olarak tasarlanıp bir araç üzerine monte edilmiştir. Araç üstü mobil hidrolik manipülatör olarak kullanılan sistem oluşturulmuştur. Tasarlanan aracın sepet uzvuna operatör kabini monte edilmiş ve bu kabine de gripper montaj edilmiştir. Böylece elektrik bağlantıları insan hayatını riske etmeden yapılması amaçlanmıştır. Üçüncü çalışma ise prototipi üretilen bu sistemin gerçek hayata gerilmesi olmuştur. Alınan veriler ve sonuçlara göre zamanla geliştirilmiştir. Üçüncü adımda elektrik dağıtım hattı yapım gripper sistemlerinin iki türü geliştirilmiştir. İlk adım olarak makinelerin artan kullanım kolaylığı ve elektrik performansı güvencesi ikincisi ise araç boyutu ve ağırlık azaltma gibi ilk geliştirme kavramları ile uyumlu olacak şekilde makineler üretilmiştir.



Şekil 2.3. Eklemlili teleskopik sepetli platformun elektrik işlerinde kullanılması.

Benzer bir çalışmada, mobil hidrolik iş platformu kullanarak elektrik direklerinde ki tellerin bağlantısında sepet uzvunun yatayla dengeli olarak durması üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Sepet üzerinde bulunan gripperin sağlıklı olarak çalışabilmesi ve işin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için sepet uzvunun konumlandırılması çok önemlidir. Sepet

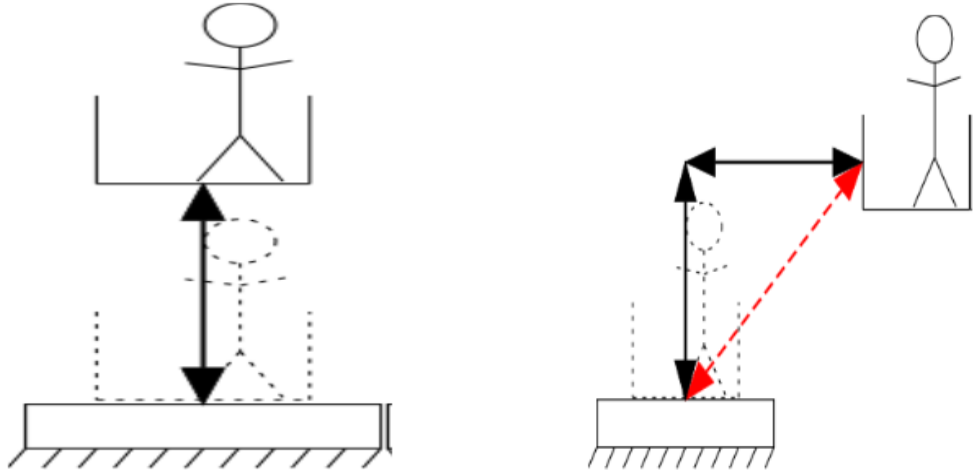
uzvunun diğerk uzuvlardan alınan bilgiler dâhilinde geliştirilen kontrolcü sayesinde dengelenmesi gerçekleştirilip istenilen işin yapılması sağlanır.



Şekil 2.4. Araç üstü mobil hidrolik iş platform kullanımının faydaları.

İnşaat malzemeleri ve bileşenleri birçok endüstriyel malzemelerden daha büyük ve ağırdır. Tavan cam bunlardan biridir ve iç kaplama boyunca bir yapı malzemesi türüdür. Son zamanlarda bina tasarımları da daha estetik ve modern yapılmaya başlandığı için çok katlı binaların dış cepheleri cam ile kaplanmaya başlanmıştır. Bu durumda tavan cam için daha fazla talep görmesini sağlamıştır. Çalışmanın amacı şantiyelerde tavana cam yüklemek için mobil hidrolik iş platformu ile teknolojisini birleştirmektedir. Robot yüklü platform hassas ve kırılğan malzeme taşıyacağı için platformun pozisyonu ve yaptığı hareketleri hassas olması önem arz ediyor. Bu çalışmada sunulan tavana cam kurulumu, robot bir platform ve çok serbestlik dereceli gripper ile birleştirilir.

Sepetli çalışma platformları farklı görünüşlerde fakat aynı hedefe hizmet sunan makinelerdir. Bu hizmet insanların arzuladıkları yüksekliklere güvenle ulaştırılabilmesidir. Bu sepetli platformlar ise farklı mekanizmalar ile kaldırma hareketini gerçekleştirebilir. Sepetli platformlar düşey de veya hem düşey hem de yatay da iş görebilmektedir. Düşey düzlemde kaldırma işlemi yapan platformlar makaslı ve man lift(kendinden yürüyüşlü) platformlar olarak adlandırılmaktadır. Hem yatayda hem de düşeyde kaldırma hareketi yapan platformlar ise eklemli, teleskopik ve teleskopik eklemli olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.5. Düşeyde kaldırma, hem yatay hem de düşeyde kaldırma.

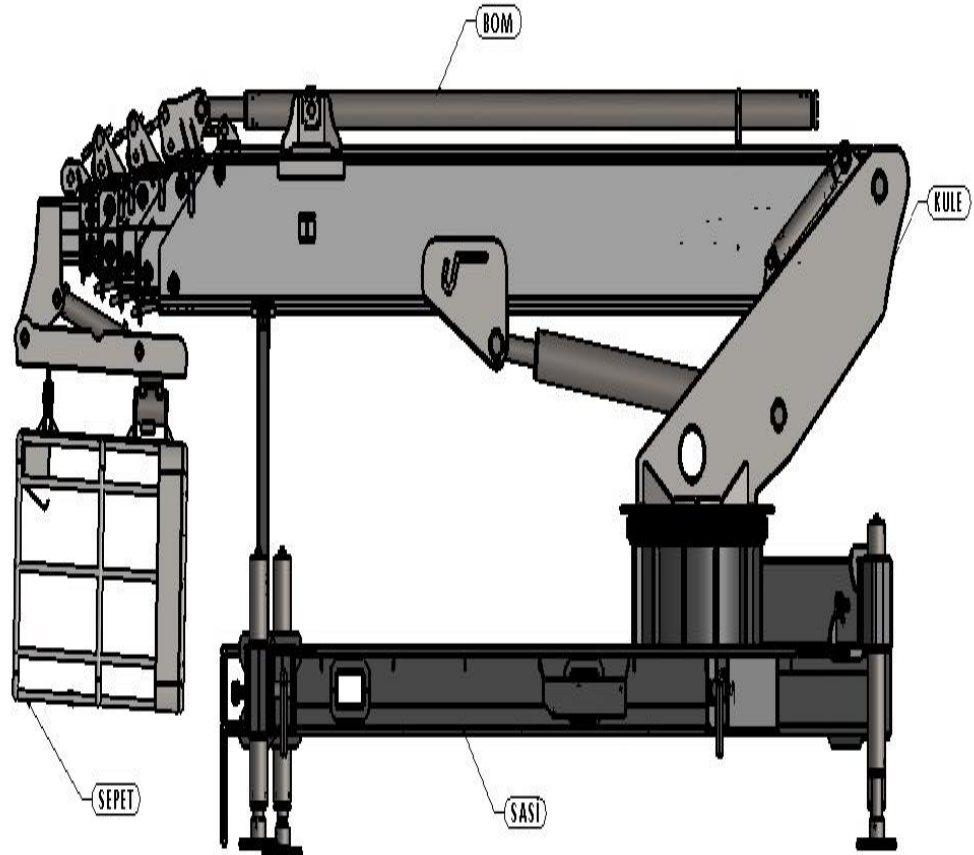
Sepetli platformlar kullanım amaçlarına ve çevre koşullarına göre farklı boyutlarda ve mekanizmalarda geniş bir alanda hizmet vermektedirler. Özellikle pencere kaplama sistemleri, elektrik, temizlik, montaj gibi birçok alanda hizmet veren sepetli platformlar farklı çeşitlerde imal edilmektedir. Bu platformlar düşey ekseninde ve hem düşey hem yatay eksenlerde hizmet vererek birçok ileri seviye problemlere çözüm sunmaktadırlar. Kullanışlılığı ve işlevselliği ön plana çıkmasıyla farklılaşan mekanizmalar rekabetin de artması ile birçok çeşide bürünmüştür.



Şekil 2.6. Sepetli platformların sınıflandırılması.

### BÖLÜM 3. SEPETLİ PLATFORM GENEL YAPISI

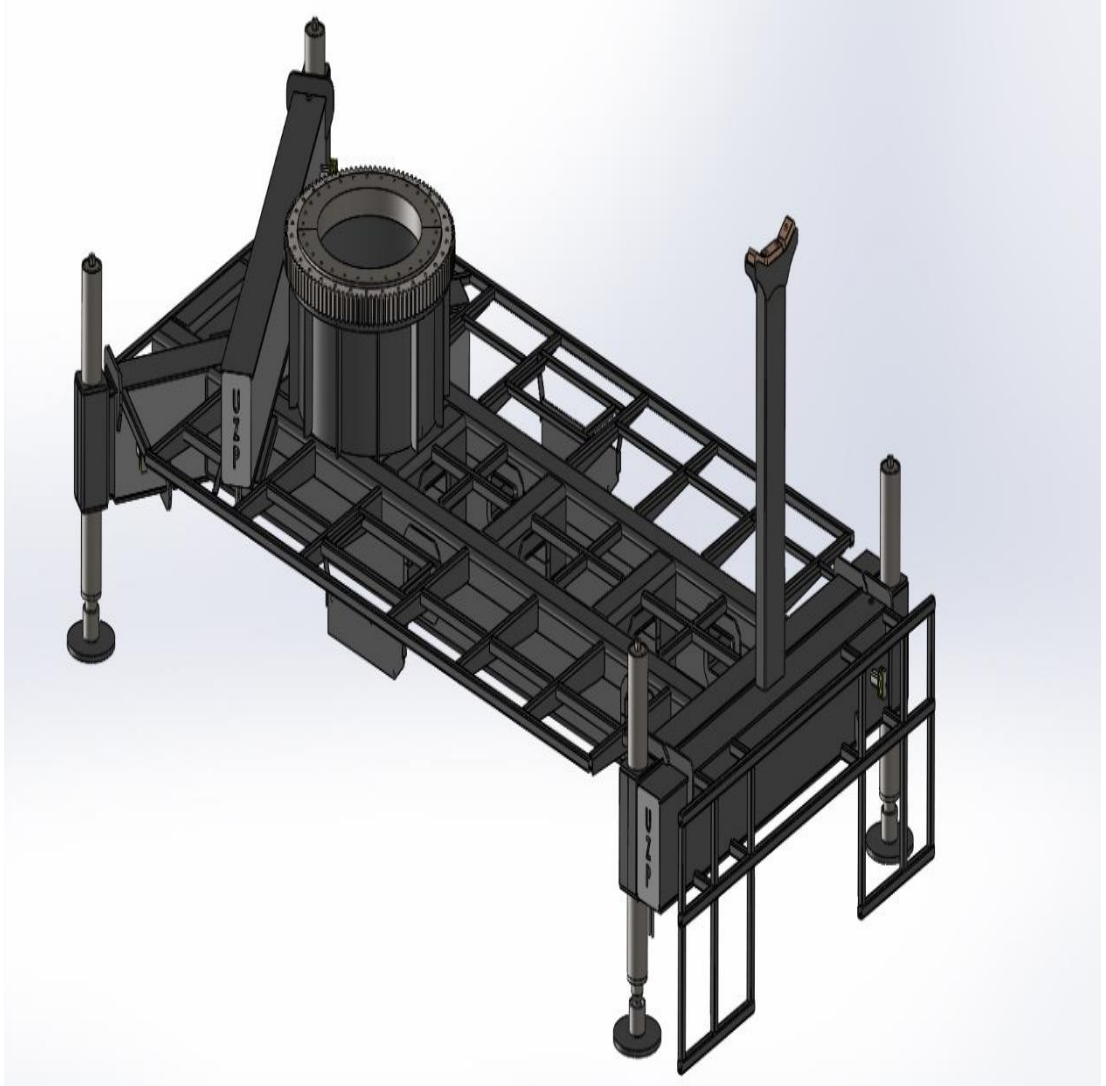
Sepetli platformlar genel yapısı itibari ile şasi, kule, bom ve sepet bölümlerinden oluşmaktadır. Burada şasi makinenin yere yerleşiminde kullanılmakta olan ayaklara yataklık eder ve makinenin kurulmasını sağlamaktadır. Kule ise zemin üzerine kurulmuş makinenin kule dönüş merkezi etrafında dönmesini sağlayan aynı zamanda bom ve bom kaldırma pistonuna yataklık eden bölümdür. Bomlar, iç içe sıralanmış genellikle zincir veya halat mekanizmaları ile sırasıyla açılmasını sağlayan yüksek mukavemetli çelik saclardan imal edilen çeşitli kesitlere sahip yapılardır. Sepet ise yapının hedef yüksekliğe taşıdığı insanı ve insan ile birlikte ekipmanlarını güvenli bir biçimde ulaşmasını sağlayan uygun boyutlarda tasarlanmış yapıdır(Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Sepetli platform genel yapısı ve elemanları.

### 3.1. Şasi Genel Yapısı

Makine şasisi genellikle St52 çelik kalitesinden oluşturulan ve traverslerden oluşan ayaklara ve kuleye yataklık eden ana parçadır. Burada özellikle makine şasisini makine dengeleyici ağırlığı olarak tanımlamamız mümkündür. Çünkü makine çalışma sırasında ayakların açılması ve dikey ayakların bastığı nokta olarak belirlenen dönme merkezinin arkasında kalan kule, şase ve taşıyıcı araç ağırlıkları dengeleyici ağırlık olarak görev yaparak makine çalışma sınırlarını belirlemektedir. Makine şasi genel boyutlarını belirleyen ölçüler, taşıyıcı araç şasi boyutları ile örtüşebilecek ve makine arka ayaklarının taşıyıcı araç şasisi üzerinde çalışmasına elverişli olacak şekilde boyutlarında sınırlandırılmıştır(Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Sepetli platform şasisi genel yapısı.

Karayollarının izin verdiği ölçü sınırları neticesinde belirlenen maksimum genişlik ve uzunluk değerlerine göre tasarlanmış makine şasisi, buna uygun hidrolik tahrikli olarak çalışmakta olan ayakların çalıştırılması ile makinenin güvenli bir şekilde çeşitli arazi koşullarında sepetli platformun çalışmasına olanak sağlamaktadır. Makine şasisi üzerinde, bomların açılması ve oluşan esnemeler, rüzgâr ve diğer dış tahrik unsurları ile meydana gelen moment dalgalanmalarını da absorbe edebilecek kadar esnek ve bir o kadar da rigid olmak zorundadır. Burada makine şasisinin imalatı süresince çeşitli yöntemler geliştirilmiş olup, genellikle sac malzemelerin dikdörtgen kutu şeklinde bükülüp kaynatılarak elde edilen kutuların travers iskeleti olarak kullanılması sağlanmaktadır.

Makine şasisi üzerinde imalat süresince ve kullanım sırasında göz önünde bulundurulması gereken hassas noktalar bulunmaktadır. Burada önemli noktalardan biri de taşıyıcı araç şasisinin üzerinde sabit yük olarak taşıdığı makine toplam ağırlığını kaldırabiliyor olması ve ayrıca makine şasisi ile araç şasisi arasındaki bağlantının doğru yapılmış olması gerektiğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü taşıyıcı araç şasisi olarak tasarlanmış şasiler özellikle bu şekilde araç üstü ekipman şasilerine göre hayli esnek kalmaktadır. Bu esneklik makinenin şasisi üzerindeki rigidlik ile birleştiğinde ve bu kesimi tamamen rigid bağlantı elemanları ile bağladığımızda taşıyıcı araç şasisi üzerinde kalıcı ve hatta geri dönülemez hasarlara neden olunabiliyor.

Üretilebilirlik, uygulanabilirlik ve verimlilik esaslarına göre tasarlanmış makine şasisi ve bağlantı elemanlarının tasarımı, geliştirilmesi süreci makinenin imalat sürecinde detaylı bir şekilde incelenecektir.

### **3.2. Kule Genel Yapısı**

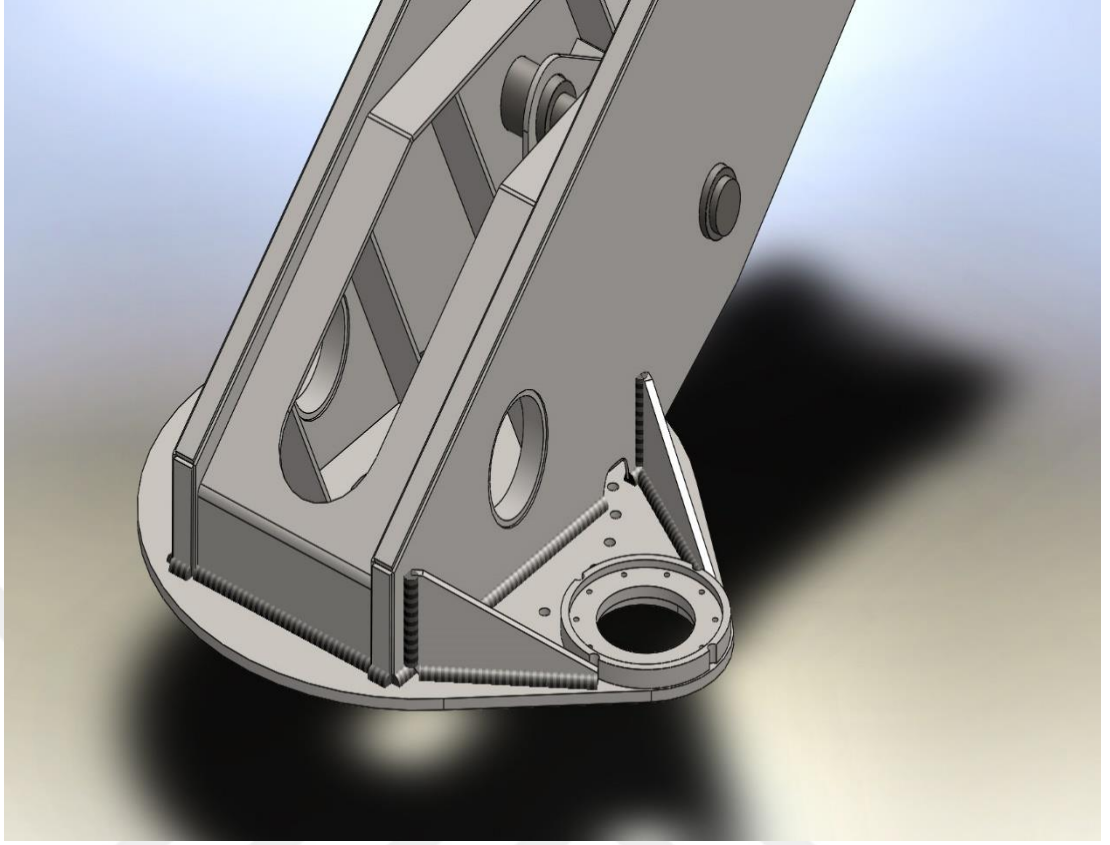
Makine genel yapısını oluşturan ana unsurlardan biri olan kule, makinenin kullanılacak ekstra ekipmanlar ile 360 dereceye kadar düşey olarak dönüşüne izin veren yapıdır. Burada kule, makine şasisi üzerine dişli damak bağlantı elemanı ile yataklanmış olup ayrıca kule yapısı itibari ile kaldırma pistonuna ve bomların kule ile olan yükselme açısına yataklık etmektedir. Kulenin bir diğer görevi ise aynı zamanda da dengeleyici ağırlık olarak görev yapıyor olmasıdır. Yapının bu denli çok yönlü işlevsel olması yapının mukavemetinin ve uzun ömürlülüğünün buna bağlı olarak ağırlık merkezi dağılımının makine çalışma verimliliğine olan etkisi hayli fazladır. Buna bağlı olarak imalat sürecinde kule

yataklamalarının, dişli damak yataklamalarının, kule taban sacı ve redüktör bağlantı flanşının yataklanması gibi hayli detaylı imalat süreçlerinden geçiyor olup, imalat sürecinde hassas bir yer kapsamaktadır(Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Sepetli platform kule genel yapısı.

Kule genel yapısı üzerinde çeşitli makine tipleri mevcut olup, minimum parça, minimum işçilik maliyeti, minimum zaman kaybı, yüksek verimlilik ve mukavemet esaslarına dayalı olarak tasarlanmış modeller bulunmaktadır. Bu modeller ışığında yapının vücut hatlarında bulunan büküm alanları artabilmekte veya düz saclar ile bükümlü parçaların tedarikinde yaşanabilecek aksaklıkların bertaraf edilebilmesi için kullanılmaktadır. Kule yapısının en önemli unsurlarından ve üretim aşamalarından biri olan kule taban sacının birleştirilmesi makinenin uzun ömürlülüğünü ve sağlamlığını doğrudan belirleyen noktalardandır(Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Sepetli platform kule taban sacı kaynak gösterimi.

Elde edilen yapının imalat sürecinde birçok hassas noktalardan geçtiğini özellikle taşıyıcı araç üzerinde iken ki konumu ve çalışma koşulları kule yapısının şekillenmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Kule imalatının detayları ve bu detaylara bağlı olarak incelenecek kısımlar bir sonraki adımlarda detaylandırılacak olup, bu incelemelerin yapılacak analizler ışığında değerlendirilmesi sağlanacaktır.

### 3.3. Bom Genel Yapısı

Bomlar özellikle sepetli platformların en kritik elemanı olarak dikkat çekmekte olan ve bu elemanların hassas bir imalat sürecinden geçmesi gerektiğini belirten ana parçasıdır. Burada bomlar genellikle zincir ve halat yardımı ile iç içe geçmiş yapıların basit makara mantığı ile peşi sıra bağlanması ile oluşturulmuş sistemdir. Bomların hareket tahrik kolu olarak kullanılmakta olan teleskopik pistonlar bomların üstüne, içine veya altına montaj edilerek kullanılırlar. Üretilmekte olan bomlar yüksek mukavemetli çelik malzemelerden



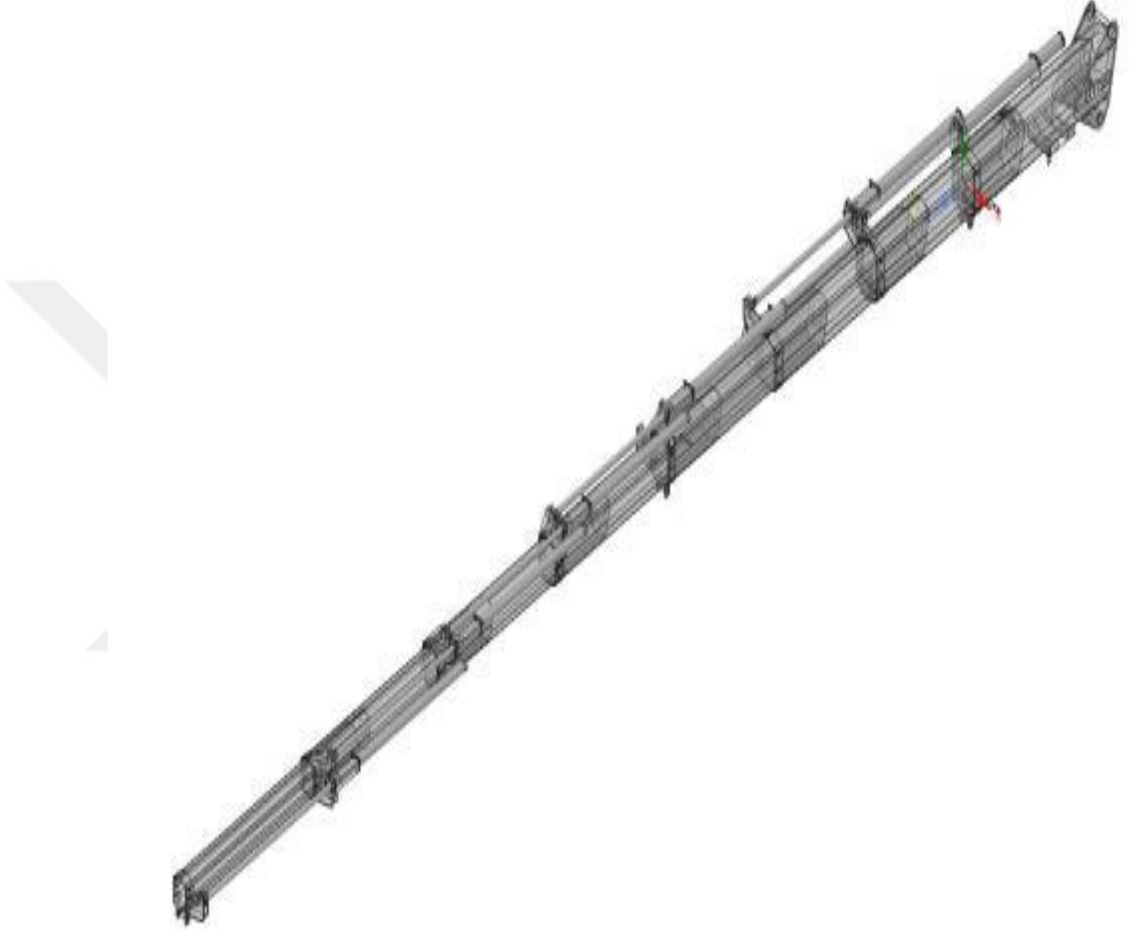
oluşuyor olup, üzerindeki bükümler sayesinde yapının mukavemeti arttırılmaktadır(Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Sepetli platform ara montajı tamamlanmış bom mekanizması.

Buna bağlı olarak kaynaklı bir şekilde birleşimi sağlanan bom kesimleri ve bayraklamalar iç içe olacak şekilde toplama aşamasına geldiğinde, bomlar arasındaki kayganlığı kestamit adı verilen kestamit malzemeler sağlamaktadır. Ekstra kayganlık için ise özel gress yağları kullanılarak zor koşullarda dahi makinenin çalışmasını ilk gün ki gibi sağlamaktadır (Pavlovic, Fragassa, & Minak, 2017).

Bomların imalatı ve toplanması sürecinde hassas bir işçilik gerektiren bu süreç sırasında bomların iç içe ve paralel çalışması hayli önemlidir. Burada paralellik malzemenin esneme katsayısı ile bozuluyor olup, bomlar arasındaki orantılı mukavemet dağılımı yapının yük aktarımını daha verimli ve düzenli kılmaktadır.



Şekil 3.6. Mobil vinç bomlarının sehim miktarının hesaplanması.

Makinenin çeşitli çalışma koşullarına göre özellikle de bomlar üzerindeki etkisi bariz bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Burada tasarımın önemi kaldırılacak yük, çalışma mesafesi ve kullanılacak malzeme kalitesine bağlı olarak makinenin davranışı değişmektedir. Bomların detaylı incelemesi üretim aşaması ve yapısal davranışı yapılacak olan analizler ve üretim aşamalarının incelenmesinde detaylı bir şekilde değinilecektir(Şekil 3.6.).

#### **3.4. Sepet Genel Yapısı**

Sepetli platformlarda operatör için en kullanışlı, hafif ve sağlam olarak tasarlanmakta olan sepet bölümü makine için büyük önem arz etmektedir. Burada sepetin yapısı üzerinde çeşitli kullanım alanlarına göre üzerinde kullanılan malzemeler alüminyum veya çelik olarak değişiklik göstermektedir. Sepet, öncelikle makine çalışma yükünü karşılayan ilk andır ve belirli standartlar ölçülerinde tasarlanır, imal edilir. Sepet taban yüksekliği makine ilk tasarım aşamasında temel alınarak hedef olan 26 metre makine imalatına göre, taban yüksekliğinden taşıyıcı araç teker temas arası mesafe 24 metre olacak şekilde tasarlanır. Standartlara göre sepet taban yüksekliğinden 2 metre daha eklenmesi ile elde edilecek 26 metre yükseklik makine çalışma yüksekliği olarak belirlenmektedir. Sepet imalat sürecinde kullanılmak üzere çelik veya alüminyum profillerden oluşmuş yapının yanı sıra, polyester sepetlerde kullanılabilmektedir. Bu yapıların birçoğu makine çalışma şartlarına uygun olacak şekilde sipariş aşamasında belirlenerek en uygun sepetin kullanıcıya teslim edilmesi sağlanmaktadır(Şekil 3.7.).



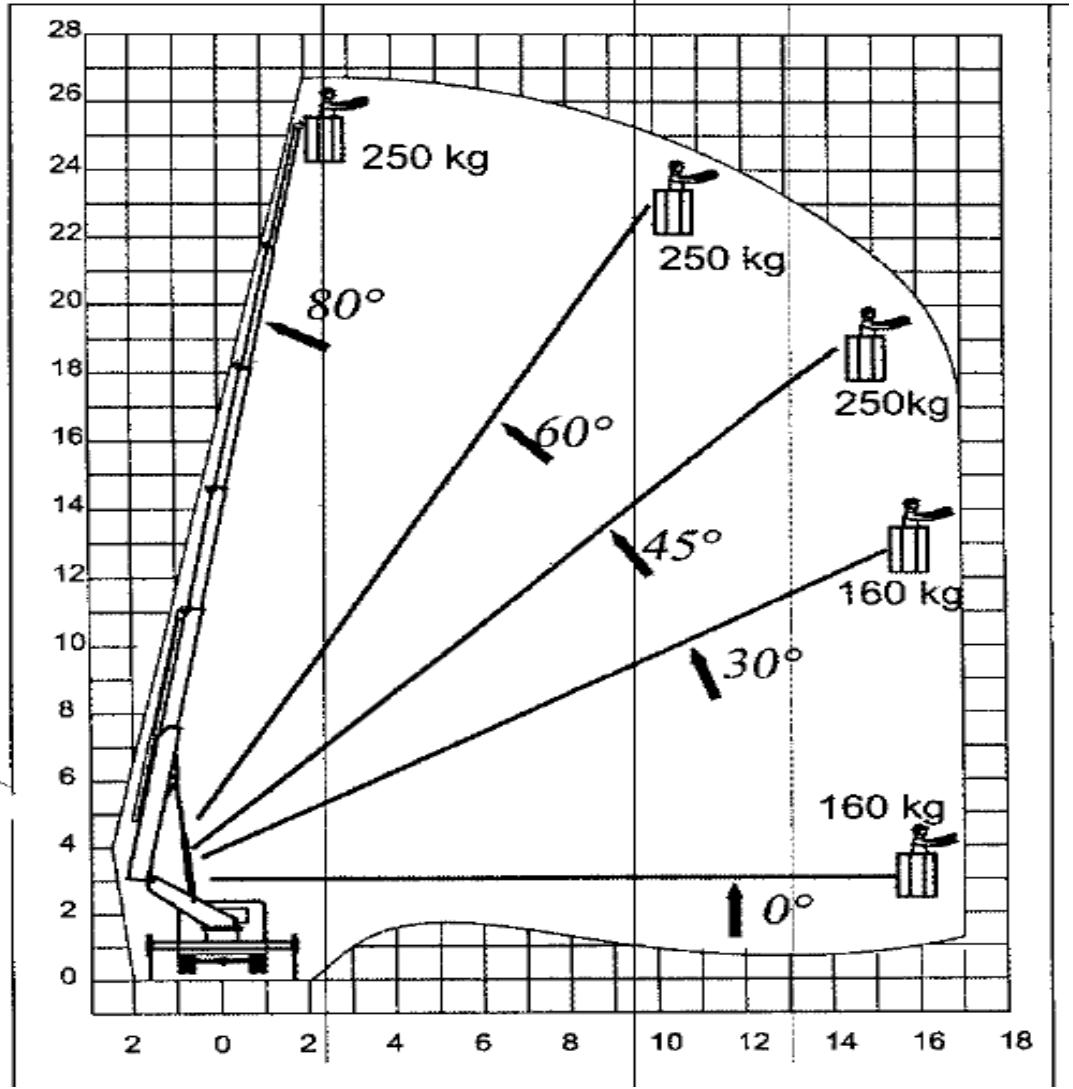
Şekil 3.7. Sepetli platform polyester sepet kullanımı.

## BÖLÜM 4. SEPETLİ PLATFORM GENEL ÇALIŞMA MANTIĞI

Sepetli platformlar, hidrolik tahrikli yapısında birçok hidrolik ekipman bulunduran vinç ailesi ürünlerinden olan bir makine çeşididir. Genel olarak taşıyıcı bir araç üzerine yataklandırılmış makine şasisi ve ayakları makinenin araç ile yer arasındaki ilişkiyi kopararak taban üzerinde sabit bir düzlem elde edilmesini sağlayan bölümdür. Bu bölümün üzerinde bulunan kule, boom ile şase arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır ve makine dönüş eksenini belirlemektedir. Kule ile şase arasındaki dönüş işlemini ve tüm makine momentini karşılamakta olan dişli damak sisteminin de yataklanması bu bölüm üzerinde bulunmaktadır. Kule üzerindeki diğer bir önemli bağlantı merkezi ise boomer arasındaki dönüş merkezidir. Burada kule üzerinde bulunan boom dönüş merkezi ile makinenin çalışma yüksekliği belirlenmiş olup ayrıca boomerın bu eksen üzerinde dönüşünü sağlayan hidrolik piston ise bu alanda yataklanmaktadır.

Makinenin genel olarak yataklanması ile birlikte iç içe sıralanmış boomerın montajı sağlanarak makine genel olarak montajlı haline bürünmektedir (Şekil 3.5.). Burada boomer iç içe geçmiş yapılar olarak görülmesi ile birlikte birbiri ardına sıralanmış bu sistemin makara-zincir mantığı ile veya kaskat halat yardımı ile peşi sıra çalışması sağlanmaktadır. Boomerın ardı ardına çalışmasını sağlamakta olan hidrolik silindir vinçlerden ayrı olarak tekil bir teleskopik silindir olarak kullanılmaktadır. Bu silindir anaboom üzerine, içine veya altına olacak şekilde montaj edilerek bir önündeki boomerı tahrik eder ve bu boomerı bağı olan diğer boomer ardı ardına hareket ettirmektedir. Burada montajı yapılmış boomer arasındaki kayıcılığı arttırmak ve yataklanmanın sağlanabilmesi için kestamit malzeme ve bu malzeme arasında kullanılacak özel gress yağlayıcılar sayesinde makine çalışma verimliliği artırılmaktadır. Son olarak eklenmekte olan sepet ile birlikte tamamlanan makine yapısı hidrolik sistemin ve bu hidrolik sistem kontrolcüsünün montajı ile birlikte çalışmaya hazır hale getirilmektedir. Hidrolik montaj sürecinde sepetin daima yere paralel olacak şekilde çalışmasını sağlamakta olan sepet denge pistonu ya elektronik kontrollü dengeleyici ile yada kule ile boom arasında değişen çalışma açısına bağlı olarak çalışmakta olan pistonun deplasman olarak aldığı stroğu uygulaması ile çalışmaktadır. Montajı tamamlanmış ve onaylanmış makine son olarak hidrolik sistemler üzerinde bulunan

elektronik kontrolcüler ve sensörlerin bağlanması ve ayarlanması ile çalışma sınırları tanımlanmış olur ve teslimata hazır hale getirilmektedir.



Şekil 4.1. HT26 sepetli platform çalışma diyagramı.

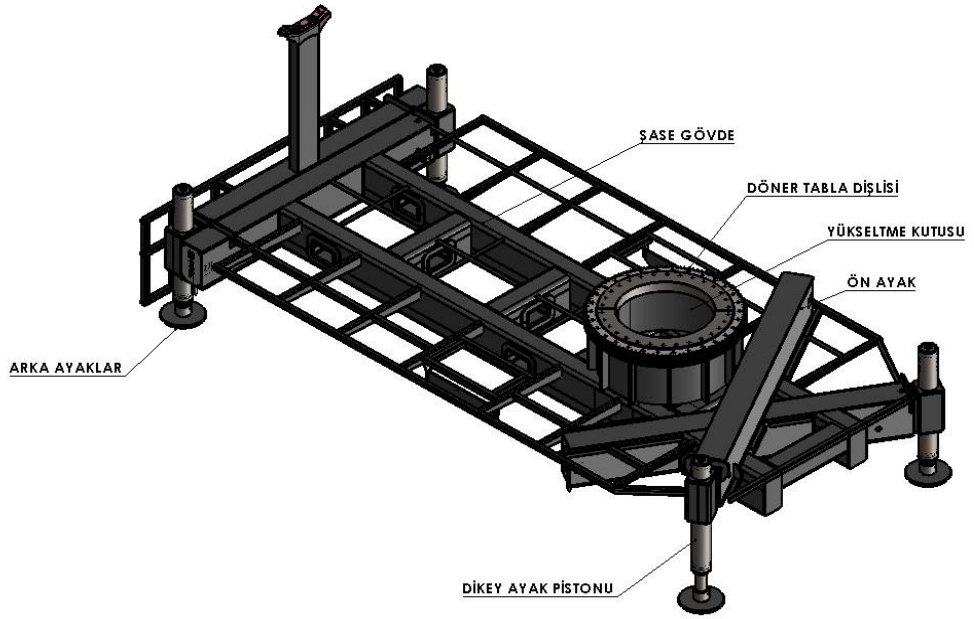
Makine çalışma diyagramı (Şekil 4.1.) üzerinde de görüldüğü üzere, makine yanıl kapasitesi belli bir sınır içerisinde ve düşey yükseklikte bu kapasite maksimum değerlere ulaşıldığı gözlemlenmektedir. Çalışma diyagramı makinenin emniyetli bir şekilde hizmet verebildiği sınırları belirtmekte olup, bu sınırlar tasarım aşamasında statik hesaplamalar yolu ile üretim aşamasında ise dikey ayak pistonlarına koyulmakta olan sensörler dolayısıyla ölçülmekte olan yer teması bilgisi ile makine sınırları belirlenmektedir.



## BÖLÜM 5. SEPETLİ PLATFORM İMALATI

### 5.1. Şasi Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti

Şasi üretim sürecinde makine genelinde kullanılmakta olan çelik sacların kesimi ve bükümü sonucu elde edilen parçaların kaynatılması ile oluşan şasi ana parçaların bir araya getirilmesi ile başlanmaktadır. Burada şasinin genel olarak imalat aşamasında önemli bir seviyede rigid olması ve ayaklara yataklık edebilmesi beklenir. Yapının çoğunlukla St52 veya St37 çelik kalitesinde olması ve buna bağlı olarak kullanılan malzeme boyutları ile toplam ağırlığı hayli yüksek sayılabilecek bir montaj elde edilmektedir(Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Sepetli platform makine şasisi ana bölümleri.

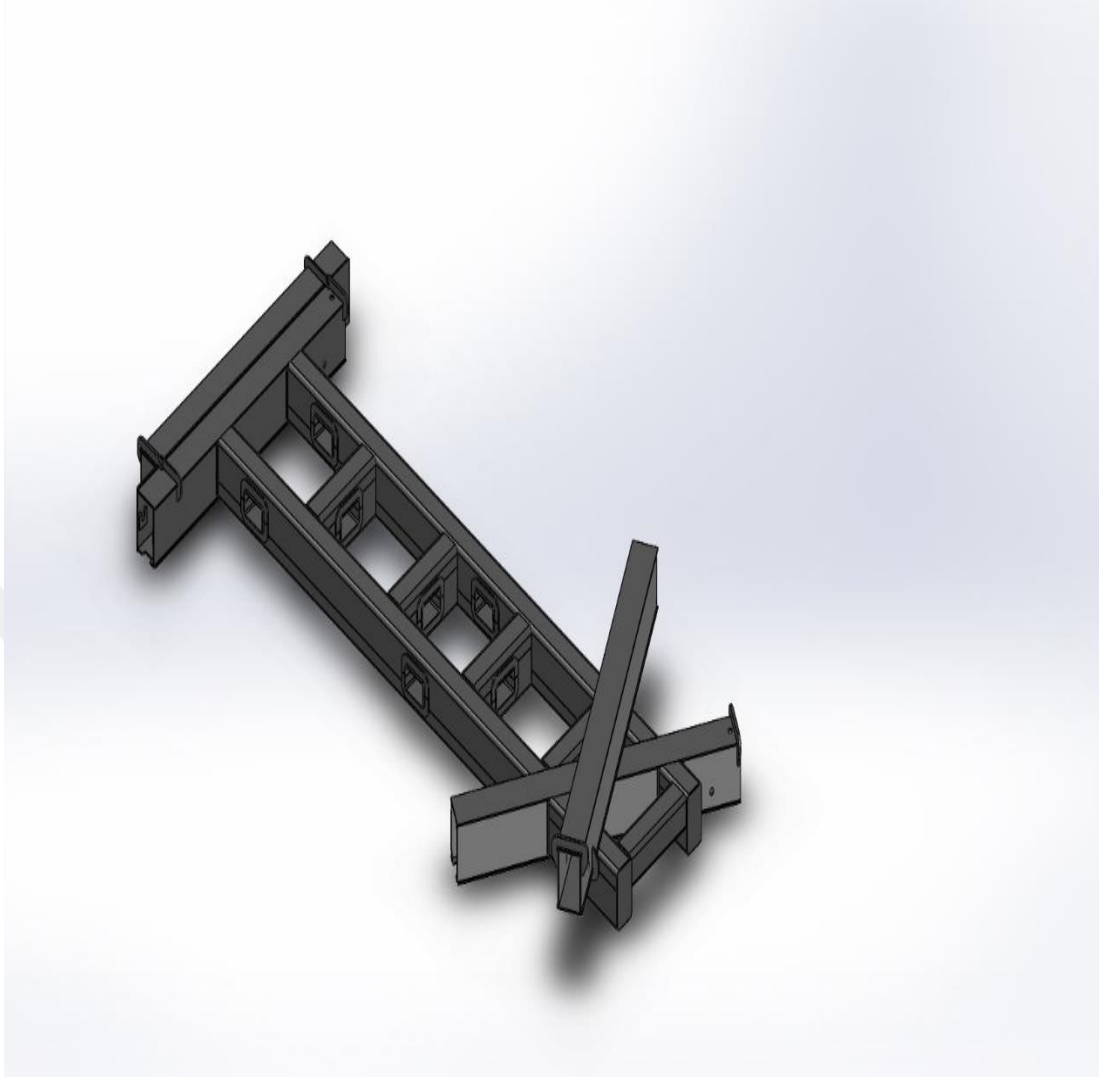
Şasinin traverslerinin bir araya getirilmesi ile ayak kutuları montaja dâhil edilmektedir. Şasi üzerinde ayakların pozisyonu ve ayak basma mesafeleri makinenin çalışma diyagramını doğrudan etki etmekte ve buna bağlı olarak özellikle ön ayaklarda çapraz ayak gibi konfigürasyonlar oluşmaktadır. Bu konfigürasyonlar makine yer ile temas alanı kapasitesini belirleyici olup, bu alanın maksimum verimlilikte kullanılmasını sağlamak amacıyla düzenlenmiştir. Ayrıca bu tip ayak konfigürasyonları, çalışma koşulları,

karayolları olanakları, müşteri talebi ve taşıyıcı araç özelliğine göre değişiklikler gösterebilir(Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Örümcek ayaklı sepetli platform.

Makine şasisi imalat aşamasında öncelikle ana traverslerinin bağlanması ile ölçülerine uygun şekilde ayak montajlarının yapılması sağlanır. Bu yapı daha sonrasında kaynak sürecine girerek ulaşılabilecek yerlerin kaynaklanması yapılır(Şekil 5.3.). Burada çapraz ayak olarak adlandırılan ön ayakların birbirine göre simetrik olarak konumlandırılması hayli önemli olup bu durum makinenin statüğünü doğrudan etkileyecektir.



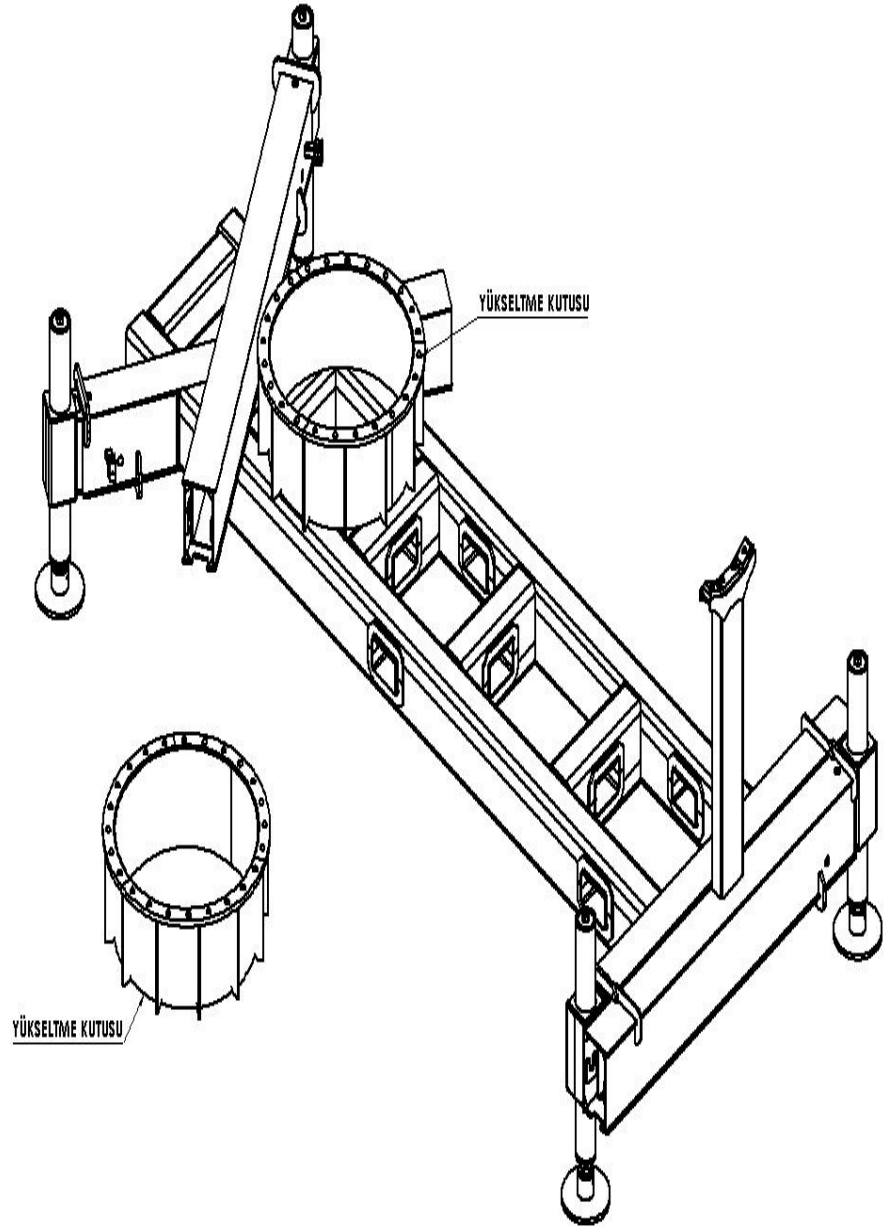
Şekil 5.3. Sepetli platform makine şasi ana gövdesi ve traverslerin imalatı.

Makine şasisi tamamlanması ile dönme merkezine yataklık eden yükseltme kutusunun şasi üzerine kaynatılması ile şasi genel görüntüsüne kavuşmaktadır(Şekil 5.4.). Burada yükseltme kutusu kule dönme merkezini oluşturmakta ve belirli bir yükseklikte imal edilmesi ile bazı taşıyıcı araç kupa yüksekliklerini atlaması için de kullanılmaktadır.

Şasi gövdesini genel olarak incelediğimizde makinenin özellikle ayakların şasi traverslerine bağlantı noktalarında aşırı zorlamaya maruz kaldığı ve yükseltme kutusunun traversler üzerindeki bağlantı noktalarında zorlanmalar meydana geldiği görülmektedir(Şekil 5.4.). Ayrıca makine ağırlık merkezinin makine şasi eksenine paralel olmasından dolayı mümkün mertebe kule dönüş merkezine doğru kaydırılması, makinenin arkaya doğru uzama kapasitesini arttıracaktır. Fakat yapılacak analizler sonucunda ağırlık



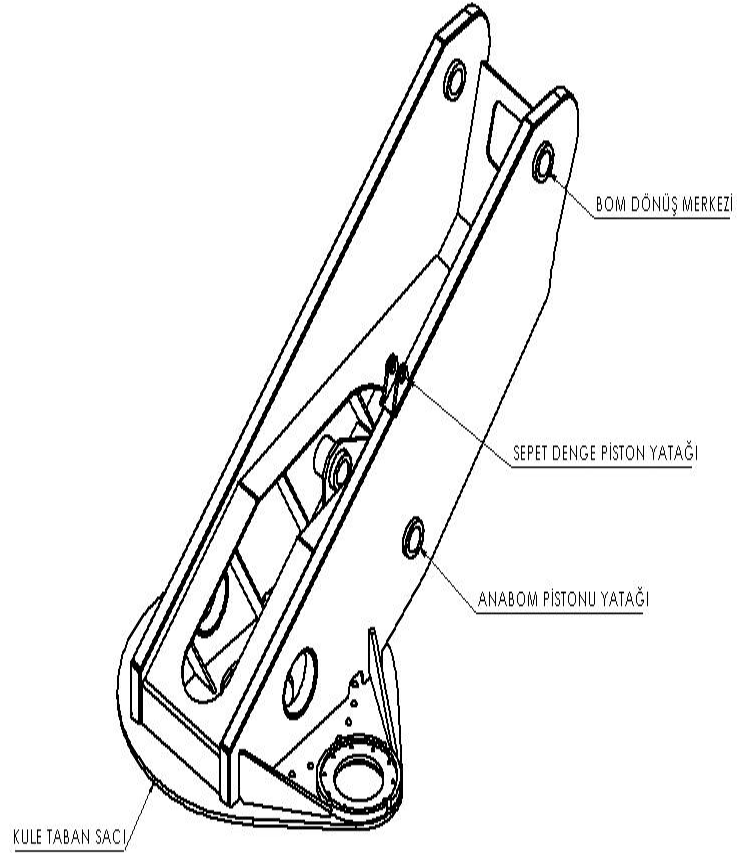
merkezi değiştirme kapasitesinin çok sınırlı kalmasından dolayı böyle bir çözümün makine çalışma verimliliği üzerindeki etkisi hayli az ve verimsiz olacaktır. Bunun yerine makine kule eksenini üzerinde özellikle yükseltme kutusunda, ayak saclarında ve kullanılan traverslerde malzeme kalitesine, bükümüne bağlı olarak daha rigid ve hafif bir yapının oluşturulması ve buradan elde edilecek ağırlık kazancının kule arkası dengeleyici moment olarak kullanılması araştırılacaktır.



Şekil 5.4. Sepetli platform makine şasisi yükseltme kutusu montajı.

## 5.2. Kule Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti

Makinenin imalat sürecinde bir sonraki adımlarda da değinilecek olan döndürme ekseninde bulunan elemanlar üzerinde yapılabilecek ağırlık iyileştirmelerinin makine genel çalışmasına katkı sağlamak amacıyla dengeleyici moment olarak kullanılması değerlendirilecektir(Şekil 5.5.). Burada kule üretiminde belli bir kalınlıkta rigidliği ve dengeleyici ağırlık olması dolayısıyla belirli sac kalınlıkları kullanılır. Bu kule yapısının kule dönüş merkezine olan ağırlık merkezi seviyesini yukarı çekmektedir. Burada makine çalışmasına katkı sağlayabilmek adına hedef gaye kule arkasına mümkün mertebe ağırlık merkezini kaydırabilmektedir. Bunu sağlayabilmenin ve kule dönüş merkezi üzerinde bulunan fazla mukavvim ve ağır yapının malzeme kalitesi veya aynı malzeme kalitesinde bükülebilir bir yapıya kavuşturulması ile sağlanacak hafif ve dayanıklı yapının makine çalışma verimliliğine etkisi bir sonraki analiz çalışmalarında değerlendirilecektir(Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Sepetli Platform kule ana bölümleri.

### 5.3. Boom Üretimi ve Geliştirilebilecek Alanların Tespiti

Boom üretim aşamasında makinenin çalışmasını doğrudan etkileyen başlıca ağırlık yapısını oluşturan ve makinenin güvenilirliğinin en belirgin hissedildiği ana parçadır. Boomlar genellikle U şeklinde bükülmüş karşılıklı iki bükümlü sacın kutu haline getirilmesi ile elde edilmektedir(Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. Sepetli platform bomlarının abkant büküm ile şekillendirilmesi.

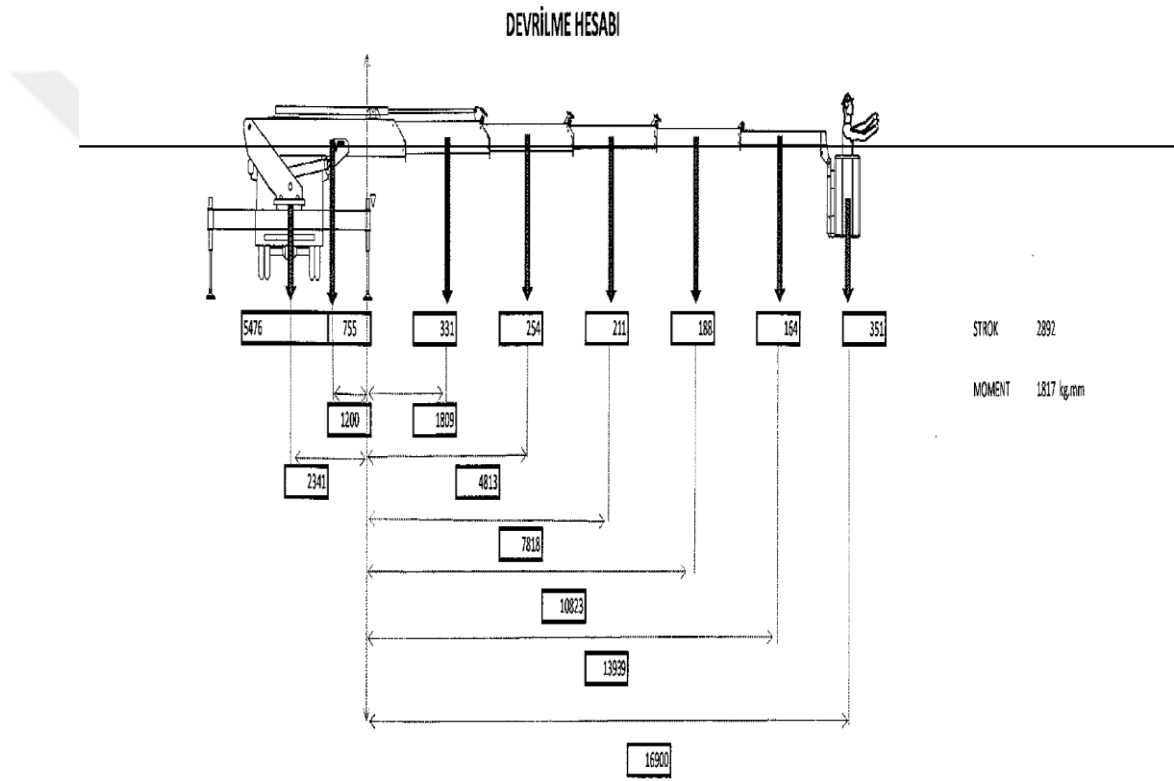
Literatürde çeşitli boom kesitlerine sahip boomların üretimi ve geliştirilmesi hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Dairesel, dikdörtgen, kare, altıgen gibi kesitlere sahip bom yapılarının yapısal davranışı ve üretim sürecine etkisinden dolayı çeşitli uygulamalar ve araştırmalar yapılmıştır. Boom kesitlerinin ve yapısının ataletsel yönden mukavemetine doğrudan etki etmesinden dolayı boomlar üzerinde çalışacağı metraj ve kaldıracağı yüke bağlı olarak yapı üzerinde değişimler gözlenmektedir (Yücel & Arpacı, 2016). Boomlar genellikle yüksek mukavemetli yapı çeliklerinden oluşup buna bağlı olarak iç içe geçmiş sistemlerden oluşmaktadır. Yapının ağırlığını temin eden boomların metrajına ve sac kalınlığının etkisi çok yüksektir. Burada ülkemiz koşullarında boomlar üzerinde yapılabilecek iyileştirmelerin uygulanabilirliği çok sınırlıdır. Çünkü boomların çalışması sırasında yapının mümkün mertebe esnek, bir o kadar rigid olması beklenir ve belli bir emniyet katsayısı dâhilinde imal edilmesi amaçlanır. Buna bağlı olarak yapılabilecek sac

kalınlıklarındaki azalmalar ve diğer alanlardaki yapısal iyileştirmeler belli bir sınıra kadar uygulanabilmektedir. Bu sınırı genellikle kaynak kalitesi ve malzeme büküm davranışı sınırlamaktadır. Ayrıca malzemenin esneklik katsayısının azalması, makinenin çalışması sırasında oluşacak ani şoklara karşı tepkisinin sınırlı kalmasına sebep olacaktır. Bu şekilde bir makine çalışmasının oluşturacağı risk olarak boomların kırılabildiği ve kalıcı hasarlara neden olabildiği hatta ölümlü kazalar ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir.



## BÖLÜM 6. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM MODELLEME

### 6.1. Sepetli Platform Statik Çalışma Modelleme

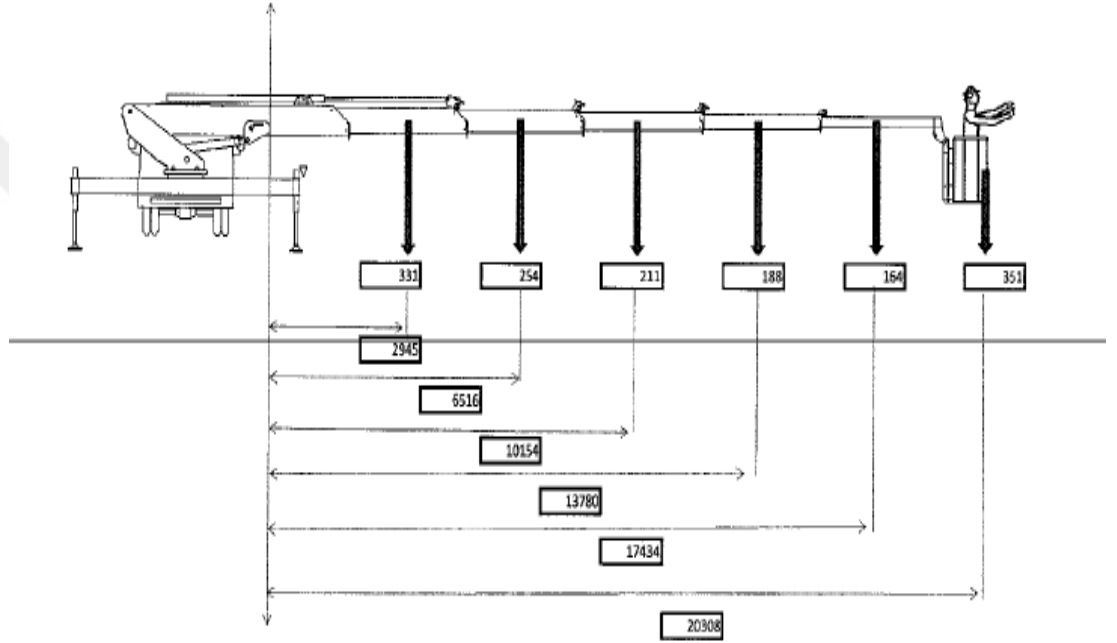


Şekil 6.1. Sepetli Platform yana açılma statik devrilme hesabı.

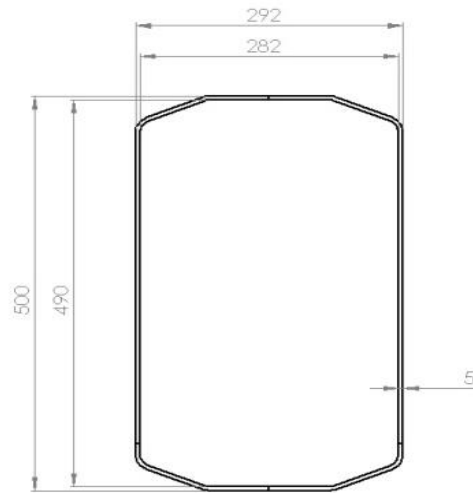
Sepetli platform devrilme hesabı statik yöntemlere bağlı olarak yapılmakta olan ve bu sonuca göre yapının statik dengede olup olmadığının kontrol edildiği çalışmadır (Mijailović, 2011). Bu çalışma makinenin öne, arkaya ve yana olacak şekilde 3 ayrı seçenekte hesaplanır ve taşıyıcı araç ağırlığı da sisteme entegre edilerek yapının statik denge kontrolü yapılır(Şekil 6.1.).

Sektörde imalata yönelik yapılmış çalışmalar ile ve buna bağlı geliştirilmiş mukavemet hesaplama yöntemleri ile günümüze kadar kullanılmış hesaplamalar bulunmaktadır. Bu

hesaplama yöntemleri bomlarda kısmen de olsa kullanılabilir olup, yapı genellikle bükümlü saclardan meydana gelmesinden dolayı basit eğilme ve sehim hesaplarının kullanılmasına olanak sağlamaktadır(Şekil 6.2.). Fakat gerçekte bom üzerinde çene, kestamit vb yataklamaların olduğu ayrıca bazı bölgelerde destek saclarının olması dolayısıyla sonlu elemanlar yöntemleri ile yapılmış analizlerin önemli gerçekçilik açısından hayli önemlidir. Geleneksel olarak nitelendirebileceğimiz mukavemet hesabının örneği aşağıda gözlemlenmektedir(Şekil 9.3.).



Şekil 6.2. Anaboom statik bom yüklerinin moment etkisi.



Şekil 6.3. Anabom kesit detayı.

Kullanılan malzeme Domex 700 olarak belirlenmiştir. Domex 700 akma dayanımı  $700 N/mm^2$  'tır.

Ana bom piston bayrağına göre alınan moment(M) 17350277 kg.mm olarak hesaplanmıştır.

Ana bom atalet moment(I)  $236082815 mm^4$  olarak hesaplanmıştır.

Atalet momenti yarıçapı(y) 250 mm olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{M.y}{I} * g \quad (6.1)$$

$$\sigma = 183,730834 N/mm^2$$

Emniyet katsayısı(K) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} \quad (6.2)$$

$$K = 3.80$$

olduğundan anaboom mukavemeti emniyetlidir.

## 6.2. Sepetli Platform Dinamik Çalışma Modelleme

Sepetli platformlar daha önceki belirtmiş olduğumuz ana yapılardan ve bu yapılara bağlı hidrolik pistonlardan oluşan makinelerdir. Üretim aşamasında ön görülmüş ve geliştirilmeye açık kısımların belirlenmesi ve buna bağlı olarak yapılacak analizler ışığında birçok öngörüler bulunacaktır.

Öncelikle makinenin genel çalışma koşullarının belirlenmesi, en kritik çalışma şartlarının tespiti ve buna bağlı olarak yapı üzerindeki yatak yüklerinin hesaplanması için çoklu cisim dinamiği modelleme programlarından olan MSc Adams® ticari yazılımından faydalanılacaktır. Yapının modellenmesi sırasında birçok detay göz önünde bulundurulacak olup pistonların yapacağı deplasman hareketleri daha öncesinde dönme eksenlerine uygulanacak hareket denklemleri ile hesaplanacaktır.

Makine yapısının en kritik pozisyonu tespit edilerek çeşitli senaryolar hazırlanacak olup bu senaryolar üstünde denemeler yapılacaktır. Burada kullanılmakta olan dinamik modelin yapı malzemeleri olarak tüm yapı elemanlarında çelik kullanılmıştır. Buna bağlı olarak sepet üzerinde 26 metre makineye ait olan sepet taşıma kapasitesi 250 kg yük uygulanmıştır. Burada makine kritik çalışma koşulunu bulabilmek için şasi üzerinde bulunan ayaklar tam açıkken yapının tamamı rigid halde yapının devrilme durumu kontrol edilmiştir. Bu kontrolü ayakların yer ile arasında oluşan teması simüle edebilmek adına bir "Contact Force" tanımı oluşturularak MSC Adams® programı üzerinde yapının devrilme momentine karşı davranışı sergilenmiştir. Bomların tam açık ve tam kapalı olduğu aralıkta farklı çalışma senaryolarında, farklı açılarda, farklı kule açılarında ayaklardaki Contact Force kuvvet eğrisinin negatife düştüğü anlar tespit edilmiştir. Burada ki Contact Force makine tam kapalı vaziyette iken ayakların yere temas etme kuvvetini göstermektedir. Buna bağlı olarak makine çalışma esnasında herhangi bir ayağın yerden kesilme durumu göz önünde bulundurularak dengeleme momenti ve makine bu analiz sayesinde yapının tamamen rigid elemanlardan oluştuğu kabul edilerek devrilme momentinin sınırları belirlenmiştir. Bunun sonucunda elde edilecek sınır 1.2 katsayısı ile çarpılarak daha emniyetli bir çalışma grafiği elde edilmiş olacaktır(Şekil 6.4.).

Bununla birlikte üretilmiş makine üretim koşullarına, kullanılan malzeme çeşitliliğine ve farkına bağlı olarak oluşabilecek farklılıkları önlemek ve bu sınırları kontrol altına alabilmek için elektronik kontrolcüler sayesinde emniyeti sağlanır.

Makine emniyetinin ve tasarımının ilk adımlarından olan devrilme momentinin hesaplanması ve müşteri odaklı bu sektöre hitap eden bir makina yapılabilmesi için arzu edilmiş çalışma koşullarına göre makina dinamik moment sınırları belirlenmiştir. Bu sınırları etkileyen başlıca unsurlar; taşıyıcı araç ağırlığı, makine şasisi, kule, bom, pistonlar, sepet, sepet yükü gibi elemanlar oluşturmaktadır. Burada tasarımsal olarak makine olabildiğince optimum seviyede üretimi sağlanabilmesi için makinenin dengeleyici ağırlıkları ve dengeleyici ağırlıklara karşı olan yükleri üzerinde bir optimizasyon çalışması yapılır. Burada en önemli hususlardan birisi üretilmesi düşünülen makinanın altında bulunacak taşıyıcı aracın maksimum taşıma kapasitesinin karayolları üzerinde seyahat etmesine engel olmayacak şekilde katalog sınırları arasında üretilmiş olması gerekmektedir. Sepetli platform çalışma koşulları, boyutları, çeşitleri ve kullanım koşulları olarak birçok farklı alanda ve şartlarda kullanılmaktadır. Makine sektöründe kullanılmakta

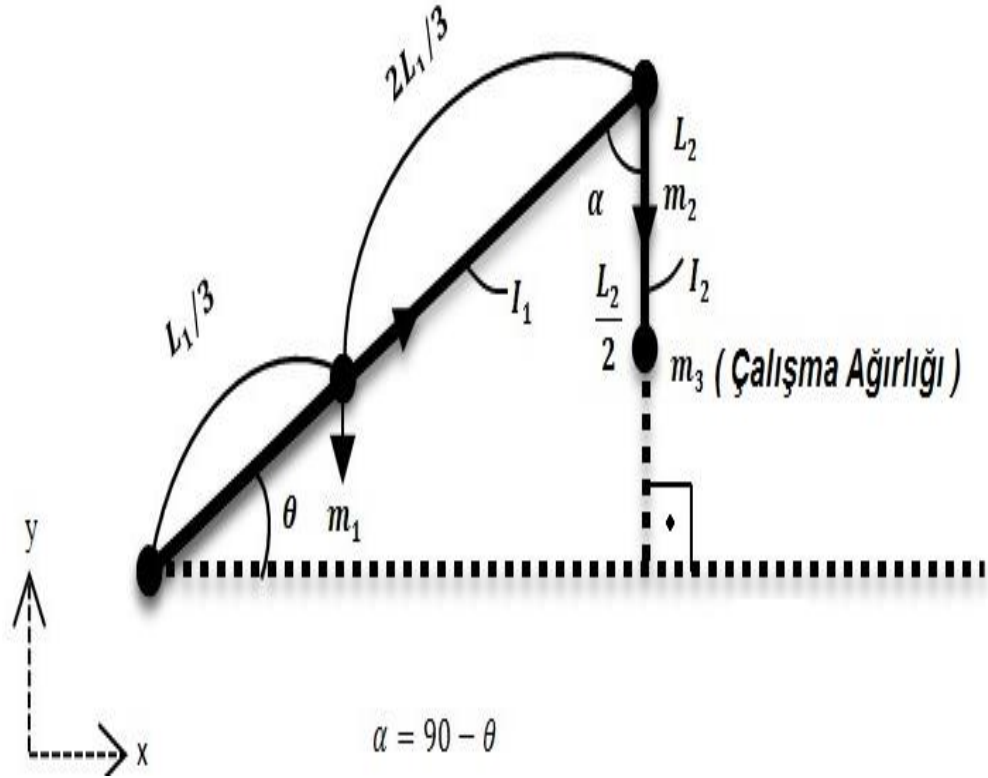


ve üretilmekte olan bu platformlar müşterinin isteklerini ve arzularına hitap etmesi açısından çok önemlidir (Maleki, Pridgen, Xiong, & Singhose, 2010).

Ayrıca önemli bir husus olarak dinamik sınır şartları yüksek kapasitesi olan makinelerin doğrudan ağırlığının artması makinenin maliyetinin artmasına ve bu makineye uygun taşıyıcı araç maliyetinin artmasına sebep olmaktadır.

Bu sonuçla elde edilebilecek model maliyet sınırları içerisinde imal edilebilecek olup taşıyıcı araç maliyetinde göz önünde bulundurularak makinenin tasarımı en optimum seviyelerde çekilmektedir.

### 6.3. Sepetli Platform Yapısının Matematiksel Modellenmesi



Şekil 6.4. Teleskobik boumlu sepetli platform matematiksel model şeması.

Burada  $L_1$  uzayabilir bohum uzunluğudur.  $L_2$  sabit sepet kolu uzunluğudur.  $m_1$  toplam bohum ağırlıkları,  $m_2$  sepet kolu ağırlığı,  $m_3$  sepetteki çalışma yükü olarak tanımlanmıştır.  $\theta$  açısı boomun yer ile yatayda yaptığı açıdır (Sezer, 2014).

Genelleştirilmiş Koordinatlar  $(\theta, L_1)$

$$L = KE - PE \quad (6.3)$$

$$L = T - V \quad (6.4)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial V}{\partial \theta} = m_3 * g \quad (6.5)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{L}_1} \right) - \frac{\partial V}{\partial L_1} = m_3 * g \quad (6.6)$$

Koordinatlar aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$x = L_1 * \cos(\theta) \quad (6.7a)$$

$$y = L_1 * \sin(\theta) \quad (6.7b)$$

$$T - V = m_3 * g \quad (6.8)$$

$$T = \left\{ \frac{1}{2} * m_1 * (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} * I_1 * \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} * m_1 * \dot{L}_1^2 + \frac{1}{2} * m_2 * \dot{y}^2 + \frac{1}{2} * m_3 * \dot{y}^2 + \frac{1}{2} * I_2 * \dot{y}^2 \right\} \quad (6.9)$$

$$V = \left\{ m_1 * g * \frac{L_1}{3} * \sin(\theta) + m_2 * g * (L_1 * \sin(\theta) - L_2) + m_3 * g * (L_1 * \sin(\theta) - L_2) \right\} \quad (6.10)$$

" $\theta$ " için hesaplama aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial V}{\partial \theta} = m_3 * g \quad (6.11)$$

$$\rightarrow \left\{ I_1 * \ddot{\theta} - (m_1 * g * \frac{L_1}{3} * \cos(\theta) + m_2 * g * L_1 * \cos(\theta) + m_3 * g * \sin(\theta)) \right\} = m_3 * g \quad (6.12)$$

" $L_1$ " için hesaplama aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{L}_1} \right) - \frac{\partial V}{\partial L_1} = m_3 * g \quad (6.13)$$

$$\rightarrow \left\{ m_1 * \dot{L}_1 - (m_1 * g * \sin(\theta) + m_2 * g * \sin(\theta) + m_3 * g * \sin(\theta)) \right\} = m_3 * g \quad (6.14)$$

Sistemin matematiksel denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$I_1 * \ddot{\theta} - g * \cos(\theta) \left\{ \frac{L_1}{3} * m_1 + m_2 * L_2 + m_3 * L_1 \right\} = m_3 * g \quad (6.15)$$

$$m_1 * \dot{L}_1 - g * \sin(\theta) \left\{ \frac{1}{3} * m_1 - m_2 - m_3 \right\} = m_3 * g \quad (6.16)$$

#### 6.4. MSc Adams® Programı ile Statik Devrilme Sınırının Tespiti

MSc Adams çoklu cisim dinamik sistem modelleme program ile hazırlanmış bu analiz sürecinde yapı tamamen rigid elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Oluşturulan bu dinamik model de yapı rigid bağlantı elemanları ile ilişkilendirilerek model oluşturulmuştur. Makine çalışması esnasında sepetin yer düzlemine paralel çalışmasını sağlayan dengeleme pistonu yerine sepet üzerine uygulanmış “primitive joint” ile sepetin “ground” düzlemine göre daima dik olarak hareket etmesi sağlanmıştır.

Dinamik analiz sürecinde göz önüne alınmış kabuller aşağıdaki gibidir.

- Tüm yapı elemanları rigid elemanlardan oluşmuştur.
- Yapı üzerine düşeyde Y ekseninde olacak şekilde  $9,81 \text{ mm/s}^2$  yer çekimi ivmesi uygulanmıştır.
- Sepetli platform üzerine etkiyecek rüzgar yükü dikkate alınmamıştır.
- Sepetli platform devrilme yönüne doğru olan ayak pabuçları üzerine “spherical joint” tanımlanarak makinenin belli bir DOF da hareket etmesi sağlanır.
- Makine bomları üzerinde bulunan zincirler elimine edilerek bu zincirleri modelleyecek hareket denklemleri bomlara uygulanarak makinenin çalışması modellenmiştir.

Ayak yapısı üzerinde “contact force” modellenmesi aşağıdaki gibidir.

$$\text{IMPACT}(x, \dot{x}, x_1, k, e, c_{max}, d) \quad (6.17)$$

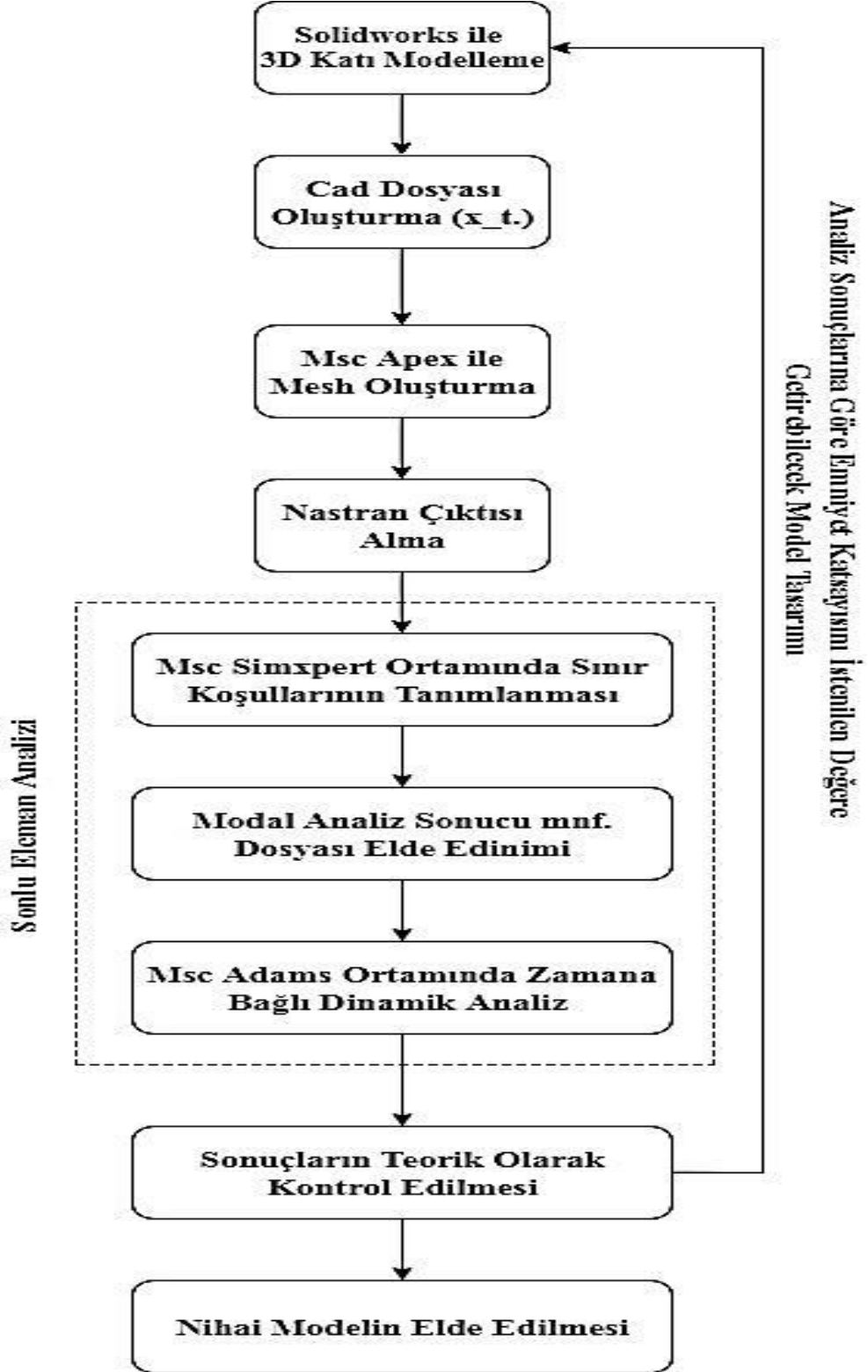
k = Stiffness “10e+8 N/m”

e = Force exponent “2,2 – Steel”

c = Max damping “10e+4 N.s/m”

d = Penetration depth “10e-2 mm”

$$f = \begin{cases} 0 & \text{if } x > x_1 \\ k * (x_1 - x)^e - c_{\max} * \dot{x} * \text{STEP}(x, (x_1 - d), 1, x_1, 0) & \text{if } x \leq x_1 \end{cases} \quad (6.18)$$



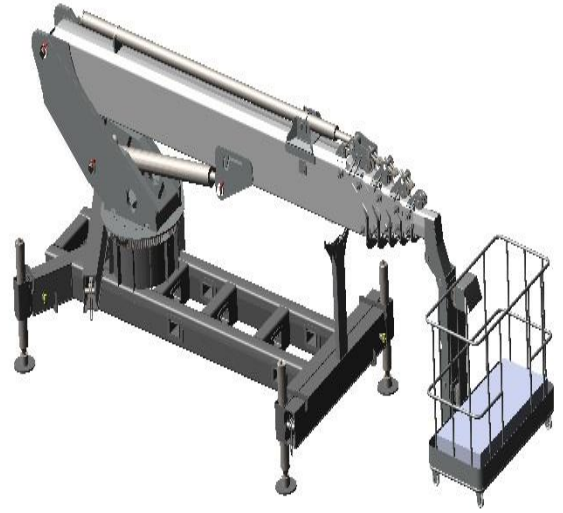
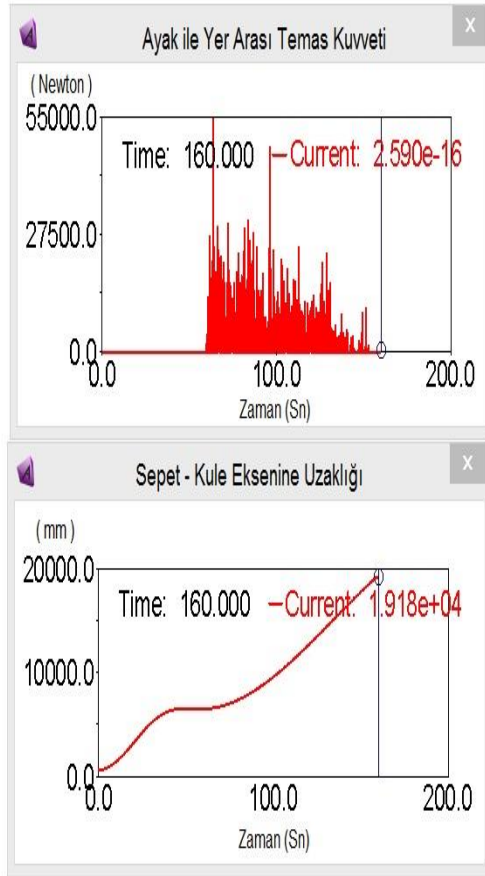
Şekil 6.5. Yapısal ve dinamik analiz sürecindeki işlem basamakları.



## 6.5. Sonuçların İncelenmesi

MSc Adams dinamik sistem modelleme ortamında hazırlanmış model ile sepetli platform makinesinin yanal çalışma kapasitesi hesaplanmış olup, bu hesap statik denge hesabına göre yapılmıştır.

Uygulanan yöntem doğrultusunda sepetli platformun yanal çalışma kapasitesi 18 metre olacak şekilde hesaplanmıştır. Şekil 6.5. te görüldüğü üzere ayak temas kuvvet değeri, zamana göre 154.sn de sıfır olduğu tespit edilmiştir. Burada analizin devam ettirildiği sürece bu ayak temas kuvvet değeri negatif olacak ve bu yer ile temasının kesildiği bilgisini verecektir. 154.sn de bilimsel olarak grafikte okunmakta olan değer  $1,918e+4$  mm olacak şekilde gözlemlenmiştir. Bu değer 19180 mm ye eşit olup 19,1 metre olarak hesaplanmıştır. Makine imalat sürecinde ise bu değer 1,2 katsayısı ile bölünerek daha emniyetli bir statik çalışma tercih edilmektedir. Buna göre elde edilen nihai yanal çalışma kapasitesi 15,9 metre olarak belirlenmiştir.

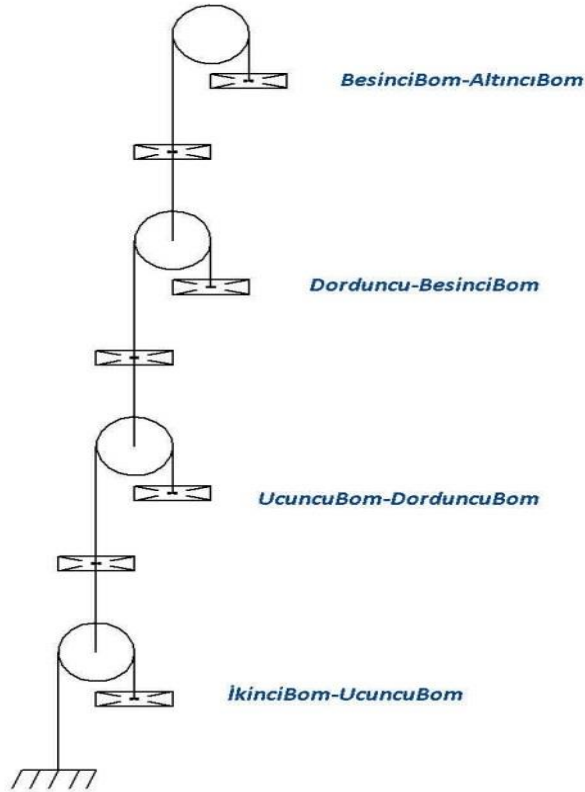


Şekil 6.8. MSc Adams dinamik modelleme programı ile devrilme sınırının tespiti.

## BÖLÜM 7. SEPETLİ PLATFORM BOOM YAPISININ GELİŞİMİ

### 7.1. Sepetli Platform Boom Mekanizmasının Çalışma Mantığı

Bomlar yüksek mukavemetli çelik malzemelerden yapılmış belli kesitlere sahip ve bu kesitlere göre büküm ve kaynağı yapılmış yapısal elemanlardır. İç içe geçen bu bomlar genellikle zincir veya halat mekanizmaları ile teleskopik piston tarafından tahrik edilmektedir. Burada kullanılmakta olan sistem temel fiziğe dayanmaktadır. Temel fizikte bulunan basit makaralar mantığı ile çalışmakta olan bu sistem peşi sıra gelen boomların iç içe çıkmasını sağlayarak vinçlerden farklı olarak tek bir pistondan tahrik edilebilmesine olanak sağlar. Bu yapının temel fizikte olan karşılığı Şekil 7.1. de gözlemlenmektedir.



Şekil 7.1. Sepetli platform boom zincirleme sisteminin fiziksel gösterimi.





Şekil 7.2. Sepetli platform boamları üzerinde farklı zincir boyutlarının kullanımı.

Şekil 7.1. de bulunan zincirleme detayında zincirlerin boyutları taşıma kapasiteleri ve bağlantı şekilleri boomdan booma değişiklik göstermektedir(Şekil 7.2.). Bununla birlikte boamlar arasında sürtünmeyi kolaylaştırmak ve büküm, kaynak ve imalat koşullarından dolayı oluşabilecek eğriliklerin veya aksaklıkların önüne geçilebilmesi için boamlar arasında kestamit yataklama malzemesi kullanılmaktadır. Boamlar ulaşılması arzulanan yüksekliğe bağlı olarak eğilme kapasitesi artabilmekte buna bağlı olarak da bu eğilme ve kırılmaların önüne geçirilmesi için boamların birbiri içinde kalan mesafeleri önem arz etmektedir. Bu mesafeler anaboom ile son boom arasında sepete doğru yaklaştıkça azalma eğilimindedir. Bunun sebebi olarak artan bom uzunluğunun moment koluna etkisi arttığından boamlar arasındaki mesafeye kritik önem arz etmektedir.

Bu boamların iç içe geçmesi ile yük altında kendi ağırlıkları ve sepet yükünün etkisi altında temas yüzeylerine olan baskısı boamların kullanılabilirliğine ve uzun ömürlülüğüne doğrudan etki etmektedir. Buradaki temas noktaları boamlar içerisinde bulunan ön alt ve arka üst kestamitleri özellikle ağır yük koşullarında hassas önem ve darbe olarak çalışmaktadır. Burada temas yüzey alanı yani kestamit basma yüzey alanı ve temas



pürüzlülüğü doğrudan önem arz etmekte olup makinenin çalışmasını hayli etkilemektedir. Makine çalışma durumunda ve boomların tam açık olduğu andaki yüklerin dağılımı kontrol etmek kesmeye ve kalıcı şekil değişikliğine uğramasını engellemek için çeşitli bayraklamalar ile yapının desteklenmesi sağlanır(Şekil 7.3.). Burada bom sac kalınlığı önem arz ediyor olup belli koşullar altında seçimi yapılmaktadır. Bu koşullar kalınlık arttıkça makinenin toplam ağırlığı artması ve bu dengeleyici ağırlık olarak kullanılacak olarak şasinin ağır olmasına bununla birlikte taşıyıcı araç ağırlığının da artmasına sebep olacaktır.

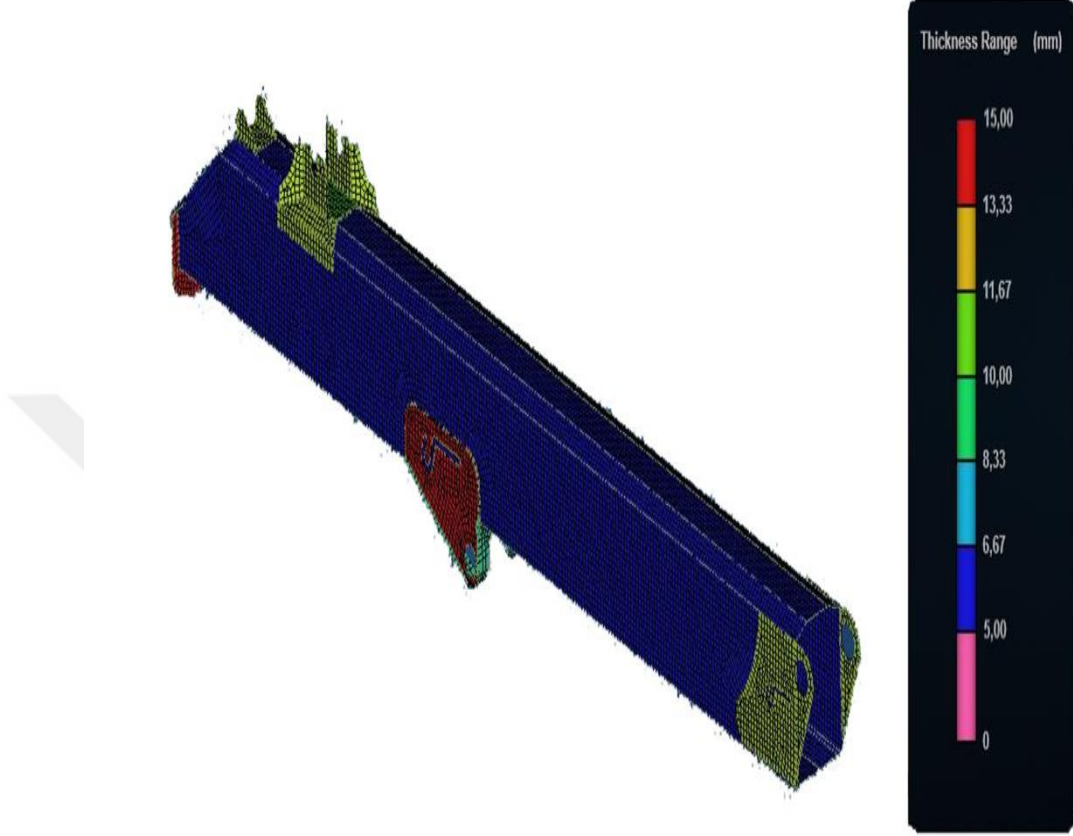
Öte yandan malzeme kalınlığının azalması, malzeme kalitesinin artmasını doğuracağından malzeme üretilebilirliğini ayrıca sınırlamaktadır. Ülkemiz koşullarında büküm, kaynak ve imalat sürecinde uzun metrajlı boomların işlenebilirliği yüksek profesyonellik doğuracağından çok fazla tercih edilmemektedir. Bununla birlikte kullanılacak olan düşük kalınlıkla malzemeler daha hafif bir makine imalatı üretimine kaynak sağlanmasına karşın kırılabilirliği ile tercihi daralmaktadır. Daha düşük kalınlıkta malzemeler genellikle kaynağın az ve bükümün çok olduğu daha az esneklik beklenen yapılarda tercih edilmektedir.

Bu yapıların analiz sürecinde yapısal olarak incelenmesinde tüm bu çalışma koşulları baz alınarak gerekli analizler yapılmıştır.

## **7.2. Sepetli Platform Bomların Yapısal Davranışı**

Boomlar genellikle orta metrajlı makineler için Strenx 700 malzemelerinden üretilmekte olup bu yüksek mukavemetli çeliklerin ihtiyaç duyulan yerlerinde bayraklanması ile yapısal olarak güvenli bir şekilde imal edilebilmesine olanak sağlar. Bomlar iç içe geçen ve birbirleri arasında temas noktaları oluşturan çelik yapısal elemanlar olması dolayısı ile yapısal modelin hazırlanmasında temas ilişkileri kurulmuştur. Buna göre yapısal model oluşturulmadan önce MSc Apex® programı üzerinde tüm yapı elemanları sac elemanlardan oluştuğundan dolayı bu elemanlar için kullanılmış sac kalınlıklarına göre mesh modeli oluşturulmuştur. Bu modelde genellikle düz yüzeylerin olmasından dolayı “quad” elemanlardan oluşan mesh ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu mesh ağına, malzemelerin uygun kalınlık değerleri thickness olarak tanımlanması sonucunda yapısal modelin ön hazırlığı tamamlanmıştır. MSC Apex® programı üzerinde hazırlanmış bu mesh modeli

bdf. dosyası olarak kaydedilerek MSc Simxpert® programı ara yüzüne aktarma işlemi yapılmıştır(Şekil 7.3.).



Şekil 7.3. Bom yapısı MSc Apex® programı ile hazırlanmış mesh ağı.

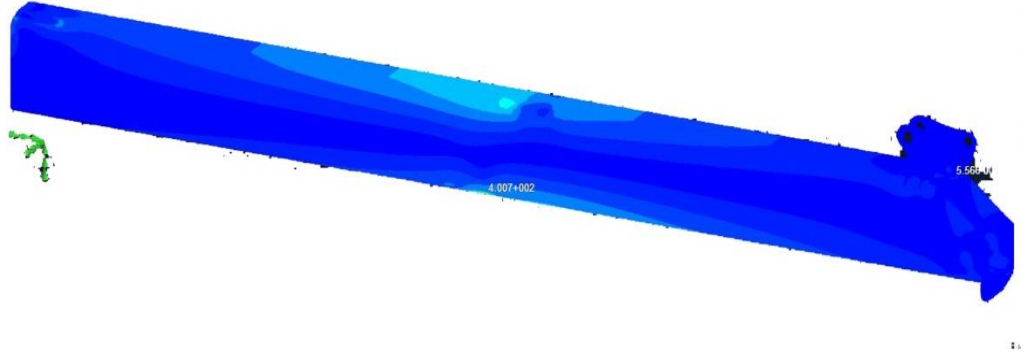
Alınan bu bdf. dosyası MSC Simxpert® arayüzüne gerekli sınır koşulları ve malzeme davranışı tanımlanarak yapının statik olarak incelenmesi yapılmıştır. Boomların mesh düzeninin oluşturulması ile boamlar üzerinde bulunan kaynaklı bölgelerin yeni eleman ağları ile örülmesi sayesinde yapının davranışı gerçek hayata olabildiğince yaklaşması sağlanmış olur(Şekil 7.3.).

Oluşturulan yapısal modelin analiz öncesinde belirlenen sınır koşulları dâhilinde koşturulabilmesi için malzeme ve diğer tüm gerekli tanımlamaları uygulanmıştır. Bununla birlikte iç içe geçen boamların davranışını doğru bir şekilde sergileyebilmek için boamların arasında bulunan kestamitler rigid olarak tutulup bom ile arasında glue contact tanımı yapılmıştır. Bu sayede boamlar yük altında iken moment noktaları olan kestamit basma yüzeyleri temas ettiği bom üzerinde etkisini gösterecektir. Bu sonuçla boamların sehim davranışı olabildiğince gerçeğe yaklaşık bir biçimde sergilenecek olup analiz

sonuçlarına göre görülebilecek kritik noktalar üzerinde iyileştirmeler yapılabilecektir. Sonuç olarak elde edilmiş yapısal modelin geliştirilmesinde statik yüklenme koşullarına göre boomların en kritik pozisyonları olan yanalda devrilme momentine karşı sınır kabul edilen açılma mesafesine göre yapılabilecek yataydaki statik analiz sonucu makinenin gelişimini doğrudan etkileyecektir. Burada elde edilmiş sonuçlar dâhilinde makinenin yanal kapasitesine göre yapılmış statik analiz belli bir emniyet katsayısı ile çarpılarak yapının kalıcı deformasyona uğrama riskini minimuma indirmektir. Bu sonuçla birlikte elde edilecek nihaiyi çalışma yapının gerçek sınır şartlarını belirleyecektir.

Bomlar iç içe geçen birbirinin içerisinde kayan ve yüzeysel sürtünmeye maruz kalan ince ve bir o kadar da titreşime müsait yapılardır. Sepet içerisinde muhafaza edilen insan titreşimlere doğrudan maruz kalan taşıyacak eleman olduğundan hassaslık hayli önemlidir. Bununla birlikte titreşim kaynaklarının makine emniyeti için kontrol altında olması makinenin rezonans bölgesinden kaçınılmasına gerek duyulmaktadır. Rezonans doğal titreşim frekansı ile tahrik frekanslarının çakışması ile meydana gelebilecek tehlikeli bir durumdur. Bu tehlikeli durumdan kaçınılabilmesi için yapının tahrik edici frekanslarının tespiti ve yapının modal analiz sonucunda elde edilecek doğal frekans aralığından uzak tutulması gerekmektedir. Burada önemli husus yapının her bom açılma mesafesinde doğal frekansının değişeceğinden ötürü Transient-Dynamic analiz şeklinde yapının tüm çalışma mesafelerinde doğal frekans aralığı tespit edilmeli ve buna göre yapının rezonans durumundan kaçınma çalışması uygulanabilir.

Boomların yapısal analizi sonucunda kritik bölgelerde oluşan yük dağılımları yüksek mukavemetli olan Strenx700 yapı çeliğinin akma dayanımı olan 700 MPa basıncına dayanacak şekilde ve belirli bir emniyet katsayısı ile çarpılmış şekilde yapıya uygulanması gerekmektedir. Yapısal yük dağılımında Şekil 7.4. te görülüşü gibi aşırı yüklemeler bomlar arası temas noktası olan ön alt ve arka üst kestim temas yüzeylerinin bulunduğu alanlardır. Buralardaki yapılabilecek iyileştirmeler yapının aşırı yüklerle maruz kaldığı anlarda yapının halen daha güvenli bir şekilde çalışabilmesine olanak sağlar. Bomlar üzerinde bulunan zincir mekanizmaları özellikle bomlar tam açıkken ve düşey ekseninde iken aşırı yüklemelere maruz kalıyor olmakta ve zincir bağlama aparatlarına (Şekil 7.5.) gelen aşırı yüklemeler dolayısı ile kritik çalışma koşullarına neden olmaktadır.



Şekil 7.4. İkinci boomun bomlar 0 derece de iken üzerine gelen yük dağılımları.



Şekil 7.5. Zincir Bağlantı Aparatı(sabit-kaynaklı).



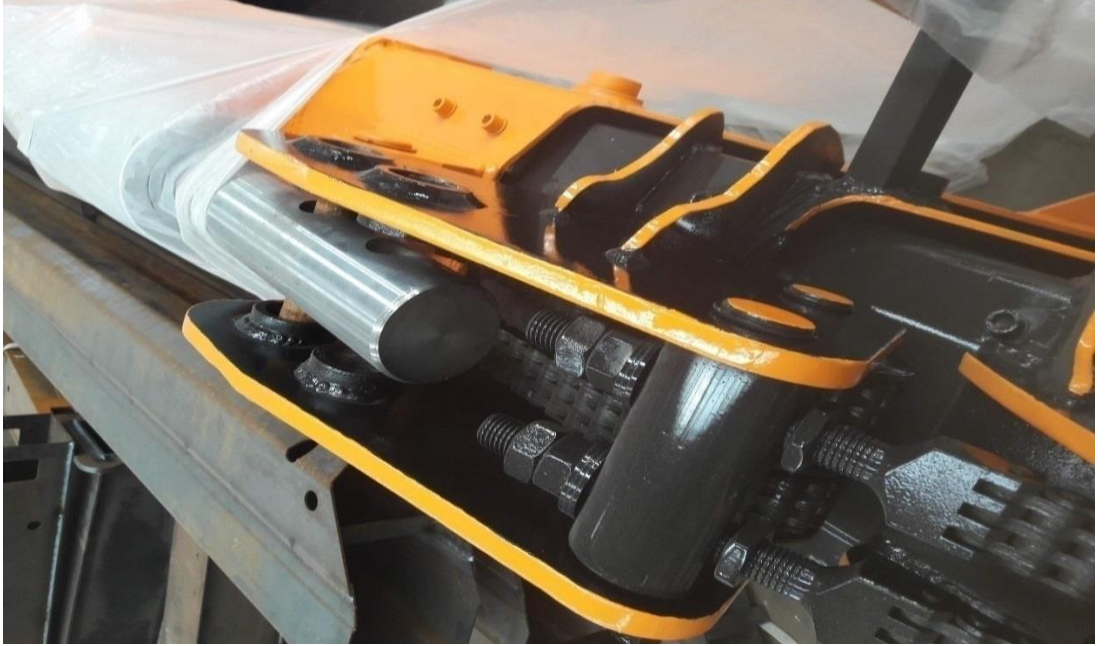
Şekil 7.6. Bom zincir yataklama makarası.

Zincirler boamların birbiri arasında düzenli çalışabilmesini sağlayan yapı elemanları olup hayli mukavemetli elemanlardır. Bu elemanlar zincir aparatı denilen ısıtılmış

çelik, dolu malzemelerden üretilmiş makine üzerinde hareketli veya sabit olarak kullanılmakta olan bağlantı elemanlarıdır(Şekil 7.5.).

Zincir aparatları kullanıldığı boomun sırasına ve kullanıldığı zincirin boyutuna göre farklı yapılarda olabilmektedir. İç içe geçen boomer sepet boomeruna yaklaşıldıkça zincirler üzerine gelen yük dağılımı kademeli olarak azalacaktır.

Bu bağlantı şeklinde montaj ve demontaj kuralları esastır. Zincir aparatlarının değişimi, zincir değişimi, yağlama gibi periyodik bakımlar dolayısı ile zincir aparatlarının bağlantı şekilleri tasarımsal olarak önem arz etmektedir. Yapı üzerinde bulunan zincirler basit fizik yolu ile anlatılmış olan yöntemde olduğu gibi makaralar üzerinde yataklanmaktadır. Buna göre oluşturulmuş bu yataklar (Makaralar) gövdesinde uygun rulmanlar barındırarak dönme kabiliyetini arttırmaktadır(Şekil 7.6.). Gövdesinde rulman barındıran makaralar ilk olarak teleskopik piston tarafından tahrik edilmekte olan ikinci bom üzerinde yataklanmış olup ana boom üzerinden aldığı zinciri üçüncü boomer taşımaktadır. Burada anaboom sabit yük kolu olmakta makara teleskopik pistonun hareketinden dolayı lineer olarak tahrik edilmekte ve buna bağlı olarak üçüncü bom hareket etmektedir. Bu işlemler sırası ile sabit bom olarak ikinci bom, makara üçüncü bom, hareketli bom olarak da dördüncü bom bağlantısı yapılmaktadır. Buna göre peşi sıra gelecek bu bağlantı boomerın oluşturacağı sistem iç içe ve kademeli çalışan bir bom meydana getirecektir(Şekil 7.1.).



Şekil 7.7. Zincirlenmiş boom mekanizmasının teleskopik piston ile evlendirilmesi.

Bu zincirleme sonucunda makinenin lineer olarak ileri sürülmesi gerçekleşmiştir. Fakat makinenin geriye toplanabilmesi için teleskopik piston geri toplandığında makinenin ilk halini olması istenir. Bunun sağlanabilmesi için geri toplama hattı denilen ikinci bir zincir hattı oluşturulmaktadır. Bu zincir hattı yine aynı mantıkla bomlar içerisinde kademeli olarak yerleştirilmiş olup bu düzenin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Geri toplama hattının en kritik yükleme koşulu bomlar negatif eksende geri toplama anında olmaktadır. Bu kritik koşula göre zincir aparatları üzerine gelen yüklerin tespiti yapılmakta olup buna göre zincir seçimleri yapılmaktadır. Toplama hattı üzerinde açma hattına nazaran daha az yük meydana geleceğinde daha düşük yükleme kapasitesine sahip zincirler veya kullanılacak zincir adedi düşürülmektedir.

Boomların statik analizinde zincirler üzerine gelen yüklerin varlığı pozitif edilmiş olup yapıların davranışı yapı ağırlığının ve sepet yükü ağırlığına göre davranışı sergilenmiştir.

#### **7.2.1. Boom zincirlerinin dinamik modellenmesi**

Sepetli platformlar üzerinde bulunan zincir mekanizması Şekil 7.1. de ifade edildiği gibi genel fizikte bulunan basit makaralar yöntemi ile kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre zincirlere ve makaralara gelecek yüklerin tespitini hesaplamak statik olarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Fakat sepetli platform gerçek hayatta tamamen dinamik olarak çalışmakta olan bir makine olup, bunun yanı sıra makine boomlarının yapısal ataletinden dolayı oluşabilecek ani gerilmelere ve yüklenmelere dayanabilmesi beklenmektedir. Bu ani yüklemelerin de hesaplanması mümkün olmakla beraber bu hesabın MSc Adams/Machinery® modülü ile modellenmesi sağlanarak yapı üzerine verilen hareket denklemlerinin etkisi zincirler üzerinde incelenebilecektir(Şekil 7.8.).

Buna göre MSc Adams/Machinery® modülü ile hazırlanmış Chain Modelling komutu ile dinamik sistem modellenmiş olup, yapı toplama ve açma işlemleri sırasında zincirlere gelen yükler tespit edilmiştir.

Dinamik analiz sürecinde göz önüne alınmış kabuller;

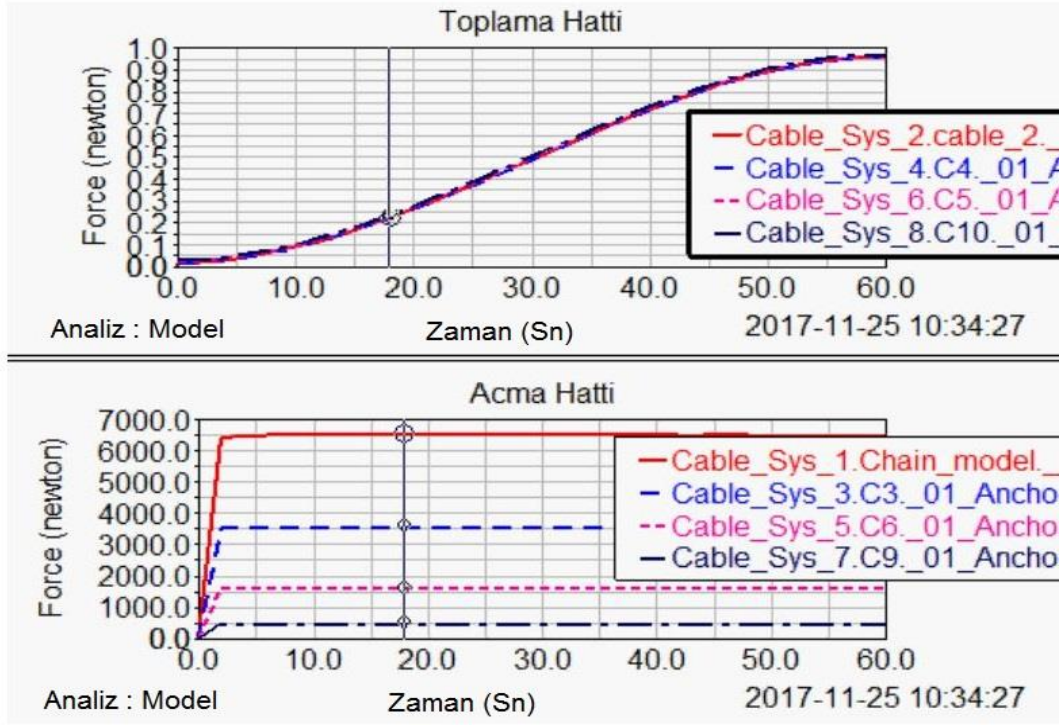
- Tüm yapı elemanları rigid elemanlardan oluşmuştur.
- Sepetli platform üzerine etkiyecek rüzgar yükü dikkate alınmamıştır.
- Sepet üzerine 250 kg yük olacak şekilde kütle uygulanmıştır.

- Zincirler temsili eleman ağırları ile örünmüş olup, makaralar ve zincir aparatları katı model üzerinde kullanıldıkları yerlerde ve detaylarda değerlendirilmiştir.
- Analiz sürecinde açma durumunun gözlenebilmesi için yer çekimi ivmesi yer ile 82 derece açı yapacak şekilde konumlandırılmış olup en kritik çalışma koşulları modellenmiştir.
- Analiz sürecinde toplama durumunun gözlemlenebilmesi için yer çekimi ivmesi yer ile 15 derece açı yapacak şekilde konumlandırılmış olup en kritik çalışma koşulları modellenmiştir.

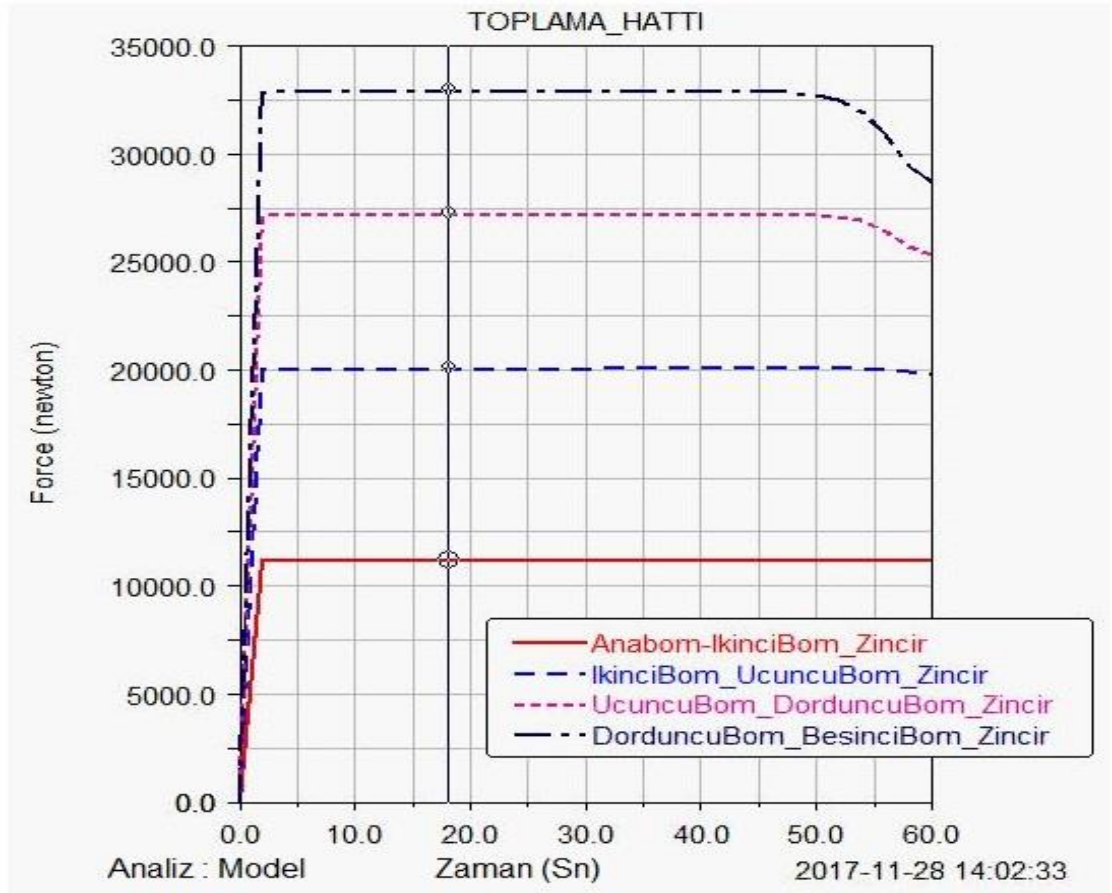
### **7.2.2. Sonuçların incelenmesi**

Yapılan analiz sonucunda pozitif 82 derece ile negatif 15 derece arasında çalıştırılan sepetli platform boom zincirleri üzerine gelen yükleri tespit edilmiştir. Burada oluşturulan dinamik modelleme sonucunda boomer açma işlemi sırasında yapmış olduğu açıdan dolayı daha yüksek bir çekme kuvvetine maruz kalacağından daha yüksek zincir aparatı “Anchor” yükleri gözlemlenmektedir. Bu yüklemeler daha düşük açı olan negatif ekseninde daha düşük olmasının yanı sıra, boomer 82 derecede toplama esnasında teleskopik pistonun geri çekilmesi ile daha yüksek yüklemelere maruz kalacağından açma hattına göre bir kademe daha küçük elemanlardan oluşturulmaktadır (He, Ouyang, Gong, & Liu, 2018).





Şekil 7.8. MSc Adams/Machinery® zincir yükleri analizi (Açma Hatti).



Şekil 7.9. MSc Adams/Machinery® zincir yükleri analizi (Toplama Hatti).

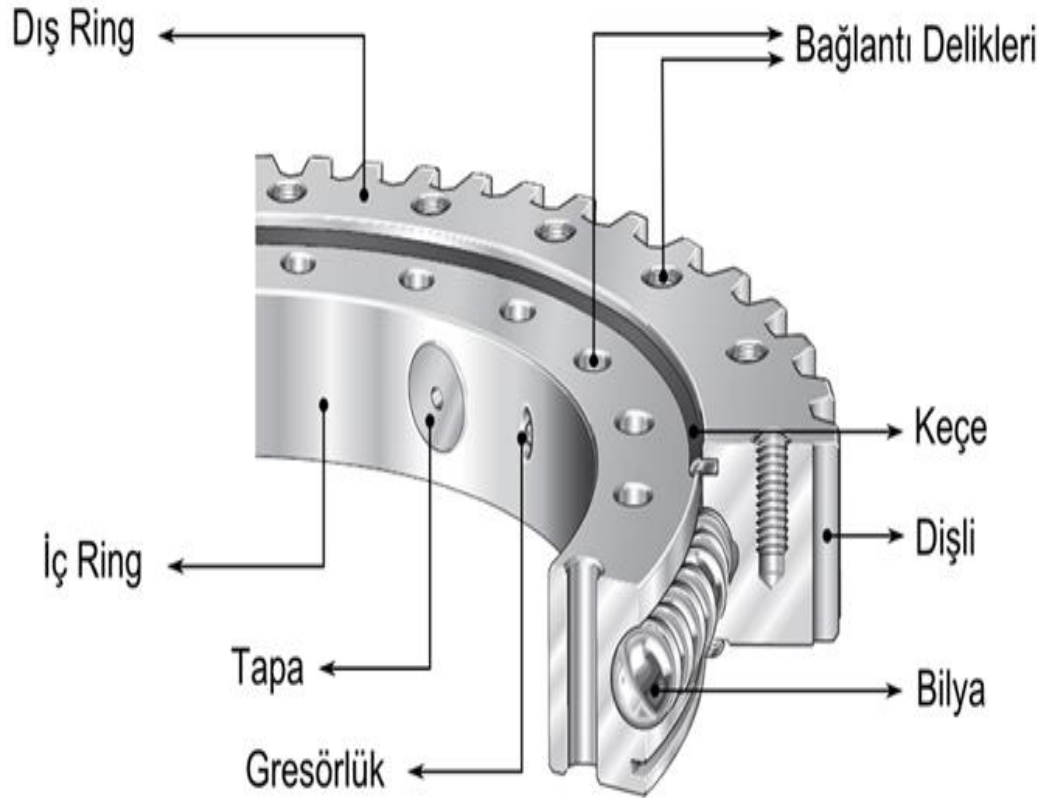


## BÖLÜM 8. SEPETLİ PLATFORM ŞASİ YAPISININ GELİŞİMİ

### 8.1. Sepetli Platform Şasi Yapı Elemanları

Sepetli platform şasisi, makinenin kurulduğu ve makinenin yer ile arasında çalışmasına yataklık ettiği ana parçadır. Makine şasisi çoğunlukla St37 veya St52 malzemelerden imal ediliyor olup, bunun yanı sıra standart profillerinde kullanılmasına olanak sağlıyor.

Makine şasisi, özellikle bünyesinde makine ayakları (outriggers) denilen destek kollarını bulundurmakta ve bunlara yataklık etmektedir. Bunun yanı sıra kule dönüşünün sağlanması için kullanılmakta olan dişli damak sisteminin bir ayağı olan yükseltme kutusu olarak adlandırılan bölgede yataklanmaktadır.



Şekil 8.1. Kule döner tabla dişlisi.

Ayaklar ve yükseltme kutusunun yapı üzerinde yerini almasıyla oluşan bu yapı makine şasisi olarak adlandırılmaktadır. Makine şasisinin başlıca gayesi tüm yapıya yataklık etmek ve diğer önemli gayesi ise yapı üzerinde dengeleyici ağırlık görevini üstlenmesidir.

Bu yüzden makine şasileri makine çalışma koşullarına, yüksekliğine ve taşıyıcı araç istiap haddi sınırına göre ağırlığı değişebilmektedir. Genellikle makine şasisi bükümlü, imalatı kolay, kaynak süresi en kısa modellerden oluşmaktadır. Fakat kimi zaman bünyesinde barındırdığı, ayak sistemleri dolayısıyla yapı karmaşıklaşabilmekte ve üretimde önemli bir zaman işgal etmektedir.

Ayak sistemleri yapının en önemli dengeleyici elemanları olup, belli bir alanda çalışma sınırları olduğundan dolayı mümkün mertebe en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Ayakları tahrik eden iki adet piston olup bunlardan biri yatay diğeri ise dikey yönde hareket sağlayan pistonlardır. Bu yatay ayakların açılabilme kapasitesi belli bir seviyeye kadar sınırlı olup, buna göre oluşturulan sistemler entegre edilmektedir. Makine üzerinde bulunan ayaklar kule tarafında çapraz 120 derecelik açı ile konumlandırılarak moment alanının verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlar. Burada kullanılan çapraz ayaklar üstüne konacak kamyonu uyum sağlayabilmesi için çeşitli yenilemelere ihtiyaç duyabilmektedir.

Makine şasi üzerinde bulunan ve kuleye yataklık eden yükseltme kutusu şasi blokları üzerine bayraklanmaları ile birlikte kaynaklanmış olup yapı üzerinde hayli önem arz etmektedir. Yükseltme kutusunun yüksekliği taşıyacağı aracın kupa yüksekliğine bağlı olup gerekli görüldüğü takdirde bu bölge üzerinden gerekli güncelleme yapılmaktadır(Şekil 5.4.).

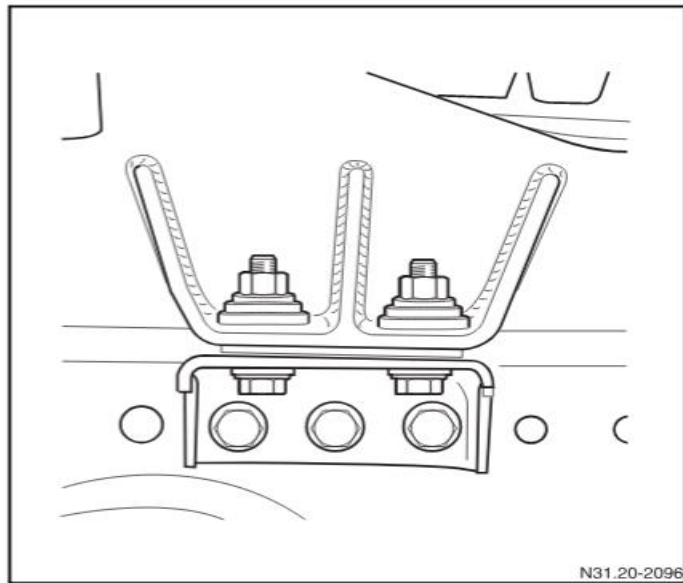
Makine şasisi üzerinde bulunan ayak sistemleri çeşitli hidrolik yöntemler ile bağlanarak tahrik edilebilmektedir. Ayaklar iki kademeli olabilecek şekilde iç içe geçmeli olarak üretilebilmektedir. Ayaklar genellikle iki çelik sac arasında yağlı sürtünme ile hareket ettirilmektedir. Kısmi, kimi uygulamalarda ise kestamit varlığından söz edilebilir. Ayak montajı dikey ve yatay ayak montajı olarak iki ana başlık altında toplanır. Yatay ayak montajı sırasında genellikle bükümsüz düz saçlar tercih edilir. Bu ise düz bir sürtünme yüzeyi kullanılmasına olanak sağlar.

Dikey ayaklar özellikle dikey ayak pistonuna yataklık eden yapılardır. Bu yapıların kolay imal edilebilmesi için bükümlü elemanlar ve bunlara bağlı kaynaklı elemanlar kullanılmaktadır.

## 8.2. Sepetli Platform Şasi Yapısının Davranışı

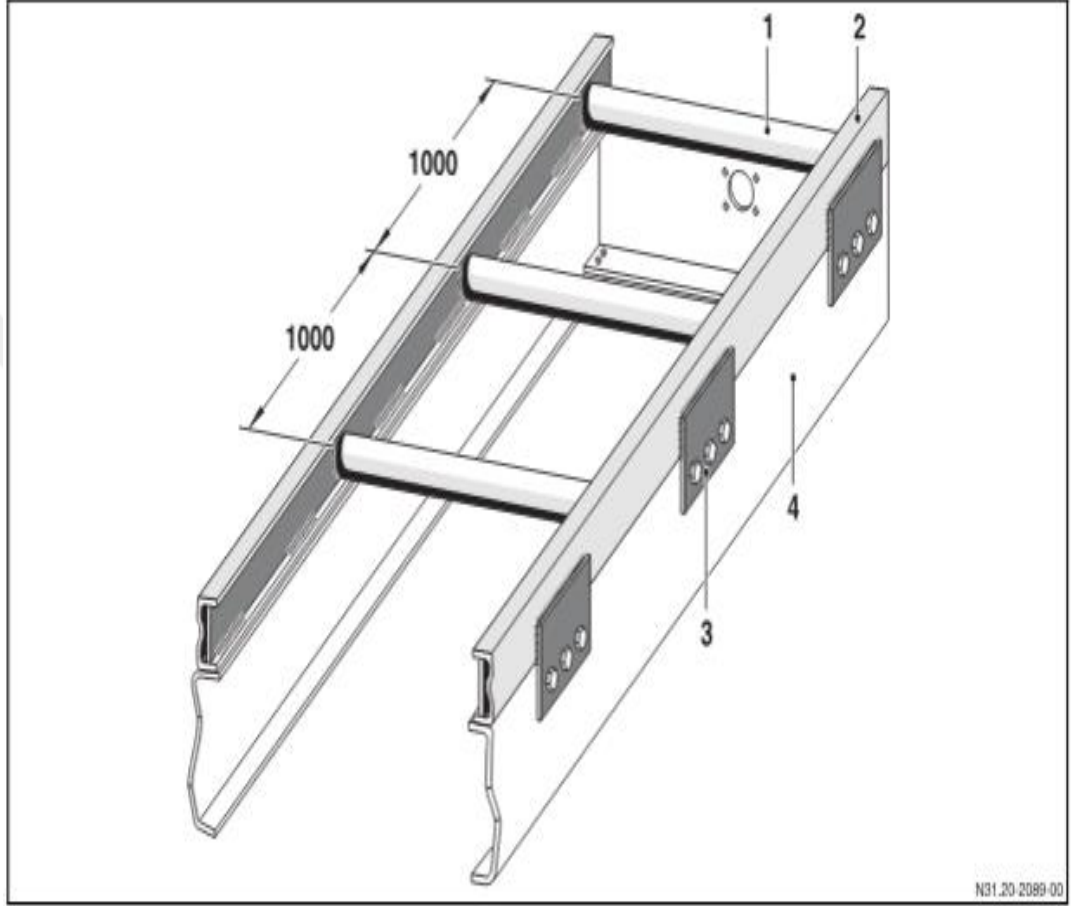
Şasi, taşıyıcı araç üzerinde cıvatalı bağlantılar, kule ve ardından gelen tüm yapılara yataklık eden ana elemandır. Şasi bünyesinde bulunan tüm elemanların sac metallere oluşması dolayısıyla mid-surface komutunun kullanılmasına olanak sağlamıştır. Burada yapı bomun şasi yapısına özellikle dik veya dike yakın ölçülerde şasi eksenine göre durduğu anlarda en yüksek eğilme momentine, ayaklar üzerinde zorlanma, kesme momentlerine sebep olmaktadır (Guo, He, & Sun, 2016).

Şasi yapısı tasarımı süresince üzerine konulacağı araç da göz önünde bulundurularak yapının araç ile kontak halinde olması sağlanır. Taşıyıcı araç şasileri üzerinde bulunan delikler, üzerine konulabilecek mekanik sistemleri bağlayabilmek için gerekli olan cıvata bağlantı yerlerini belirlemektedir. Burada önemli olan hususlardan biri de imalat sürecinde taşıyıcı araç ile makinenin nasıl bağlanacağıdır. Bazı imalat süreçlerinde kullanılan kelepçe türü bağlantılar kullanılarak taşıyıcı aracın karayollarındaki hareketinden kaynaklı ani darbelerde araç şasi üzerinde kesmelere neden olmaktadır.



Şekil 8.2. Şasi taşıyıcı araç ile bağlantı aparat tasarımı.

Bununla birlikte bu tip taşıyıcı araç üzerindeki zararları önleyebilmek için, bazı otomotiv firmaları esnek bağlantı çeşitleri geliştirmiştir( Şekil 8.2.). Fakat biz bu çalışmada her iki taraftan da 5 er adet plaka ile ve her bir plaka da 3 adet cıvata bağlantısı var olduğunu varsayarak analizini gerçekleştireceğiz.

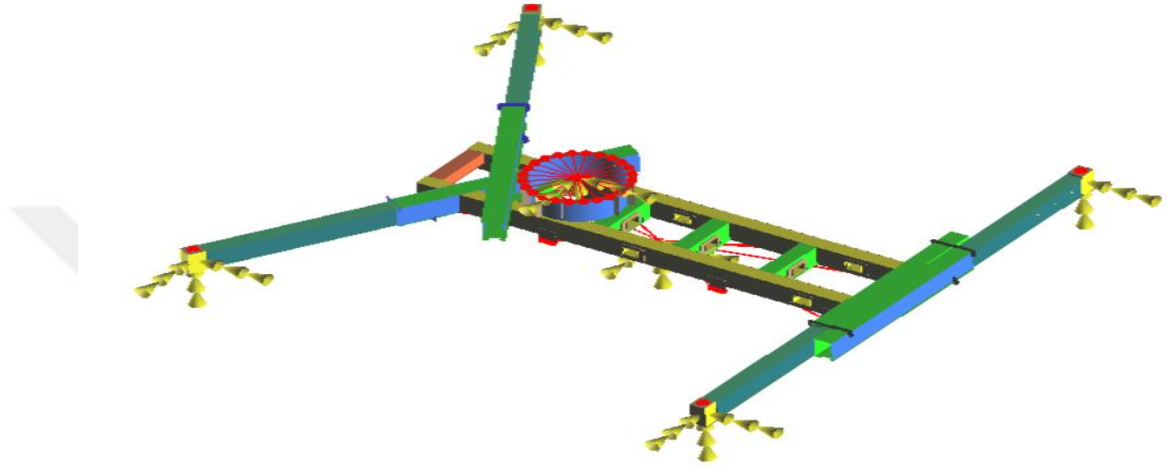


Şekil 8.3. Şasi taşıyıcı araç şasisi kaynaklı bağlantı plakası montajı.

Yapı analizine başlamadan önce yük aktarım noktalarının belirlenmesi ve buna göre çalışmanın sürdürülmesi gerekmektedir. Burada birinci nokta, şasi bağlantı plakalarının cıvataları olup ikinci diğer nokta ise yükseltme kutusu cıvata girişleridir.

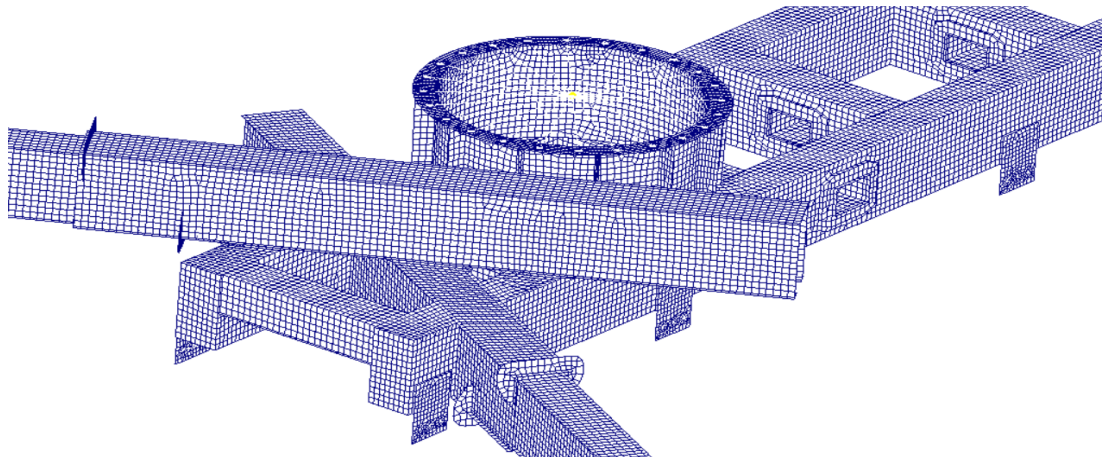
Yükseltme kutusu üzerinde bulunan dişli cıvata bağlantıları ile dişli, kule ve şasi arasındaki bağlantıyı sağlayarak kule üzerinde dönüşe olanak sağlamaktadır. Bu bölümde şasi üzerindeki kule dönüşünü sağlayabilmek için dinamik model üzerinde cıvata bağlantıları tek bir noktada toplanarak bir noktadan kule ile şasi arasında çalışan “revolute joint” tanımı yapılmıştır(Şekil 6.4.).

Bununla birlikte analiz öncesinde doğru yaklaşımı yakalayabilmek için, makine ayakları arasında yer ile “fix” bağlantılar taşıyıcı araç ağırlığı makine şasisine bağlı olarak analiz yapılmaktadır. Burada taşıyıcı araç ağırlığı, daha önce belirtilen bağlantı plakaları üzerindeki cıvata deliklerinden geçen ortak bir node`a bağlanacak olup, bu node üzerine “spherical joint” uygulanarak “mass point” olarak kullanılacaktır(Şekil 8.4.).



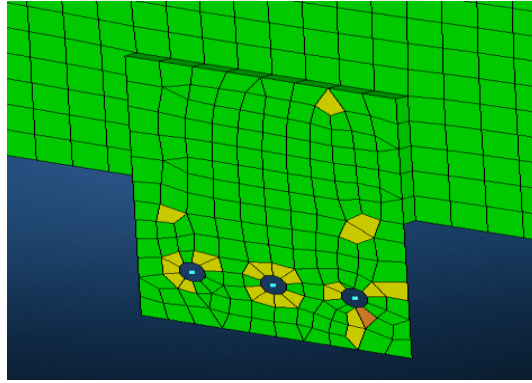
Şekil 8.4. Makine şasisi MSc Simxpert® ortamında ASET tanımlanması.

Şasi analizine başlanmadan önce katı model üzerinde gereksiz olabilecek analize etki etmeyen cıvata, pul, somun gibi elemanların temizlenmesi işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında tamamen sheet metal den oluşan bu yapı üzerinde mid-surface komutu kullanılarak geometri iki boyutlu elemanlara dönüştürülür. Burada önemli olan adım oluşturulan geometrilerin doğru bir şekilde birbiri ile ilişkilendirilmektedir(Şekil 8.5.).



Şekil 8.5. Makine yükseltme kutusu ve ayak bölgeleri mesh modellemesi.

MSc Apex® programı bu konuda yüzeylerin ilişkilendirilmesine ve mesh geometrisinin kurulmasında önemli rol oynayacaktır. Orta yüzey alınan katı model parçaları manuel veya otomatik olarak kalınlık tanımları yapılacak olup, bu kalınlıklara göre davranışları düzenlenecektir. Geometrilerin birbiri ile ilişkilendirilmesi sırasında kaynaklı bulunan olanlar dikkate alınarak gerekirse yeni yüzeyler örülerek yapı üzerindeki yapısal davranış gerçekliliği geliştirilmiştir. Burada öncelikle bir not olarak, kaynak modelleme ve geliştirme kısmında birçok yöntem bulunmaktadır. Fakat bu analizde bölgesel, spesifik bir kaynağa odaklanma söz konusu olmadığı gibi, ileride kullanılacak olan yapısal eleman eleman ağının bünyesinde bulunabilecek yapısal kontak elemanları dinamik analiz sürecinde çalışmayacaktır. Bu tip bağlantılar yeni yüzey ve mesh ağları ile daha verimli yansıtılabilmektedir. Öte yandan ayaklar açıldığında ön alt ve arka üst kısımlarda temas noktaları bulunduğundan bu noktalarda yeni eleman ağları ile örülmüş kontrol bölgeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan geometri üzerine aktarılan mesh yapısının da bölgesel olarak düzenlenmesi ile elde edilen yapı MSc Simxpert® programına bdf çıktısı olarak aktarılmıştır.



Şekil 8.6. Şasi bağlantı plakası ve RBE2 ile civata bağlantılarının modellenmesi.

MSc Simxpert® programı ile import edilen bdf. Dosyası içinde bulunan düzenlenmiş mesh yapısı gerekli sınır koşulları ve MSc Adams® programında kullanılmak üzere hazırlanacak olan mnf. Dosyası üzerinde çalışılacaktır. Burada, MSc Simxpert programında yük aktarım noktaları için daha önce belirlenmiş yerler RBE2 yardımcı eleman ağı örme komutu ile tek node etrafında toplanacaktır(Şekil 8.6.). Burada yük aktarım noktaları olarak, dikey ayakların piston bağlantı merkezleri üzerinde uygulanmış fix jointler üzerine gelen makine ağırlığı ve şasi üzerinden yük aktarım noktaları olan yükseltme kutusu – kule dönüş merkezi ve şasi – taşıyıcı araç bağlantısı noktalarıdır.

### 8.2.1. Sepetli platform şasisi dinamik analizi

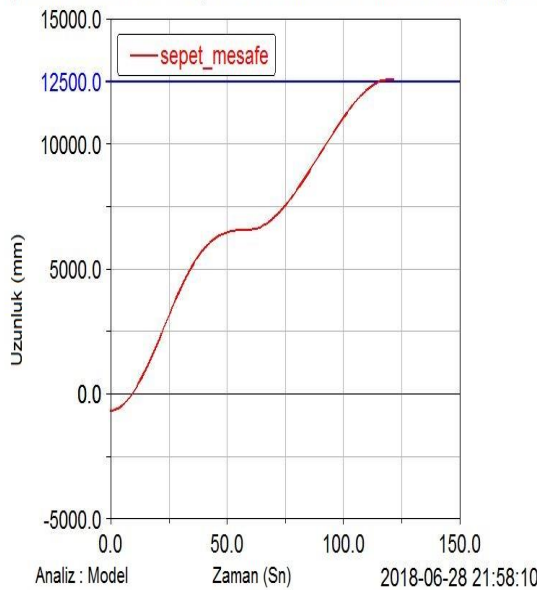
Sepetli platform şasisi tasarım sürecinde geliştirilen genel yapı incelenmek üzere MSc Apex® programı vasıtasıyla düzenlenmiş mesh yapısı, MSc Simxpert® ortamında sınır koşulları tanımlanarak mnf. dosyası elde edilerek MSc Adams® programı ortamında yapının dinamik olarak tepkisi incelenmiştir.

Bu analiz sürecinde yapının en kritik çalışma koşullarında farklı senaryolar içerisinde zorlanması sağlanmıştır. Elde edilen değerler ışığında yapı üzerinde geliştirilebilecek yerler tespit edilmiş, buna göre yapı üzerinde gerçekleştirilebilecek iyileştirmelere ışık tutulmuştur.

Dinamik analiz sürecinde göz önüne alınmış kabuller;

- Şasi yapısı hariç tüm yapı elemanları rigid elemanlardan oluşmuştur.
- Yapı üzerine düşeyde Y ekseninde olacak şekilde  $9,81 \text{ mm/s}^2$  yer çekimi ivmesi uygulanmıştır.
- Sepetli platform üzerine etkiyecek rüzgar yükü dikkate alınmamıştır.
- Sepetli platform 250 kg yük olacak şekilde ağırlık yükü uygulanmıştır.
- Dinamik model üzerinde kullanılan tüm bağlantı elemanları rigid bağlantı olarak kullanılmıştır.

Sepet Yanal Uzama Mesafesi ( Bom Mukavemeti Göz Önünde Bulundurulduğunda )

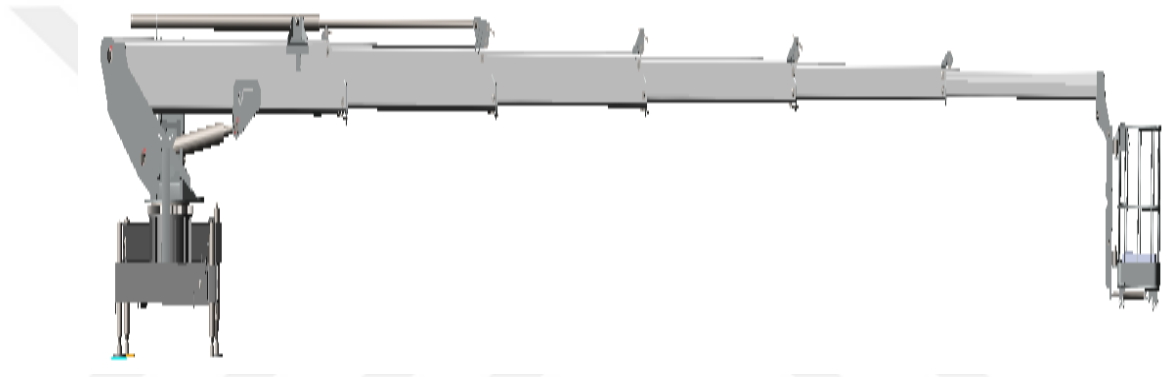


Şekil 8.7. Sepetli platform şasisi yanal çalışma sınırına göre yapısal analizi.

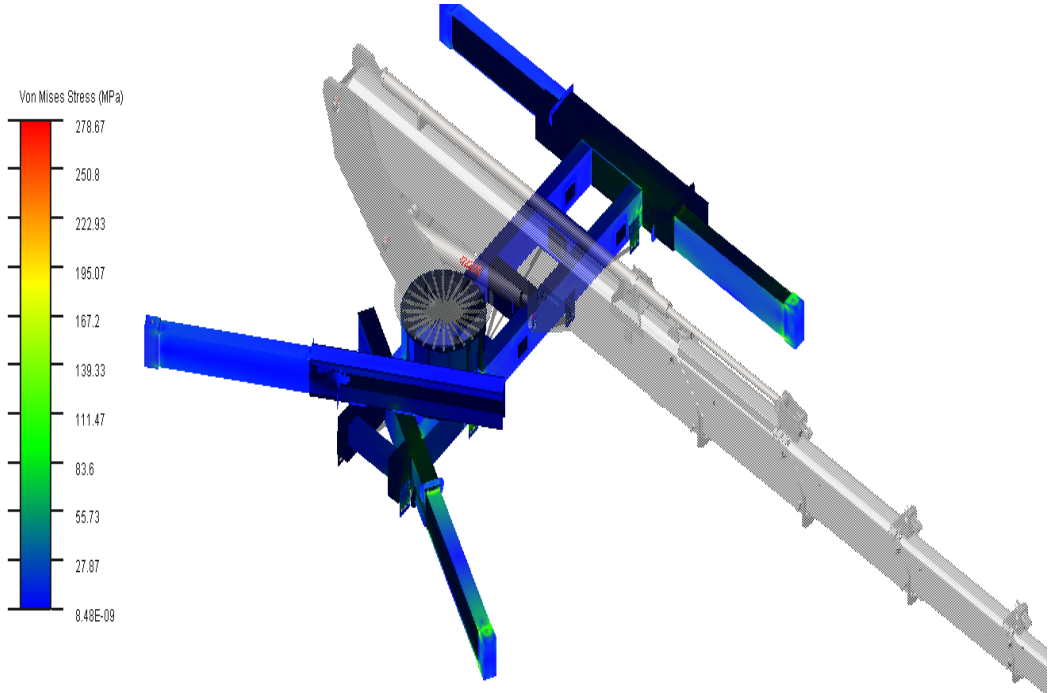


## 8.2.2. Sonuçların incelenmesi

MSc Adams® programı ortamında Transient-Dynamic analiz olarak gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde, şasi yapısı üzerine gelen yüklemeler yapının dinamik çalışma ortamında hesaplanmıştır. Bu analiz neticesinde yapı üzerine gelen yüklemeler incelenmiş olup, kritik yüklemelerin ayak bağlantı çevrelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre yapı üzerinde kullanılan ara traversler üzerinde yapılabilecek iyileştirme ve hafifletme çalışmaları ile makine şasisi optimize edilerek daha efektif bir yapı elde edilebilecektir (Rashid, Mahyuddin, & Nor, 2012).



Şekil 8.8. Sepetli platform şasisi katı model yük dağılımı.



Şekil 8.9. Sepetli platform şasisi dinamik analiz yük dağılımı.



## **BÖLÜM 9. SEPETLİ PLATFORM YAPISAL ANALİZİ**

Sepetli platform yapısal gelişimi ve imalat sürecinin detaylı incelenmesi ile geliştirme sürecine başlanılabilir. Bu süreçte yapının mekaniğinin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikli olarak dinamik modellemeler yapılmıştır. Bu modellemeler MSc Adams® programında tamamen rigid parçalar ve rigid bağlantı elemanları ile gerçekleştirilmiş olup, bu yapıların çalışması gerçeğe uygun bir şekilde modellenmiştir.

Dinamik sistem tasarımı süresince önemli kriterlerden olan, ayak temas noktaları, katı modelleme ile elde edilmiş geometrilerin uygun bağlantı elemanlarının kullanılması ve istenilen senaryolar ile hareketleri gerçekleştirilmiştir.

Analiz sürecinde makinenin davranışının incelenmesi esastır. Bu davranışın incelenmesi sürecinde makinenin olabilecek en kritik dinamik koşulları sürülerek analizler yapılmıştır.

Burada kritik olan kaide ayakların tam açıkken makine ayaklarının boomların yatay çalışma anında ne zaman yer ile teması kesileceğidir. Bu durumun tespiti için ayak ile yer arasında oluşturulan “contact force” tanımı ve bu “contact force  $\leq 0$ ” olduğu bölgelerde ayak ile yer arasındaki temasın kesildiği bilgisi elde edilmektedir. Buna göre, yapının dinamik çalışma sınırı belirlenmiştir(Şekil 6.5.).

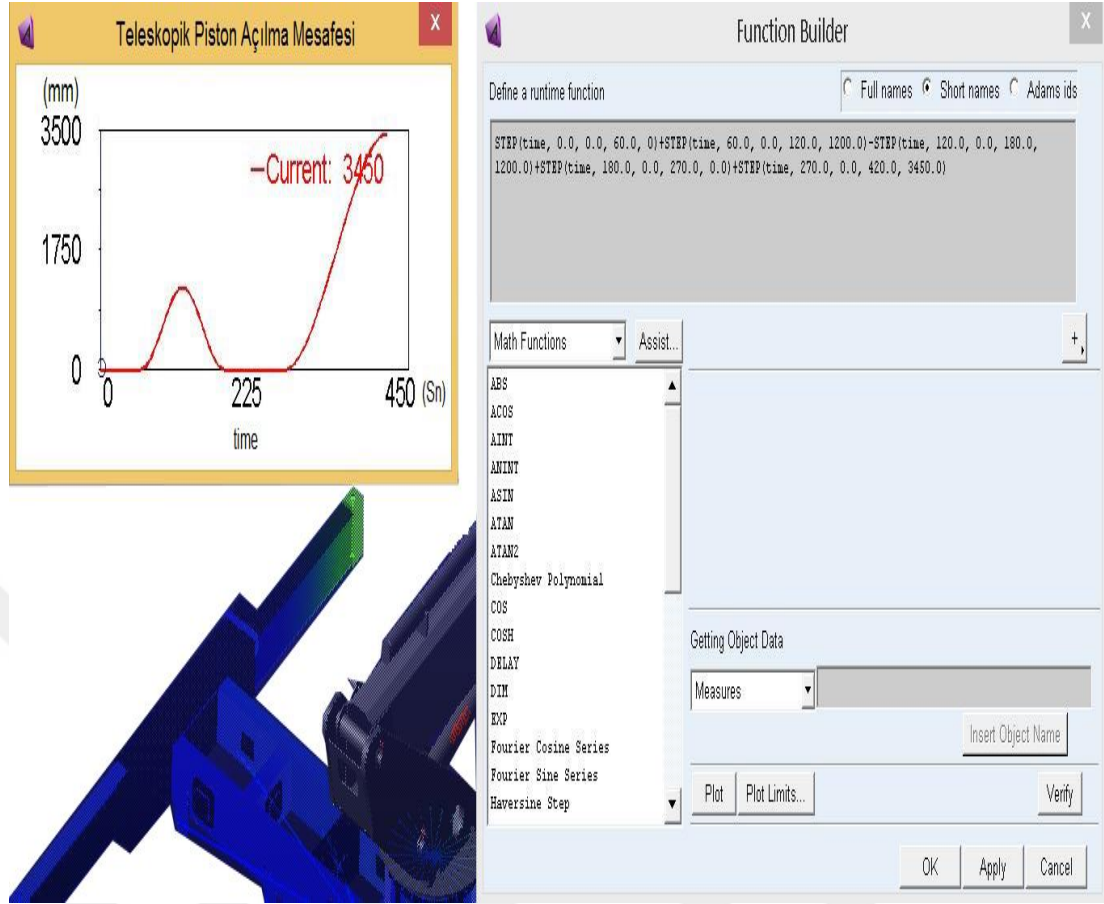
Bunun yanı sıra yapı üzerinde kullanılan zincir makara mekanizması Adams/Machinery® modülü ile tasarlanarak zincirler üzerine gelen bağlantı yükleri hesaplanmıştır. Burada önemli olan husus zincirlerin makine güvenilirliğini üzerinde en önemli parça olduğu ve bu malzemenin seçiminin çok iyi yapılması gerektiğidir. Bomlar içerisindeki zincir mekanizması fizikte kullanılan basit makaralar mantığı ile çalışmaktadır(Şekil 7.8.).

### **9.1. Bom Zincir Mekanizmasının Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Analizi**

MSc Adams/Machinery® modülü üzerinde Cable/Chain modelling kullanılarak hazırlanan model neticesinde her bir bom öncesinde kullanılan zincirin bir önceki bomların ağırlıklarını kaldırması dolayısıyla karşıladıkları yükler kademeli olarak artmaktadır. “Anchor” olarak adlandırılan zincir bağlantı aparatlarına gelen yükler tasarımdan kaynaklı olabilecek, bağlantı merkezlerine gelen moment ve atalet momentleri dâhil olacak şekilde dinamik yükleri aşağıdaki gibidir. Buna göre kullanılan zincir ve bu zincirlerin dayanımı incelendiğinde, zincirler üzerindeki emniyet katsayısı hayli yüksek çıkmaktadır. Bu değer yüksek tutulması, makinenin çalışma koşullarının sürekli değişiyor olmasıdır. Tersaneler vb. tuzlu suyun olduğu oksitlenme etkisinin hayli yüksek olduğu ortamlarda zincir kullanım ömrü azalmaktadır(Şekil 7.9.).

Makinenin çalışma sürecinde en kritik çalışma koşullarının tespiti ile bu koşullarda makinenin yapısal davranışının incelenmesi gerekmektedir. Bu süreçte makine, yatay düzlemde çalıştırılarak kule üzerine gelen yatak kuvvetleri incelenmiştir. Burada analiz sürecinin doğruluğu ve yapının ataletsel kuvvetlerinin doğru yansıtılması için yapı çalışma hızları hız zaman ile fonksiyonu olarak girilmiştir.

Buna göre, örneğin 2 dk içinde açılmakta olan bomlar 1,5 dk içinde toplanabilmesi için hız fonksiyonları geliştirilmiştir. Bu fonksiyonlara göre, ikinci bom teleskopik pistonda aldığı yer değiştirme hareketini bir sonraki bomlara zincir mekanizmaları vasıtasıyla aktarabilmektedir. Burada kullanılan fonksiyon zamanın bir fonksiyonu olup aşağıdaki gibidir.



Şekil 9.1. MSc Adams® Step fonksiyonu ile hız zaman grafiğinin oluşturulması.

Step fonksiyonu 0 – 120 sn. aralığında 3450 mm hareket etmesi için sistemin ihtiyaç duyduğu hızı ve buna bağlı olarak ivmeyi ve ataletsel kuvvetleri hesaplar. Step fonksiyonu ayrıca başlangıç ve son adımlarında yavaşlayan ve hızlanan bir ivme kullanarak daha gerçekçi bir ivmeler sergileyecektir. Buna göre bu fonksiyon sadece ikinci bomu tahrik edecek olan teleskobik piston yer değiştirme fonksiyonu olarak kullanılacaktır. Daha sonrasında peşi sıra gelecek bomların ise aynı yer değiştirme bilgisi ile ve aynı zaman aralığında vermesi gerekmektedir. Bu bilginin edinebilmesi ve diğer bomlara aktarılabilmesi için teleskopik piston üzerinden displacement bilgisi alınır ve bu measurement doğrudan diğer bomlara tanıtılarak aynı zaman zarfı içerisinde aynı miktar yer değiştirme hareketi sağlanır(Şekil 9.1.).

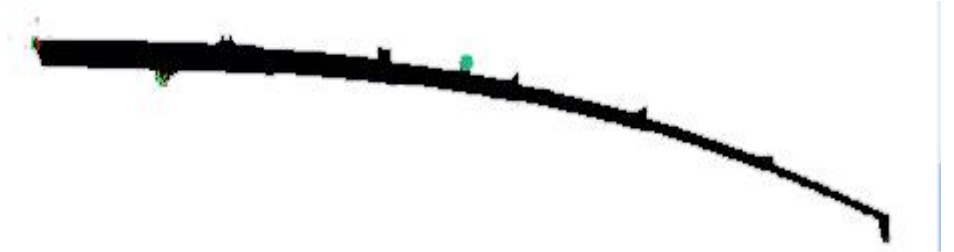
Bununla birlikte oluşturulan bu dinamik model üzerinde, sepet bünyesinde barındırılan 250 kg çalışma yükü dâhil olarak yapı üzerine gelen yatak yükleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapının en kritik çalışma koşulları değerlendirilecek olup bu kritik duruma göre yapının yapısal analizi gerçekleştirilecektir.

## 9.2. Sepetli Platform Bom Yapısal Analizi

Dinamik sonuçlar ışığında kule yatakları üzerine gelen yükler en kritik pozisyon olan yatay düzlemde boamların sürülmesi ile açığa çıkmakta olup, bu pozisyona ve yüklere göre yapının davranışı yapısal olarak incelenecektir (Suratkar, Shukla, & K.S.Zakiuddin, 2013).

Bomlar yapısal ve tasarım sürecinde iç içe geçmiş yapıların birbiri ile sistematik ve doğrusal olarak sıralanması ile modellenmektedir. Tasarım sürecinde, aslen boamların ebadını belirgin iki ana unsur bulunmaktadır ve bu unsurlar makinenin genel boyutlarını belirlemektedir. Bu unsurlar ise sepet yük taşıma kapasitesi ve makine çalışma yüksekliğidir. Bu değerlere göre boamlar üzerinde ve bununla birlikte diğer tüm yapılarda oluşan momentler artacağından yapının boyutları genel ölçüde değişmekte ve artmaktadır(Şekil 9.2.).

Bomlar iç içe sıralanmış yaklaşık aynı boylarda fakat birbirinden farklı kesitlere sahip çelik yapılarıdır. Bu yapılar birbiri içerisinde lineer olarak hareket etmekte olan ve bu hareket temas noktalarında kestamit adlı polyemid malzeme ve yağlama elemanları vasıtasıyla sürtünmeyi minimize etmiş bir şekilde hareket eder.



Şekil 9.2. Sepetli platform boamları 250 yük ile yapısal sehim analizi.

Bomların genel yapısından kaynaklı olarak yapının davranışı makine emniyeti için hayli kritiktir. Burada makinenin tasarım aşamasında bom ebatlarına bağlı olarak kullanılmak olan  $Dmx700 \sigma_{Ak} = 700 MPa$  değeri altında bir VonMisses gerilme değeri gözlemlenmesi beklenir. Ayrıca boamlar açıkken ki durumda maksimum yer değiştirmenin gözlemleneceği yer olacak olan sepet noktası en kritik değer olacaktır. Burada analiz ve yapısal iyileştirme sürecinde en çok dikkat edilecek durumlar, yapının belli bir EMK altında “Anaboom`dan son boom`a doğru azalan bir EMK değeri” göz önünde bulundurularak yapı dayanımı düzenlenir (Yao, Meng, & Zhao, 2018).

Düzenlenen yapı üzerinde gerilme yığılmaları giderilir ve max gerilme değeri belirlenir.

$$\sigma_{Ak} = \frac{\sigma_{max}}{2(EMK)} \quad (9.1)$$

Buna göre sistem 350 MPa altında çalıştırılması beklenir.

Oluşturulan bu sisteme göre yapının max displacement değeri incelenir ve bu yer değiştirme kapasitesini minimize etmeye çalışılır.

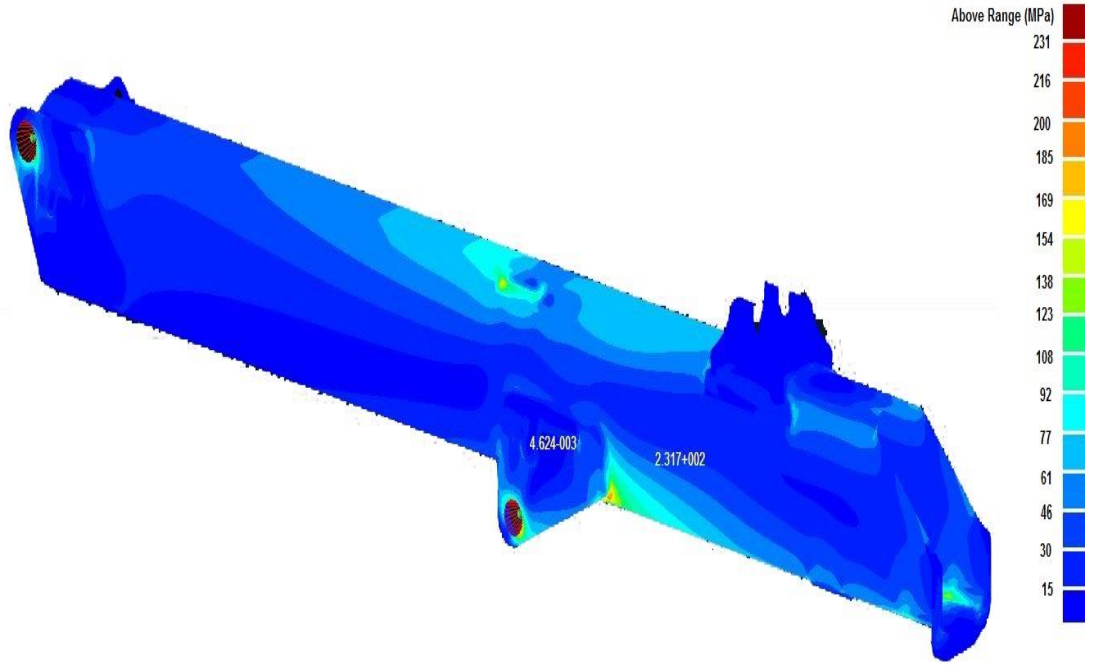
Burada, bom yapısal gelişiminde belli sınırlar vardır. Bu sınırlar, bomların iç içe geçme adedi ile doğru orantılıdır. Ne kadar az bom kullanımı bir o kadar az sehim miktarı anlamına gelse de az bom sayısı aynı zamanda uzun taşıyıcı araç ihtiyacı doğurmaktadır. Bu yüzden bom adetleri mümkün mertebe en optimize adette tasarlanmaktadır.

Buna göre bomlar üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler hayli dar bir alanda olup imalat ve makine maliyet süreçlerini etkileyen en önemli unsurdur.

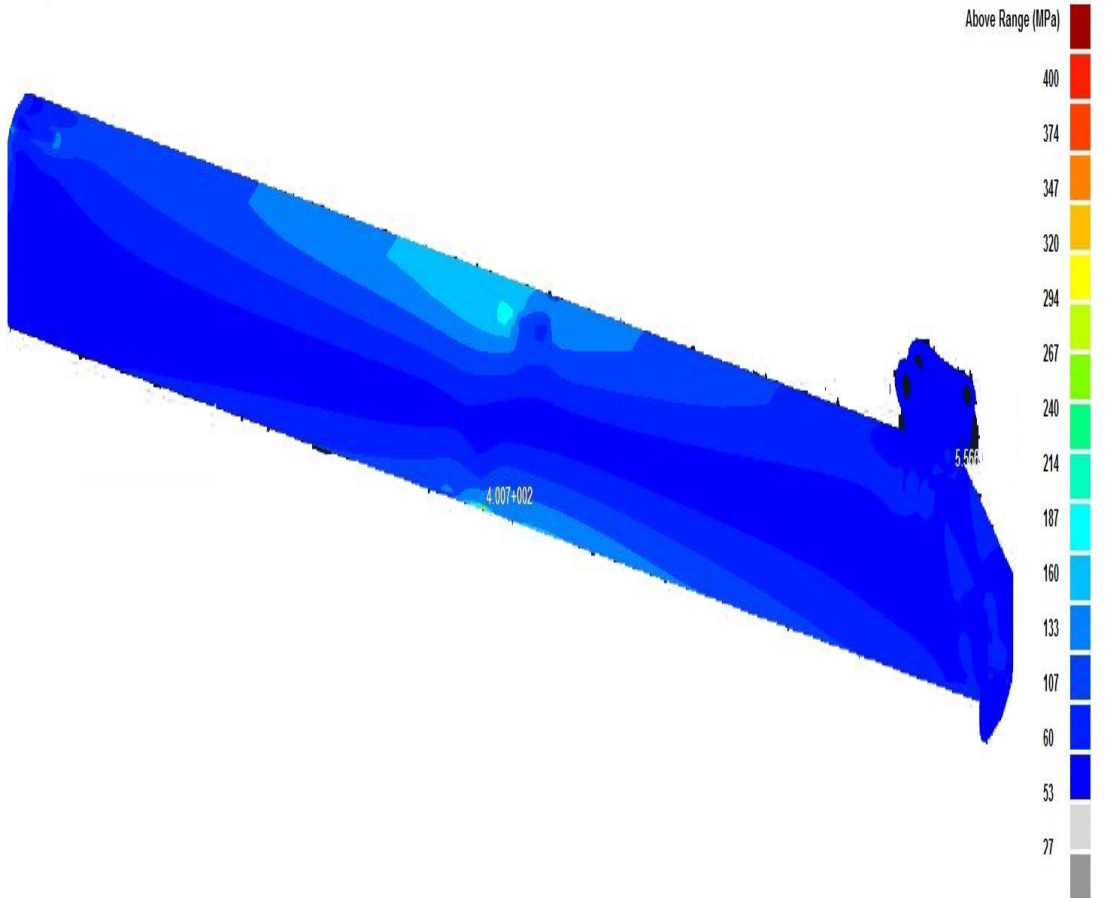
Bomlar üzerinde yapılabilecek iyileştirmelerden biri de bomların iç içe destek noktaları olarak adlandırılan temas noktalarıdır. Bu temas noktaları anaboom dan son boma doğru gidildikçe kısaltılabilir ve buna bağlı olarak yapı üzerinde hafifletme çalışmaları yapılabilir.



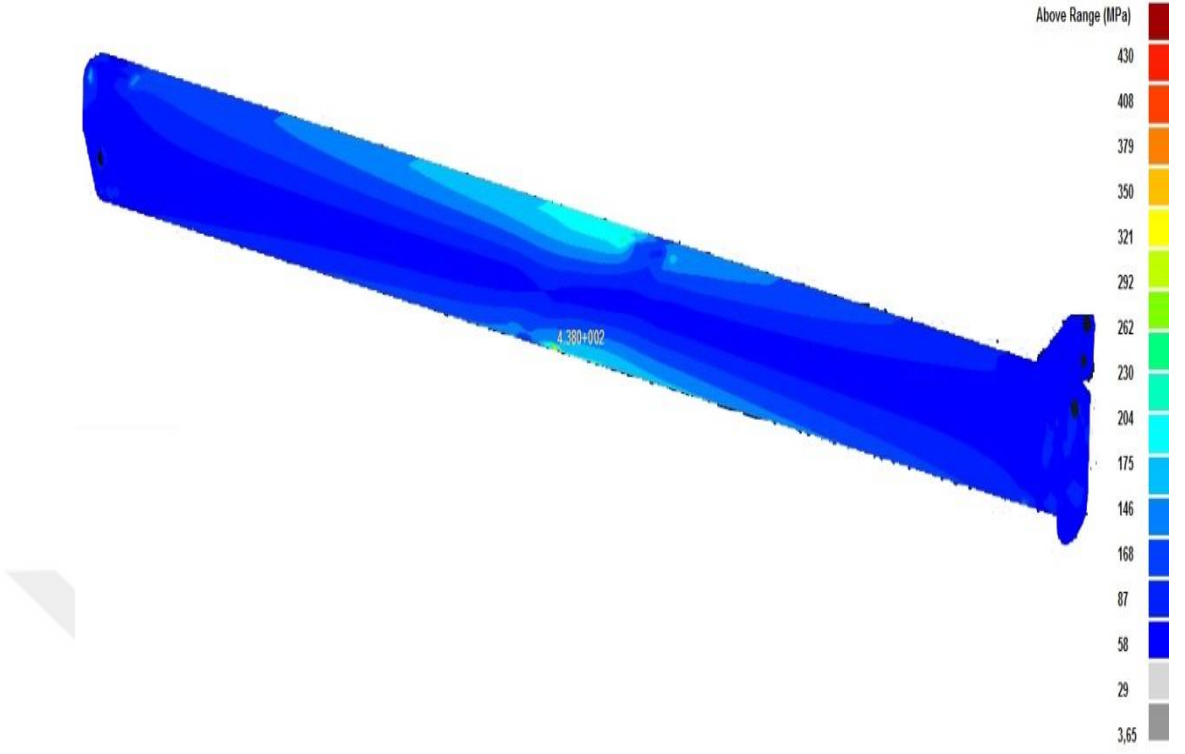
Şekil 9.3. Bomlarının FEM yöntemi ile yapısal analiz sürecine hazırlanması.



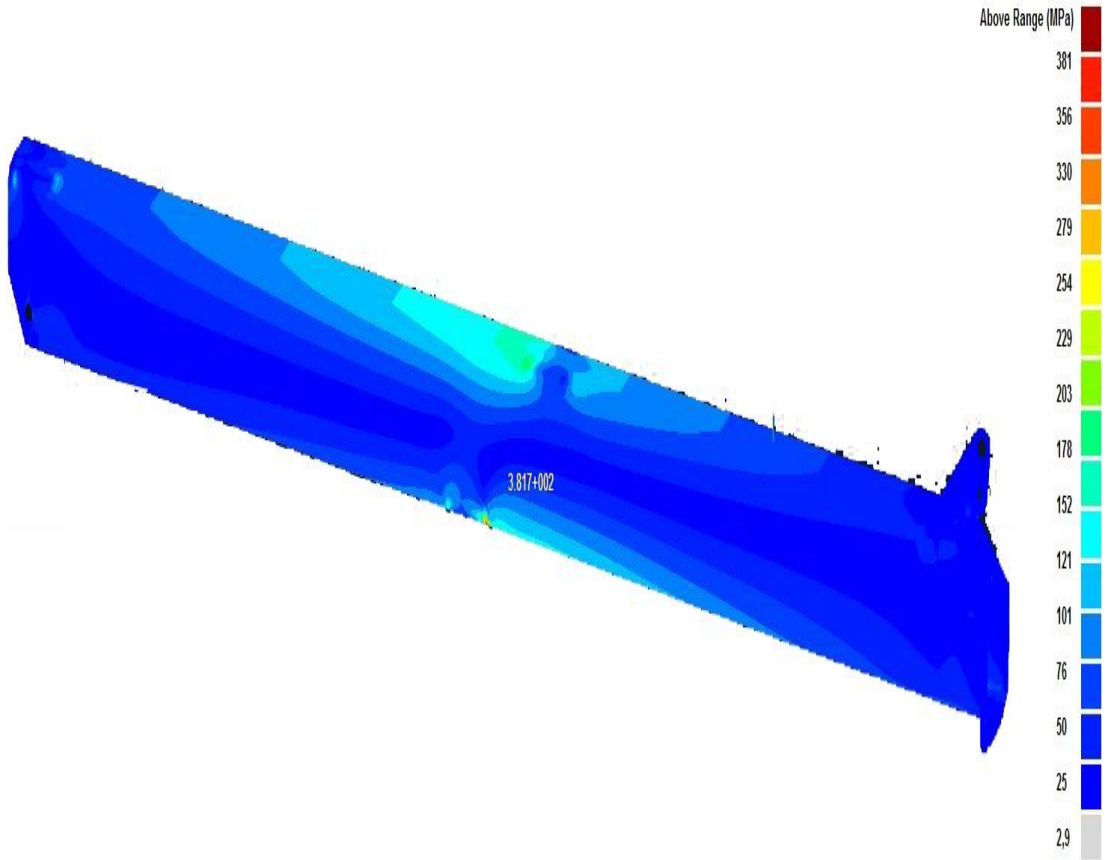
Şekil 9.4. Sepetli platform anaboom yapısal analizi.



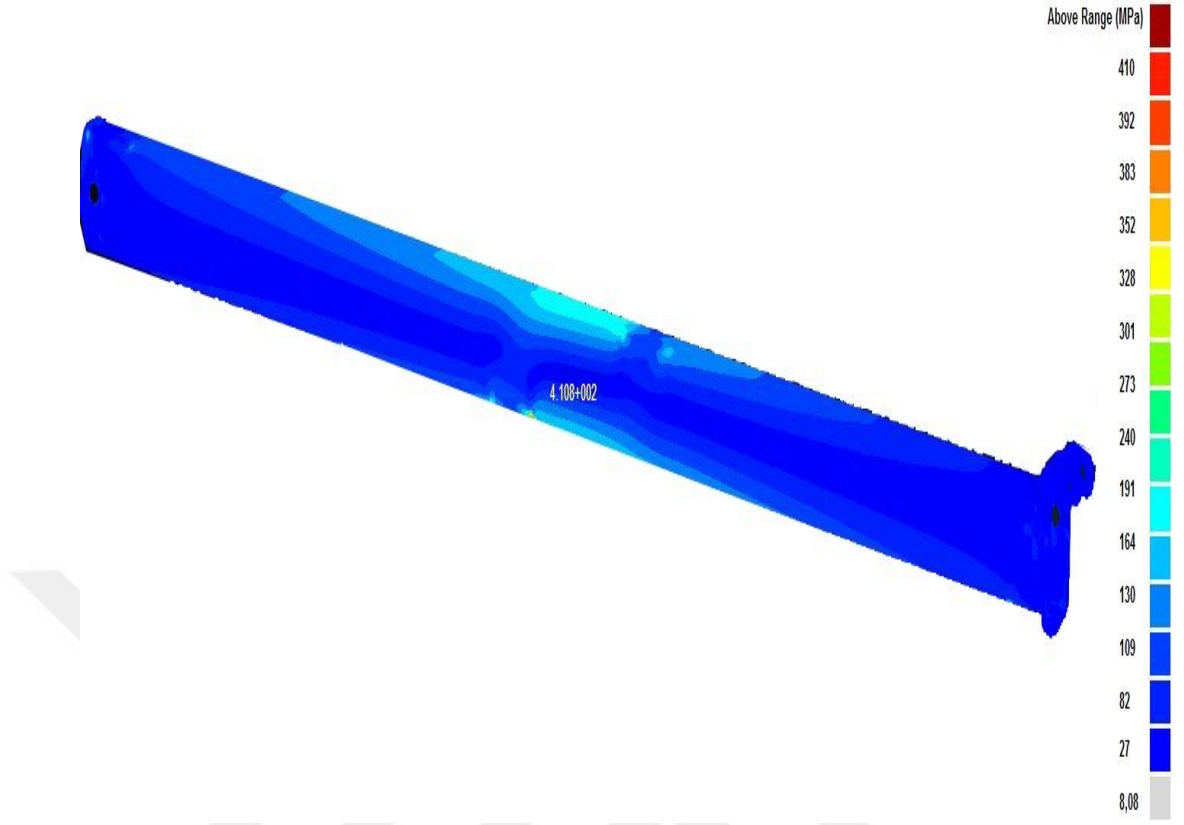
Şekil 9.5. Sepetli platform ikinciboom yapısal analizi.



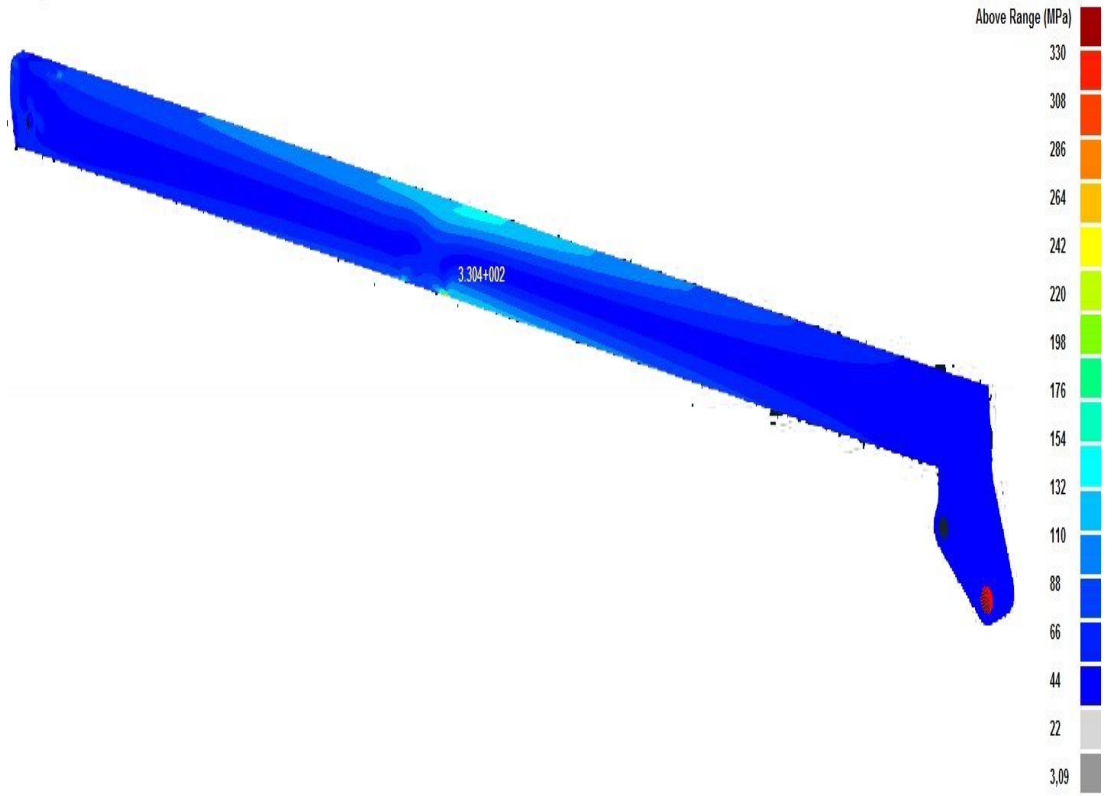
Şekil 9.6. Sepetli platform üçüncüboom yapısal analizi.



Şekil 9.7. Sepetli platform dördüncüboom yapısal analizi.



Şekil 9.8. Sepetli platform besinciboom yapısal analizi.



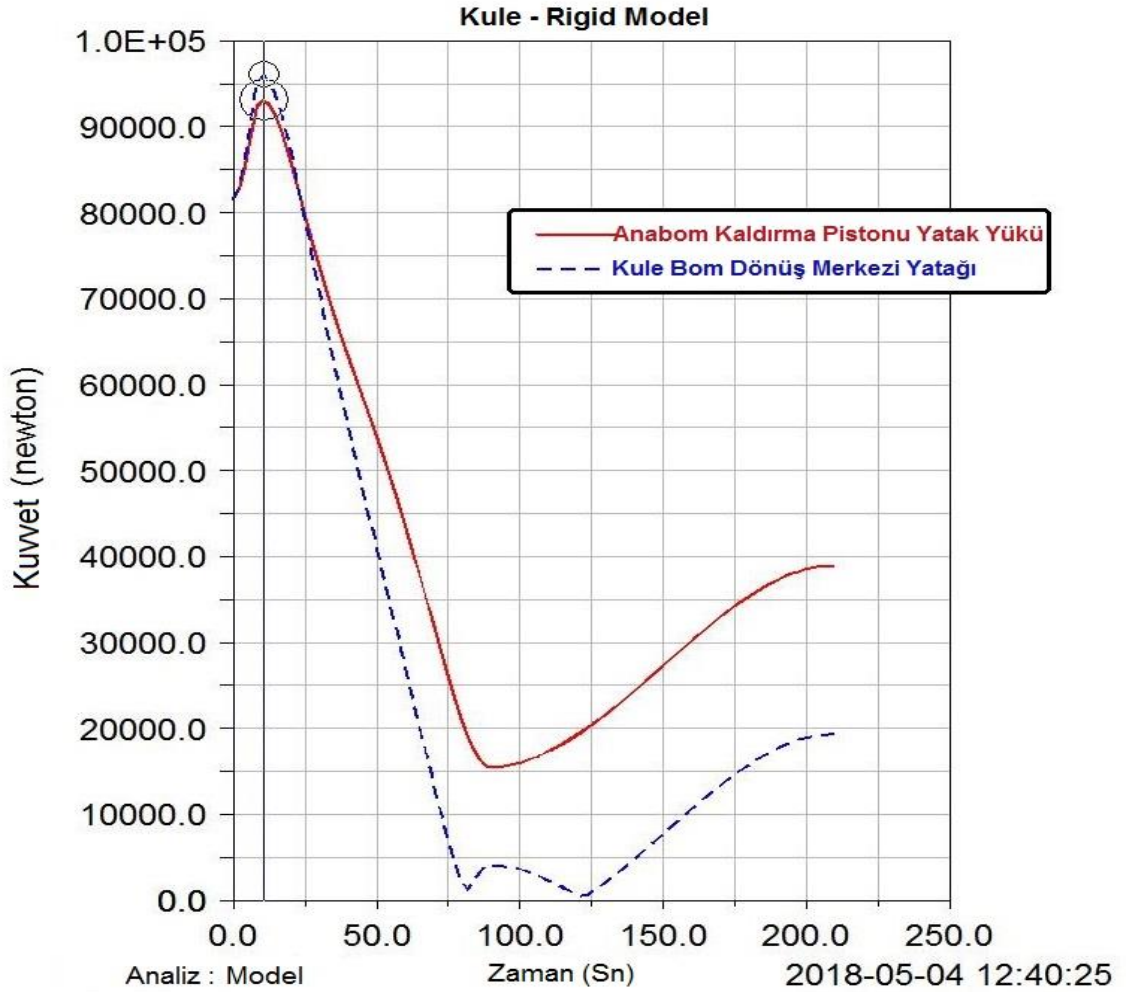
Şekil 9.9. Sepetli platform altinciboom yapısal analizi.



### 9.3. Sepetli Platform Kule Yapısal Analizi

Bomların genel davranışı dönüş merkezi olan kule ile olan yataklama merkezinde fix bağlantı ile sabitlenmiştir. Ayrıca sepet ve sepet yükünün sisteme bağlanması ile bomlar üzerinde oluşan gerilmeler yukarıda belirtilmiştir(Şekil 9.9.).

Kule, bomların düşey ekseninde dönmesi sağlayan ve buna yataklık eden ana elemanlardır. Kule yapısının rigidliği makine emniyeti ve kalitesi için hayli önemli olup, bu makinenin güvenilirliği ve gelişimi hakkında önemli bir etkidir. Bomlar üzerinde kullanılan ortalama EMK değeri 2 iken Dmx700 malzemeye göre bu değer 4-5 arasında olacak şekilde kule üzerinde kullanılmaktadır. Fakat sac maliyeti ve işlenebilirliği düşünüldüğünde kule malzemesi genellikle St52 kalitesinde seçilir ve EMK 2 olacak şekilde makine yapısal dayanımı geliştirilir.

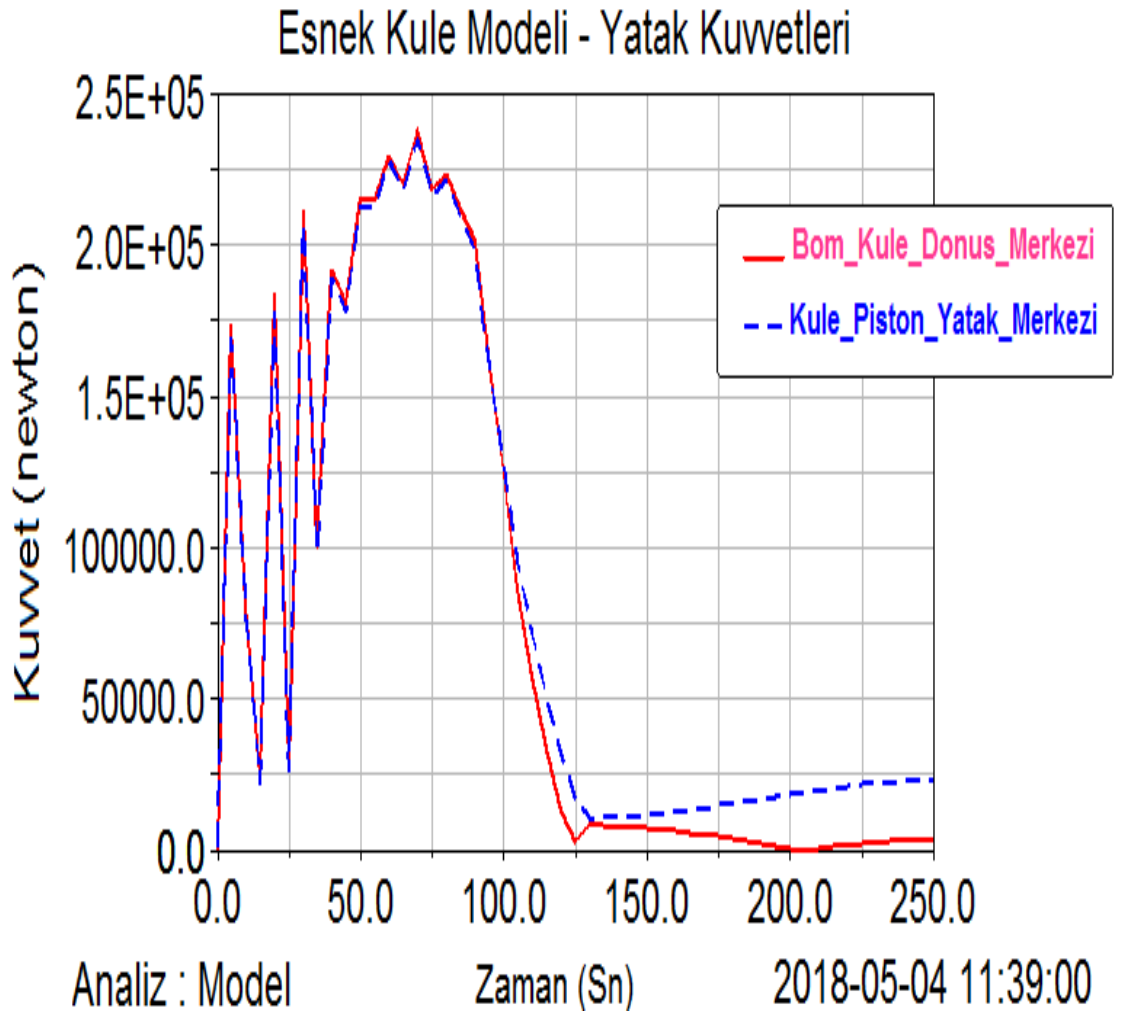


Şekil 9.10. Kule yatak yüklerinin MSc Adams® ortamında hesaplanması.

Kule yapısı gereği kalın ve çok parçalı yapılardan meydana gelmekte olup, yapının rigidliği için hayli parça kullanımını gerçekleştirmektedir. Buna göre yapının davranışı incelendiğinde en kritik noktalar yük aktarımının gerçekleştiği yataklama ve taban bağlantı noktaları olarak gözlemlenmektedir.

İleride de değerlendirmek üzere kulenin arka tarafına eklenebilecek olan dengeleyici bir ağırlık mekanizması ile daha rigid bom yapılarının kullanılmasına olanak sağlanacaktır.

Bunun yanı sıra yapı üzerindeki diğer yapısal incelemeler neticesinde ağırlık merkezlerinin gerçekleştirilmesi ve buna göre yapının daha efektif kullanılması amaçlanmaktadır(Şekil 9.9.).



Şekil 9.11. Kule yapısının MSc Adams® ortamında dinamik hesaplanması.

Yapının kule üzerindeki etkisi yukarıda gözlemlendiği üzere hassas bir düzeneğe oturturulmuş olup, yapının daha efektif kullanılabilmesi için geliştirmeler sunulacaktır.

#### 9.4. Sepetli Platform Şasi Yapısal Analizi ve Geliştirilmesi

Şasi yapısı makinenin temel unsuru olup, makinenin yer ile temasını oluşturan ana elemandır. Bu yapı makine üzerinde, ayaklara ve yükseltme kutusuna yataklık ederek diğer sistemlerin güvenli bir şekilde işlevini görmesi sağlar.

Şasi yapısı imalat aşamasında kullanılabilirliği ve üretilebilirliği açısından bükümlü bir şekilde traversleri oluşturuluyor olup kaynaklı bir işçilik söz konusudur. Yapının asli görevlerinden biri olarak ise yapı dengeleyici bir ağırlık olarak görev alıyor olmasıdır. Bu yapının taşıt ve makine şasisi ile makinenin bomların oluşturduğu devrilme momentine karşılayıcı bir karşıt moment oluşturmasına olanak sağlamaktadır.

Fakat bunun yanı sıra yapının bu momente en büyük sınır etkenlerinden biri de ayaklarında açılma kapasiteleridir. Bu kapasite her ne kadar fazla olursa o kadar yapı devrilme momenti tüm yönlerde az olacaktır. Bu açılma kapasitesi yapı üzerinde sınırlıdır. Bu sınır makinenin çalışma koşulları ile doğrudan bağlantılı olarak belli sınırlar içerisinde çalıştırılmaktadır.

Buna göre yapının asli olarak geliştirilmesi genel boyutlarından ziyade yapının yapısal olarak geliştirilmesi yönünde kalmıştır. Bu bağlamda yapının geliştirilmesi için yapısal analiz modelinin gerçekçi bir çözüm mantığı ile hazırlanmış bir hassas analiz içermesi gerekmektedir.

MSc Apex® programı vasıtasıyla yapısı tamamen çelik saclardan oluşmakta olan yapı mid-surface komutu ile 2 boyutlu elemanlara dönüştürülmüş ve geometriler arasındaki bağlantı ve buna bağlı olarak kaynak elemanları, yeni yüzeyler oluşturularak analiz öncesi hazırlıklar yapılmıştır(Şekil 8.5.).

Yapı üzerinde önemli yük aktarım noktaları olan kritik kaynak bölgeleri ve yapı elemanları hassas eleman ağları ile düzenlenmiş olup, buna göre yapısal geçişler ve mesh quality kontrol edilmiştir.

Yük aktarımı öncelikle ayakların yere basacağı nokta olan yerlerde fix bağlantı ile gerçekleşecek olması ve kule ile bağlantısı olan dişli damak mekanizması civataları yapı üzerinde fix bağlantılar ile sabitlenmiştir. Bu yapılar oluşturulmadan önce MSc Apex® programında düzenlenen geometriler MSc Simxpert® programına aktarılarak burada

yapının yük aktarım noktaları ASET tanımları belirlenerek mnf. dosyası için modal analiz çözümü yapılmıştır.

Bu dosya ile MSc Adams® programında daha önceden hazırlanmış kinematik, tam tanımlı, DOF=0 olan mekanik model üzerinde tanımlama kullanılacaktır.

MSc Adams® dinamik sistem modelleme programı bize yapı üzerinde oluşabilecek ataletsel ivmelenmeleri ve bununla birlikte daha gerçekçi gerilim değerleri sunacaktır. Burada daha önceden hazırlanmış dinamik model ve senaryoları tekrar kullanılacak olup, buna göre analiz koşturulacaktır.

Analiz sürecinde dinamik model üzerinde bulunan şasi yapısı flexible hale getirilmek için. Mnf. dosyası sisteme entegre edilir. Buna göre elde edilen dinamik sistem artık DOF>0 olacak şekilde tekrar düzenlenmiştir. Burada MSc Adams® ortamında ayaklar üzerine fix joint tanımları ve kule ile şasi arasına daha önceden ASET tanımı yapılmış olan merkezci node seçimi yapılarak revolute joint tanımı yapılmıştır.

Sepetli platform yapısı üzerinde bulunan kule, bom sepet ve sepet yülü neticesinde yapı transient dynamic analiz olarak koşturulur(Şekil 8.7.).

Burada dikkat edilecek önemli bir husus olarak makine dişli damak yapısı üzerindeki cıvatalı bağlantılar ile birbirine bağlı kule ve şasi yapısı arasındaki bağlantının düzenlenmesidir. Burada kullanılan dişli damak boyutuna göre birçok delik bulunmaktadır. Bu deliklerden yapılabilecek yük aktarımı hem analiz sürecini uzatacağı hem de kulenin dönüşü için uygun modelleme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Buna göre, yapı üzerinde delikleri MSc Simxpert® programında RBE2 rigid bağlantı eleman ağı örme komutu ile öncelikle delik çevresindeki node`lar tek bir merkezci node etrafında toplanarak şasi üzerinde gerçekçi bir yük aktarımı sağlar.

Böylece ayaklar ve yükseltme kutusu dönüş merkezinde oluşturulan yük aktarım node ları ile birlikte bu node lar üzerinde ASET tanımlamaları yapılabilecektir. ASET tanımı dinamik olarak genelleştirilmiş koordinat tanımları yaparak Tx, Ty, Tz eksenlerinde serbest Rx,Ry,Rz eksenlerinde ise sınırlı 3 serbestlik dereceli bir eleman örürler.

Yapı analiz sürecine geçilmeden önce uzay düzleminde modal analiz gerçekleştirilerek Simxpert® ( Nastran ) programı ile mnf. Dosyası çıktısı elde edilir.

Elde edilen sonuçlara göre, şasi yapısı St52 malzeme akma dayanımı olan 355 MPa altında olup EMK değeri 2 civarındadır. Buna göre analiz sürecinde gözlemlendiği üzere yapı üzerindeki maksimum gerilmeler yükseltme kutusu çevresi ve ayak-şasi bağlantı noktaları çevresinde oluşmaktadır. Yapı üzerindeki gerilme dağılımı genellikle makinenin önüne doğru bu yapının ağırlık merkezi de aynı şekilde makinenin önüne doğru bulunmaktadır(Şekil 8.8.).

Makine dinamik çalışma üzerinde incelendiği sürece yapının genellikle EMK 2 civarı olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yapının geliştirilmesi sürecinde bom üzerinde sınırlı bir geliştirme olanağı olup, imalat yönünden de birçok kısıtlamalar bulunmaktadır.

Sepet yapısı ise kullanım koşulları, müşteri talebi ve standartlara göre imal edildiği için belirli bir boyut ve çeşitliliğe sahiptir. Öte yandan kule yapısı ise yapının dönüş merkezi olması dolayısıyla tüm momenti karşılayan nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre bu yapının rigidliği çok önemli olup ağırlık merkezi tabana doğrudur.

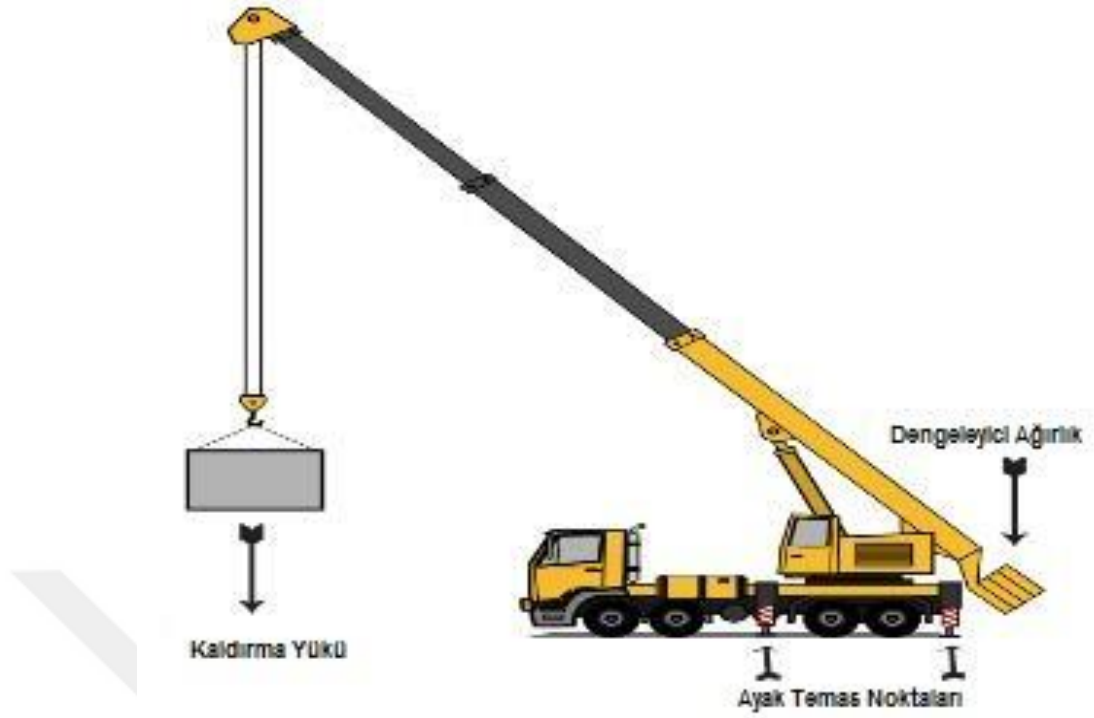
Kule yapısı ağırlık merkezinin tabana doğru olmasından dolayı devrilme momentine etkisi hayli azdır. Fakat bu yapının ağırlık merkezinin kule bom dönüş merkezine doğru kaydırılabilmesi ve kule arkasına doğru uzaklaştırılabilmesi kulenin dengeleyici moment olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Makine üzerinde yapının geliştirilmesi sürecinde yapılacak iyileştirmeler yapının ağırlığını arttırmayacak şekilde düzenlenecektir.

Yapı şasisi üzerindeki yük dağılımı incelendiğinde yükseltme kutusundan sonra makinenin arkasına doğru gelen yapı üzerindeki yük dağılımının hayli düşük olduğu, buna göre bu bölge üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler ile hafifletme çalışmalarıyla şasi traversleri üzerinde geliştirmeler yapılabilecektir.

Bu bölgeden elde edilecek ağırlık kazancı ve buna bağlı şasi üzerinde yapılabilecek yapısal optimizasyonlar ile kule arkasına dengeleyici yük olarak sabit kütleler bağlanılabilecektir.

Kule arkasına yerleştirilebilecek hidrolik tabanlı bir yük taşıyıcı ile kule yanıl eksende çalışma esnasında dengeleyici ağırlık olarak görev yapabilecek yük, hidrolik bir tabla ile moment kol mesafesini arttıracaktır(Şekil 10.1.).



Şekil 9.12. Teleskobik vinç dengeleyici ağırlık uygulaması.

Buna göre yapı üzerine gelen devrilme momenti düşürülebilir ve böylece kule üzerine gelen toplam moment de artacaktır.

Bu sonuçla kule, dişli damak üzerine gelen moment azalacağından daha küçük çaplı dişli damak kullanılabilir ve bu elemanın maliyete katkısı gözlemlenebilir. Bunun yanı sıra şasi yapısı üzerine gelecek burkulma momentleri de azalacağından yapı üzerinde optimum yapı çalışması gerçekleştirilerek en verimli makine hedefine daha çok yaklaşılabilir. Böylece makine üzerine eklenebilecek dengeleyici ağırlık ile yapı davranışı ve mukavemeti geliştirilebilir.

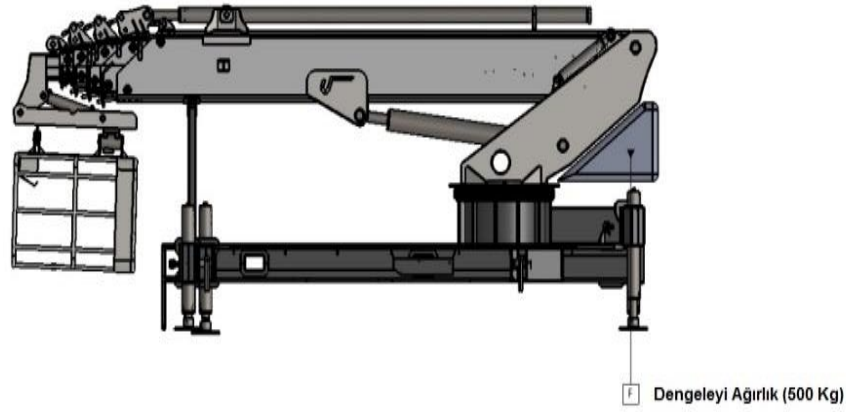
## BÖLÜM 10. TARTIŞMA VE SONUÇ

Makinenin geliştirilmesi sürecinde, üretim basamakları incelenen tasarım ve aşamasındaki sınırlamaları keşfedilen sepetli platform yapısı üzerindeki geliştirilmeye açık en etkin ve efektif uygulanabilir çözüm değerlendirilmiştir. Burada makinenin imalat ve tasarım aşamasında boyutlarını doğrudan etkileyen ana unsur olan çalışma yüksekliği ve buna bağlı olarak kullanılan bom ebatları makinenin boyut çizgilerini belirlemektedir.

Ebatları belirlenmiş makine total ağırlığının düşürülmesi için ana optimizasyon hedefi olan bomlar hidrolik elemanların kullanımı, sepet ve sepet yükünün etkisi ve üretilebilirlik gibi nedenlerden dolayı sınırlı bir alan içerisinde optimize edilebilmektedir. Bu yüzden makinenin diğer birimleri incelendiğinde sepet, belirli bir standart çevresinde üretiliyor ve kullanılmakta, kule ise devrilme momentine etkisi çok az ve rigid olmak zorunda olduğu için sınırlı bir çerçevede üretilmektedir.

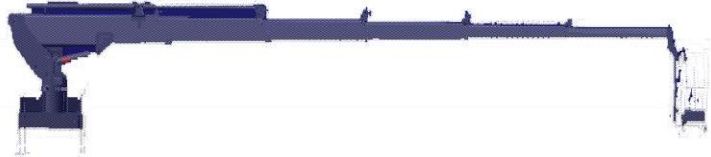
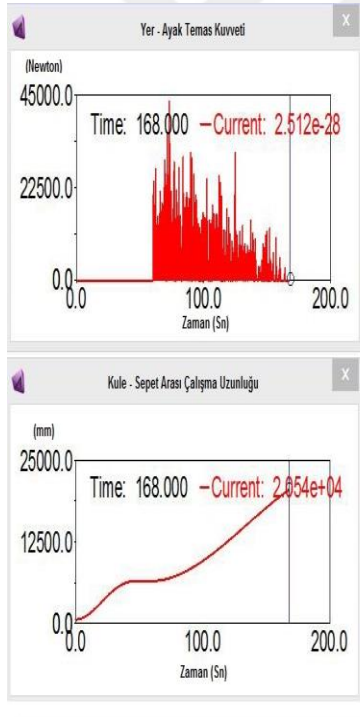
Buna göre, yapı üzerinde geliştirilebilecek en etkin yerin şasi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.8.). Görüldüğü üzere, makine çalışma sırasında ve bu çalışma esnasında oluşan en kritik pozisyonlara göre makine şasisinin üzerinde sadece belirli bölgelerde gerilme yığılmaları gözlemlenmektedir.

Makine şasisi ayaklara ve kuleye yataklık eden yükseltme kutusundan meydana gelmekte, ayrıca yapı kaynaklı travers elemanlardan oluşmaktadır. Buna göre yapı incelendiğinde özellikle makinenin yanal ekseninde kule üzerine gelen momentin maksimum olduğu anlarda şasi ayak bağlantı noktalarında gerilme yığılmaları gözlemlenmektedir. Fakat makine şasisinin arka ayaklara doğru olan traversleri incelendiğinde daha düşük gerilmelerin gözlemlendiği ve yapının bu bölgelerdeki ağırlığının dengeleyici ağırlığa olan etkisinin çok düşük olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 10.1. Kule arkası dengeleyici ağırlık uygulaması.

Yapının buradaki traversleri üzerinde yapılabilecek geliştirmeler ile burada elde edilebilecek ağırlık kazancının, makinenin kule arkasına yerleştirilebilecek hareketli bir tablaya sahip dengeleyici ağırlıklar ile makinenin çalışma verimliliği artırılabilir.



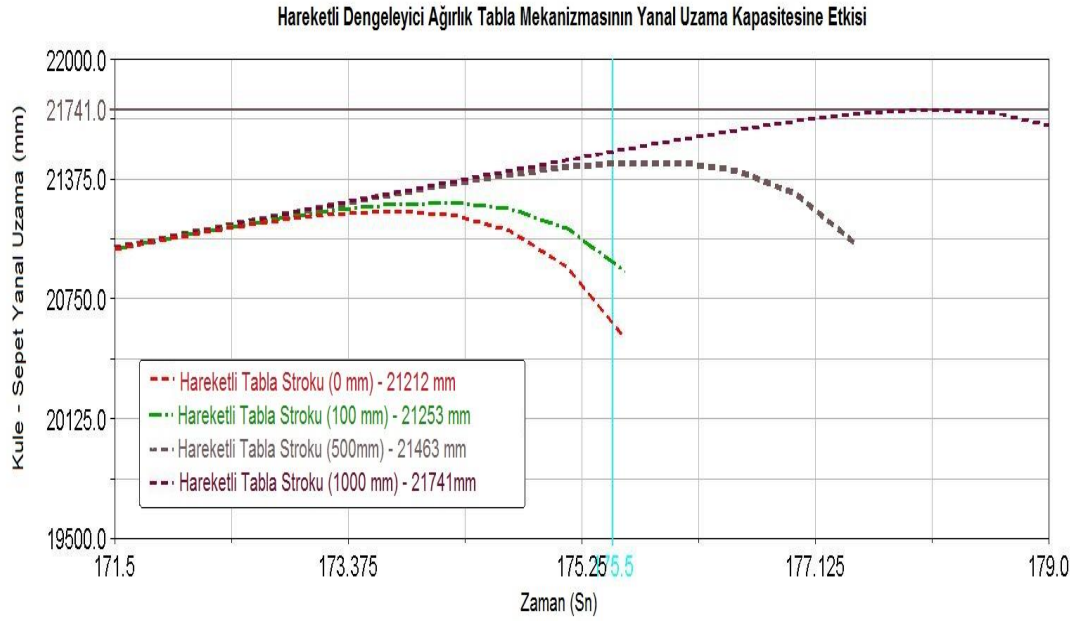
Şekil 10.2. Kule arkası dengeleyici ağırlık yapısının statik devrilme analizi.

Yapılan bu çalışmada referans alınan Uzmanlar Platforma ait HT26 makinesinin yanal çalışma kapasitesi 12m iken 17m olacak şekilde geliştirildiği gözlemlenmiştir(Şekil 10.1.). Burada bilimsel olarak gösterimi 2,054e+4 mm olan değer 20,5 metre olarak hesaplanmıştır. Emniyetli statik çalışma olarak 1,2 katsayısı ile elde edilen değer tekrar



düzenlendiğinde bu değer 17 m olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu değer Sistemin dinamik olarak geliştirilmesi ile elde edilmiş bu yapı neticesinde makine çalışma verimliliği 5 m ye kadar geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar neticesinde sektördeki üreticilere ışık tutulması sağlanmıştır. Kule arkasına uygulanan bu kütlein hidrolik tabanlı bir moment kolu vasıtasıyla ve uygulanabilecek kütlein kapasitesine bağlı olarak yapı üzerinde geliştirmeler arzu edilen oranda geliştirilebilecektir (Jia, Li, Liang, & Qiang, 2012).

Hidrolik tabanlı dengeleyici ağırlık uygulaması Şekil 9.3. te görülmekte olan istemde, kütlein kule dönüş merkezine olan uzaklığı 1125 mm olacak şekilde konumlanmıştır. Bu konuma göre MSc Adams ortamında bu kütle “point mass” olarak tanımlanarak sistemin devrilme momenti üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Fakat bu kütlein daha da verimli kullanılabilmesi için tabanında kullanılacak hidrolik tahrikli lineer bir taban ile moment kolu mesafesi artırılarak bu ağırlığın devrilme momenti üzerindeki etkisi daha da artırılabilir(Şekil 9.15.).



Şekil 10.3. Farklı strok değerlerinin makine toplam yanal uzama mesafesine etkisi.

Burada geliştirilen model neticesinde yanal devrilme momenti üzerindeki iyileştirmeler ile makinenin yanal kapasitesi artırılmıştır. Fakat makine tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde şasi yapısal optimizasyonu ve dengeleyici ağırlık uygulamaları ile takribi aynı toplam makine ağırlığında daha fazla yanal kapasiteye sahip makine hedefine ulaşılabilmektedir. Bunun yanı sıra ikinci bir yöntem olarak ise yanal kapasite sınırı artmış makine yerine yine

aynı eski yanal uzama kapasitesine sahip fakat bom ebatları daha da küçültülmüş bir makine de tercih edilebilir. Bu durum ise bizi hem arzu edilen uzama mesafesi hem de makine toplam ağırlığı üzerindeki yapısal optimizasyonuna sürüklemektedir.

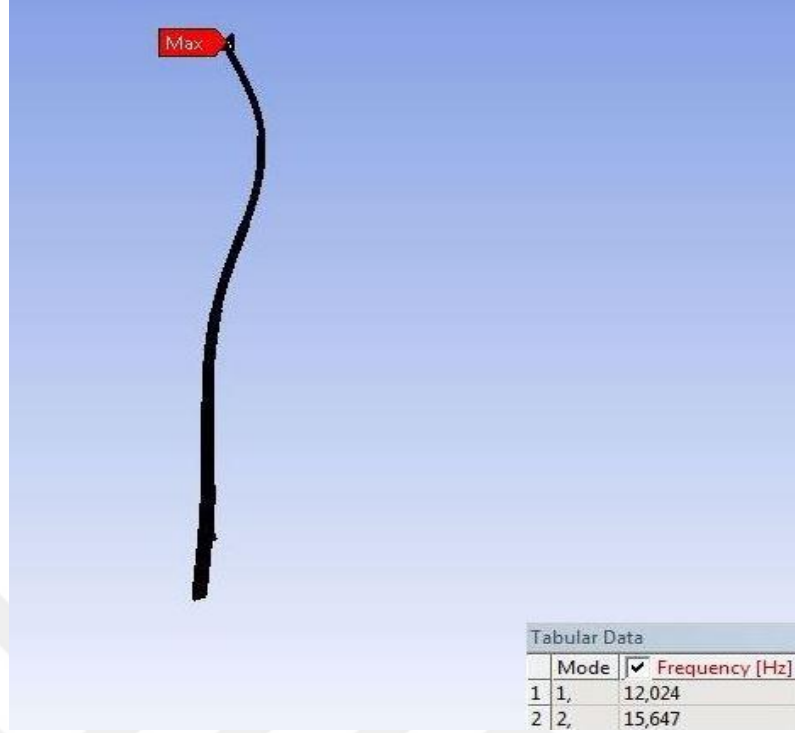
Sepetli platformunun gelişim sürecinde yapılan araştırmalarda, boamların genel yapısı ve davranışları ile ilgili araştırmaların yanı sıra, bu çalışmanın amacı makinenin genel yapısı üzerinde daha uygun makine parçaların geliştirilmesini ve uygulanabilirliğini geliştirmektir. Burada elde edilen nihai modelin modal analizi sonucunda doğal frekansları elde edilmiştir(Şekil 9.16.).

Mode	Frekans [Hz]
1,	12,024
2,	15,647

Şekil 10.4. Boom yapısının doğal frekansları (Ansys).

Elde edilen doğal frekanslar 12 ve 15,6 Hz olarak ölçülmüştür. Bu değerler 720 – 940 rpm dönüş hızlarına eşdeğer olup, sepetli platform altında bulunan taşıyıcı aracın rölanti devrinin seçimi hakkında detaylı bilgi verecektir (Dong, Pan, & Hartsell, 2011). Burada teleskobik boamların tümünün açık olduğu bir analiz göz önünde bulundurularak elde edilmiş bu sonuçlar, boamların her bir ayrı açma veya toplama mesafesinde farklı doğal frekanslara sahip olacaktır. Bu doğal frekans değerleri ise boamlar toplandıkça artacaktır. Buna göre yapının rezonansa girme durumu elimine edilecektir.

Buna göre geliştirilecek yeni modelde, aynı boom ebatlarına sahip daha büyük yanal uzama kapasitesine sahip makineye dönüşümünün makinenin rezonans bölgesinden uzaklaşmasına herhangi bir katkısı olmadığını gözlemlemekteyiz. Fakat üzerinde çeşitli optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilerek optimum yanal uzama mesafesi, boom ebatları, makine toplam ağırlığı gibi parametrelerin geliştirilmesi ile makine hem altında kullanılmakta olan taşıyıcı aracın rölanti devrine müdahale edilmeden kullanılmasına olanak sağlayacak olup hem de optimum verimlilikte çalışmakta olan bir makine elde edilebilecektir (Hu, Li, Zhao, Liang, & Yu, 2010).



Şekil 10.5. HT26 teleskobik boamların doğal frekans analizi.

Teknolojinin ve imalat olanaklarının gelişmesi ile sektörde daha gelişkin makinelerin imal edilebilmesi ve bu imalat sürecinde bilgisayar destekli tasarımların katkısı ile çok daha verimli makinelerin üretilebileceğinin yolu açılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Dong, R. G., Pan, C. S., & Hartsell, J. J. (2011). An Investigation on the Dynamic Stability of Scissor Lift. *Open Journal of Safety Science and Technology*.
- Guo, J., He, H., & Sun, C. (2016). Analysis of the Performance of Aerial Work Platform Working Device Based on Virtual Prototype and Finite Element Method. *Applied Energy Symposium and Forum*. Beijing: CUE.
- He, S., Ouyang, M., Gong, J., & Liu, G. (2018). Mechanical Simulation and Installation Position Optimization of Lifting Cylinder of Scissors Aerial Work Platform. *The Journal of Engineering*.
- Hu, H., Li, E., Zhao, X., Liang, Z., & Yu, W. (2010). Modeling and Simulation of Folding-Boom Aerial Platform Vehicle Based on the Flexible Multi-Body Dynamics. *International Conference on Intelligent Control and Information Processing*. Dalian: IEEE.
- Jia, P., Li, E., Liang, Z., & Qiang, Y. (2012). Dynamic Stability of the Aerial Work Platform Based on ZMP. *Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing*. Dalian: IEEE.
- Maleki, E., Pridgen, B., Xiong, J. Q., & Singhose, W. (2010). Dynamic Analysis and Control of a Portable Cherrypicker. *ASME 2010 Dynamic Systems and Control Conference* (s. 1-6). Massachusetts: ASME.
- Mijailović, R. (2011). Modelling the Dynamic Behaviour of the Truck-Crane. *Faculty of Transport and Traffic Engineering*.
- Pavlovic, A., Fragassa, C., & Minak, G. (2017). Buckling Analysis of Telescopic Boom: Theoretical and Numerical Verification of Sliding Pads. *Tehnički Vjesnik*, 729-735.
- Rashid, H., Mahyuddin, W. M., & Nor, M. A. (2012). Stress Analysis of a Low Loader Chassis. *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*. Selangor: IRIS.

Sezer, M. (2014). Araç Üstü Hidrolik İş Platformlarının Sepet Dengeleme Kontrolü. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*.

Suratkar, A., Shukla, V., & K.S.Zakiuddin, D. (2013). Design Optimization of Overhead EOT Crane Box Girder Using Finite Element Analysis. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 720.

Yao, F., Meng, W., & Zhao, J. (2018). Analytical Method Comparison on Critical Force of the Stepped Column Model of Telescopic Crane. *Advances in Mechanical Engineering*, 10.

Yücel, A., & Arpacı, A. (2016). Analytical and Experimental Vibration Analysis of Telescopic Platforms. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2-3.



## ÖZGEÇMİŞ

Muammer TANRIVERDİ, 06/10/1990'da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2010 yılında Bahçelievler Bağlar Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında aktif mesleki kariyerine başladı ve sırasıyla Bias Mühendisli, Uzmanlar Platform ve Yılmaz Makine firmalarında çalışmış bulunmaktadır. Halen Yılmaz Makine bünyesinde ARGE Mühendisi olarak kariyerini sürdürmektedir.