KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖRÜMCEK AYAKLI HAVAİ İŞ PLATFORMLARINDA YÜK KAPASİTESİNİN TASARIM DEĞİŞKENLERİNE ETKİSİ

ÖZCAN ÜRGÜN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

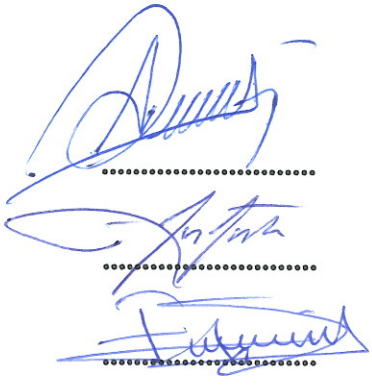
ÖRÜMCEK AYAKLI HAVAİ İŞ PLATFORMLARINDA YÜK KAPASİTESİNİN TASARIM DEĞİŞKENLERİNE ETKİSİ

ÖZCAN ÜRGÜN

Dr. Öğr. Üyesi Ersin Asım GÜVEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Alpay Tamer ERTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 08.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak paletli havai iş platformu tasarımı ve analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde emeği olan danışman hocam sayın, Dr. Öğr. Üyesi Ersin Asım Güven'e. çalışmamın gerçekleşmesinde her türlü teknik desteği esirgemeyen iş yerim Paktaş Platform'a, hayatımın tüm anında yanımda olacak güzel kızım Asya, çalışmamda sürekli desteğini hissettiğim eşim Demet, bana çok ciddi destekleri olan kuzenim Doç. Dr. Satılmış Ürgün'e ve tüm Ürgün Ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz – 2019 Özcan ÜRGÜN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 10
1. HAVAİ ÇALIŞMA PLATFORMLARI VE ÇEŞİTLERİ 16
1.1. Kollu (Bomlu) Çalışma Platformları 18
1.1.1. Teleskopik platformlar 18
1.1.2. Eklemli (articulated) platformları 20
1.1.3. Kendinden yürüyüşlü bomlu platformlar 20
1.1.4. İtmeli bomlu platformları 22
1.2. Makaslı Çalışma Platformları 22
1.3. Mobil Hidrolik Platformlar 25
1.4. Elektrikli Makaslı Platformları 26
1.5. Taşınabilir/Sürülebilir Kaldırma Platformu Mekanizması 26
2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ 27
2.1. Gerilme Analizleri 32
3. ÖRÜMCEK AYAKLI PALETLİ TİP HAVAİ ÇALIŞMA PLATFORMU TASARIMI 36
3.1. Örümcek Ayaklı Paletli Tip Havai Çalışma Platformları Genel Yapısı 36
3.1.1. Sepet grubu 37
3.1.2. Bom grubu 37
3.1.3. Kule grubu 38
3.1.4. Şasi grubu 39
3.2. Platformun Genel Sınır Şartları ve Özellikleri 40
3.3. Platformun Çalışma Diyagramı 41
4. ANALİZ VE PROTOTİP GELİŞTİRME 43
4.1. Sepet 43
4.2. Sepet Şasisi 44
4.3. Loadcell Şasisi 45
4.4. Sepet Dönüş Rotary Şasisi 46
4.5. Fly Bom Grubu 47
4.6. Fly Dönüş Rotary Şasisi 48
4.7. Sepet Denge Silindiri Bağlantısı 49
4.8. Bom 5 50
4.9. Bom 4 51
4.10. Bom 3 52
4.11. Bom 2 53
4.12. Bom 1 53
4.13. Kule 55

4.14. Platform Şasisi 56
4.15. Destek Ayağı 57
4.16. Platform İmalatında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 59
4.16.1 Strenx700 59
4.16.2 Strenx960 59
4.16.3 Alüminyum 6061-t6 serisi 60
4.17. Platform Denge Hesabı 60
4.18. Ağırlık Değerlerinin İncelenmesi 63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71
KAYNAKLAR 73
EKLER 77
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 115
ÖZGEÇMİŞ 116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Havai iş platformu elemanları 17
Şekil 1.2. Havai çalışma platformlarının tasarım şeması 17
Şekil 1.3. Teleskopik (a), eklemli (b), makaslı kaldırma (c) 18
Şekil 1.4. Teleskobik platformlar 19
Şekil 1.5. Bomlu platformların kumanda mekanizması 21
Şekil 1.6. Erişim çizelgesi 22
Şekil 1.7. Düzgün yüzeyler için makaslı platformlar 23
Şekil 1.8. Mobil hidrolik platformlar 26
Şekil 2.1. Sonlu elemanlar görünümü 32
Şekil 2.2. Çerçeve ve kabuk formları için serbestlik derecesi 34
Şekil 3.1. Paletli havai çalışma platformu 36
Şekil 3.2. Örümcek ayak görünümü 39
Şekil 3.3. Eğimde kurulum 40
Şekil 3.4. Çalışma diyagramı ön görünüş 41
Şekil 3.5. Çalışma diyagramı üst görünüş 42
Şekil 4.1. Sepet gerilme analizi 43
Şekil 4.2. Sepet şasisi gerilme analizi 44
Şekil 4.3. Loadcell şasisi gerilme analizi 45
Şekil 4.4. Sepet dönüş rotary şasisi gerilme analizi 46
Şekil 4.5. Fly bom grubu gerilme analizi 47
Şekil 4.6. Fly bom grubu prototip görüntüsü 48
Şekil 4.7. Fly dönüş rotary şasisi gerilme analizi 48
Şekil 4.8. Fly bom 90° dönüş görüntüsü 49
Şekil 4.9. Sepet denge bağlantısı gerilme analizi 49
Şekil 4.10. Bom 5 gerilme analizi 50
Şekil 4.11. Bom 5 kafes yapısı 51
Şekil 4.12. Bom 4 gerilme analizi 51
Şekil 4.13. Bom 3 gerilme analizi 52
Şekil 4.14. Bom 2 gerilme analizi 53
Şekil 4.15. Bom 1 gerilme analizi 53
Şekil 4.16. Bom 1 katı çizim görseli 54
Şekil 4.17. Kule gerilme analizi 55
Şekil 4.18. Kule katı çizim görseli 55
Şekil 4.19. Şasi gerilme analizi 56
Şekil 4.20. Şasi katı çizim görünümü 56
Şekil 4.21. Destek ayağı gerilme analizi 57
Şekil 4.22. Platform örümcek ayaklar üzerinde 58
Şekil 4.23. Strenx 700 malzeme özellikleri 59
Şekil 4.24. Strenx 960 malzeme özellikleri 59
Şekil 4.25. 6061-t6 alüminyum malzeme özellikleri 60
Şekil 4.26. Platform ağırlık merkezi 61
Şekil 4.27. Lift grubu yanal alanı 61
Şekil 4.28. Denge hesabı 62

Şekil 4.29. Sepet grubu ağırlık değişimi grafiği 67
Şekil 4.30. Bom grubu ağırlık değişimi grafiği 68
Şekil 4.31. Kule ve şasi grubu ağırlık değişimi grafiği..... 68
Şekil 4.32. Toplam kütledeki değişim grafiği..... 69

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Platformun genel tasarım şartları 40
Tablo 4.1. Platform ağırlık değerleri 63
Tablo 4.2. 200kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri 64
Tablo 4.3. 100kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri 65
Tablo 4.4. 150kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri 65
Tablo 4.5. 250kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri 66
Tablo 4.6. Farklı sepet kapasitelerinde toplam ağırlık değerleri 66
Tablo 4.7. Denklem 6 için p katsayıları 70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F	: Kuvvet, (N)
Ft	: Feet (0,3 metre)
Kg	: Kilogram
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
σ	: Gerilim, (Mpa)
U	: Deplasman vektörü
W	: Mekanik iş (joule)
r^2	: Korelasyon katsayısı
p	: Eğri denklemi katsayıları
S	: Yapısal yükler

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
B	: Boyut
ÇCD	: Çoklu Cisim Dinamiği
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SW	: SolidWorks
sf	: Sayfa
TS	: Türk Standartları
SSE	: The sum of Squares Due To Error (Hataların Kareleri Toplamı)

ÖRÜMCEK AYAKLI HAVAİ İŞ PLATFORMLARINDA YÜK KAPASİTESİNİN TASARIM DEĞİŞKENLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Günümüzde inşaat sektörü dünya ekonomisinde en önemli sektörlerden biri durumundadır. Dünyada 2008 krizinden bu yana düşük faiz ve piyasaya verilen yüksek likidite politikalarının da etkisiyle son on yılda inşaat sektöründe adeta patlama yaşanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerdeki hızla artan nüfus yoğunluğu ve konut talebi de sermayenin az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere; özellikle göreli olarak yüksek kar marjı olan inşaat sektörüne yöneltmiştir. Arsa fiyatlarının çok yükselmesi dar bir alanda yüksek binaların ve gökdelenlerin yapılmasına neden olmuştur. Bu gökdelenlerin inşası, bakımı ve temizliği oldukça zor olan yüksek konumlara erişilmesini gerektirdiğinden hava iş platformlarına ihtiyaç artmıştır.

Dünyadaki küreselleşme olgusu ve internetten mal alım satımının çok hızlı bir şekilde yaygınlaşmasıyla büyük miktarlarda ticari malların hızlı bir şekilde yükleme-boşaltma ve taşınması gereksinimi doğmuştur. Bunun yanında açık hava (outdoor) reklamlarında da artış gözlenmektedir. Bütün bu gelişmeler neticesinde eskiden daha çok elektrik direklerinin tellerinin değişiminde ve bakımlarında kullanılan kule vinci, mobil vinç ve çeşitli kaldırma makineleri araçlarının yüksek binalarda onarım-bakım, temizlik, reklam-afiş asılması, yangın söndürme ve kurtarma çalışmaları ile mal yükleme-boşaltma amacıyla kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu yükselen talebi karşılamak için havai iş platformları ve kaldırma araçları imalatı sanayisinde birçok üretici firma kurulmuş olup bu firmalar artan rekabet ile birlikte üreticiler ürünlerinin gün geçtikçe daha verimli hale getirmek ve aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürmek için tasarım ve imalatta ileri teknolojinin tüm olanaklarından yararlanmaktadırlar.

Bu çalışmada, tasarımını yapmış olduğum Paletli Yürüyüşlü Teleskopik Platform'lar detaylıca anlatılacak ve analiz edilecektir. TÜBİTAK - TEYDEB projesi kapsamında desteklenen projenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu makinenin üretimi ülkemiz adına bir ilk niteliğindedir. Tezin birinci bölümünde havai çalışma ve platformları türleri anlatılmaktadır. 2. Bölümde sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi verilecek; 3. Bölümde ise çalışmanın esas konusu olan Paletli Yürüyüşlü Teleskopik Platformlar genel olarak anlatılacaktır. Son bölümde sonlu elemanlar analizi kullanarak örnek bir Paletli Yürüyüşlü Teleskopik Platform tasarımı yapılarak sepet yükünün tasarım kriterlerine etkisi irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Havai İş Platformu Tasarımı, Paletli Tip Platform, Sonlu Elemanlar Analizi, Teleskobik Platform.

DESIGN OF TRACK TYPE AIR WORK PLATFORM USING THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT

Today, the construction sector is one of the most important sectors in the world economy. The construction sector has been booming in the last decade due to low interest rates and high liquidity policies given to the market since the 2008 crisis. The rapidly increasing population density and demand for housing in developing countries also implies that capital is underdeveloped and developing countries; in particular the construction sector with a relatively high profit margin. The high rise in land prices led to the construction of high-rise buildings and skyscrapers in a narrow space. The need for aerial work platforms has increased, as these skyscrapers require access to high locations, which are difficult to build, maintain and clean.

With the phenomenon of globalization in the world and the rapid spread of the purchase and sale of goods on the internet, the need for rapid loading and unloading of large quantities of commercial goods has emerged. There is also an increase in outdoor advertising. As a result of all these developments, the tower crane, mobile crane and various hoisting machines used to be used in the replacement and maintenance of the wires of electric poles were used for repair-maintenance, cleaning, advertisement-banner hanging, fire extinguishing and rescue works and loading and unloading of goods.

In order to meet this rising demand, many manufacturing companies have been established in the overhead work platform and lifting vehicle manufacturing industry, and with increasing competition, manufacturers are making use of all the possibilities of advanced technology in design and manufacturing to make their products more efficient and at the same time to reduce production costs.

In this study, the crawler walking telescopic platforms I have designed will be explained and analyzed in detail. The production of the project supported by TUBITAK - TEYDEB project was realized. The production of this machine is a first on behalf of our country. In the first part of the thesis, the types of overhead work and platforms are explained. In Chapter 2, information about finite element method will be given; In Chapter 3, the main subject of the study will be explained in general. In the last section, the effect of basket load on the design criteria will be examined by using a finite element analysis and a sample crawler telescopic platform design.

Keywords: Aerial Working Platform Design, Track Type Platform, Finite Element Analysis, Telescopic Platform

GİRİŞ

Dengiz ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, 500 kg yükü 2 m yüksekliğe kaldıran makaslı bir kaldırma sisteminin tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır: Sistemde emniyetli bir şekilde yükün taşınması amacıyla makaslar St-37 malzemeden, pimler ise St-50 malzemeden seçilerek sistemin SolidWorks programında katı modeli ve analizi yapılmıştır. Sistemin hidrolik devresi Fluid-Sim programı ile oluşturulmuştur. Devrede herhangi bir basınç kaybında (elektrik kesintisi, motor arızası vb.), sistemde bulunan hidrolik akümülatör devreye girerek sistemin emniyet ile çalışmasını sağlamaktadır. Maksimum gerilmenin (σ=56.916 MPa) von Mises hipotezine göre üst makas çiftinin bağlantı noktalarında oluştuğu tespit edilmiştir. Maksimum deformasyon, üst makasın tablaya bağlantı noktasında gerçekleşmiş olup bu değer 0,6941 mm olarak belirlenmiştir. Platformda herhangi bir yükleme yokken aynı noktada oluşan deformasyon miktarı 0,1173 mm'dir. Tasarımı gerçekleştirilen makaslı kaldırma sistemi için 80 mm çapında 400 mm stroka sahip çift etkili hidrolik silindirin, sistemin emniyetle açılıp kapanmasını sağlayabileceği belirlenmiştir. Hidrolik silindiri tahrik edecek pompanın maksimum çalışma basıncı ise yaklaşık 60 bar olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tasarlanan makaslı kaldırma sisteminin 500 kg'lık bir yükü emniyetli bir şekilde 2 m yüksekliğe taşıyabileceği öngörülmüştür [1].

Hu ve ark.(2010), yaptıkları çalışmada araç üstü eklemli platformun çalışma esnasında dengelemeyi etkileyen unsurlardan biri olan titreşim üzerinde durmuşlardır. Sistemin denklemlerini cisim dinamiği teorisi ve Lagrange denklemi yardımı ile elde etmişler; ardından sistemin simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyon sonuçları hareketli uzuvların elastik deformasyona uğrama ihtimali nedeniyle yüksek frekanslı titreşimlerin var olduğunu göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak, titreşimlerin katlanır bomlu iş platformunun çalışması sırasında sarsılmasına neden olup uzuvların istenilen pozisyondan küçükte olsa yörünge sapmalarına yol açtığını görmüşlerdir. Bu nedenle, denklemlerin kurulması sırasında titreşim kontrolünü

dikkate alarak araç üstü katlanır-bomlu iş platformunun yörünge kontrolünün daha sağlıklı yapılacağını öngörmüşlerdir. Araç üstü mobil hidrolik iş platformlarının tasarımının yanı sıra kullanılan mekanizmaların, kinematik analizinin ve her uzvunun ayrı ayrı kontrolü önem kazanmıştır. Günümüzde bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmaktır. Kinematik analiz konusunda basit seri manipülatör sistemleri ve robotik uygulama sistemleri göz önüne alınmıştır. Uzuvların kontrolleri için ise kullanılan hidrolik ekipmanların kontrolü, sensörler ve kontrolcüler kullanılmıştır [2].

Babalık (1983), vidalar, dişliler, yaylar, kavramalar, yağlamalı yataklar, rulmanlar, kamlar, kamalar, kaynaklı birleştirme, toleranslar ve diğer makine elemanları hesaplamalarını açıklamış ve konstrüksiyon örnekleri üzerinde durmuştur [3].

Hongxia ve -ark. (2012), mobil hidrolik iş platformlarının sepet uzvunda genellikle insanların çalıştığı için sepet uzvunun yatayla dengeleme hareketini oldukça hassas ve titreşimsiz olması için çalışmalarda bulunmuşlardır. Oluşturulan sistemde eyleyici olarak kullanılan silindirlerin kontrolü yapılmıştır. Ortaya çıkan veriler ışığında her uzvun hareketinin sepet uzvuna titreşim ve yatayla dengeleme hususunda etkisi olduğu görülmüştür. Her uzvun hareketinin bir bileşim haline getirip bu şekilde değerlendirme yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Her uzuv hareketi sırasında sepet uzvuna belirli bir titreşim vermektedir ve bu titreşimlerin sönümlenmesi noktasında önemli veriler elde edilmiştir [4].

Shigley (1986), makine tasarımında çatlak, darbe ve yorulma dayanımları ile ilgili bilgiler vermiş, ayrıca; yay, dişli, cıvata- somun, kaynak, yağlamalı yataklar, rulmanlar, kayış-kasnak sistemleri, zincirler, kavrama sistemleri gibi makine elemanları konusunda bilgiler vererek örnek hesaplamalar yapmıştır [5].

Yuan ve ark. (2009), mobil hidrolik iş platformların gelişmiş kontrol şeması yoluyla verimliliği ve hava çalışma platformu güvenliğini giderme konusunda çalışmıştır. Sistemin kontrolü için bir kapalı döngü oluşturulmuştur. Böylece operatörlerin yeterlilik talepleri azaltılması ve verimliliğin artırılması, denetim çalışma platformunun sonu efektör koordinat kartezyen bir yörünge izlemek için izin sunulmaktadır. Bu kontrolör bir statik sapma telafisi yöntemi olup, ayrıca bomun bükülmesi ile oluşan dengeleme hatasını da göz önüne alarak ve bu hatayı azaltmak için geliştirilmiştir. Araç güvenliği açısından, bu uzun ve esnek bom ile ilişkili

dengeleme sorununun önemli ve tehlikeli olduğu görülmüştür. Önerilen kontrolör, bir yenilenmiş araç üstü mobil hidrolik iş platformu üzerinde uygulanmıştır. Konum kontrolü ve dengeleme yapılan deneyde onaylanmıştır [6].

Akçalı (1998), makine parçalarının statik ve dinamik tasarım esasları hakkında bilgiler vererek eğilme ve burulma gerilmeleri, süper pozisyon ilkesi, bileşik gerilmeler, ısıl gerilmeler, sekil değiştirme, Castigliana teoremi, burkulma, makine elemanlarının dayanımları hakkında bilgiler verip uygulamaları ilişkin örnek hesaplamalar yapmıştır [7].

Yazıcıoğlu (1999), fleksibıl makine elemanlarının tasarım ve imalat yöntemleri hakkında bilgiler vermiş, ayrıca temel mukavemet ve tasarım konuları hakkında örnek alıştırmalar ve uygulamaya yönelik teorik ve pratik hesaplamalar yapmıştır [8].

Bir hidrolik yükleyici vinç aracı için pozisyon kontrolü yapıldığında birçok çalışma şekli ve pozisyonu için çok avantaj sağlamaktadır fakat bu durum için operatörün vinç kontrol yeteneğinin yüksek ya da operatörün tecrübeli olması gerekiyor. Vinç katlanırken ya da çevrede engellere yakın çalışırken tamamen operatörün tecrübesine bağlı olarak için yapılması gerekmektedir. Uygulanan kontrolcü çalışma alanında engelleri önlemek için gerekli olacaktır. Etkileşimli ve gerçek zamanlı dinamik benzetim kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için güçlü bir araçtır. Oluşturulan kontrol şeması pratik uygulama için değerli bilgiler içerir. Gelecek çalışmalar, bir simülasyonun parçası olarak daha detaylı modelleme içerebilir. Ancak, operatör yeteneklerinin oluşturulan bu döngünün parçası olmasına izin vermektir [9].

Mobil hidrolik çalıĢma platformunda dinamik istikrarsızlık ile başa çıkmak için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Mobil hidrolik çalışma platformunun dinamik kararlılığını belirlemek için Sıfır Moment Noktası (SMN) yöntemini kullanmışlardır. SMN formülasyonu SMN teorisine dayanarak türetilmiştir. Mobil hidrolik çalışma platformu havada kurulum, taşıma veya bakım için her geçen gün daha fazla kullanılan iş makinelerinden olmuştur. Çalışma ortamları her zaman ideal olmayıp sert hava koşullarında da çalışmak zorunda kalınmıştır. Böyle sert doğa koşulları gibi çeşitli nedenlerle, mobil hidrolik çalışma platformu kararsız bir duruma girebilir ve tüm aracın altüst olmasına neden olabilir. Bu nedenle, etkili bir erken uyarı sistemi çok önemlidir. SMN teorisi bu çalınmada mobil hidrolik çalışma platformunun

dinamik kararlılığını incelemek için kullanılmıştır. SMN hesaplama yönteminin fiziksel yorumlanması açıktır ve programlanabilme özelliği bulunmaktadır. Kavram kararlılık derecesi kararlı ölçüde ifade etmek için bir nicel ölçü olarak kabul edilmiştir. Yapılan simülasyonlar bu yazıda yaklaşımın etkinliğini doğrular niteliktedir [10].

Karamolla (2005)'nin çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemiyle değişken dönüşümü yaklaşımı kullanılarak, kule vinçlerin yüklere karşılık gelen deplasman ve titreşim analizi yapılmıştır. Kule vinçlerin yapısından dolayı sonlu elemanlar yönteminde çubuk eleman kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu olarak SAP2000 bilgisayar program dili kullanılmıştır. Bu programda uygulanan kuvvet, rüzgar ve titreşim etkilerine göre çubuk elemanlarının düğüm noktalarında oluşan kuvvetlerin, gerilmelerin ve yerdeğiştirme değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin bütününün belirlenen modlardaki doğal frekanslar bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda verilere göre rüzgar kuvvetleri etkisinin çok küçük olduğu, bununla birlikte uygulanan kuvvetin ve bu kuvvetin vinç yapısı üzerinde oluşturduğu titreşimlerin daha etkili olduğu görülmüştür [11].

Ünal (2008)'ın çalışmasında, transport tekniğinde sıklıkla kullanılan kaldırma ekipmanlarından biri olan jib kreni incelemiştir. Limanlarda, tersanelerde ve depolarda geniş çapta kullanma alanları bulunan jib krenlere, işletme sırasında birçok yük etkilerine maruz kaldığı görülmüştür. Bu yüklerin en önemlileri olarak, sistemin elemanlarının zati ağırlığından meydana gelen yükler ve vincin yaptığı hareketler sırasında oluşan dinamik etkiler olduğu bulunmuştur. Jib Kreni oluşturan parçalar bilgisayar destekli tasarım yazılımları (AutoCAD) kullanılarak modellenmiştir. Jib kren bom(uç) kısmı da sonlu elemanlar programı olan Hypermesh ve ABAQUS 6.7.1 kullanarak model kurulmuştur. Bom kısma etkiyen kuvvetler incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle statik gerilme analizi yapılmıştır [12].

Karahan (2007)'nın çalışmasında, iki kademeli teleskobik vincin tasarım ve sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapılmıştır. Vinci oluşturan parçalar özgün ve üç boyutlu olarak (3D) Pro ENGINEER paket programında tasarlanmıştır. ANSYS Workbench'de sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analiz yapılarak yük taşıyan ana eleman sabit bom için optimum sac kalınlığı belirlenmiştir. Gerilme analizi sonunda

belirlenen kritik yerler güçlendirilmiştir ve böylelikle ana konstrüksiyon sac kalınlığı daha küçük değerlerde seçilerek hem sistemin hafif olması sağlanmış hem de maliyetler düşürülmüştür. Teleskobik bomun tasarımı standart profil kesit ölçü ve kalınlıkları dikkate alınarak analiz sonuçlarına göre optimum seçenekler belirlenmiştir. Optimum elaman sayısı belirlerken farklı eleman sayılarına karşın gerilme değerleri elde edilmiş. Gerilme değeri eleman sayısı grafik çizilmiş ve bu grafik sonucunda sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur [13].

Taşdemir (2012)'in çalışmasında, genellikle gemi imalatı ve bakım-onarım işlemlerinde kullanılan kaldırma kapasitesi 35 m x40 ton olan jıb kreni incelemiştir. Jıb kren üç boyut tasarımı SolidWorks bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak yapılmıştır. Jıb krenin mukavemet hesapları, bom gerilme ve sehim değerleri ile taşıyıcı gövde değerleri; rüzgar, ivmelenme ve frenlerme tesirleri de göz önünde bulundurularak analitik hesaplanmıştır. Bom ve taşıyıcı gövde kısımları ANSYS sonlu elemalar paket programında modellenmiş, sınır şartları ve dış yükler tanımlanarak analiz gerçekleştirilmiştir ve analiz sonuçları irdelenmiştir. Analitik hesap sonuçları ile ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. SEM'in jıb kren tasarımında güvenirliği irdelenmiştir [14].

Koçer (2009)'in çalışmasında, hidrolik mobil vinçlerin müşteri doğrultusunda tasarımı gerçekleştirilmiş ve mühendislik araştırma, hesap ve analizleri ile gerekli optimizasyon çalışmaları yapılarak sistem için en uygun konstrüksiyon oluşturulmuştur. Tasarım ve analiz sonuçlarına uygun olarak imalatı gerçekleştirilmiş vinç üzerinde yapılmış olan test ve deney sonuçları teorik olarak elde edilen değerler karşılaştırılmış ve uygunluğuna irdelenmiştir [15].

Özkan (2005) çalışmasında, kafes kirişli bir vincin bağlantı noktalarındaki elemanlarında oluşan gerilmeleri araştırmıştır. Bu elemanların yük altındaki gerilme dağılımlarını ANSYS 6.1 sonlu eleman analiz programı ile nümerik olarak elde etmiştir. Sonlu elemanlara ayırmada 10 düğümlü tetrahedral yapısal katı elemanları kullanmıştır. Perçin deliklerinin, perçin çapına bağlı olarak dört farklı mesafede delindiğini kabul etmiştir. Saç kalınlıklarını 12 ile 16 mm arasında kullanıp her bir saç kalınlığı için dört farklı gerilme analizi yapmıştır. Elde edilen sonuçları kendi

içinde karşılaştırmış ve perçin delikleri etrafındaki gerilme yığılmalarının perçin delikleri arası mesafe arttıkça düştüğünü gözlemiştir [16].

Candaş (2013) çalışmasında, ilk etapta, müşteri istekleri doğrultusunda yapılan analitik hesaplamalar ile tasarlanan jib krenler bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Ardından tasarlanan modellerin, paket programlar kullanılarak sonlu elemanlar metodu ile statik yük analizleri yapılmıştır. Tasarımcı tarafından, bilgisayarda gerçekleştirilen bu uygulamaların ardından, belirlenen kritik noktaların incelenmesi için deney aşamasına geçilmiştir. Analizlerde tespit edilen yüksek gerilmelerin oluştuğu noktalara strain gageler yapıştırılmış ve analog-dijital dönüştürücü özellikli veri toplama sistemi ile toplanan sinyaller dönüşüm denklemleri kullanılarak işlenmiştir. Dönüşüm denklemleri için gelecek uygulamalarda da kullanılabilecek kodlar hazırlanmıştır. Krenlerin çalışma ortamlarında gerçekleştirilen bu deneylerden elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar analizlerinden elde edilenlerin karşılaştırılması ile literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır [17].

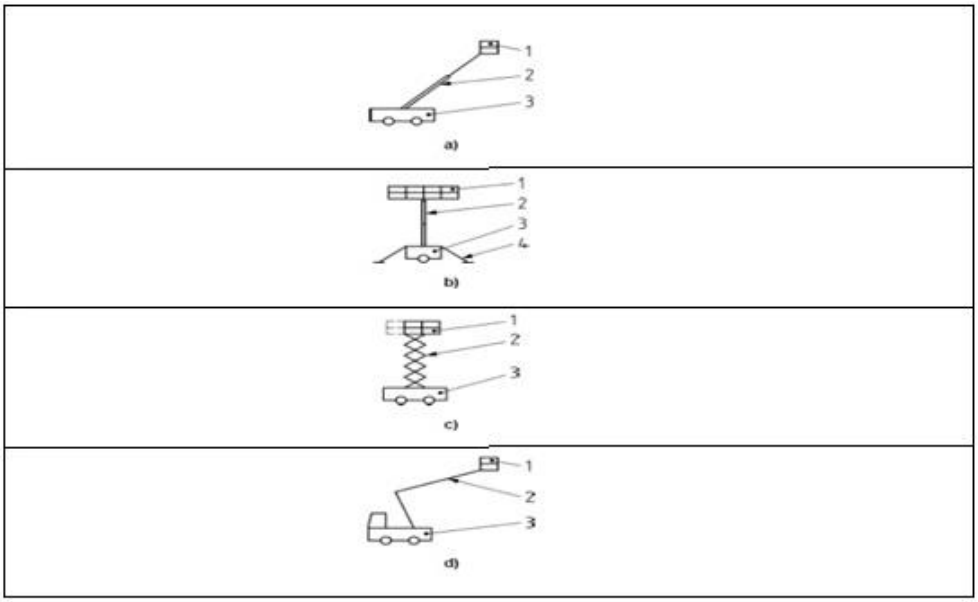
Kayaoğlu (2009) çalışmasında, kren konstrüksiyonunda kullanılan dikdörtgen levhaların yayılı yük altındaki davranışlarını incelemiştir. Düzgün yayılı yük altında, dört tarafından ankastre mesnetli dikdörtgen plakların geometrik merkez noktalarındaki çökme miktarı (sehim) belli numuneler için deneysel olarak tespit edilmiştir. Çeşitli kenar oranlarına ve çeşitli kalınlıklara sahip numuneler, çeşitli yüklere tâbi tutularak; konuyla ilgili literatürde daha önceden yer almış sayısal çözümler ile elde edilen deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar için uygun bir deney düzeneğinin tasarımı, imalatı, kurulumu ve kullanımı da tez çalışmasının bir parçasıdır. Kurulan deney düzeneği ile sayısal çözümlerde belirtilen sınır koşulları oluşturulup, düzgün yayılı yük altında dikdörtgen plakların davranışı incelenmiştir. Böylece kutu kiriş konstrüksiyonlu krenlerin bünyesinde yer alan taşıyıcı sac levhaların nasıl deformasyona uğradığı irdelenmiştir. Çökme (sehim) değerleri, levhaların yüzeyine yapıştırılan gerinim pulları (strain gage) aracılığıyla tespit edilmiştir. Strain gage'ler (gerinim pulu) analog-dijital dönüştürücü özellikli veri toplama sistemine bağlanarak, alınan sinyaller bilgisayar ortamında işlenmiştir. Toplanan tüm deneysel veriler, konuyla ilgili literatürde yer alan sayısal-analitik çözümler ile karşılaştırılmıştır [18].

1. HAVAİ ÇALIŞMA PLATFORMLARI VE ÇEŞİTLERİ

Üzerinde kurma, tamirat, muayene veya bunlara benzer işlerin gerçekleştirilebildiği ve istenilen çalışma konumuna yüklü olarak da hareket edebilen korkuluklu veya kafesli platformlara iş platformları denmektedir. Havai çalışma platformları ise kumanda edilebilen; bir iş platformu, bir uzantı yapısı ve bir şasiden oluşan araçlara denir. Şasi üzerinde ya da zemin seviyesinde bulunan, sadece erişim konumlarındaki kişilerin iş platformuna binmesi ve inmesi planlanan, işlerini üzerinde durarak gerçekleştirdiği çalışma konumlarına kişilerin taşınması amaçlanan seyyar makinelerdir [19]. Aşağıdaki şekilde çalışma platformlarının elemanları gösterilmektedir. Şasi, çekilebilir ve itilebilir, kendinden tahrikli vb tipte olan platformun üzerinde oturduğu taban yapısıdır. Uzantı yapısı, iş platformunun istenen konuma gelmesi için gerekli hareketi sağlayan, iş platformunu destekleyen ve şasiye monte edilmiş olan yapıdır. Dengeleyiciler ise platformun tamamını veya uzantı yapısını destekleyerek düz seviyeye getirerek platformu dengelemek için kullanılan krikolar, süspansiyon kilitleme tertibatları, uzatma dingilleri gibi bütün tertibatlar ve sistemlere denmektedir.

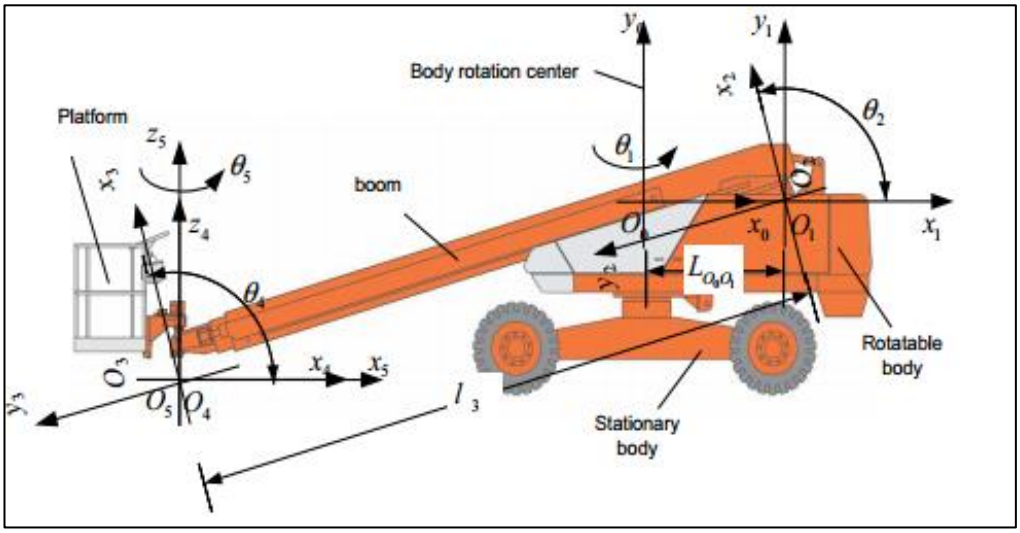
Kendinden yürüyüşlü platform grubuna baktığımızda ilk platformun 1970 yılında JLG tarafından üretildiği bilinse de, birçok kaynak California'da bulunan Selma Manlift firmasının 1966 yılında ilk üretimi yaptığını belirtiyor. Sonraki yıllarda Avrupa'da da yayılmaya başlayan sektör ülkemize ancak 2000'li yıllara yaklaşırken giriş yaptı. 2000'li yılların ortalarına gelindiğine yavaş yavaş artan distribütör ve kiralama firmaları ile makine sayısında da önemli bir artış olmuştur.

Şekil 1.1'de örnek bir havai iş platformundaki elemanlar gösterilmiştir. 1 no'lu eleman İş platformunu, 2 no'lu eleman uzantı yapısı, 3 no'lu eleman Şasi ve 4 no'lu eleman dengeleyicilerdir [20].



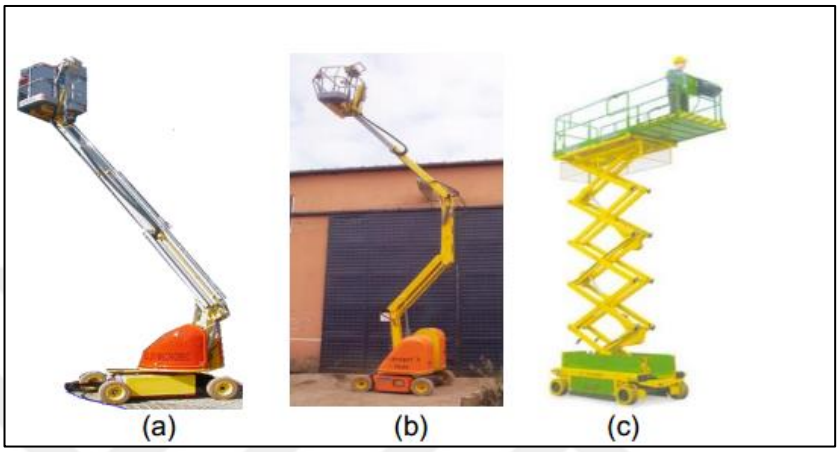
Şekil 1.1. Havai iş platformu elemanları

Havai çalışma platformları temel olarak ulaşılamayan bölgelere geçici olarak erişim sağlayan taşıma araçlarıdır ve özellikle bir yükü kaldırmak veya ulaşılamayan yüksekliklerde çalışma olanakları sağlamak için kullanılmaktadır. Türkiye'de üretilen yükseltilebilen seyyar iş platformlarının bütün tiplerinin tasarım ve kullanım aşamalarında 2015 yılında çıkartılan TS EN 280+A1standardı kabul edilmiştir. Çalışma platformları. Aşağıdaki şekilde bir havai çalışma platformunun tasarım şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Havai çalışma platformlarının tasarım şeması

Günümüzde çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere tasarımı yapılmış birçok kaldırma sistemi bulunmaktadır. Bunlar; genellikle temizlik, bakım-onarım, yük kaldırma-indirme faaliyetleri gibi çok amaçlı uygulama alanlarında ve geniş bir yelpazede hizmet vermektedir. Kaldırma sistemleri; teleskobik liftler, eklemli liftler ve makaslı liftler şeklinde sınıflandırılabilmektedir [21].



Şekil 1.3. Teleskopik (a), eklemli (b), makaslı kaldırma (c)

Havai çalışma platformları, uzantı yapısına göre kollu (bomlu) ve makaslı kaldırma platform tipleri şeklinde iki ana kategoride incelenebilir. Bu iki tip platform da kaldırım ve beton gibi düzgün yüzeyler ile engebeli ve sıkıştırılmış zeminlerde çalışmak için olmak üzere iki farklı tipte tasarlanmaktadır. Her çalışma platformu; şasi, kaldırma mekanizması ve buna eklenen iş platformu olmak üzere üç temel unsurdan oluşur [22].

1.1. Kollu (Bomlu) Çalışma Platformları

Bomlu çalışma platformları teleskopik, eklemli ve teleskopik-eklemli olmak üzere üç grupta incelenebilir.

1.1.1. Teleskopik platformlar

Temel olarak itfaiye araçlarının yangın merdivenin çalışma prensibiyle aynı özelliğe sahiptir. Bu tür liftler, en fazla bir veya iki kişi taşıyabilen ama maksimum platform yüksekliği 20-30 m olan bir çeşit bakım-onarım liftidir. Dizel motor ve elektrik motoru gibi tahrik özellikleri bulunup zincir vasıtasıyla çalışmaktadır.



Şekil 1.4. Teleskobik platformlar

Bu mekanik araçlar, yükseklik nedeniyle ulaşılamayan alanlarda geçici olarak insan veya ekipman taşımak için kesin çözümlerdir. Bu araçlar esnek ulaşım gerektiren bakım, montaj işleri veya acil durumlarda itfaiyeciler için geçici çözümler sunarlar. Kaldırma ağırlığına göre tasarlanmış birçok türü bulunmaktadır. Özellikle teleskobik platformların yükselme mesafeleri 20 metrenin üzerine çıkmaktadır ve sepetlere ve yer sistemlerine ilave edilen elektro-hidrolik kontrol sistemlerinin kullanılması ile 360 derecelik kulelerin özelliklerini taşıyabilmektedirler. Bu platformların genel kullanım alanları bina inşaatı, elektrik sistemleri ve aydınlatma, endüstriyel yapılar, limanlar, taşımacılık, temizleme servisleri, bakım, vb. şeklindedir.

Teleskobik bomlu platformlar yükselme gerektiren ve özellikle ulaşılması zor noktalara erişim gerektiren hem esneklik hem de sağlam kararlı duruş gerektiren uygulamalarda kullanılan araçlardır. En son tasarımlarda hareketli bir merdivenli kamyonetle havai taşıma platformlarının esnekliği birleştirilmiştir. Teleskobun kayan vinç kolu (bomu), platformun en yüksekteki çalışma noktalarına ulaşmasını sağlarken aynı zamanda çalışanlar için güvenli çalışma ortamı ve çalışma şartları da sağlamaktadır. Bu tür mekanik araçlar sıklıkla yüksek bir konuma hızlı bir şekilde geçici olarak erişmek için etkin bir çözümdür. Bu yüzden bakım-onarım ve acil durumlar gerektiren yangın söndürme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Diğer vinçlerden ayırıcı özelliği ise sınırlı bir ağırlık taşıyabilmesidir.

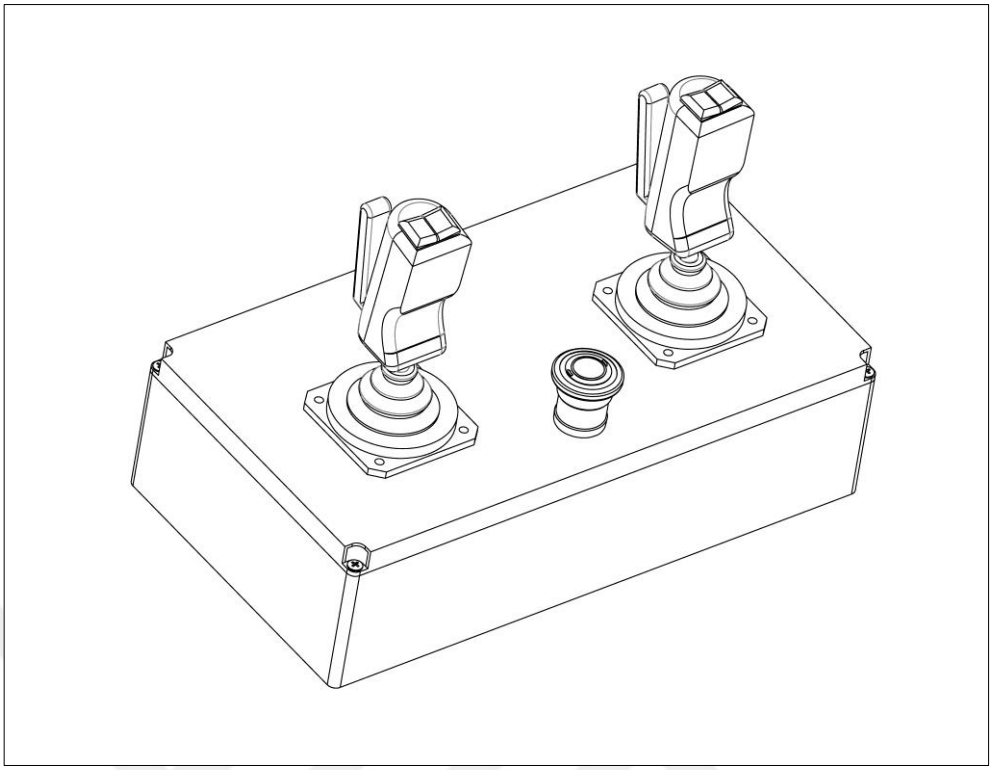
Bu platformlara yönelik genel bir ilgi olmasına rağmen hakkında az sayıda araştırma yapılmıştır. Hakkında çok az bilgi bulunan yapısal kararlılık konusu aslında tasarımın en önemli konusunu oluşturmaktadır. İmalatında çok dayanıklı malzemeler seçildiğinden basınçlı (kompresif) yükler karşısındaki kararsızlık olgusu giderek önemli bir sorun haline gelmektedir. Sonuç olarak tasarımcılar ağırlığı azaltmak için daha ince kesitler kullanmak isteyecek ve buda kararsızlık riskini arttıracaktır. Elastik kararsızlık problemi ilk defa tam anlamıyla 1744'te Eular tarafından işlenmiştir. Burada kirişteki, ortamdaki veya yükteki minimum hareket nedeniyle çökmeye neden olacak kritik yük kavramı belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar, kiriş uzun ve zayıf olduğunda (eğrilme veya bükülme görülür) malzemenin mukavemeti limitlerinin altında bile olsa çökme olgusunun ortaya çıktığını göstermiştir. Teleskopik bomların analizinde, stres değerlendirme, sapma veya bükülme ile ilgili olarak, büyük gamma değeri düşünülür. Pratikteki genel çalışmalar vinçlerin konsol kirişlerinin geliştirilmesi üzerine yapılmıştır [23].

1.1.2. Eklemli (articulated) platformları

Yüksek konumlara ulaşmada eklemli platformlar daha çok ön plana çıkmaktadır. Eklemli bakım liftleri, x-y-z koordinatlarında hareket edebilen ve hidrolik esaslı çalışan bir bakım liftidir. Kullanıcıya teleskobik liftlere göre daha fazla güvenlik sağlayan bu lift çeşidi sadece bir kişilik binici kapasitesine sahip olup yük kaldırmak için tasarlanmamıştır. Çalışma yüksekliği oldukça fazla olan bu liftler oldukça da az yer kaplamaktadır.

1.1.3. Kendinden yürüyüşlü bomlu platformlar

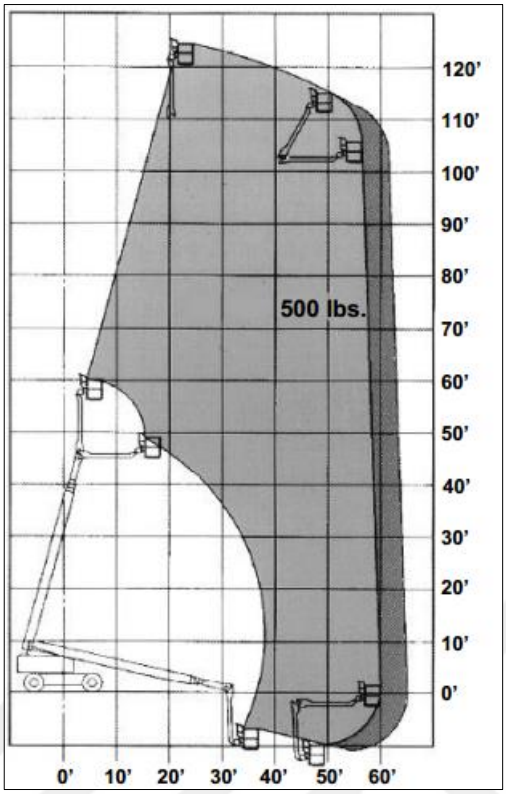
Bu tür platformlar engebeli araziler için uygundur. Hidrolik silindirlerle uzatılıp yükseltilirler. Platformun kaldırma kapasite yaklaşık 200 kg ya da 2 işçidir. Makaslı kaldırma platformlarına göre sınırlı taşıma kapasitesi olduğu için ağırlık kaldırmayla ilgili işlerde kullanılmaz. Genellikle benzin, dizel ve propan yakıtlı içten yanmalı motorlarla çalışmaktadır. Teleskopik bumlu, eklemli veya ikisinin kombine edildiği platform tipleri bulunmaktadır. Bumun boyu arttıkça stabilitesi azalmaktadır. Hidrolik silindirle uzatılıp yükseltilirler. 150 feet yüksekliğe kadar uzatılabilir [24].



Şekil 1.5. Bomlu platformların kumanda mekanizması

Şekil 1.5'te tipik bir bomlu platformun kumanda sistemi gösterilmektedir. Kontroller sabit pozisyonda olsa da operatör makine rotasyonu yüzünden şaşırabilir bu yüzden hareketin yönünün çok iyi farkında olmalıdır. Birçok makinede operatörün doğru yönde gitmesi için yön belirten oklarla renkli bir şekilde kodlanmıştır. Özellikle mobil vinçlerde olmak üzere kolun uzunluğu ve platform konumunun ağırlık merkeziyle olan açısı arttıkça stabilitenin azaldığı görülmektedir [25].

Şekil 1.6'daki çizelgede zeminden yüksekliği 120 feet olan yüksekliğe erişebilen mobil bumlu havai platformunun güvenli çalışma konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Erişim çizelgesi

1.1.4. İtmeli bomlu platformları

Kaldırma mekanizmaları normalde benzinli veya propanlı motor ya da AC/DC elektrik motoruyla çalıştırmaktadır. Hidrolik silindirler yardımıyla yükseltilip alçaltılırlar. Taşıma kapasiteleri genellikle 220 kg'dan azdır. Daha çok bakım-onarım faaliyetleri için uygundur. Platform yükseldikçe iş güvenliği riski artmaktadır. Genellikle 10 metre yükseklik aşılmamalıdır. Maksimum yükseklikte çalışırken de ekstra dikkat etmek gerekir [26].

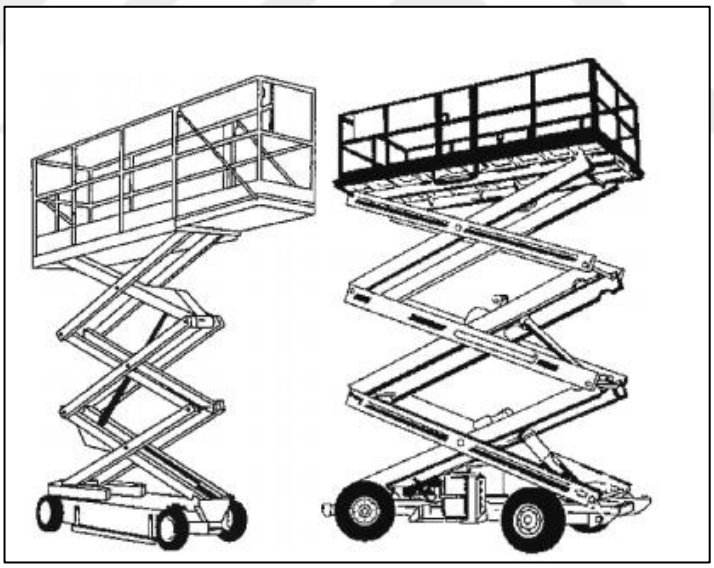
1.2. Makaslı Çalışma Platformları

Sanayide en çok kullanıma sahip olan kaldırma sistemleri X formunda katlanabilir makaslı kaldırma sistemleridir. Makaslı kaldırma sadece dikey yönde çalışmalar için kullanılır. Özellikle bakım-onarım ve temizlik amaçlı kullanılmaktadır. Makaslı çalışma platformları hidrolik bir sistemle çalışmaktadır. Makaslı hidrolik kaldırma sistemleri, hidrolik piston hareketiyle birlikte birbirine bağlı olan profillerin makas şeklinde açılarak platformun yükselmesini sağlamaktadır. Bazı makaslı platformların dönebilme özelliği de vardır.

Her çalışma platformunun belirli taşıma ve belirli yüksekliğe ulaşabilme kapasitesi vardır. Platformun mekanik olarak tasarımı için profillerin malzemesi, kalınlıkları, uzunlukları, sayıları ve piston seçimi son derece önemli olup kullanıcıya maksimum güvenlik sağlayacak şekilde seçilmektedir.

Makaslı platformlar dikey olarak yükleme ve boşaltma istenilen durumlarda; özürlü asansörü olarak kamusal ve özel alanlarda, fabrikaların sevkiyat bölümlerinde, araç otoparklarında araçların indirilip çıkarılmasında, yüksek mesafesi olan fabrika içi ve benzeri yerlerde tavana müdahale etmek için kullanılmakta ve özel olarak imal edilmektedir.

Düzgün yüzeyde çalışmak üzere tasarlanmış makaslı platformlardaki şasi araçları genellikle katı lastik tekerleklere sahiptir. Platformların enerji kaynağı genellikle şarj edilebilir DC aküleri; bazılarında ise benzin ya da propanla çalışan içten yanmalı motorlardır. Çoğunda çukur koruması (zemine yakın metal bir levha) bulunmaktadır.



Şekil 1.7. Düzgün yüzeyler için makaslı platformlar

Engebeli arazilerde çalışmak üzere tasarlanan makaslı platformlar bu yüzeylerin zorluklarını aşabilmek için daha büyük bir şasiye ve pnömatik tekerleklere sahiptir. Benzin, dizel ya da propan yakıtlı içten yapmalı motorla hareket etmektedir. DC akülü olanları da olsa da pek yaygın değildir. Hidrolik kaldırma mekanizmasına sahiptir [27].

Platformun mekanik olarak tasarımı da bu kriterler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Platformu oluşturan parçaların ve profillerin kalınlıkları, uzunlukları, sayısı ve platformun yükselmesini sağlayan piston seçimi gibi tüm özelliklerin hepsi buna göre belirlenmelidir. Platformun tasarım ve analizi şu aşamalardan oluşmaktadır [28].

- Ürün özelliklerinin belirlenmesi
- Ürün katı modellerinin oluşturulması ve montajlanması (SolidWorks)
- Analitik olarak kuvvet hesaplarının yapılması
- Ürünün geçici yapısal modelinin oluşturulması (ANSYS)
- Kritik durumda iken Statik Yapısal analizi ile parçaların incelenmesi (ANSYS)
- Parametre değişimlerinin incelenmesi

Ürünün özellikleri belli tablolar yardımıyla belirlendikten sonra örnek bir platform baz alınarak, SolidWorks programıyla birlikte platformun parçaları uygun ölçülerde çizilir. Çizilen parçaların montajı gerçekleştirilerek ürünün komple bir katı modeli ortaya çıkarılır. Platformun nasıl bir hareket kabiliyetine sahip olduğu da kullanılan bu programda gözlenebilmektedir. Daha sonra sistemin analizine geçilir. Sistemin kuvvet analizi yapılırken öncelikli olarak iş platformun üzerindeki yük ve reaksiyon kuvvetleri tanımlanır. İş platformunun üzerindeki kuvvetlerle ilgili denklemler elde edildikten sonra reaksiyon kuvvetleri tekrar uygun şekilde profillere uygulanarak sistem çözümlenir.

Platformun katı modeli elde edildikten ve analitik hesaplamalarından sonra, bu modelin hem hareket kabiliyetinin hem de tüm konumlarda eklem yerlerindeki kuvvetlerin bulunabilmesi için ANSYS programının geçici yapısal analiz yöntemi kullanılmaktadır. Kısaca ÇCD olarak adlandırılan bu analiz, parçaları birbirine bağımlı olarak çalışan birçok sistemin incelenebilmesi açısından önemli veriler sağlar. Sisteme ağ yapısı oluşturmadan çözüm alınabilmekte ve bu durum kullanıcıya zaman kazandırmaktadır. Süspansiyon sistemleri, uçaklardaki iniş takımları gibi sistemler ÇCD analizinde incelebilecek örnekler olarak verilebilir. ANSYS programının geçici yapısal analiz yönteminde, ilk olarak getirilen montajın birleşim yerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar uzaktan kuvvet (remote force), deplasman (displacement) ve standart yer çekimi kuvveti (standart earth gravity)' dir.

1.3. Mobil Hidrolik Platformlar

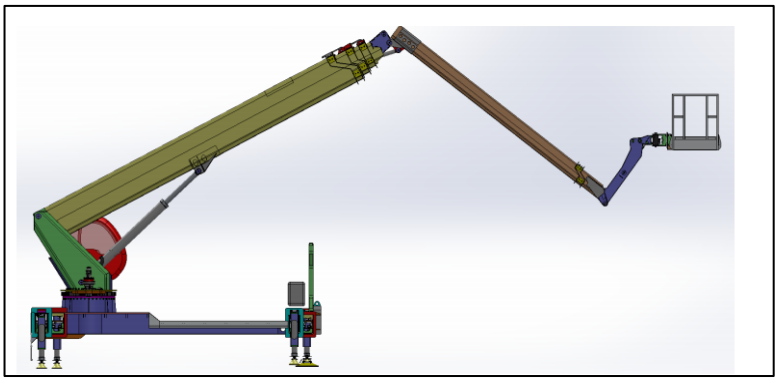
Mobil hidrolik iş platformları bir çeşit mobil hidrolik vinç çeşididir. Genellikle, hava platformları çalışma bomları, döner platformu, şasi, sepet hidrolik sistem, kontrol cihazı, vb. sistemlerden oluşmaktadır. Mobil hidrolik iş platformları insanların ulaşamayacağı yerlere, daha kolay ve daha rahat erişim sağlaması amacı ile tasarlanıp üretilen iş makineleridir.

4 tip olarak sınıflandırılabilir**:**

- Teleskopik,
- Mafsallı,
- Eklemli
- Teleskopik-Eklemli

İş platformlarının en çok tercih edilen modelleri teleskopik ve eklemli olarak adlandırılan modellerdir. Yüksek seviyelere ulaşmak adına eklemli platformlar daha ön plana çıkmaktadır. Bu tür platformların kullanımı günümüzde giderek artmaktadır. Yüksek binaların dış yüzeylerinin temizliğinde, çatı sistemlerinin kurulmasında, elektrik direklerinde kablo bağlantılarının yapılmasında, yüksek binaların su borularının döşenmesi ve tamiratı, itfaiye araçlarında yangın söndürme amacı gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Türkiye'de de mobil hidrolik vinçlerde insan kaldırmak kanunen yasaklandıktan sonra bu platformlar önem kazanmıştır. Araç üstü mobil hidrolik vinçlerin ucuna mekanik aparatlar tasarlanıp kullanılarak sisteme dâhil edilen sepetler iş güvenliği açısından oldukça tehlikelidir. Geçmişte yaşanan birçok iş kazasıda bu sistemin güvenli olmadığını ortaya koymaktadır. Hidrolik platform imalat sanayinde tasarlanan iş makinelerinde kullanılan mekanik sistemlerde sepet dengeleme sorunu, iş makinelerinin titreşimli çalışması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır [29].



Şekil 1.8. Mobil hidrolik platformlar

1.4. Elektrikli Makaslı Platformları

Bu tür platformlar sadece dikey yönde yukarı ve aşağı yönde hareket edebilirler. Elektrik motorları iş için uygun konuma gelebilmesi için hareketini sağlar. Bir kere konumlandıktan sonra yatay olarak çok yönlü hareket yapamaz. Elektrikli makaslı kaldırma platformları aküyle çalışır ve birkaç kişi ya da büyük miktarlarda ekipmanı kaldırabilmek için tasarlanmıştır. Kaldırabileceği ortalama yükseklik 3 ila 18 m arasında olup taşıma kapasitesi ise 450-1000 kg arasındadır. Çalıştığı alan ise 1 ila 3 metre arasındadır. Bu yüzden küçük alanlı kullanımlar için idealdir [30].

Elektrikli makaslı platformlar duman çıkarmadığından iç ortam kullanımları için uygundur. Binalardaki bakım tamirat, depolardaki yüksek raflara ulaşmak, ampul ve lambaları değiştirmek için kullanılmaktadır.

1.5. Taşınabilir/Sürülebilir Kaldırma Platformu Mekanizması

Küçük ve hafif olduğu için bu platformlar daha çok sıkışık dar alanlarda kullanılmaktadır. Esnek tasarımıyla iç ve dış ortamlardaki projelerde kullanımı için oldukça uygundur. Paletli platformları bir konumdan diğerine taşımak oldukça kolaydır. Traktör kamyonet gibi araçlarla taşımak yine çekerek götürmek mümkündür. Başka bir araca bağlanarak da çalışma alanına kadar çekilebilir ve sonra araçtan çıkartılabilir. Dizel ya da aküyle çalışan çeşitleri mevcuttur. Projeye, projenin konumu ve ihtiyaçlarına göre uygun model seçilebilir. Bu tür platformlar özellikle elektrik işlerinde, aydınlatma ve işaretleme gibi çalışmalarda, bina içi ve dışında bakım ve tamiratlarda, köprülerin denetiminde, tavan temizliğinde, film çekimi ya da televizyon şovlarında aydınlatma ekipmanlarını tutmak için kullanılmaktadır [31].

2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Başlangıcı 1940'lı yıllara giden sonlu elemanlar yöntemi değişik disiplinlerdeki, genellikle analitik yöntemlerle çözülemeyen karmaşık birçok fizik ve mühendislik problemlerinin çözümü için geliştirilmiş sayısal bir yöntemdir. Yöntem, diferansiyel denklemlerin birçok cebirsel denklem sistemine dönüştürülerek çözülmesine dayanmaktadır. Başlangıçta katı sicimler mekaniğinde gerilme ve deformasyon analizi için kullanılan yöntem günümüzde ısı transferi, akışkanlar mekaniği, elektrik iletimi ve manyetizma gibi birçok farklı disiplinler arası problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) inşaat, makine, otomotiv, uzay, savunma ve spor endüstrisi gibi birçok alandaki yapı elemanlarının analiz ve tasarım aşamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Üretim firmaları, büyük tasarım ofisleri ve AR-GE merkezleri genellikle kendi bünyelerinde geliştirdikleri sonlu eleman yazılımlarını ya da ticari amaçlı geliştirilmiş genel amaçlı sonlu eleman yazılımları kullanmaktadırlar [32].

Kutu kiriş konstrüksiyonu ve hesap esaslarına değinilerek, sonlu elemanlar yöntemi ve bilgisayar destekli modelleme hakkında bilgiler verilmiş, kutu kirisin sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Kesit değerleri müsaade edilen gerilme değerlerine göre kontrol edilmiştir [33].

Katı modelleme teknikleri ve sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgiler verilerek, portal vinç yapısının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, lineer statik ve nonlineer statik analizleri yapılmış, bulunan sonuçlara göre yapıda kesit değerleri araştırılmıştır [34].

Mühendislik ve fiziksel olguların birçoğu, kısmi diferansiyel denklemler dâhilinde açıklanabilmektedir. Bu denklemleri gelişigüzel şekillerin klasik analitik yöntemleri ile çözmek neredeyse olanaksızdır. SEY, bu kısmi diferansiyel denklemlerin yaklaşık olarak çözülebilmesini sağlayan bir sayısal yaklaşımdır. Mühendislik bakış açısından SEY; gerilme analizi, ısı iletimi, akışkan akımı ve elektromanyetik gibi mühendislik problemlerini bilgisayar simülasyonu ile çözmek için kullanılan bir yöntemdir [35].

Mühendislikte tasarım iki aşamalı bir faaliyet olarak gerçekleşir. Birincisi; ödevin belirlenmesi ve uygulanacak fiziksel prensiplerin saptanması, yani teorik modelin kurulması aşamasıdır. _kincisi ise, fiziksel prensibe göre elemanların seçimi, boyutlandırılması, montaj ve parça resimlerinin hazırlanması, yani teorik modelin gerçekleştirilmesi aşamasıdır. Tasarımın birinci asamaması "Konstrüksiyon Sistematigi" adı verilen bilim dalını, ikinci aşaması ise "Makina Elemanları" bilim dalını ilgilendirmektedir [36].

Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır bir hale getirilebilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Söz gelimi; gerilme problemi, basit kiriş, plak, silindir, küre gibi geometrisi bilinen şekillerle sınırlandırılarak çözülebilir; ancak, elde edilen sonuçlar çoğu kez problemin yaklaşık çözümüdür ve bazen doğrudan bazen de bir katsayı ile düzeltilerek kullanılır. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilmektedir [37].

Sonlu elemanlar yönteminde; karmaşık olan problem daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır [38].

1) Geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır.
2) Her elemandaki, sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir.
3) Aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır.

Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu

alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyeni olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir [39].

Mühendislikte kullanılan en yararlı ve hızlı bir şekilde kullanımı yaygınlaşan sayısal analizlerden biri olan sonlu elemanlar yönteminin en önemli faydası istenilen sayıda boyutta ve istenilen şekillere uygulama olanağı bulunmasıdır. Şekiller herhangi sayıda bir malzemeden oluşabilir.

Yöntemin ana fikri sürekli fonksiyonları, bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir yani, bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın düğüm noktalarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar yönteminde bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler düğüm noktalarındaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının düğüm noktalarındaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir [40].

Sonlu elemanlar yönteminde yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen düğüm noktalarında tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler düğüm noktalarındaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır [40].

Sonlu elemanlar yöntemi, ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme haizdir.

Sonlu elemanlar yönteminin ilk adımı problemi sonlu sayıda basit geometrik şekilli bölgelere (sonlu elemanlar) ayırmaktır. Sonlu eleman, uzaydaki konumları global eksen takımına bağlı koordinatlarca verilen, düğüm noktalarına sahiptir. Her bir sonlu elemanın geometrik şekli interpolasyon fonksiyonlarıyla düğüm noktalarının koordinatları cinsinden tanımlanır. Sayısal modelleme problemin, sınırlarının, sınır şartlarının ve malzeme özelliklerinin matematiksel olarak ifade edilmesinin gerektirmektedir. Analiz edilecek bir problemin karmaşık geometrisinin tam tanımı, yüzeyindeki sonsuz sayıda noktanın konumunun belirlenmesiyle sağlanır. Bu da sonsuz sayıda denklemin çözülmesini gerektirir. Bu nedenle geometri yaklaşık olarak makul sayıda elemanla ele alınır. Elemanların geometrik şekli düğüm noktalarının koordinatları cinsinden interpolasyon fonksiyonu ile tayin edilmektedir [41].

Alan değişkeni, yapıdaki incelen birincil değişkendir. Gerilme analiz probleminde bu yer değiştirmedir. Bundan sonra yapılacak kabul, yer değiştirmenin eleman boyunca değişiminin basit bir fonksiyon olduğudur. İnterpolasyon fonksiyonu yer değiştirmenin her bir elemanda değişimini düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmesini sağlar. Bu fonksiyonlar elemanların geometrik şeklini tayin eden interpolasyon fonksiyonları ile aynı olabilir. Bu durumda eleman izoparametrik olarak adlandırılır [42].

Her bir eleman için elemanın fiziksel davranışını tanımlayan katsayı matrisi tanımlanır. Katı cisim mekaniğinden rijitlik matrisi hesaplanır. Bu hesap için kullanılan yöntemlerin çoğu toplam potansiyel enerjinin minimize edilmesine dayanır. Eleman ağı ile temsil edilen sistemin özelliklerini bulmak için eleman özelliklerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Diğer bir anlatımla, her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri birleştirilerek tüm çözüm bölgesinin özelliklerini ifade eden matris denklemler elde edilir. Sistemin matris denklemleri tek bir elemanın matris denklemleri ile aynı formda olmasına karşın tüm düğüm noktalarını ihtiva ettiğinden daha fazla sayıda terime sahiptir. Elemanların birbirlerine bağlandığı yerde (düğüm noktalarında) alan değişkeninin değeri bu noktayı paylaşan her elemanda aynıdır. Eleman denklemlerinin birleştirilmesi ile çözüme gidilir [42].

Birleştirme prosesi neticesinde alan değişkeninin bilinmeyen düğüm noktası değerlerini elde etmek için çözülmesi gereken simültane denklem seti elde edilir. Eğer denklemler lineer ise standart çözüm teknikleri kullanılabilir. Denklemlerin çözümü neticesinde birincil bilinmeyenlerin (alan değişkeni) değerleri bulunur. Elastik gerilme-deformasyon analizinde birincil bilinmeyen yer değiştirmelerdir. Birim şekil değiştirmeler elastisite teorisindeki bağıntıları kullanarak elde edilir. Gerilmeler de Hook Kanunu yardımıyla birim şekil değiştirmelerden hesaplanır. Düğüm noktası değerleri ve interpolasyon fonksiyonlarını kullanarak, eleman içinde birim şekil değiştirme ve gerilmeler hesaplanabilir [43].

Sonlu elemanlar yönteminde, incelenen yapı birbirlerine düğüm noktalarından bağlanan elemanlar topluluğu (eleman ağı) ile modellenir. Çözüm, temel gerilme birim şekil değiştirme (strain) ifadelerini ve komşu elemanlardan düğüm noktaları üzerinden aktarılan kuvvetler sistemini kullanarak her bir elemandaki çökmelerin hesaplanmasıyla elde edilir. Birim şekil değiştirme, düğüm noktalarının çökmelerinden elde edilir. Gerilmeler birim şekil değiştirmelerinden elde edilir. Her düğüm noktasındaki kuvvet diğer düğüm noktalarındaki kuvvetlere bağlıdır. Elemanlar yay sistemine benzer davranır ve tüm kuvvetler dengede olana kadar şekil değiştirirler. Bu da aynı zamanda çözülmesi gereken lineer denklemler sistemini ifade eder [43].

SEA prosesleri

- Analiz tipini seçmek
- Malzeme özelliklerini seçmek
- Model geometrisini oluşturmak (Ağ yapısı dahil)
- Sınır şartlarını uygulamak
- Yükleri uygulamak
- Çözümü optimize etmek

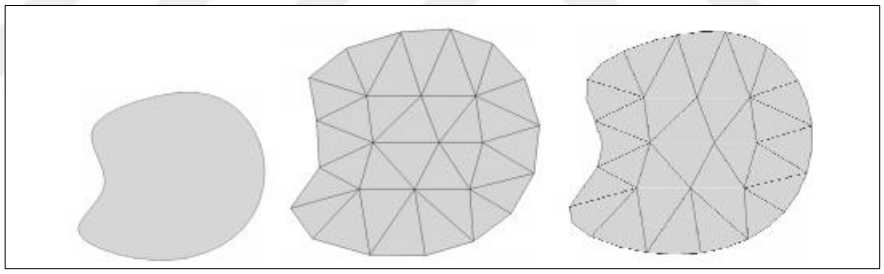
SEA programları fiziksel modelin CAD sunumunu kullanmaktadır. Program bu parçayı alt parçalara ayırır bunlar sonlu eleman olarak adlandırılır. Alt parçalara ayırma işlemine mesh ağlara bölme denmektedir. Daha iyi ağ (daha çok eleman) fiziksel modelin matematik olarak daha iyi ifade edilmesi demektir. Bir elemanın

birincil amacı iki nodu yayla birbirine bağlamaktır. Eleman tipi problemin tipine göre değişmektedir.

SEY ile çözümdeki adımlar şunlardır:

- Cismin sonlu elemanlara bölünmesi,
- İnterpolasyon fonksiyonlarının seçimi,
- Eleman direngenlik matrisinin teşkili,
- Sistem direngenlik matrisinin hesaplanması,
- Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması,
- Sınır şartlarının belirlenmesi,
- Sistem denklemlerinin çözülmesi.

Yöntemin temeli integral formülasyonlara dayanır. SEY'in ana fikri karmaşık bir şeklin çok sayıda bilinen basit şekillere (örneğin üçgen) bölünmesidir (Şekil 9). İşte bu daha küçük ve basit şekillere sonlu elemanlar denir [44].



Şekil 2.1. Sonlu elemanlar görünümü

Bu üçgenlerin alanlarının toplamı tüm şeklin alanının yaklaşık alanını verecektir: Örnekteki üçgenin alan formülleri toplamı şu denklemle hesaplanır:

$$A = \sum_{e=1}^{n} A^e = \sum_{e=1}^{n} \int_{A^e} dA \tag{2.1}$$

$$A^e=[x_1(y_2-y_3)+x_2(y_3-y_1)+x_3(y_1-y_2)]/2 \tag{2.2}$$

2.1. Gerilme Analizleri

Gerilme analizinde alan değişkenleri deplasmanlardır ve lineer SEY, yalnızca malzeme davranışı lineer elastik olduğunda ve deplasmanlar küçük olduğunda geçerlidir. Gerilme analizinde, çalışma yüklerinin birçok analizler için, lineer

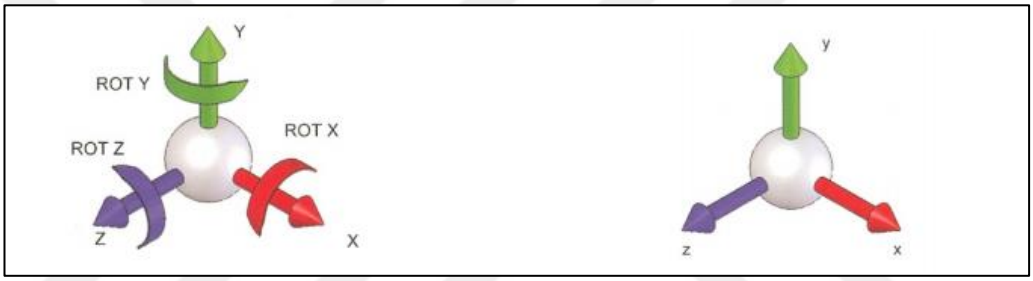
olmayan malzeme davranışı veya büyük deplasmanlara neden olabilecek çalışma yüklerine sahip olması genellikle istenmez [45]. SEY aşağıdaki beş aşamadan oluşmaktadır[46].

- Ön işleme: Problem alanını sonlu elemanlara ayırma,
- Eleman formülasyonu: Elemanlar için denklemlerin oluşturulması,
- Birleştirme: Bireysel elemanların denklemlerinden tüm sistemin denklemlerini elde etme,
- Denklemlerin Çözümü,
- Son işleme: Gerilmeler ve şekil değiştirmeler gibi ilgilenilen büyüklüklerin belirlenmesi ve davranış görselliğinin elde edilmesi.

Kısaca belirtmek gerekirse SEY, düğüm noktalarındaki yer değiştirmeleri ve reaksiyon kuvvetlerini hesaplar. Bu değerler daha sonra gerinim ve gerilme hesaplamak için kullanılır. Gerilmeler, elemandaki integrasyon noktalarının her biri için hesaplanır ve daha sonra düğüm noktalarına yansıtılır. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler bilinmektedir. İlk önce integrasyon noktalarındaki yer değiştirmeler interpolasyon fonksiyonları kullanılarak hesaplanır. Her interpolasyon işlemi sonunda düğüm noktalarında gerilmenin tamamen farklı değerlerine rastlanılabilir. Çoğu SEY programı, hesaplanan değerlerin ortalamasını alarak her düğüm noktası için yalnızca bir değer hesaplar. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler için bir çözüm elde edildikten sonra, gerilme ve gerinim değerleri hesaplanır. Gerilme ve gerinim, Gauss noktalarında hesaplanır ve sonra düğüm noktalarına yansıtılır. Çoğu FEA yazılımı, düğüm noktalarındaki gerilme ve gerinim değerlerinin hesabı için komşu Gauss noktaları ile ortalama hesabı gerçekleştirdiğinden bu kısımda oldukça dikkatli olunmalıdır. Bunu takiben, gerinimler ve deformasyon gradyanları gibi kinematik nicelikler Gauss noktasında hesaplanır. Ayrıca, bu kinematik nicelikleri ve malzeme özelliklerini kullanarak gerilmeler de Gauss noktasında hesaplanır. İlgili eleman için interpolasyon fonksiyonu kullanılarak bu gerilme değerleri düğüm noktalarına yansıtılır.

Bu bölümde gerilme analizi kavramları, sonlu elemanlar bağlamında ele alınacaktır. Bu da birincil bilinmeyenin (genelleştirilmiş) deplasmanlar olacağı anlamına gelmektedir. Diğer tüm ilgili unsurlar da temel olarak deplasman gradyenlerine bağlı

olacağından deplasmanlardan daha az kesinlikte doğru olacaklardır. Gerilim analizi, katı süreklilik formu ve kabuk formunu kapsamaktadır. Her ikisi de SW simülasyonunda sunulmuştur. Süreklilik formu sadece yer değiştirme vektörlerini kullanması bakımından farklılık gösterirken, kabuk formu element düğümlerindeki yer değiştirme vektörleri ve sonsuz küçük dönüş vektörleri kullanır. Şekil 6'da gösterildiği gibi, katı elemanlar sırasıyla doğrusal ve kuadratik katılar için toplam 12 ya da 30 serbestlik derecesi için, düğüm bilinmeyeni olarak üç translasyon serbestlik derecesine (DOF) sahiptir. Toplam 18 veya 36 serbestlik derecesi için kabuk elemanlarının üç translasyonel ve üç rotasyonel serbestlik derecesi vardır. Serbestlik derecesi tiplerindeki fark, momentlerin veya çiftlerin yalnızca doğrudan kabuk modellerine uygulanabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2. Çerçeve ve kabuk formları için serbestlik derecesi

Gerilme transferi, katı cismin sınırları içerisinde ve üzerinde gerçekleşir. Süreklilik gövdesinin herhangi bir noktasında deplasman vektörü, metre birimlerine [m] sahiptir ve bileşenleri temel bilinmeyenlerdir. Deplasman bileşenleri, sırasıyla x, y ve z yönlerinde genellikle u, v ve w olarak adlandırılır. Bu nedenle, her biri diğerinin varlığını beraberinde getirir, u ↔ (u, v, w).

Tüm deplasman bileşenleri uzaya göre değişir. Isı transfer durumunda olduğu gibi bu bileşenlerin gradyenlerine gereksinim vardır. Yer değiştirme gradyenlari [m/m] birimlerine sahiptir veya boyutsuz olarak kabul edilir.

Bir boyutta normal gerilme, sadece uzunluktaki değişimin orijinal uzunluğa oranıdır. Yani x = ∂u / ∂x oranıdır. 2 ve 3. boyutlarda hem normal gerilmeler hem de kayma gerilmeleri mevcuttur. Normal gerilme, yer değiştirme bileşenine paralel olan gradyan terimlerinin yalnızca bir kısmını içerir. 2B'de bunlar εx = ∂u / ∂x ve εy = ∂v / ∂y'dir.

Bunlar hacimde bir değişikliğe neden olurlar, ancak diferansiyel elemanın diktörtgen şeklinde bir değişikliğe neden olmazlar. Bir kayma gerilmesi, şekil değişikliğine neden olur. Toplam açı değişikliği (90 dereceden itibaren) kayma gerilmesi mühendislik tanımı olarak kullanılır.

Kayma gerilmesi, yer değiştirme bileşenine dik olan gradyen bileşenlerinin bir kombinasyonunu içerir. 2B'de, mühendislik kayma gerilmesi $\gamma = (\partial u / \partial y + \partial v / \partial x)$. Gerilme, 1B'de bir bileşen, 2B'de üç bileşen ve 3B'de altı bileşen içerir. 2D gerilmeleri genellikle sütun vektörü olarak yazılır: $\varepsilon = (\varepsilon x \ \varepsilon y \ \gamma)^T$.

Gerilim, ilgilenilen noktadan geçen bir düzlem üzerinde etki eden birim alan başına kuvveti ölçmektedir. Yukarıdaki geometrik veriler (gerilmeler), yeni bir fiziksel niceliği tanımlamak için malzeme özellikleri ile çarpılacaktır. Bu, Hooke Yasası olarak bilinir: $\sigma = E \ \varepsilon$, formüldeki alan malzeme matrisi, E, elastik modülü ve malzemenin Poisson oranını içerir. 2B gerilmeleri karşılık gelen bir sütun vektörü olarak yazılır, $\sigma = (\sigma x \ \sigma y \ \tau)^T$. Aksi belirtilmedikçe, burada gösterilen uygulamaların bir malzeme özelliğinin doğrusal aralığında olduğu varsayılmaktadır.

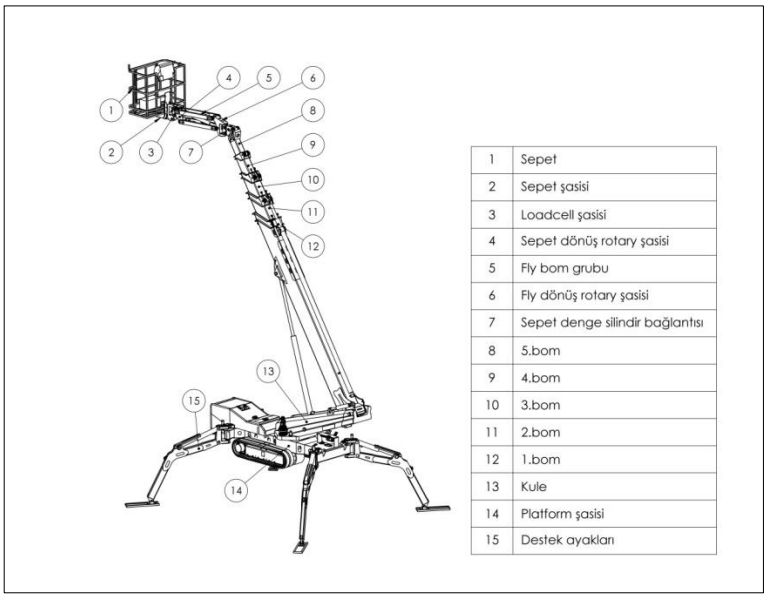
Modern yapısal analiz büyük ölçüde sonlu elemanlar yöntemine dayanır. Euler'in değişken hesabını temel alan en popüler integral formülasyon, Minimum Toplam Potansiyel Enerji İlkesidir. Bu ilke esas olarak, temel deplasman sınır koşullarını sağlayan ve toplam potansiyel enerjiyi minimize eden deplasman alanının, statik denge durumuna karşılık gelen alan olduğunu belirtir. Bu, deplasmanların bizim temel bilinmeyenlerimiz olduğu anlamına gelir. Türevleri ve gerilmeleri gibi uzayda enterpolasyon yapılır. Toplam potansiyel enerji Π; yapının gerilim enerjisi U eksi dış kuvvetler tarafından yapılan mekanik iş W; şeklinde hesaplanır. Bilindiği üzere, bir kuvvet tarafından yapılan mekanik iş, W; uygulama noktasındaki kuvvet vektörünün F deplasman vektörü u ile çarpımıyla bulunur. Burada gerilme enerjisi olarak adlandırılır.

3. ÖRÜMCEK AYAKLI PALETLİ TİP HAVAİ ÇALIŞMA PLATFORMU TASARIMI

3.1. Örümcek Ayaklı Paletli Tip Havai Çalışma Platformları Genel Yapısı

Şekil 3.1'de tasarımı ve alt montajları görülen örümcek ayaklı paletli tip havai çalışma platformlarının patenti ABD'nin Greencastle kasabasından John L. Grove tarafından 1981'de alınmıştır. Bu tip havai kaldırma platformlarında palet bulunmaktadır. Paletin üst kısmı şasiye monte edilmiştir ve bir döner tablaya sahiptir. Ayrıca bir teleskopik bom grubu, bom grubunun ucunda fly bom ve sepet bulunmaktadır. Şasinin her iki tarafında birer adet kauçuk iz yapmaz yürüyüş paleti bulunmaktadır. Yürüyüş paletleri temas ettiği zemine yayılı yük oluşturarak ve platform yükünü büyük bir alana yayarak zemine zarar vermeden çalışabilmektedirler.

Havai iş platformları genel yapı olarak sepet grubu, bom grubu, kule grubu ve şasi grubu olmak üzere 4 ana gruptan oluşmaktadır.



1	Sepet
2	Sepet şasisi
3	Loadcell şasisi
4	Sepet dönüş rotary şasisi
5	Fly bom grubu
6	Fly dönüş rotary şasisi
7	Sepet denge silindir bağlantısı
8	5.bom
9	4.bom
10	3.bom
11	2.bom
12	1.bom
13	Kule
14	Platform şasisi
15	Destek ayakları

Şekil 3.1. Paletli havai çalışma platformu

3.1.1. Sepet grubu

Platform sepeti hava iş platformlarında asıl işin yapıldığı, içerisinde bir veya birden fazla personelin bulunabileceği kısımdır. Sepetlerin kaldırma kapasiteleri 100kg, 150kg, 200kg, vb. olabilmekte, bu durum tasarlanan makinede ihtiyaca göre değişiklik göstermektedir. Platform sepetlerinde personel yükseltmenin haricinde belirli kurallar çerçevesinde alet-teçhizat da çalışma ortamına yükseltilebilmektedir. Sepetler bom grubunun en ucundaki boma bağlı olarak monte edilir ve bom gruplarının her hareketinde platform zeminine paralel kalması istenir. Bu durum içerisinde çalışan personelin can güvenliği için oldukça önemlidir. Bu sisteme sepet dengeleme sistemi denmektedir. Sepet dengeleme sistemi hidrolik veya elektronik kontrollü olacak şekilde dengeleme yapabilmektedir.

Platform sepetleri genel olarak çelik profil tipi malzemeler kullanılarak ve kafes yapısı elde edilerek imal edilseler de hafif bir yapı elde edilebilmesi amacıyla alüminyum malzemeden de yapılabilmektedir.

Genel olarak sepet içerisinde iş platformlarının birçok fonksiyonunun kullanılabildiği hidro-mekanik veya elektronik kumanda tertibatı bulunmaktadır. Platform sepetleri TS EN 280+A1 standardında belirtiği üzere iç yükseklikleri en az 1,1m olacak şekilde imal edilirler. Platform sepetleri yapılacak için durumuna göre bağlı olduğu belirli bir mafsaldan sağa ve sola hidrolik veya elektronik olarak dönüş hareketi yapabilirler. Bu, bazı çalışma alanlarına erişimi kolaylaştırdığı gibi kullanıcısına ergonomik bir ortam da oluşturmaktadır.

3.1.2. Bom grubu

Bom grubu, bir veya daha fazla bomun belirli bir montaj şekli ile (iç içe veya eklem) birbirine bağlanması, birbiri içinden uzaması veya eklem noktalarından dönüş yaparak yükselmesi sağlanabilen yapıdır. Bu yapı genel mantığı itibari ile hidrolik silindirler ve/veya zincirler vasıtasıyla hareket ettirilirler. Bom grubu bu tip makinelerde yükseğe erişimin sağlandığı ana yapıdır. Çalışma şekline, erişilecek maksimum yüksekliğe, taşıyıcı aracın tipine göre değişiklik gösterebilen bom grubu teleskobik, eklemli veya teleskobik eklemli olarak imal edilebilmektedir. Genellikle

her bomun kesit ölçüleri ve kullanılan sacın et kalınlıkları birbirinden farklı olmakta, tasarlanırken optimum kesit ölçüsü ve et kalınlığı amaçlanmaktadır.

Teleskobik olarak çalışan bom grupları birbiri içerinden senkronize uzayacak şekilde monte edilir. Çelik temasının önlenmesi amacıyla bom aralarına genellikle termoplastik veya türevi plakalar kullanılır. Bu plakalar ile çelik yüzey yağlanarak çalışma esnasında sürtünmenin daha az olması sağlanır. Teleskobik bom grubu 2 bomdan oluşuyor ise uzatma işlemi sadece hidrolik silindir ile, 2 den fazla bomdan oluşuyor ise hidrolik silindir, zincir ile sağlanır. Bazen zincirler yerine çelik halatlarda tercih edilmektedir.

Bom grubunun eklemli olması durumunda iki veya daha fazla bom bağlı oldukları mafsallardan dönüş hareketi yaparak yapının yükseltilmesi sağlanır. Bu yapı genellikle hidrolik silindirler ile yükseltilir.

Teleskobik eklemli bom gruplarında ise her iki sistem de bulunmaktadır. Teleskobik eklemli bom grupları, erişilecek olan çalışma ortamı bir engelin arkasında olduğu durumlarda, yani hem belirli bir yüksekliğe hem de yatay erişime ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılır.

Havai çalışma platformlarında ana bom grubunun haricinde fly bom veya jib bom da denilen ayrı bir bom grubu bulunabilmekte, bu bom grubu basit bir teleskobik bom veya 4 kol mekanizması mantığı ile çalışabilmektedir. Fly bom grubu yüksek metrajlı makinelerde küçük de olsa engellerin üzerinden geçilmesi imkanı sağlamaktadır.

3.1.3. Kule grubu

Kule, bom grubunun bir veya daha fazla mafsal ile üzerine bağlandığı yapıdır. Kule alt kısmında bulunan çember dişliler vasıtası ile platform şasilerine bağlanırlar. Çember dişliler içerisinde bulunan bilyalar ile basit bir rulman mantığında çalışmakta ve iki ana gövdeden oluşmaktadır. Kule grubu alt tabanına bağlanan bu çember dişli ve çember dişliye bağlanan redüktörler ile sağa ve sola ±180° veya sonsuz dönüş özelliğine sahip olabilmektedir. Bazı durumlarda kule üzerine bağlanan ve dönüş açısını ölçen sensörler ile kule konumu ölçülebilmektedir.

3.1.4. Şasi grubu

Platform şasisi üzerinde bağlı olarak bulunan destek ayakları vasıtası ile bütün yükün taşındığı yapıdır. Şasi üzerinde yapılacak olan makinenin özelliklerine bağlı olarak, güç ünitesi, hidrolik yön kontrol valfleri, yağ tankı, yakıt tankı, özel kontrol valfleri gibi ekipmanlar bulunur. Şasi üzerinde genellikle 2 eksenli açı ölçer sensör bulunur ve belirli bir eğimin üzerinde platformun kullanılmasına izin vermez. Otomatik dengeleme özelliği bulunan platformlar bu açı sensörleri vasıtası ile farklı zeminlerde bile platform şasisini bir tuş ile dengeye alabilmektedirler.

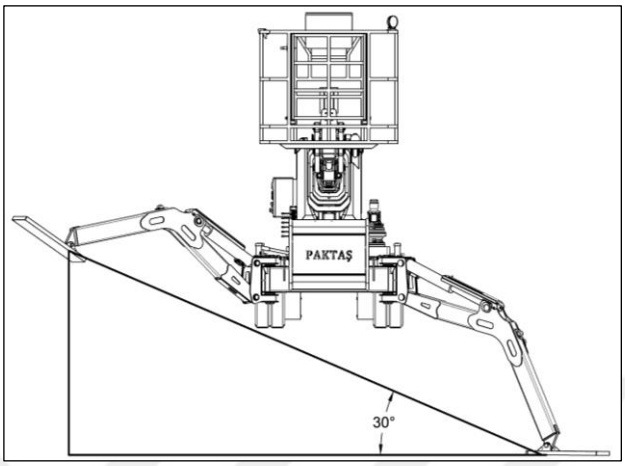
Örümcek ayaklı paletli tip platformlarda özellikle örümcek ayalar platforma ciddi bir kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Şekil 12'de görülen örümcek ayaklar sayesinde iş platformu farklı yüksekliklerdeki zeminlerde kurulabilmektedir.



Şekil 3.2. Örümcek ayak görünümü

Şasi alt kısmında iki adet kauçuk yürüyüş paleti bulunmaktadır. Platform bu paletler sayesinde ileri ve geri yürüyüş yapabilmekte, paletlerin birbirinden farklı devirlerde dönmesi ile de sağa ve sola manevra yapmaktadır. Bu tür makinelerde yürüyüş paletleri büyük oranda kauçuk olarak seçilmekte bu sayede platformlar zemini hassas olan kapalı yaşam alanlarında çalışabilmektedir. Platformların olabildiği kadar dar geçitlerden geçebilmesi amacıyla dar bir şasi tasarımları yapılmakta, bunun sebep olacağı eğimli zeminlerde devrilmemesi amacıyla da paletler sağa ve sola açılabilecek şekilde yapılabilmektedir.

Şekil 13’de görüldüğü gibi paletli platform örümcek ayakları sayesinde 30° gibi eğimli zeminlerde kurulabilmekte ve otomatik dengeleme sistemi sayesinde kendini dengeye alabilmektedir.



Şekil 3.3. Eğimde kurulum

Bu platformun ayırıcı özelliği, şasiye monte edilmiş, birbirinden bağımsız veya senkronize çalışabilen iki adet yürüyüş palet sistemine haiz olmasıdır. Havai iş platformları öteden beri kullanılmaktadır; ancak, kullanımı son zamanlarda iyice yaygınlaşmıştır. Çalışma yüksekliğine bağlı olarak yüksek veya düşük metrajlı olabilmekte ve makinenin çalışma yüksekliğine bağlı olarak yürüyüş paleti ebatları değişiklik göstermektedir. (Grove, 1981).

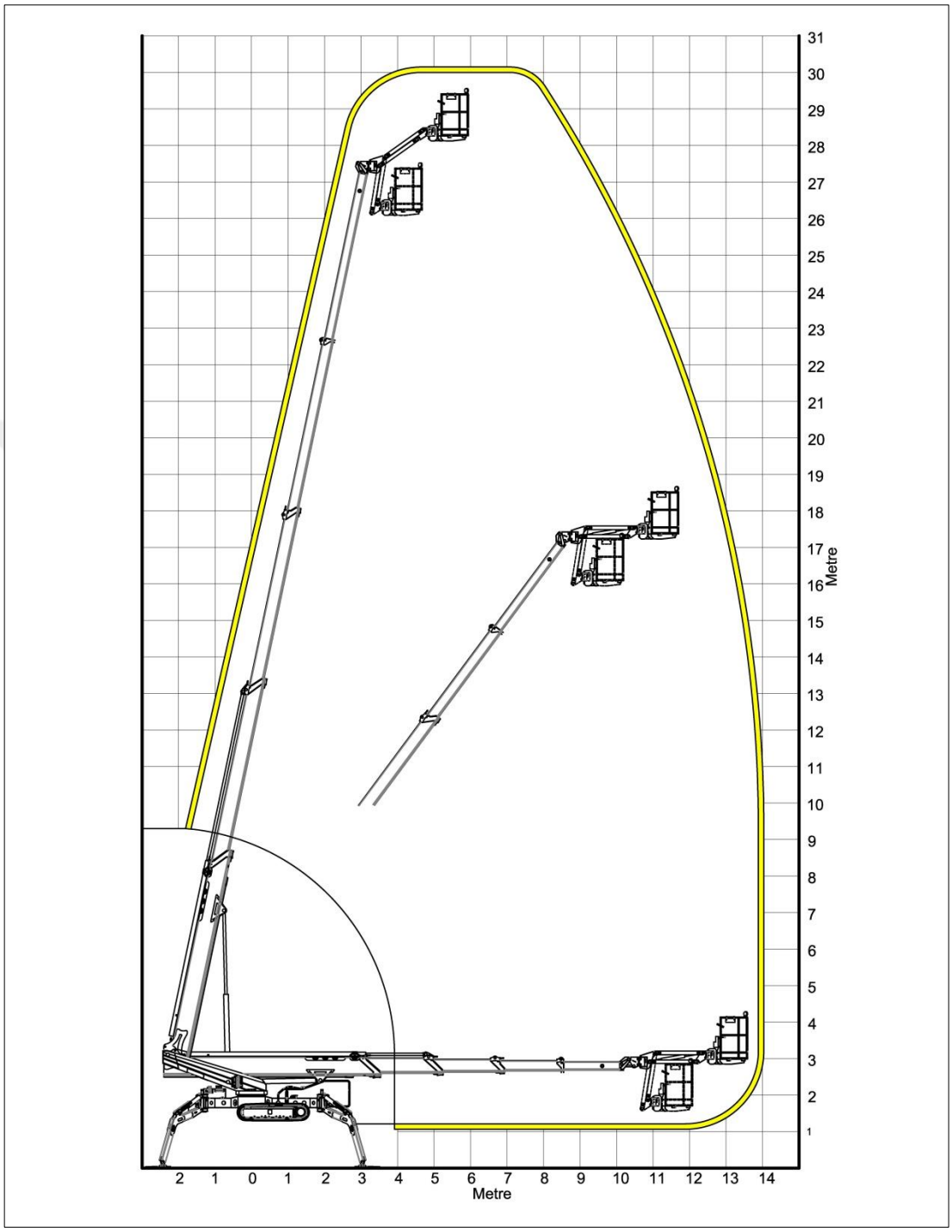
3.2. Platformun Genel Sınır Şartları ve Özellikleri

Tablo 3.1’de platformun genel özelliklerinin ve tasarım sınır şartları verilmektedir;

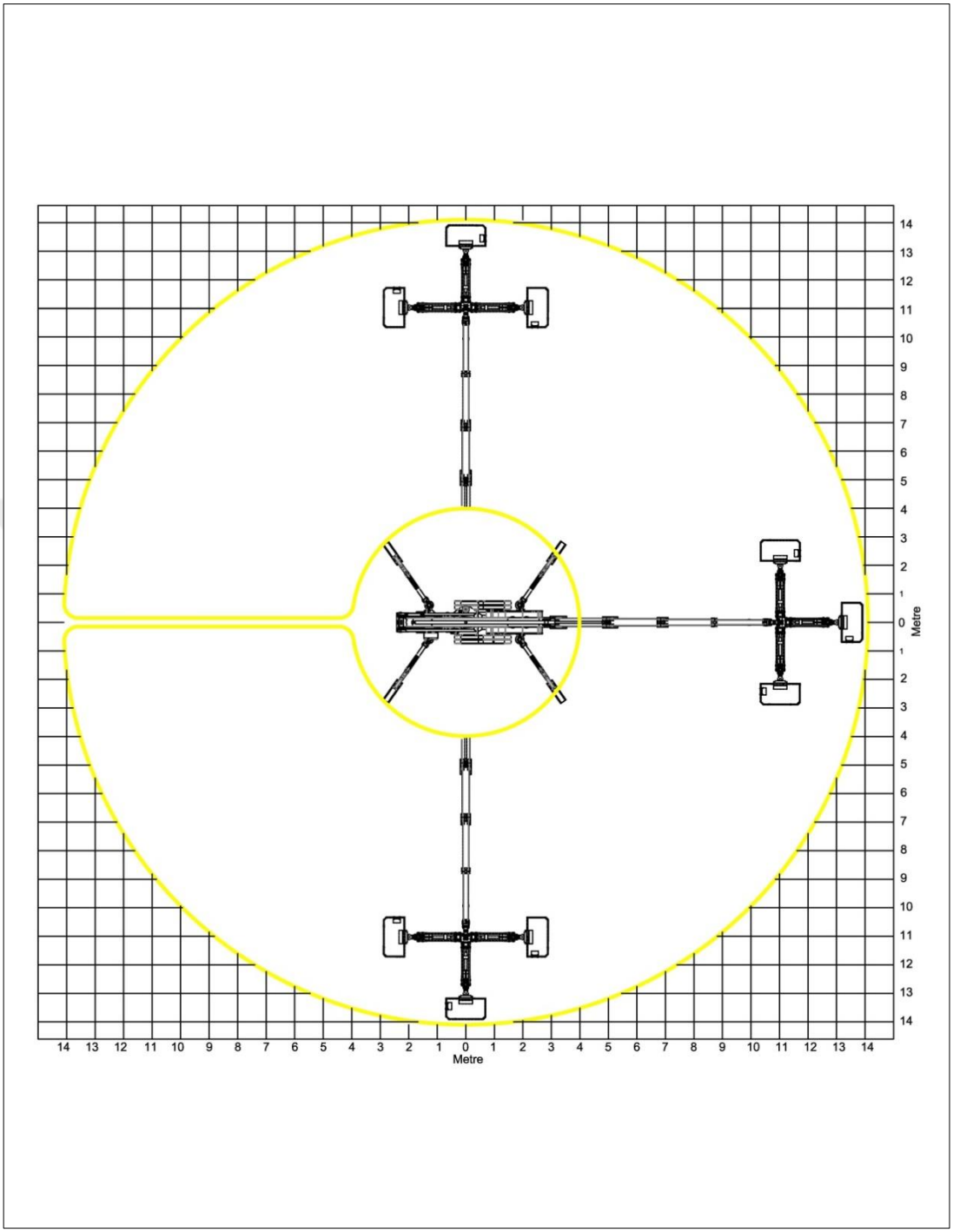
Tablo 3.1 Platformun genel tasarım şartları

Çalışma Yüksekliği	30m
Yanal Erişim Mesafesi	14m
Sepet Kapasitesi	200kg
Toplam Ağırlık	5500kg
Kontrol Sistemi	Elektro-hidrolik
Maksimum Kurulum Eğimi	30°
Yürüyüş Hızı	3km/h
Güç Ünitesi	14.7kw Dizel Motor ve 3kw 220V Elektrik Motoru

3.3. Platformun Çalışma Diyagramı



Şekil 3.4. Çalışma diyagramı ön görünüş



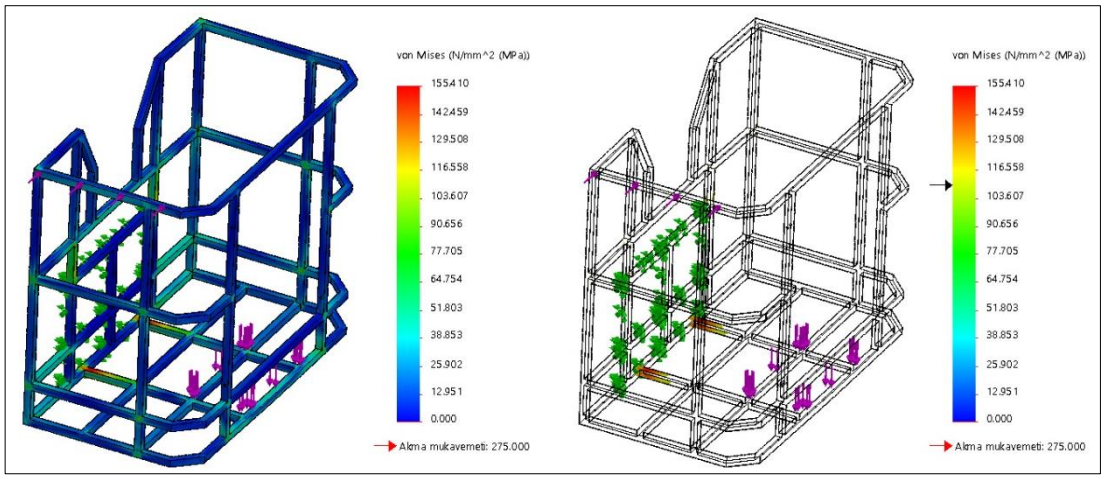
Şekil 3.5. Çalışma diyagramı üst görünüş

4. ANALİZ VE PROTOTİP GELİŞTİRME

Solidworks programında katı tasarımı tamamlanan platforma yapısal, çevresel ve sepet etkileri dikkate alınarak statik yükler altında analizler uygulanacaktır. Prototipin geliştirilmesinden önce bu analizler değerlendirilerek en doğru tasarım ortay konulacaktır.

Havai iş platformlarında, özellikle kendinden yürüyüşlü platformlarda, toplam kütlenin azaltılması ve platform dengesinin en iyi şekilde sağlanması için özellikle sepetten başlayarak lift grubunun olabildiği kadar hafif imal edilmesi oldukça doğru bir yöntemdir. Bu sebeple bu platformun imalatında sepet ve fly bom grubunda alüminyum malzeme, bom grubunda ise toplam bom kütlesini azaltmak amacıyla yüksek kalite sac kullanılacaktır. Alüminyum kullanılan her bir analizde yapı çelik ile kıyaslanacak ve sonuç bölümünde alüminyum kullanımından kaynaklı toplam kütlenin ne kadar azaltıldığı bilgisi görülebilecektir.

4.1. Sepet

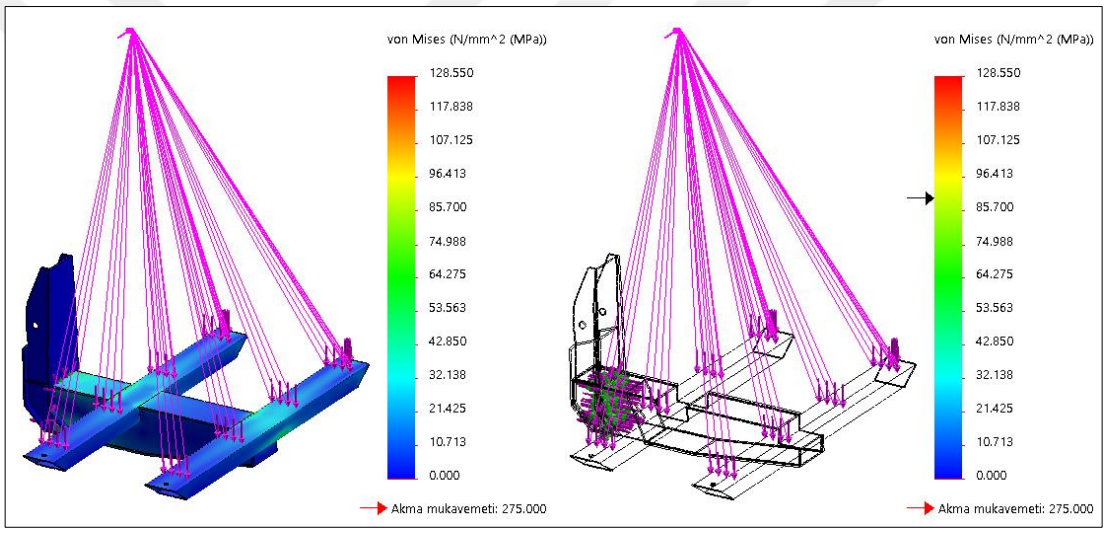


Şekil 4.1. Sepet gerilme analizi

Şekil 4.1'de görülen platform sepeti yüksekte çalışmak isteyen personelin içerisinde bulunduğu yapıdır. TS EN 280 + A1 standardına göre sepet iç yüksekliği en az 1100mm olmalıdır. Sepet kapasitesi 200kg olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında

30mmx30mmx1,5mm kesitinde 6061-T6 serisi özel alüminyum kullanılacak şekilde sepet tasarımı yapılmıştır. Yaklaşık olarak 2000N sepet yükü, 400N yanal yükleme durumları dikkate alınarak yapılan Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) neticesinde maksimum gerilmenin yaklaşık olarak 155MPa olduğu görülmektedir. Bu sonuç kullanılan malzeme özellikleri dikkate alınarak (Akma Değeri 275MPa) sepet konstrüksiyonunun 1,8 kat emniyetli olduğunu göstermiştir. Platform sepetinin toplam kütlesi 13kg dır. Platform sepet kısmı 30x30x1,5mm çelik kutu profil malzeme kullanılarak imal edilseydi yaklaşık olarak 39kg değerinde olacaktı.

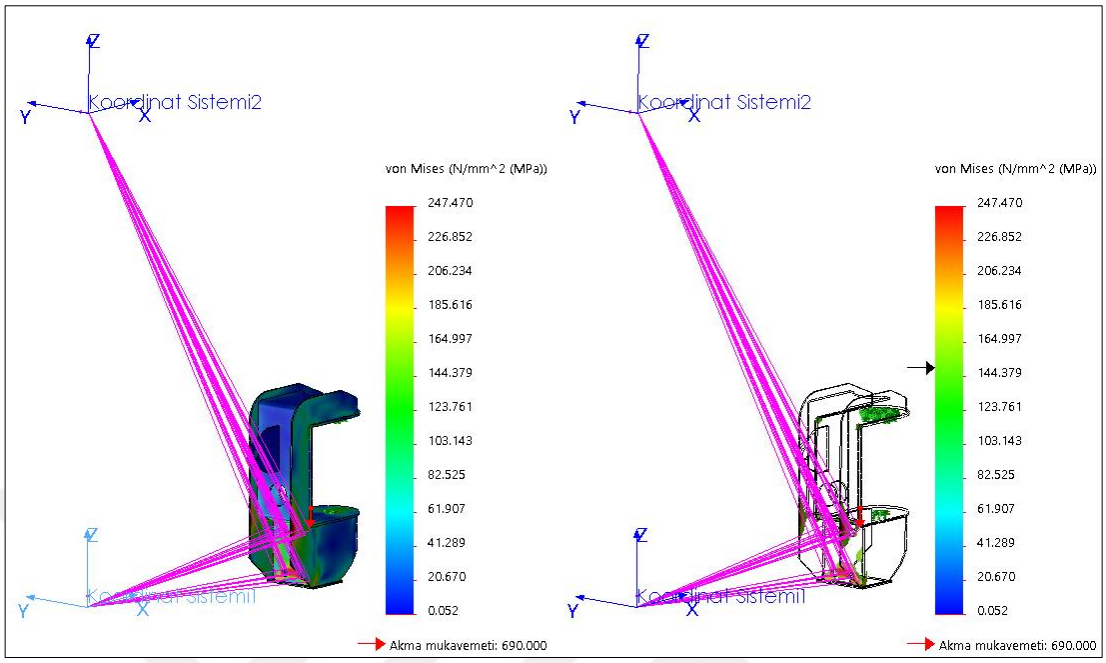
4.2. Sepet Şasisi



Şekil 4.2. Sepet şasisi gerilme analizi

Bu konstrüksiyon, sepetin ve özel bir yük tartım cihazının (Loadcell) bağlandığı kısımdır. Platformun sepet ve fly bom grubunun hafif olmasının ciddi önem arz etmesi sebebiyle bu yapıda 6061-T6 serisi alüminyum malzemeden tasarlanmıştır. Yapılan tasarımda ağırlıklı olarak 5mm et kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Konstrüksiyon ağırlığı yaklaşık olarak 13kg'dır. Sepet şasisinin 3600N üst yüzeyden yer çekimi doğrultusunda kuvvete ve 400N yanal kuvvete maruz kalmış ve bu kuvvetler doğrultusunda yapılan gerilme analizinde maksimum olarak 129MPa gerilmeye maruz kalmış ve 2,1 kat emniyetli olduğu görülmüştür. Sepet şasisinin Alüminyum malzeme kullanıldığı durumda toplam kütlesi 10kg olarak görülmekte, aynı emniyet katsayıları dahilinde çelik malzeme kullanılması durumunda toplam kütlesi yaklaşık olarak 25kg olacaktı.

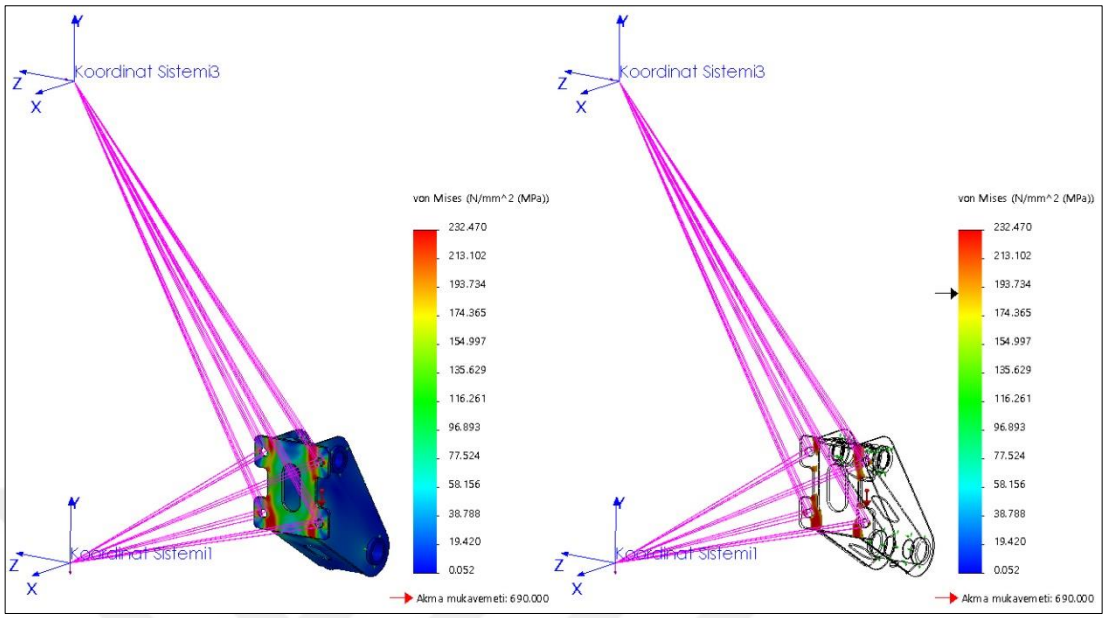
4.3. Loadcell Şasisi



Şekil 4.3. Loadcell şasisi gerilme analizi

Loadcell yük tartım cihazının bağlandığı, aynı zamanda sepet dönüş rotary ekipmanının bağlandığı yapıdır. Yapılmış olan tasarımda akma mukavemeti 690MPa olan Strenx700 isimli özel alaşımlı çelik sac kullanılmıştır. Bu tasarımda ağırlıklı olarak 3mm et kalınlığında sac kullanılarak hafif bir yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.3'de görülen Loadcell Şasisi 3650N dik kuvvete ve 400N yanal kuvvete maruz kalmakta, yapılan SEA neticesinde maksimum gerilmenin yaklaşık olarak 248MPa olduğu ve bu gerilme neticesinde sistemin 2,8 kat emniyetli olduğu görülmüştür.

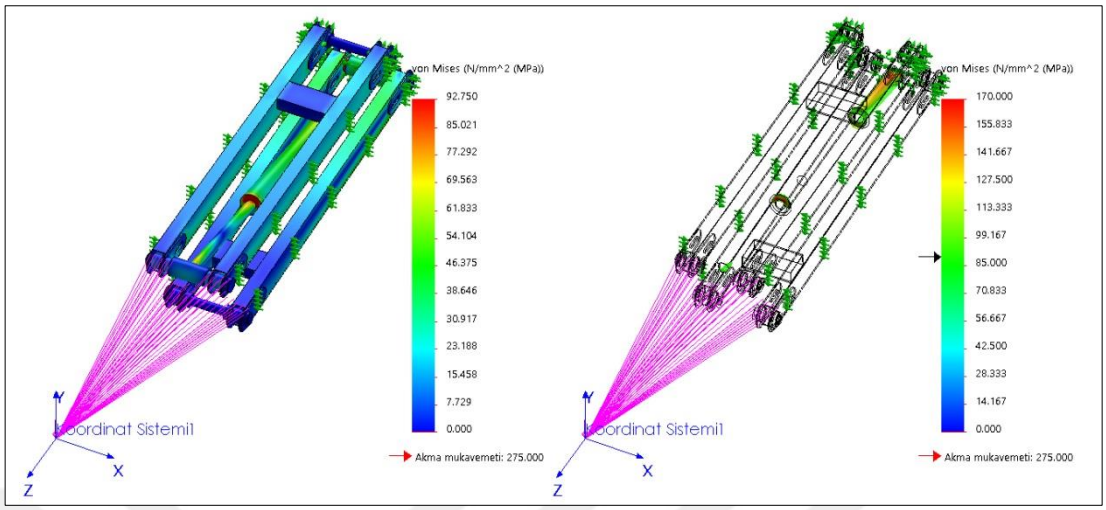
4.4. Sepet Dönüş Rotary Şasisi



Şekil 4.4. Sepet dönüş rotary şasisi gerilme analizi

Sepet konstrüksiyonu çalışma mahalindeki farklı koşullar göz önünde bulundurularak sağa ve sola 90° dönüş yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu hareket, basınçlı hidrolik yağ ve içerisinde helisel dişli kanallar vasıtası ile çalışan özel bir ekipman ile sağlanmıştır. Rotary'nin bağlanacağı yapı akma mukavemeti 690MPa olan özel alaşımlı strenx700 malzemeden tasarlamış, ağırlıklı olarak 4mm sac malzeme ve Rotary'nin bağlandığı yüzeyde ise 8mm sac malzeme kullanılmıştır. Tasarlanan bu yapı 3800N dik kuvvete ve 400N yanal kuvvete maruz kalmış, bu kuvvetler doğrultusunda yapılan SEA neticesinde maksimum gerilmenin yaklaşık olarak 230MPa olduğu görülmüş ve yapının 3 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

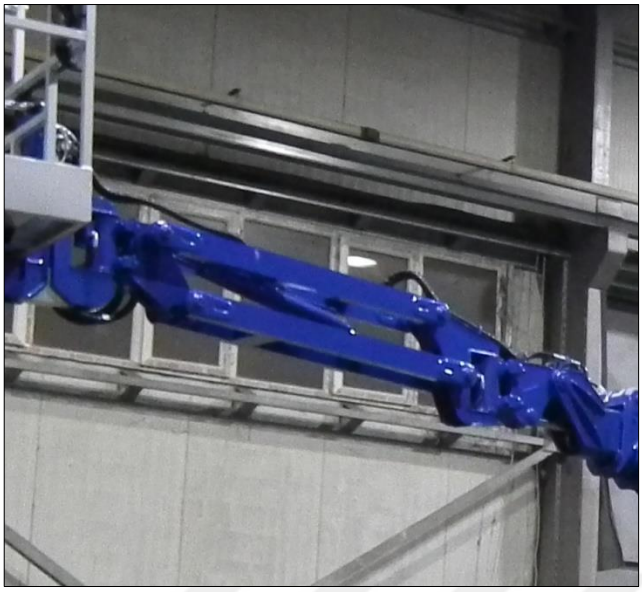
4.5. Fly Bom Grubu



Şekil 4.5. Fly bom grubu gerilme analizi

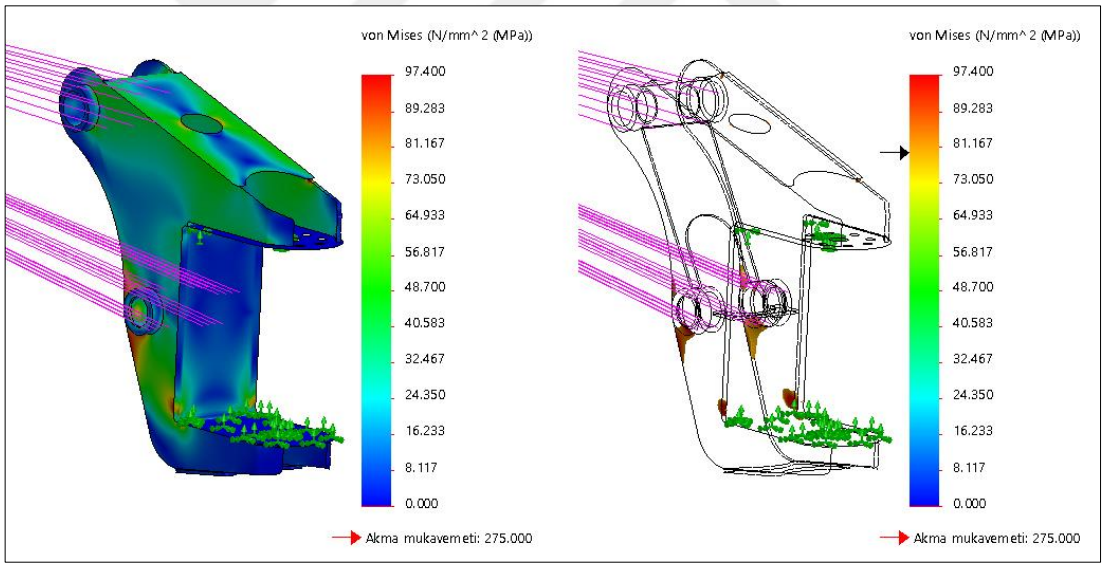
Şekil 4.5'de görülen Fly bom grubu 4 adet 50mmx100mmx3mm özel alaşımlı 6061-T6 serisi alüminyum malzemeden kutu profil olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapı 4 kol mekanizması mantığı ile çalışmaktadır. Tahrik sistemi olarak çift etkili hidrolik silindir kullanılmış ve yapılan hesaplamalarda hidrolik silindirin boru çapları; iç çap 70mm, dış çap 85mm, mil çapı 40mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Bağlantı noktalarında 35mm çapında C1040 yataklama pimleri kullanılmış ve Alüminyum yataklarla temasını önlemek amaçlı Alüminyum yatak ile pim arasında Bronz yatak malzemesi geçirilmiştir.

Şekil 4.6'da prototip görüntüsü görülen yapı çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda 4000N kuvvete maruz kalmış, yapılan SEA neticesinde maksimum 92MPa gerilme olduğu saptanmış ve sistemin yaklaşık olarak 3 kat emniyetli olduğu görülmüştür. Fly bom profilleri 50mmx100mmx3mm Alüminyum profil kullanılarak imal edilmiştir ve kütlesi yaklaşık olarak 17kg dır. Bu profiller 50mmx100mmx2mm çelik malzeme kullanılarak imal edilseydi toplam kütlesi yataklama elemanları ile birlikte yaklaşık olarak 45kg olacaktı.



Şekil 4.6. Fly bom grubu prototip görüntüsü

4.6. Fly Dönüş Rotary Şasisi



Şekil 4.7. Fly dönüş rotary şasisi gerilme analizi

Platformda çalışan personele ekstra hareket olanağı sağlayabilmek, ulaşılması zor yerlere rahat ulaşım sağlamak amacıyla platformda Fly bom grubuna da Rotary sayesinde sağa ve sola 90° hareket olanağı sağlanmıştır. Bu hareket şekli Şekil 4.8'de görülmektedir.

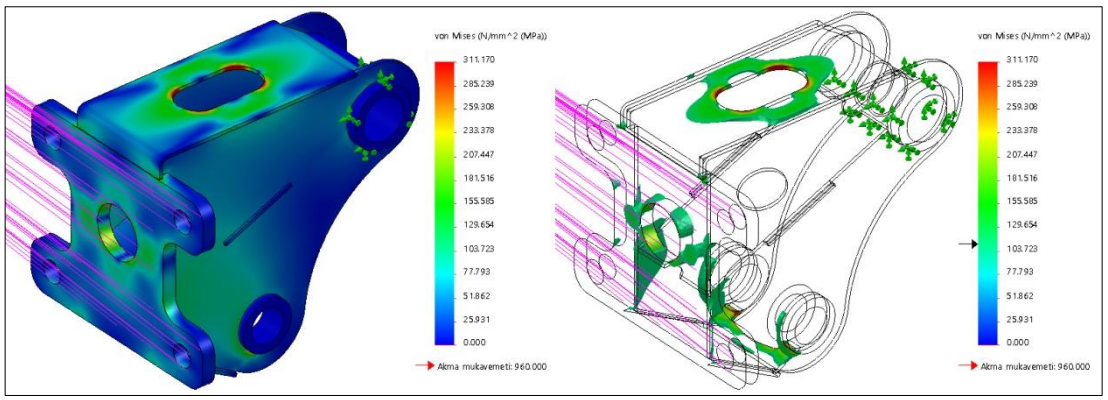
Şekil 4.7'de fly bom grubunun ve daha önce bahsedilen 4 kol mekanizmasının bir parçası olan Fly dönüş rotary şasisi tasarımı özel alaşımlı 6061-T6 alüminyum

malzemeden yapılmıştır. Çalışma şekli gereği toplamda 4400N kuvvete maruz kalmaktadır. Tasarımda ağırlıklı olarak 5mm et kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Yapılan SEA neticesinde maksimum 97MPa gerilmeye maruz kalmış ve sonuç olarak 2,8 kat emniyetli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Fly bom 90° dönüş görüntüsü

4.7. Sepet Denge Silindiri Bağlantısı



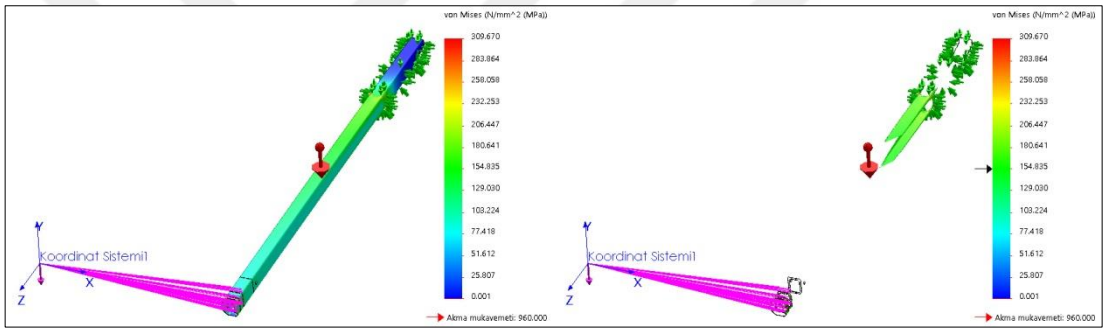
Şekil 4.9. Sepet denge bağlantısı gerilme analizi

Bu konstrüksiyon üzerinde iki adet yataklama noktası bulunmaktadır. Bunlardan biri 5.bom ucuna diğeri ise sepetin her durumda platform şasisine dik olmasını sağlayan sepet denge silindirinin bağlandığı yataktır. Fly bom grubunun tam dönüş yaptığı

durumlarda ciddi şekilde burulma momentine maruz kalmaktadır. Burulma etkilerinin azaltılması amacıyla konstrüksiyonun iç kısmına güçlendirme amaçlı ek sac malzeme montajlanmıştır.

Çalışma şekli gereği toplamda 4950N kuvvete maruz kalmaktadır. Sistemin burulma momentine maruz kalması ve elde edilecek olan yapının hafif olarak tasarlanmak istenmesi sebebiyle özel alaşım strenx960 malzeme kullanılmıştır. Bu sacın akma değeri 960MPa'dır. Bu doğrultuda yapılan SEA neticesinde sistemde maksimum 310 MPa gerilme olduğu saptanmş ve bu neticede yaklaşık olarak 3 kat emniyetli olduğu görülmüştür.

4.8. Bom 5



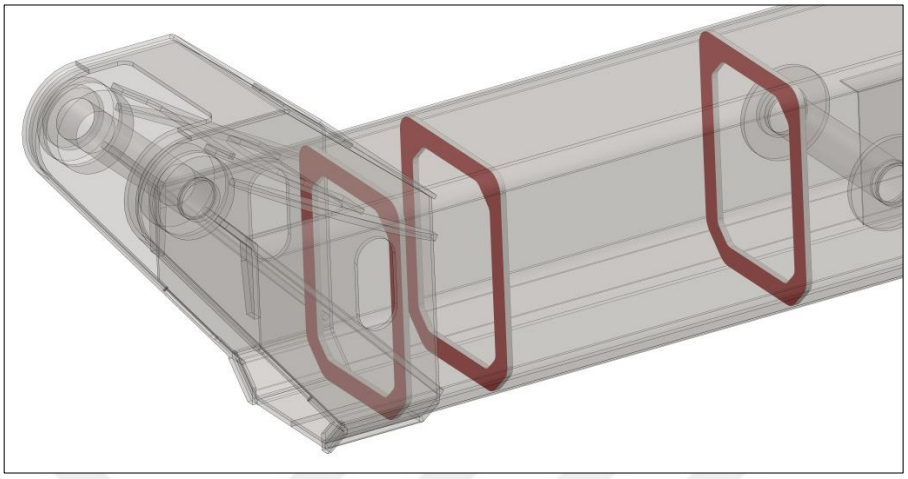
Şekil 4.10. Bom 5 gerilme analizi

Havai platformlarda asıl uzatma ve yükseltme işini yapan taşıyıcı grup bom grubudur. Bom grubu kesitlerinin emniyet katsayıları içerisinde kalınarak en hafif şekilde tasarlanması hem sistemin dengesi hem de makinenin toplam ağırlığı açısından ciddi önem taşımaktadır. Bu sebeple bom grubunda özel alaşımlı çelik sac malzemeler kullanılmıştır.

5.Bom teleskobik sistemin en ucunda bulunan ve bu sebeple fly bom grubunun tam dönüş yaptığı pozisyonda ciddi bir burulma momentine maruz kalan bomdur. Bu sebeple bomun uç kısmında kafes yapısı oluşturularak burulma etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır, bu yapı şekil 4.11'de görülmektedir.

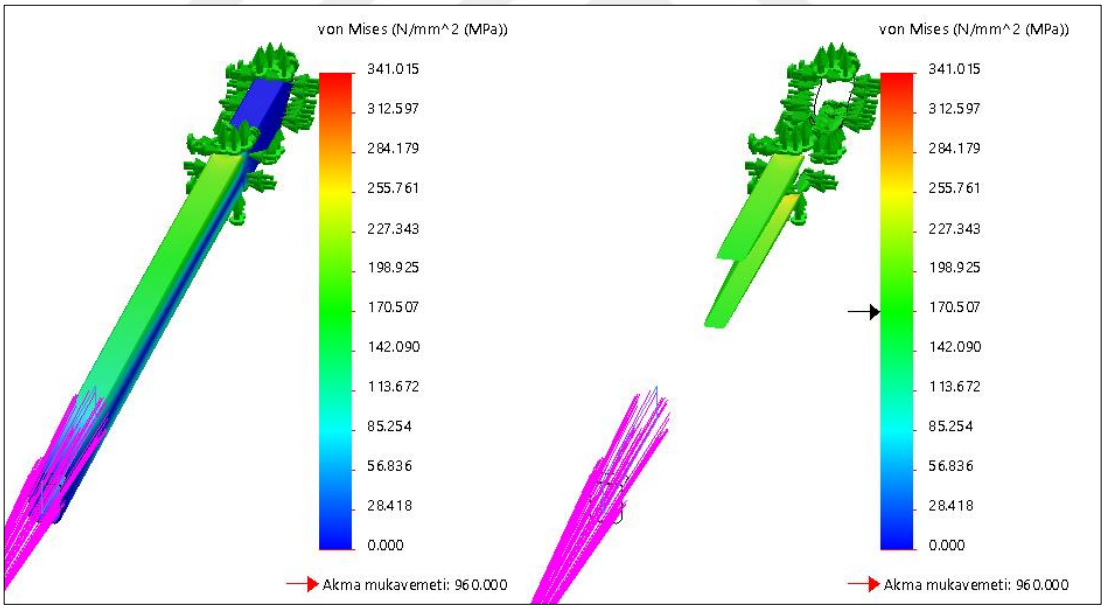
Bomun maruz kaldığı toplam kuvvet 5000N dur. Bu kuvvetler göz önünde bulundurulduğunda yüksek akma mukavemetine sahip strenx960 malzeme 3mm et kalınlığında olacak şekilde kullanılmıştır. Yapılan tasarım ve SEA analizleri

neticesinde bomdaki maksimum gerilme 310MPa olarak bulunmuştur. Bomun yaklaşık olarak 3,1 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.11. Bom 5 kafes yapısı

4.9. Bom 4



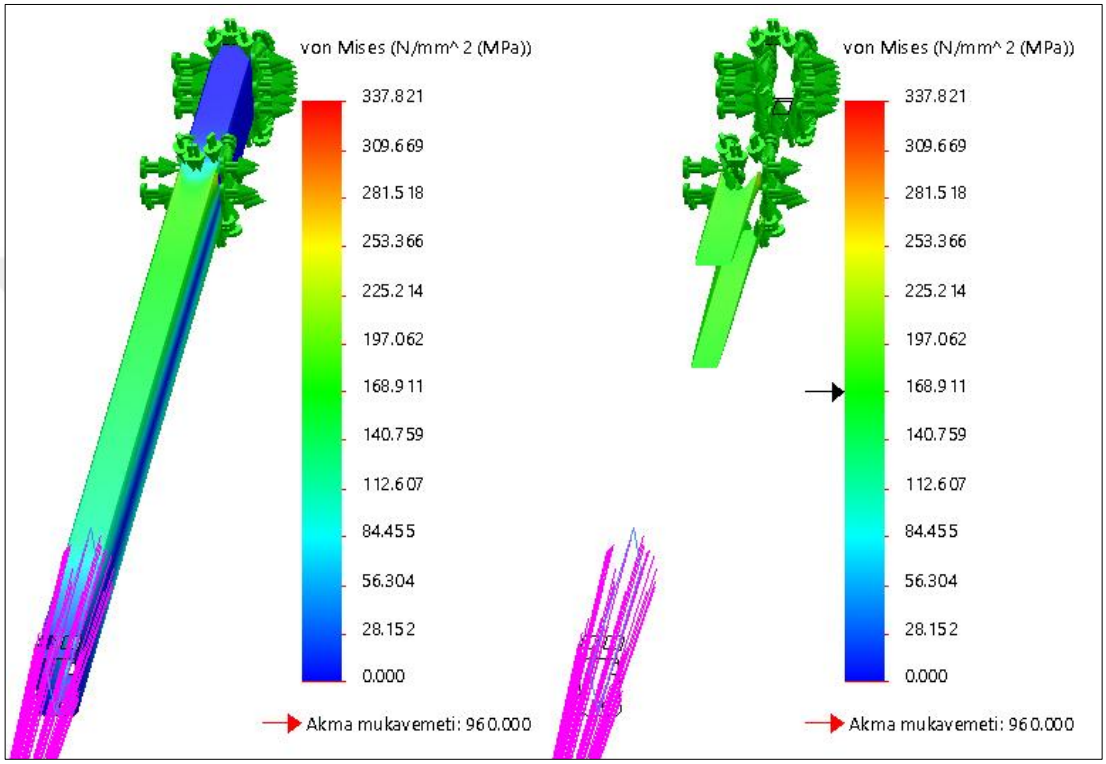
Şekil 4.12. Bom 4 gerilme analizi

5.Bomun ilk 1,5m lik kısmında burulma etkileri kaybolduğundan 4.Bom ve daha sonraki yapı üzerinde burulma momenti etkileri göz ardı edilmiştir.

4.Bom çalışma şekli gereği toplamda 6800N eğilme kuvvetine maruz kalmış ve yapılan SEA neticesinde maksimum 340MPa gerilme olduğu görülmüştür. Bom

malzemesi olarak strenx960 3mm sac kullanılmış ve bu çalışma neticesinde yaklaşık 2,8 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

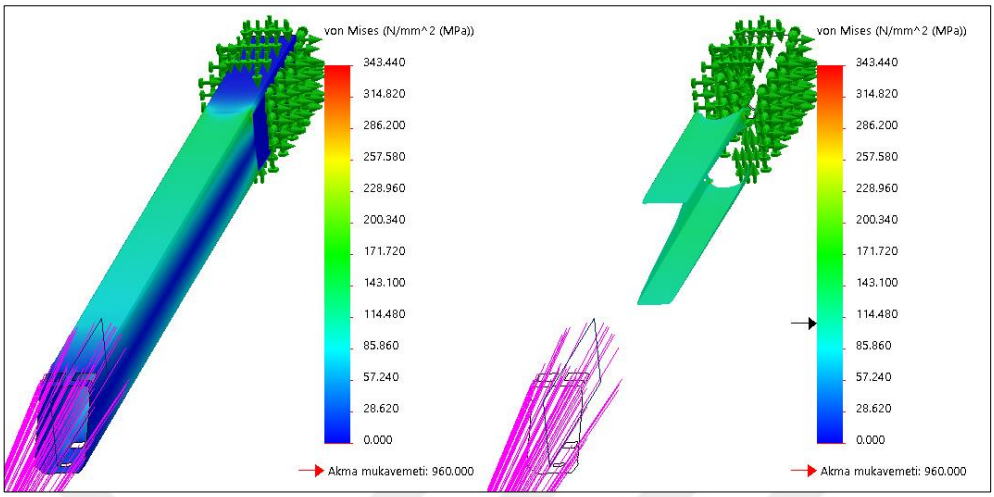
4.10. Bom 3



Şekil 4.13. Bom 3 gerilme analizi

3.Bom çalışma şekli gereği toplamda 8100N eğilme kuvvetine maruz kalmış ve yapılan SEA neticesinde maksimum 337MPa gerilme olduğu görülmüştür. Bom malzemesi olarak strenx960 3mm sac kullanılmış ve bu çalışma neticesinde yaklaşık 2,8 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

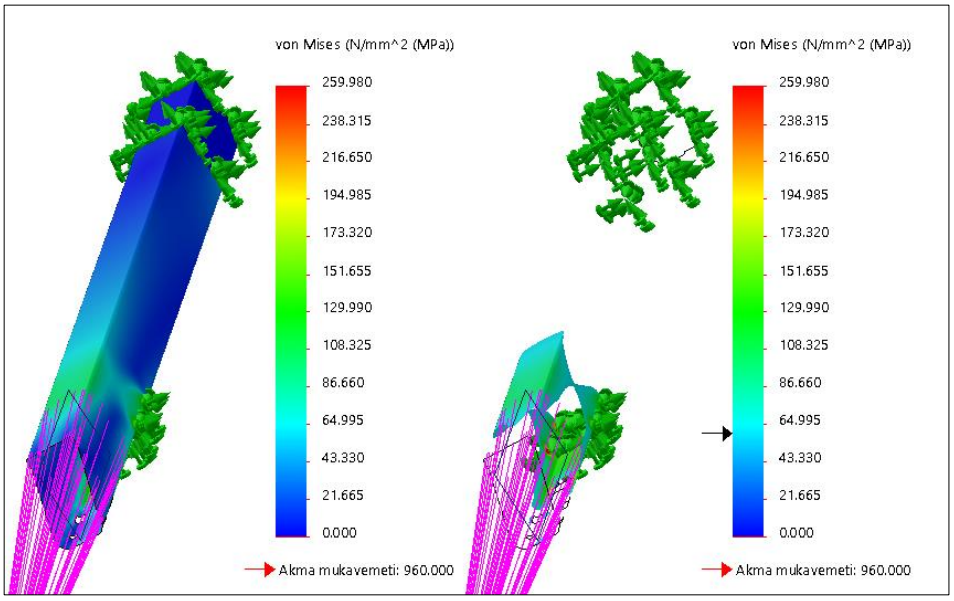
4.11. Bom 2



Şekil 4.14. Bom 2 gerilme analizi

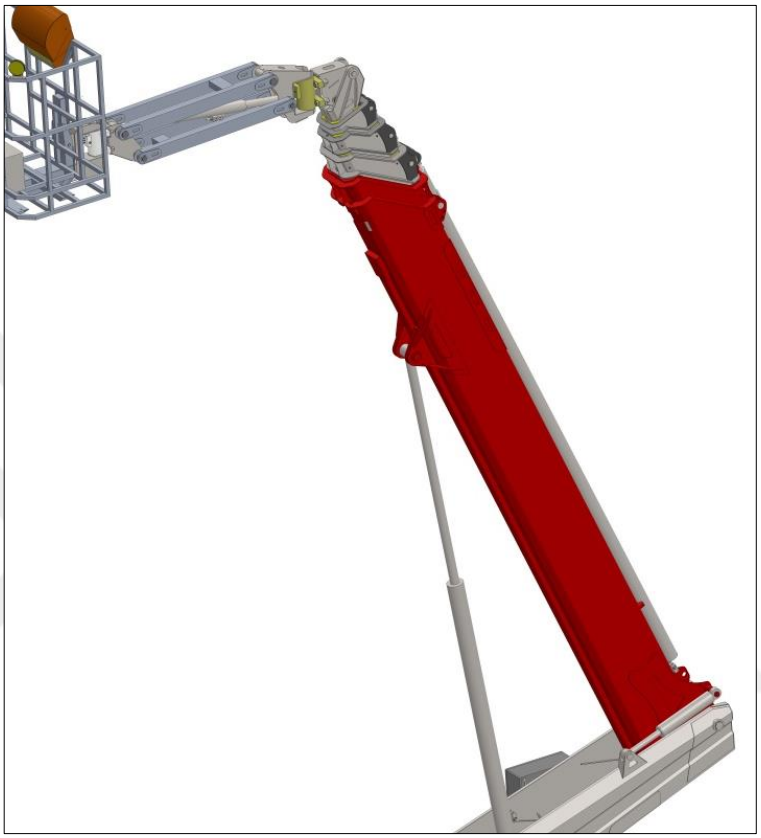
2.Bom bom grubu genel yapısı itibariyle en çok kuvvete maruz kalan bomdur. Bom toplamda 10000N eğilme kuvvetine maruz kalmış ve yapılan SEA neticesinde maksimum 343MPa gerilme olduğu görülmüştür. Bom malzemesi olarak strenx960 4mm sac kullanılmış ve bu çalışma neticesinde yaklaşık 2,8 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

4.12. Bom 1



Şekil 4.15. Bom 1 gerilme analizi

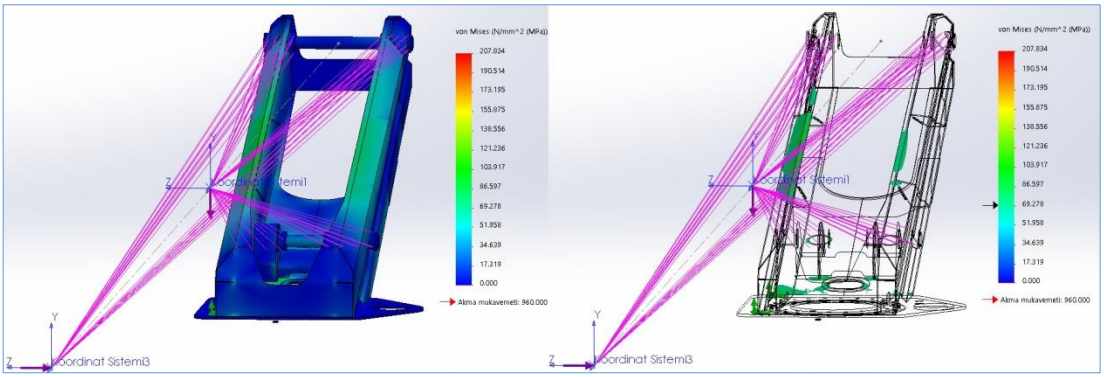
Şekil 30’da gerilme analiz sonuçları görülen 1. Boma Ana Bom da denmektedir. Teleskobik olarak iç içe geçmiş bütün bomların en büyük kesitli olanıdır. Üzerinde 2 adet yataklama mevcuttur; biri 1.Bom-Kule yataklaması, diğeri ise 1.Bom-kaldırma silindiri yataklamasıdır. 1. Bom’un katı çizim görseli Şekil 4.16’da görülmektedir.



Şekil 4.16. Bom 1 katı çizim görseli

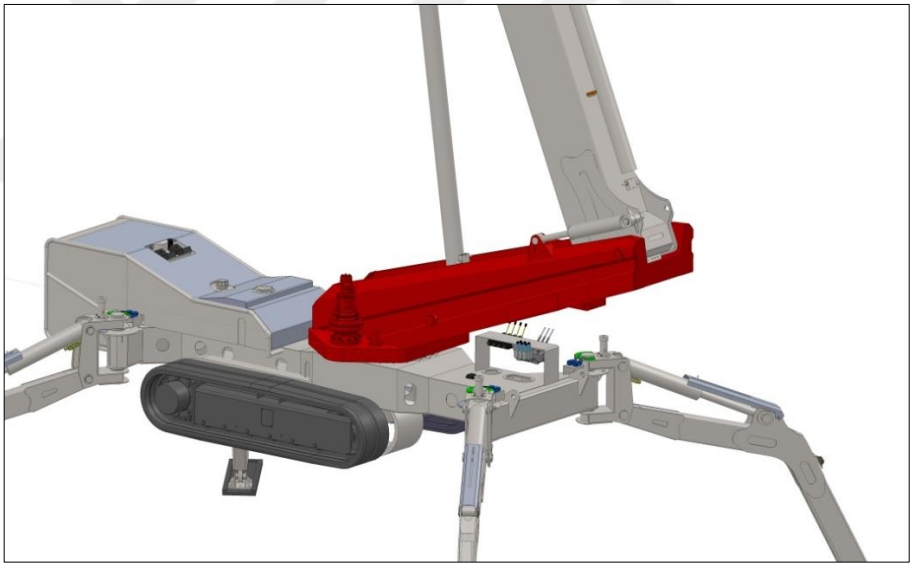
Bomda kaldırma silindiri yataklamasının bom ucuna doğru olması sebebiyle ciddi bir gerilme oluşmamaktadır. Bütün bomları taşımasına rağmen 3mm strenx960 sac kullanılması yeterli olmuştur. Toplamda 15000N eğme kuvvetine maruz kalan bomda maksimum 260MPa gerilme olduğu görülmüş ve yaklaşık olarak 3,7 kat emniyetli olduğu saptanmıştır.

4.13. Kule



Şekil 4.17. Kule gerilme analizi

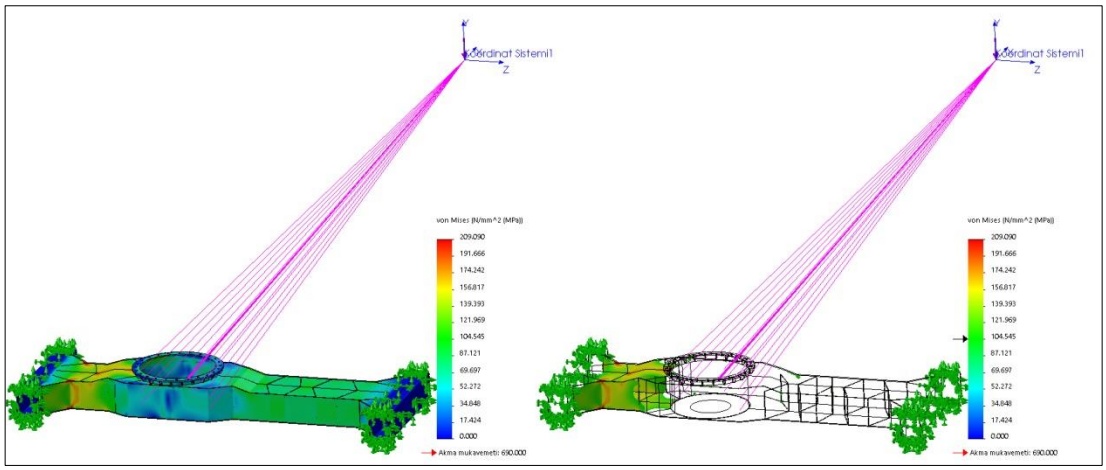
Üst lift grubunun komple yataklandığı kule her iki yan duvarın kutu konstrüksiyon oluşturularak ve şekil 4.18'de görüldüğü gibi özel büküm kenarları oluşturularak en doğru tasarım yapılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.18. Kule katı çizim görseli

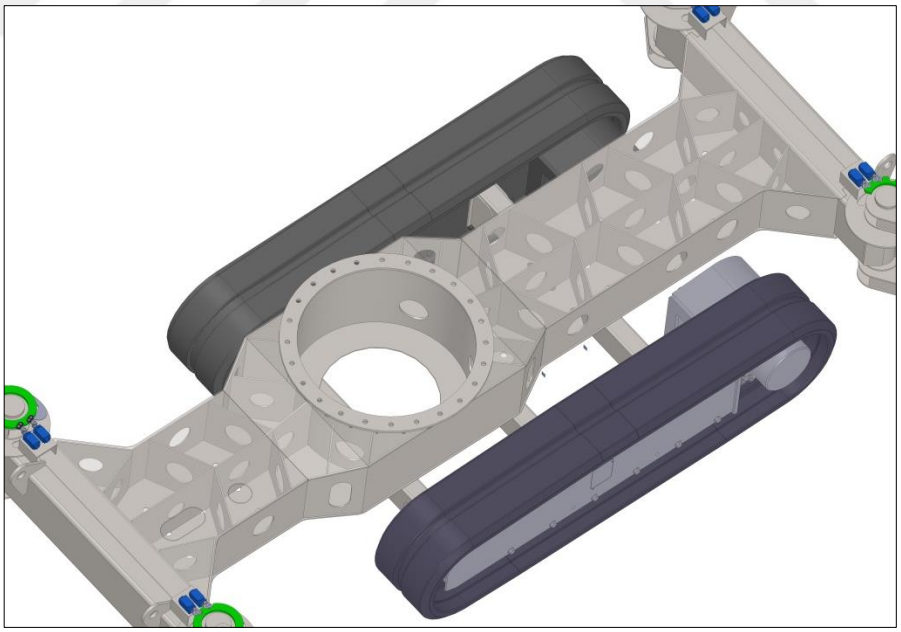
Yapılan SEA neticesinde strenx960 malzeme kullanılmış ve iç kabuk 5mm, dış kabuk 4mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde maksimum 210 MPa gerilme bulunmuş ve bu doğruluda kulenin 4,5 kat emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

4.14. Platform Şasisi



Şekil 4.19. Şasi gerilme analizi

4 adet denge ayağının, kauçuk yürüyüş paletlerinin ve kule grubunun bağlandığı şasi, platformun yanal çalışmalarında çok ciddi burulma kuvvetlerine maruz kalması sebebiyle Şekil 4.20'de gösterildiği şekilde çok sayıda odacık yapılarak ve kutu konstrüksiyon bir ağ yapısı hedeflenerek tasarlanmıştır.



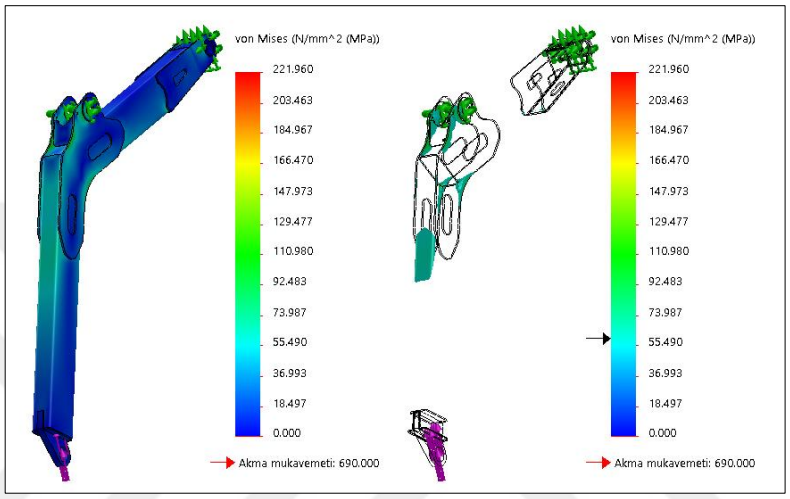
Şekil 4.20. Şasi katı çizim görünümü

Şaside maruz kalınan kuvvetler dikkate alınarak ve Şekil 4.19'da gösterilen SEA gerilme değerleri sonucunda 690MPa akma değeri bulunan özel alaşımlı strenx700

malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme ağırlıklı olarak 4mm sac, önde ve arkadaki traverslerde ise 6mm olarak kullanılmıştır.

Yapılan tasarım ve hesaplamalar neticesinde maksimum 210MPa gerilme bulunmuş ve şasinin 3,2 kat emniyetli olduğu saptanmıştır.

4.15. Destek Ayağı



Şekil 4.21. Destek ayağı gerilme analizi

Şasi üzerine 4 adet olarak bağlanan destek ayakları platformun yürüyüşü sırasında üzerinde bulunan hidrolik silindirler vasıtası ile yukarı kaldırılarak herhangi bir yere teması önlenir. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi örümcek tipi ayak da denilen bu ayak sisteminin en büyük özelliği farklı yüksekliklerdeki zeminlerde platformu dengeye alabiliyor olmasıdır. Destek ayakları şasi üzerinde bulunan mafsallardan çalışma durumuna göre tam açık veya yarım açık olarak konumlandırılarak personele faklı çalışma opsiyonları sunmaktadır. Platformun şasi dengesi 2 eksenli açı sensörleri ile kontrol edilmekte ve tek bir tuşa basılarak istenilen zeminde otomatik olarak dengeleme işlemi gerçekleştirebilmektedir. Destek ayakları istenildiği zaman yürüyüş paletlerini yerden 1300mm yerden yükseltebilmekte, bu durum platformun yaklaşık 30° eğimli zeminlerde dengeleme yapabilmesini sağlamaktadır.



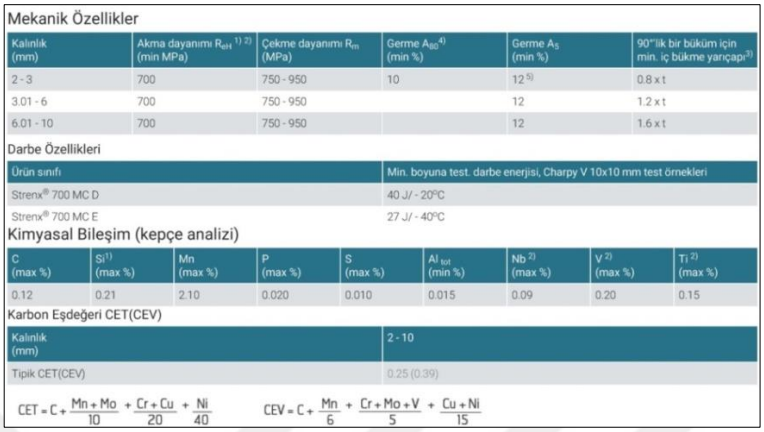
Şekil 4.22. Platform örümcek ayaklar üzerinde

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi platform destek ayakları SEA yöntemi uygulanmış ve bu doğrultuda strenx700 malzeme kullanılarak ayak profili et kalınlıkları 6mm olarak belirlenmiştir. Bu neticede yapılan tasarım doğrultusunda maksimum gerilme 222 MPa olarak bulunmuştur. Destek ayakları hesaplaması toplam makine ağırlığının 2 adet ayak üzerinde kalacağı düşünülerek yani bir ayak üzerine toplamda 25000N kuvvet geleceği düşünülerek tasarlanmıştır. Bu tasarım neticesinde destek ayaklarının yaklaşık 3,1 kat emniyetli olduğu görülmüştür.

Platformun 14metre tam yanal konumda devrilme açısından en kritik pozisyonda olduğunu bilmekteyiz. Üretimi yapılan platformda toplam kütlenin azaltılması için sepet, sepet şasisi, fly bom grubu ve fly dönüş rotary şasisi Alüminyum malzeme kullanılmış ve bu doğrultuda sadece sepet grubunda yaklaşık 85 kg hafiflik elde edilmiştir. Denge şartlarının sabit olacağını düşünerek yapılan basit moment hesapları neticesinde Çelik malzeme yerine Alüminyum malzeme kullanılması sonucu toplam makine kütlesinde yaklaşık 595kg hafiflik elde edilmiştir.

4.16. Platform İmalatında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

4.16.1 Strenx700



Mekanik Özellikler

Kalınlık (mm)	Akma dayanımı R_{eH} [1) 2)] (min MPa)	Çekme dayanımı R_m (MPa)	Germe A_{80} [4)] (min %)	Germe A_5 (min %)	90°'lik bir büküm için min. iç bükme yarıçapı [3)]
2 - 3	700	750 - 950	10	12 [5)]	0.8 x t
3.01 - 6	700	750 - 950		12	1.2 x t
6.01 - 10	700	750 - 950		12	1.6 x t

Darbe Özellikleri

Ürün sınıfı	Min. boyuna test. darbe enerjisi, Charpy V 10x10 mm test örnekleri
Strenx® 700 MC D	40 J/ - 20°C
Strenx® 700 MC E	27 J/ - 40°C

Kimyasal Bileşim (kepçe analizi)

C (max %)	Si [1)] (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al tot (min %)	Nb [2)] (max %)	V [2)] (max %)	Ti [2)] (max %)
0.12	0.21	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15

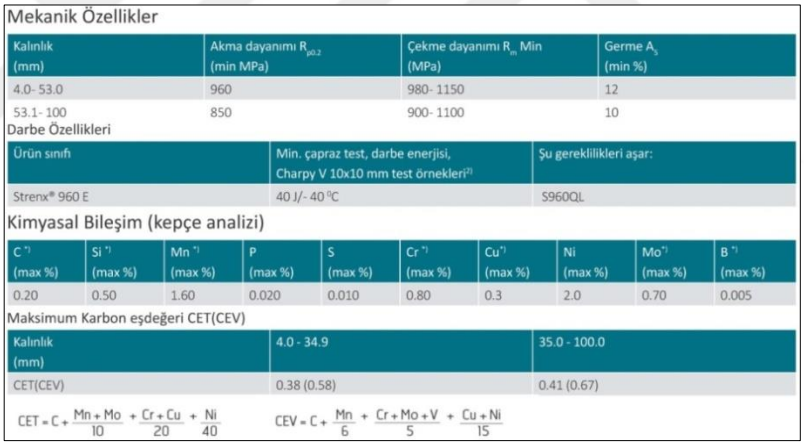
Karbon Eşdeğeri CET(CEV)

Kalınlık (mm)	2 - 10
Tipik CET(CEV)	0.25 (0.39)

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \qquad CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Şekil 4.23. Strenx 700 malzeme özellikleri

4.16.2 Strenx960



Mekanik Özellikler

Kalınlık (mm)	Akma dayanımı $R_{p0.2}$ (min MPa)	Çekme dayanımı R_m Min (MPa)	Germe A_5 (min %)
4.0- 53.0	960	980- 1150	12
53.1- 100	850	900- 1100	10

Darbe Özellikleri

Ürün sınıfı	Min. çapraz test, darbe enerjisi, Charpy V 10x10 mm test örnekleri [2)]	Şu gereklilikleri aşar:
Strenx® 960 E	40 J/- 40 °C	S960QL

Kimyasal Bileşim (kepçe analizi)

C [*)] (max %)	Si [*)] (max %)	Mn [*)] (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr [*)] (max %)	Cu [*)] (max %)	Ni (max %)	Mo [*)] (max %)	B [*)] (max %)
0.20	0.50	1.60	0.020	0.010	0.80	0.3	2.0	0.70	0.005

Maksimum Karbon eşdeğeri CET(CEV)

Kalınlık (mm)	4.0 - 34.9	35.0 - 100.0
CET(CEV)	0.38 (0.58)	0.41 (0.67)

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \qquad CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Şekil 4.24. Strenx 960 malzeme özellikleri

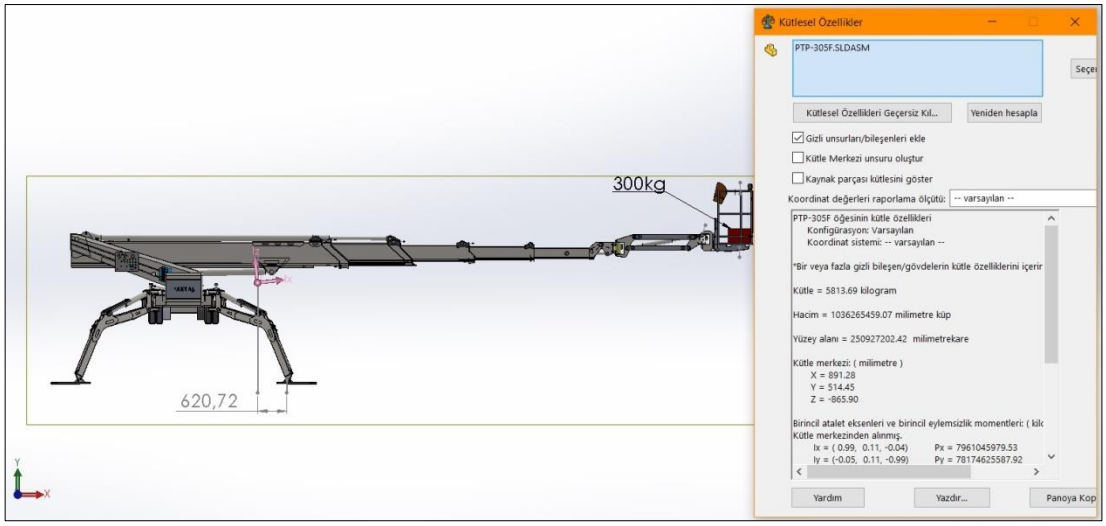
4.16.3 Alüminyum 6061-t6 serisi

6061 Alüminyum Alaşım Mekanik Özellikleri					
Isıl Islem (Temper)	Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	Uzama	Kesme Modülü	Elastisite
	Rm MPa	Rp0,2 MPa	%	MPa	GPa
O	124	55	30	83	68,3
T4,T451	241	145	25	167	68,3
T6,T651	310	276	17	207	68,3

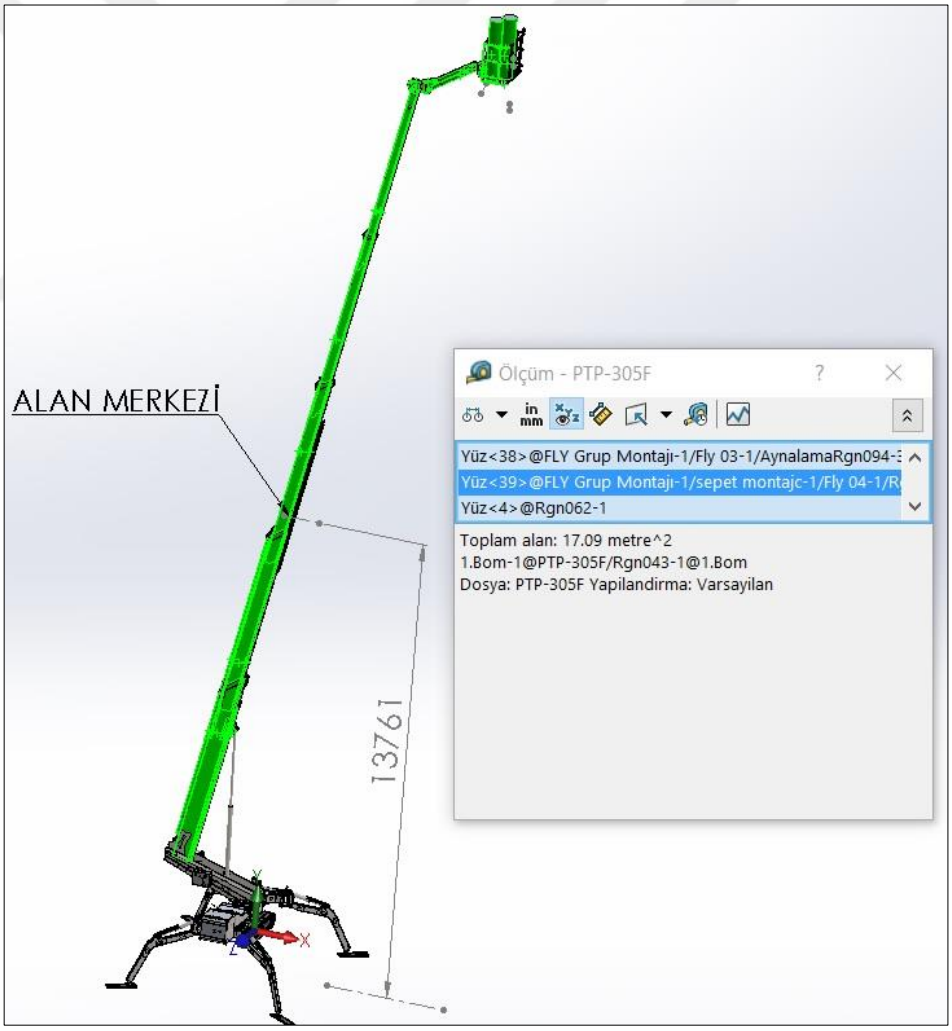
Şekil 4.25. 6061-t6 alüminyum malzeme özellikleri

4.17. Platform Denge Hesabı

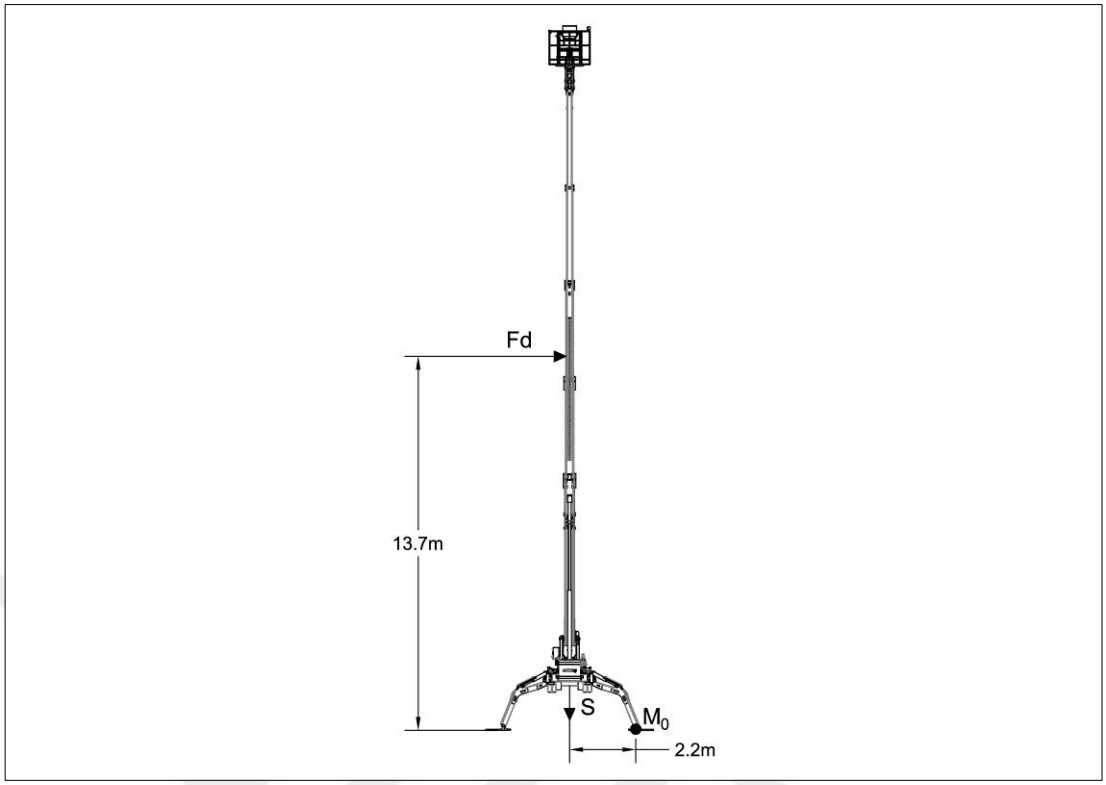
Hidrolik platformlarda platformun ağırlık merkezinin yeri makinenin komple dengesini ifade eder. Platform sepetinin konumunun değişmesi ağırlık merkezinin değişmesine, dolayısıyla denge şartlarının değişmesine sebep olacaktır. Genel olarak platformlarda denge açısından en kritik pozisyon sepetin yanal olarak erişebildiği en uzak mesafededir. Bu sebeple yanal erişim mesafesi platform tasarımı yapılırken belirleyici sınır şartlarından biridir. Platformlar TS EN 280+A1 standardına göre statik beyan yükünün 1,5 katı ile test edilir. Bu sebeple şekil 4.26'da sepet içerisinde 300kg bulunmaktadır, platformun ağırlık merkezinin dönme merkezine olan mesafesi verilmiş ve bu değerin 62cm olduğu görülmektedir. Bu durumda platformun devrilme tehlikesinin olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.26. Platform ağırlık merkezi



Şekil 4.27. Lift grubu yanal alanı



Şekil 4.28. Denge hesabı

TS EN 280+A1 standardına göre YSİP'lerin çalışabileceği maksimum rüzgar hızı 12,5m/s^2'dir. Lift grubunun maruz kaldığı rüzgar yükünün hesaplanması için bu değer kullanılır;

Şekil 4.27'de bomun rüzgar yüküne maruz kaldığı yüzey alanı yaklaşık 17m^2 olarak görülmektedir. Bu durumda rüzgar yükü hesabını uygulayacak olursak;

$$F_d = C_d . A\rho \frac{V^2}{2} \quad (1)$$

Formulü ile bulunur.

Burada:

C_d= Aerodinamik yük katsayısı: 2 olarak alınır

A= Yüke maruz kalan yüzey alanı: 17m^2

ρ= Hava yoğunluğu: 1,25kg/m^2

V= Akışkan hızı: 12m/s

F_d= Toplam rüzgar yükü

S= Yapısal yükler toplamı: 5500kg

Formülde yerine koyulduğunda;

F_d=3320.3N olarak bulunur.

Şekil 37'de rüzgar yükü platformu devirmeye çalıştığında M_0 noktasına göre moment alacak olursak;

Devirme moment: F_d x 13.7m=338kg x 13.7m=4394 kgm'dir

Dengeleyici moment: S x 2.2m=5500kg x 2.2m=12100kgm olduğu görülür.

Dengeleyici momentin rüzgar etkilerinden kaynaklı momentten büyük olması sebebiyle platformun 12.5m/s rüzgar şiddetinde devrilme tehlikesi bulunmamaktadır.

4.18. Ağırlık Değerlerinin İncelenmesi

Sonlu elemanlar analizleri ile nihai tasarımları ve çizimleri oluşturulan 15 faklı alt montajın ağırlık değerleri tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Platform ağırlık değerleri

Montaj	**Kütle(kg)**	**Montaj Adeti**	**Toplam Kütle(kg)**
Sepet	13kg	1	13kg
Sepet Şasisi	10kg	1	10kg
Loadcell Şasisi	9kg	1	9kg
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	8kg	1	8kg
Fly Bom Grubu	17kg	1	17kg
Fly Dönüş Rotary Şasisi	15kg	1	15kg
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	16kg	1	16kg
5. Bom	149kg	1	149kg
4. Bom	165kg	1	165kg
3. Bom	219kg	1	219kg
2. Bom	292kg	1	292kg
1. Bom	382kg	1	382kg
Kule	388kg	1	388kg
Platform Şasisi	815kg	1	815kg
Destek Ayağı	195kg	4	780kg
Diğer Bütün Ekipmanlar	2222kg	1	2222kg
Toplam			5500kg

200kg sepet kapasitesine göre tasarımı yapılan iş platformunun kesit özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. 200kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri

Montaj Kesitleri	**Kesit ölçüsü**	**Et kalınlığı**	**Kullanılan Malzeme**
Sepet (Profil)	(30x30)mm	1,5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Şasisi (Kesit)	(110x144)mm	5mm	Alüminyum 6061-T6
Loadcell Şasisi	(120x143)mm	3mm	Strenx700
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	(110x210)mm	3mm	Strenx700
Fly Bom Grubu	(50x100)mm	3mm	Alüminyum 6061-T6
Fly Dönüş Rotary Şasisi	(120x250)mm	5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	(115x236)mm	5mm	Strenx 960
5. Bom	(180x230)mm	3mm	Strenx 960
4. Bom	(216x286)mm	3mm	Strenx 960
3. Bom	(252x286)mm	3mm	Strenx 960
2. Bom	(290x420)mm	4mm	Strenx 960
1. Bom	(328x513)mm	3mm	Strenx 960
Kule	(480x650)mm	5mm	Strenx 960
Platform Şasisi	(260x490)mm	5mm	Strenx700
Destek Ayağı	(100x180)mm	6mm	Strenx700

Tablo 3.1'de verilen tasarım sınır şartları neticesinde 5500kg lık örümcek ayaklı paletli yürüyüş özellikli bir havai iş platformu tasarımı ve imaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında 200kg olan sepet kapasitesi 100kg, 150kg ve 250kg değerleri baz azılancak şekilde değerlendirilerek analizler tekrar edilecek ve bu doğrultuda platform genel konstrüksiyonundaki değişimler incelenecektir.

SEA'nin 100kg, 150kg ve 250kg sepet kapasiteli platform tasarımlarında da uygulanmıştır. Bu uygulama platform tasarımındaki bütün emniyet katsayıları yani dayanım özellikleri sabit olacak şekilde hesaplanmıştır. Örneğin 180mm x 230mm kesitli, 3mm et kalınlıklı 5.bomun 200kg sepet kapasiteli platform tasarımında emniyet katsayısı 3.1 olarak bulunmuştur. Bu değer sabit tutularak 100kg'lık platform tasarımında 5.bom 170mm x 220mm ve 3mm et kalınlığı ile aynı emniyet katsayısı değeri yakalanmıştır. Bu doğrultuda oluşan yeni kesit ve et kalınlığı değerleri sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4.3. 100kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri

Montaj Kesitleri	**Kesit ölçüsü**	**Et kalınlığı**	**Kullanılan Malzeme**
Sepet (Profil)	(25x25)mm	1,2mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Şasisi (Kesit)	(100x125)mm	3mm	Alüminyum 6061-T6
Loadcell Şasisi	(100x120)mm	3mm	Strenx700
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	(85x180)mm	3mm	Strenx700
Fly Bom Grubu	(40x80)mm	3mm	Alüminyum 6061-T6
Fly Dönüş Rotary Şasisi	(110x230)mm	4mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	(85x200)mm	5mm	Strenx 960
5. Bom	(160x210)mm	3mm	Strenx 960
4. Bom	(196x246)mm	3mm	Strenx 960
3. Bom	(232x256)mm	3mm	Strenx 960
2. Bom	(270x380)mm	4mm	Strenx 960
1. Bom	(298x473)mm	3mm	Strenx 960
Kule	(420x600)mm	5mm	Strenx 960
Platform Şasisi	(240x440)mm	4mm	Strenx700
Destek Ayağı	(80x160)mm	5mm	Strenx700

Tablo 4.4. 150kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri

Montaj Kesitleri	**Kesit ölçüsü**	**Et kalınlığı**	**Kullanılan Malzeme**
Sepet (Profil)	(25x25)mm	1,5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Şasisi (Kesit)	(100x125)mm	4mm	Alüminyum 6061-T6
Loadcell Şasisi	(110x130)mm	3mm	Strenx700
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	(95x190)mm	3mm	Strenx700
Fly Bom Grubu	(40x80)mm	4mm	Alüminyum 6061-T6
Fly Dönüş Rotary Şasisi	(110x230)mm	5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	(95x210)mm	5mm	Strenx 960
5. Bom	(170x220)mm	3mm	Strenx 960
4. Bom	(206x266)mm	3mm	Strenx 960
3. Bom	(242x266)mm	3mm	Strenx 960
2. Bom	(280x400)mm	4mm	Strenx 960
1. Bom	(318x493)mm	3mm	Strenx 960
Kule	(450x620)mm	5mm	Strenx 960
Platform Şasisi	(240x440)mm	5mm	Strenx700
Destek Ayağı	(80x160)mm	6mm	Strenx700

Tablo 4.5. 250kg sepet kapasiteli platform kesit özellikleri

Montaj Kesitleri	**Kesit ölçüsü**	**Et kalınlığı**	**Kullanılan Malzeme**
Sepet (Profil)	(35x35)mm	1,5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Şasisi (Kesit)	(130x164)mm	5mm	Alüminyum 6061-T6
Loadcell Şasisi	(130x163)mm	3mm	Strenx700
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	(120x230)mm	3mm	Strenx700
Fly Bom Grubu	(60x120)mm	3mm	Alüminyum 6061-T6
Fly Dönüş Rotary Şasisi	(130x260)mm	5mm	Alüminyum 6061-T6
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	(135x256)mm	5mm	Strenx 960
5. Bom	(200x250)mm	3mm	Strenx 960
4. Bom	(236x286)mm	3mm	Strenx 960
3. Bom	(272x326)mm	3mm	Strenx 960
2. Bom	(310x430)mm	4mm	Strenx 960
1. Bom	(348x533)mm	3mm	Strenx 960
Kule	(480x650)mm	6mm	Strenx 960
Platform Şasisi	(260x490)mm	6mm	Strenx700
Destek Ayağı	(100x180)mm	8mm	Strenx700

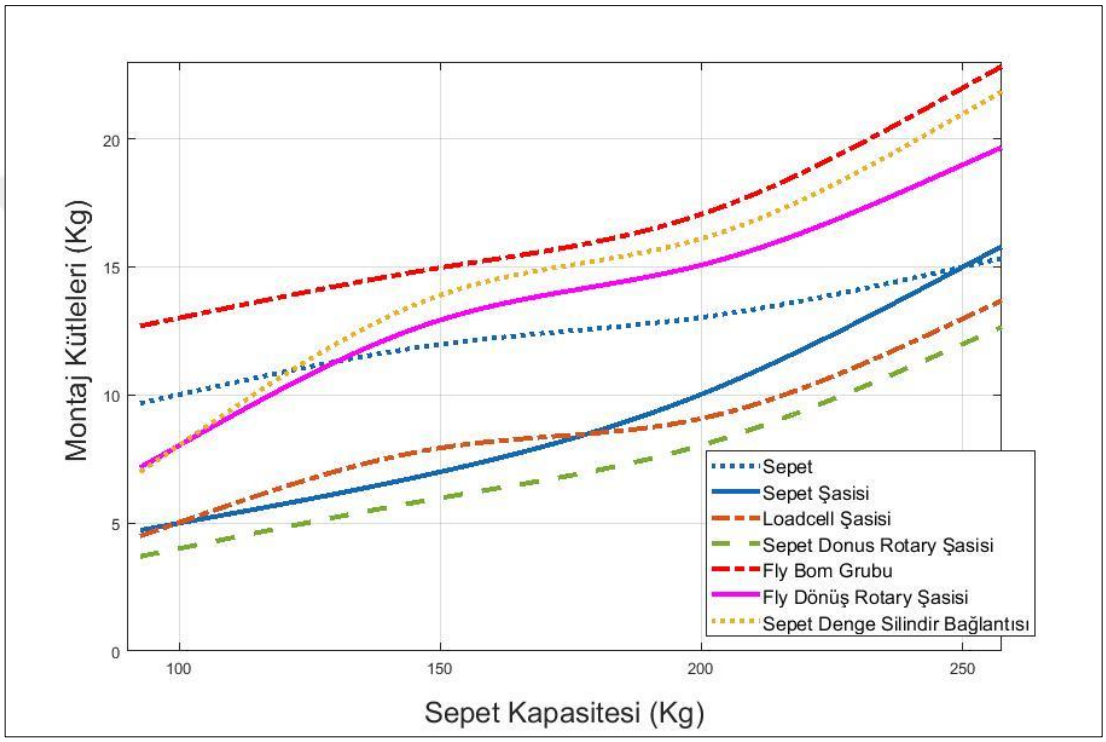
Yapılan analiz tekrarları neticesinde örümcek ayaklı paletli teleskopik havai iş platformunun farklı değerlerde ki sepet kapasitelerinde ortaya çıkan ağırlık değerleri Tablo 4.6'da ve 4 farklı grafikte gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Farklı sepet kapasitelerinde toplam ağırlık değerleri

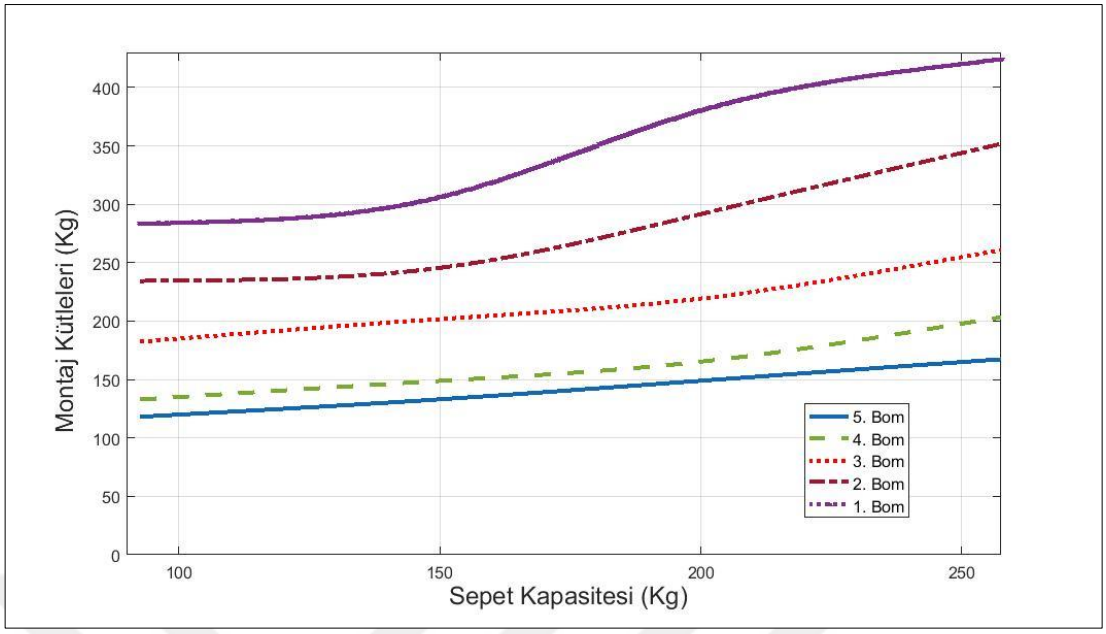
Montaj	**Sepet Kapasiteleri**			
	100kg	**150kg**	**200kg**	**250kg**
Sepet	10kg	12kg	**13**kg	15kg
Sepet Şasisi	5kg	7kg	**10**kg	15kg
Loadcell Şasisi	5kg	8kg	**9**kg	13kg
Sepet Dönüş Rotary Şasisi	4kg	6kg	**8**kg	12kg
Fly Bom Grubu	13kg	15kg	**17**kg	22kg
Fly Dönüş Rotary Şasisi	8kg	13kg	**15**kg	19kg
Sepet Denge Silindir Bağlantısı	8kg	14kg	**16**kg	21kg
5. Bom	120kg	133kg	**149**kg	165kg
4. Bom	135kg	149kg	**165**kg	198kg
3. Bom	185kg	202kg	**219**kg	255kg
2. Bom	235kg	245kg	**292**kg	344kg
1. Bom	285kg	305kg	**382**kg	420kg
Kule	232kg	311kg	**388**kg	476kg
Platform Şasisi	525kg	647kg	**815**kg	1060kg

Destek Ayağı	544kg	627kg	**780**kg	970kg
Diğer Bütün Ekipmanlar	1745kg	2055kg	**2222**kg	2677kg
Toplam	4059kg	4749kg	**5500**kg	6682kg

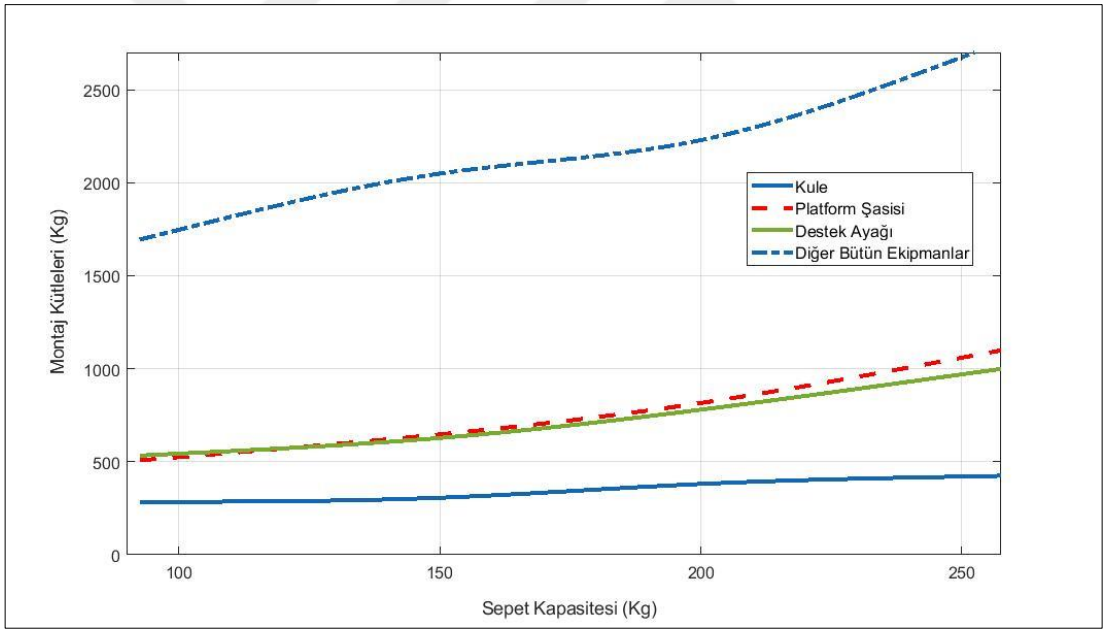
Platform sepet kapasitelerindeki ağırlık değişimleri Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Grafiklerde platform genel olarak 3 ana gruba ayrılmış ve son olarak da toplam kütle eğrisi oluşturulmuştur.



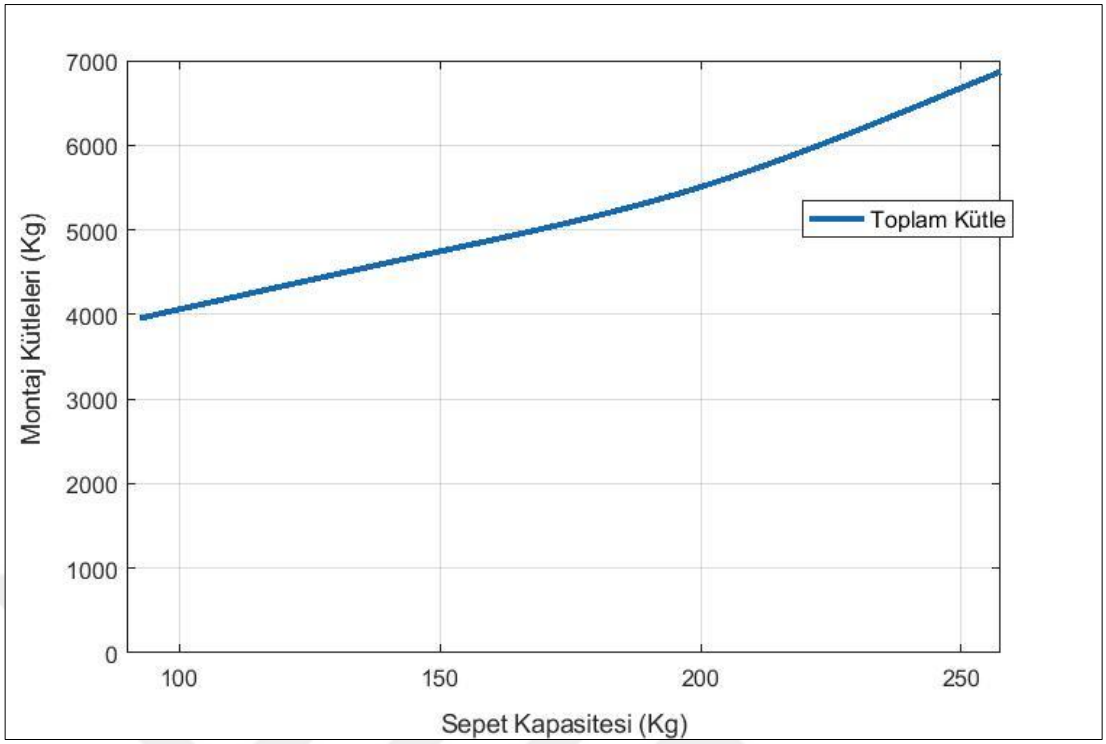
Şekil 4.29. Sepet grubu ağırlık değişimi grafiği



Şekil 4.30. Bom grubu ağırlık değişimi grafiği



Şekil 4.31. Kule ve şasi grubu ağırlık değişimi grafiği



Şekil 4.32. Toplam kütledeki değişim grafiği

Şekil 4.29-4.32'de verilen eğriler MATLAB CURVE FİTTİNG TOOLBOX programı kullanılarak elde edilmiştir. Eğri uydurma yöntemi olarak 3. Dereceden polinom yöntemi kullanılmıştır. İlgili formülasyon denklem 3'te verilmiştir.

$$F(x)=p_1x^3+p_2x^2+p_3x+p_4 \quad (4.1)$$

burada p katsayıları Tablo 8'de verilmiştir. Ayrıca verilen denklemlere ilişkin regresyon sabitleri r^2 ve SSE değeri aynı tabloda verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi r^2 her bir eğri için 1 olarak bulunmuştur. Bunun anlamı eğri denkleminin %100 uygunluğudur. Aynı şekilde eğri uygunluğu için SSE değerleri de verilmiştir. SSE değerinin sıfıra yakın çıkması da eğri denklemleri uygunluğunun bir diğer göstergesidir.

Tablo 4.7. Denklem 6 için p katsayıları

Montaj	**p katsayıları**				**Regresyon Sabiti**	
	p1	**p2**	**p3**	**p4**	**r^2**	**SSE**
Sepet	$2.667x10^{-6}$	-0.0014	0.2633	-5	1	$5.14x10^{-28}$
Sepet Şasisi	$1.33x10^{-6}$	-0.0004	0.077	$-2x10^{-14}$	1	$1.77x10^{-28}$
Loadcell Şasisi	$6.667x10^{-6}$	-0.0034	0.5933	-27	1	$5.6x10^{-27}$
Sepet Dönüş Rotary	$2.667x10^{-6}$	-0.0012	0.2133	-8	1	$4.98x10^{-28}$
Fly Bom Grubu	$4x10^{-6}$	-0.0018	0.3	-3	1	$1.22x10^{-27}$
Fly Dönüş Rotary	$6.667x10^{-6}$	-0.0036	0.6833	-31	1	$4.1x10^{-27}$
Sepet Denge Silindir	$9.33x10^{-6}$	-0.005	0.9267	-44	1	$1.14x10^{-26}$
5. Bom	$-4x10^{-6}$	-0.0024	-0.15	115	1	$4.85x10^{-27}$
4. Bom	$2x10^{-5}$	-0.0086	1.48	53	1	$4.77x10^{-26}$
3. Bom	$2.53x10^{-5}$	-0.0114	1.987	75	1	$4.6x10^{-26}$
2. Bom	$-4.27x10^{-5}$	-0.0266	-4.423	454	1	$1.5x10^{-025}$
1. Bom	$-1.28x10^{-5}$	-0.069	-10.77	800	1	$2.43x10^{-24}$
Kule	$1.73x10^{-5}$	-0.0082	2.81	16	1	$5.81x10^{-26}$
Platform Şasisi	$4.13x10^{-5}$	-0.0094	2.83	295	1	$1.55x10^{-25}$
Destek Ayağı	$1.11x10^{-5}$	0.0638	-9.033	920	1	$1.31x10^{-24}$
Diğer Bütün	$5.7x10^{-5}$	-0.29	50.7	-1028	1	$2.03x10^{-23}$
Toplam	$4.9x10^{-5}$	-0.021	42.82	1382	1	$1.26x10^{-23}$

Her dört grafiğe de bakıldığında, sepet kapasitesi hariç diğer tasarım şartlarının ve platformun devrilme şartlarının sabit olduğu düşünülerek sadece sepet kapasitesinin değişiminin platform toplam kütlesine ciddi oranda yansıdığı görülmektedir. Sunulan son dört grafikte sepet kapasitesi ve toplam kütle ilişkileri incelenmiş diğer bütün tasarım kriterleri sabit olarak düşünülmüştür. Sepet kapasiteleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde sepetten başlayarak bütün platform alt montajlarının ağırlık değerlerinin ciddi oranda değiştiği gözlemlenmiş ve bu değişim toplam kütleye yansımıştır.

Toplam kütlenin önem arz ettiği ve 5500kg'ı geçmemesi gerektiği durumlarda aynı denge şartlarında yanal erişim mesafesinin azaltılması gerekmektedir. Yanal erişim mesafesinin 14m olması gerektiği ve platform ağırlığının 5500kg'ı geçmemesi gerektiği durumlarda ise sepet kapasitesinin 200kg veya daha altında tutulması gerekmektedir. Burada sepet kapasitesi, platform yanal erişim mesafesi, toplam platform kütlesi gibi değişkenlerin direkt olarak birbirlerini etkilediği ve bu özelliklerin belirlenmesinde etkin rol oynadığı bilinmelidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnşaat sektörünün hızla geliştiği günümüzde yüksekte çalışma platformlarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Yüksekte çalışma platformlarının gereksinimlerinin yanı sıra havai platformlarının çalışılacak işe ve çalışma yerine göre özelliklerinin ve platform türünün ne olacağı da önem arz etmektedir.

Günümüzde inşaat sektörlerinde kullanılan, AVM, spor salonları, elektrik dağıtım şirketleri, temizlik şirketleri, Tersane bölgeleri gibi birçok farklı iş alanı ve bu alanlarda kullanılan platformlarının da birbirinden farklı birçok özelliği bulunmaktadır.

Çalışmada ilk olarak literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılan çalışmalar, platform tasarımı veya vinç tasarımı gibi çalışmalar incelenmiştir.

Dünya genelinde kullanılan platform özellikleri kullanım alanlarına, yapısal özelliklerine göre sınıflandırılarak platform çeşitleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra tez konusu olan Örümcek Ayaklı Tip Paletli Yürüyüşlü Havai Platform detaylıca anlatılmış, ve tasarım kriterleri verilmiştir. Tasarım kriterleri çerçevesinde Solidworks üç boyutlu tasarım programında platform çizimi tamamlanmış ve 200kg sepet kapasiteli makine prototip üretimi Tübitak projesi kapsamında tamamlanmıştır. 200kg'lık tasarım haricinde sepet yükünün tasarım değişkenlerine etkisinin daha net anlaşılması adına sepet kapasitesi sırasıyla 100kg, 150kg, ve 250kg'lık platform hesaplamaları da yapılmış ve platform kesit ve ağırlık değerlerindeki değişimler oluşturulan grafik eğrileri ile irdelenmiştir. Oluşturulan grafiklerde diğer değişkenler sabit tutulduğu taktirde sepet kapasitesindeki değişimin direkt olarak platformun diğer bütün uzuvlarında ve toplam makine kütlesinde ciddi değişiklere sebep olduğu görülmüştür. Grafik eğrilerinde net olarak belirli olmayan ara değerlerinde bulunabilmesi için Matlab programında 3. Dereceden denklem elde edilmiş ve her montaj grubu için farklı katsayılar bulunmuştur.

Ülke olarak bu alandaki yatırımlarımız ciddi oranda yetersiz durumdadır. Bu sebeple benimde birçoğuna katıldığım çok sayıda proje yeni ürün geliştirme gibi konular üzerinde çok daha fazla çalışılmalıdır. Proje konusu olan Örümcek Ayaklı Paletli Tip Havai Platform ülkemize çok ciddi oranda ithal olarak gelmektedir. Tübitak projesi kapsamında tasarımını ve prototipini yaptığımız bu ürün ülkemiz adına bir ilk niteliğindedir.

KAYNAKLAR

[1] Cengiz Görkem Dengiz M. C. (2016). Makaslı Kaldırma sistemi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Uluslararası Malzeme Bilmi ve Teknolojisi Konferansı.* Nevşehir: IMSTEC.

[2] 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* (s. 798-802). Dalian: IEEE.

[3] Babalık F. C., 1983. Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri. Uludağ Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 4-012-0093, Bursa, s 1-150.

[4] Hongxia J., Fumin Z., & Vaughan J. (2012). Using Input Shaping to Repress Two-mode Residual Vibration on AerialLifts. *12th International Conference on Control, Automation and Systems* (s. 667-671). Jeju Island: IEEE .

[5] Shigley J. E., 1986. Mechanical Engineering Design, McGraw- Hill Book Company, Singapore. ISBN 0- 07- 056898-7, pp 1-485.

[6] Yuan Q., Lew J., & Piyabongkarn D. (2009). Motion Control of an Aerial Work Platform. *2009 American Control conference.* St.Louis.

[7] Akçalı İ. D., 1998. Makine Bileşenlerinin Tasarım Esasları, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü MACT_MARUM Yayın No: 3, Adana, 158 s.

[8] Yazıcıoğlu O., 1999, Makine Elemanları. Beta Basım Yayım Dağıtım A.S, İstanbul. ISBN 975- 486- 779-9, İstanbul, 350 s.

[9] Pedersen M. M., Hansen M. R., Ballebye M., 2010, Developing a Tool Point Control Schemefor a Hydraulic Crane Using Interactive Real-time Dynamic Simulation, Modeling, Identification and Control, Vol. 31, No. 4, 2010, pp. 133-143, ISSN 1890-1328

[10] Jia P.,Li E., Liang Z., Qiang Y., 2012, DynamicStability of the Aerial Work Platform based on ZMP, Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing July 15-17, 2012 - Dalian, China, 422-425

[11] Karamolla M., 2005, Kule Vinçlerin Matematik Modellemesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa

[12] Ünal B., 2008, Jib Portal Kren Konstrüksiyonun Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[13] Karahan M., 2007, İki Kademeli Teleskopik Vincin Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

[14] Taşdemir B., 2012, Jib Kren Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[15] Koçer H., 2009, Bir Hidrolik Mobil Vincin Tasarım, Analiz ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

[16] Özkan İ., 2005, Computer Aided Design and Analysis of Frame Crane, Ms Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir

[17] Candaş A., 2013, Bir Jib Krenin Deneysel Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[18] Kayaoğlu E., 2009, Kren Konstrüksiyonunda Kullanılan Dikdörtgen Levhaların Yayılı Yük Altındaki Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[19] Türk Standartları Enstitüsü. (2015). TS EN 280 + A1: s.8 Yükseltilebilen Seyyar İş Platformları – Tasarım Hesapları – Denge Kriterleri – Yapım – Güvenlik – Muayene ve Deneyler. Ankara: TSE.

[20] Türk Standartları Enstitüsü. (2015). TS EN 280 + A1: s.11 Yükseltilebilen Seyyar İş Platformları – Tasarım Hesapları – Denge Kriterleri – Yapım – Güvenlik – Muayene ve Deneyler. Ankara: TSE.

[21] Yuan Q., Lew J., & Piyabongkarn D. (2009). Motion Control of an Aerial Work Platform. *2009 American Control Conference.* St.Louis.

[22] Cengiz Görkem Dengiz, M. C. (2016). Makaslı Kaldırma Sistemi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Uluslararası Malzeme Bilmi ve Teknolojisi Konferansı.* Nevşehir: IMSTEC.

[23] Pavloviç A., & Cristiano Fragassa, G. M. (2017). Buckling Analysis Of Telescopic Boom: Theoretical and Numerical. *Tehnički Vjesnik, 24*(3), 729-735.

[24] Safety Services Company. (2019, 04 16). *Elevating Work Platforms & Aerial Devices.* www.tapandsons.com: www.tapandsons.com/.../2/.../elevating_work_platforms.pdf, (27.04.2019).

[25] Safety Services Company. (2019, 04 16). *Elevating Work Platforms & Aerial Devices.*

[26] Safety Services Company. (2019, 08). Elevating Work Platforms & Aerial Devices.

[27] Safety Services Company. (2019). Elevating Work Platforms & Aerial Devices.

[28] Aksungur Y., & Güler M. A. (2013). Bir Makaslı Çalışma Platformunun Tasarımı ve Analizi. *Mühendis ve Makina, 54*(643), 36-46.

[29] Sezer M. (2014). *Araç Üstü Hidrolik İş Platformlarının Sepet Dengeleme Kontrolü.* Selçuk Üniversitesi , Makine Mühendisliği. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[30] MacAllister. (2019, 05 02). *Electric Scissor Lift Rental*. MacAllister Rentals Web Site: https://www.macallisterrentals.com/rental/aerial-lift-rental/electric-scissor-lift-rental/, (14.03.2019).

[31] MacAllister Rental. (2019, 05 02). *Towable Boom Lift Rental*. MacAllister Rentals: https://www.macallisterrentals.com/rental/aerial-lift-rental/towable-boom-lift-rental/, (14.03.2019).

[32] Fish J., & Belytschko T. (2017). *Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.* (B. Deliktaş M. A. Güler, & O. Mülkoğlu, Çev.) Ankara: Nobel Yayınları.

[33] Aklın C., 2004, Kren Köprülerinin Katı Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi, DTU, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[34] Erdik A., 2006, Portal Kren Gövdesinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi ve Statik Gerilme Analizi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[35] Fish J., & Belytschko T. (2017) s1. *Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.* (B. Deliktaş, M. A. Güler, & O. Mülkoğlu, Çev.) Ankara: Nobel Yayınları.

[36] Cürgül İ., Yetistiren H., Sınmazçelik T., 2002. Makine Tasarımı ve Sekillendirme Teknigi. Birsen Yayınevi, Kocaeli. ISBN 9755113037. s 1-30.

[37] Demir C. (2019, Haziran 2). s2 *Sonlu Elemanlar*. Cihan Demir Websitesi (Yıldız Teknik Üniversitesi): http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/sonlu_elemanlar.pdf, (10.03.2019).

[38] Demir C. (2019, Haziran 2). s11 *Sonlu Elemanlar*. Cihan Demir Websitesi (Yıldız Teknik Üniversitesi): http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/sonlu_elemanlar.pdf, (10.03.2019).

[39] Demir C. (2019, Haziran 2). s12 *Sonlu Elemanlar*. Cihan Demir Websitesi (Yıldız Teknik Üniversitesi): http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/sonlu_elemanlar.pdf, (10.03.2019).

[40] Erdöl T. (2007) s29. *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı, Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi.* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği. Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

[41] Erdöl T. (2007) s31. *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı, Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi.* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği. Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

[42] Erdöl T. (2007) s32. *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı, Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi.* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği. Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

[43] Erdöl T. (2007) s33. *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı, Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi.* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği. Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

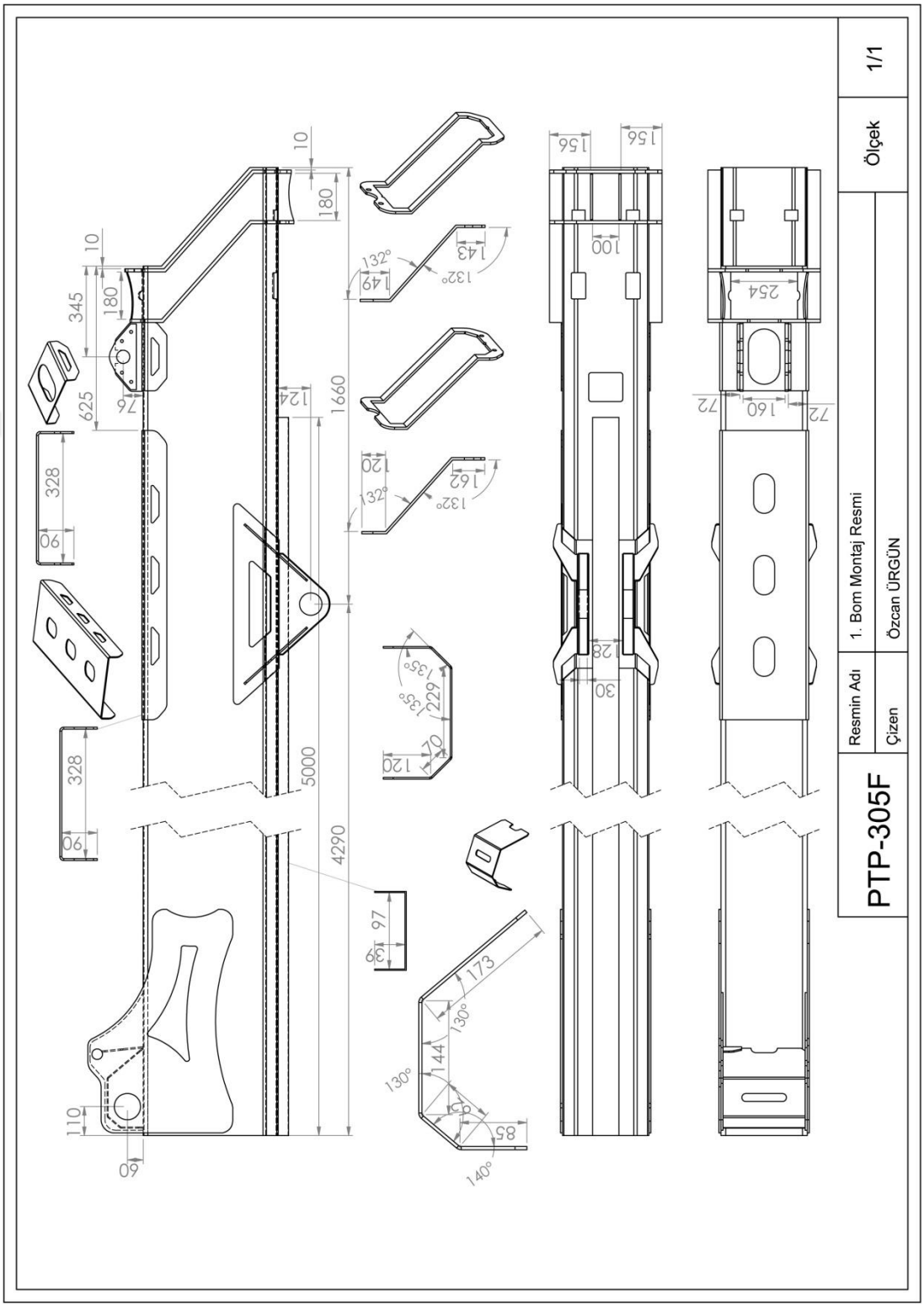
[44] Akin J. E. (2009) s2. *Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks.* New Jersey: World Scientific.

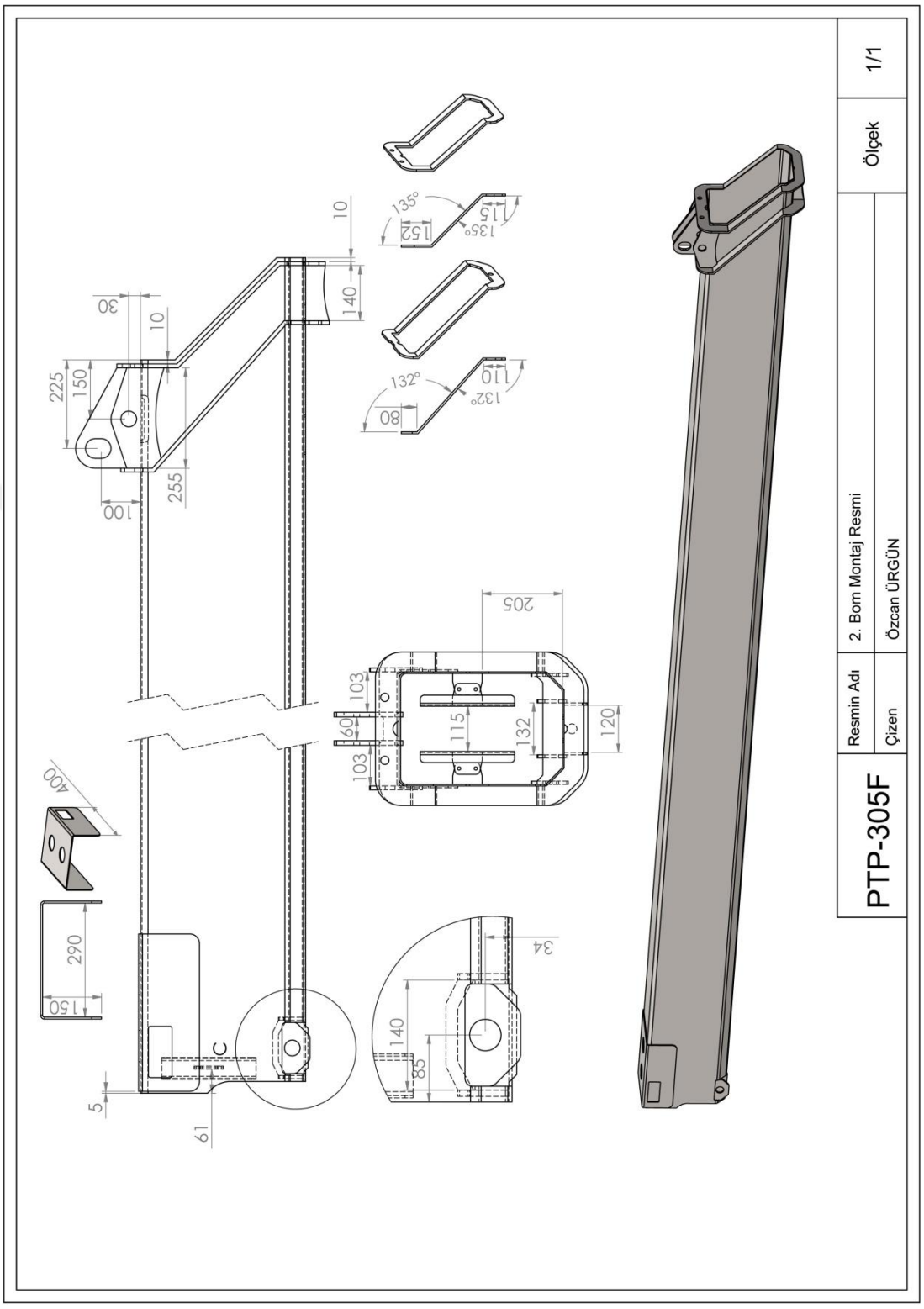
[45] Fish J., & Belytschko T. (2017) s2. *Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.* (B. Deliktaş, M. A. Güler, & O. Mülkoğlu, Çev.) Ankara: Nobel Yayınları.

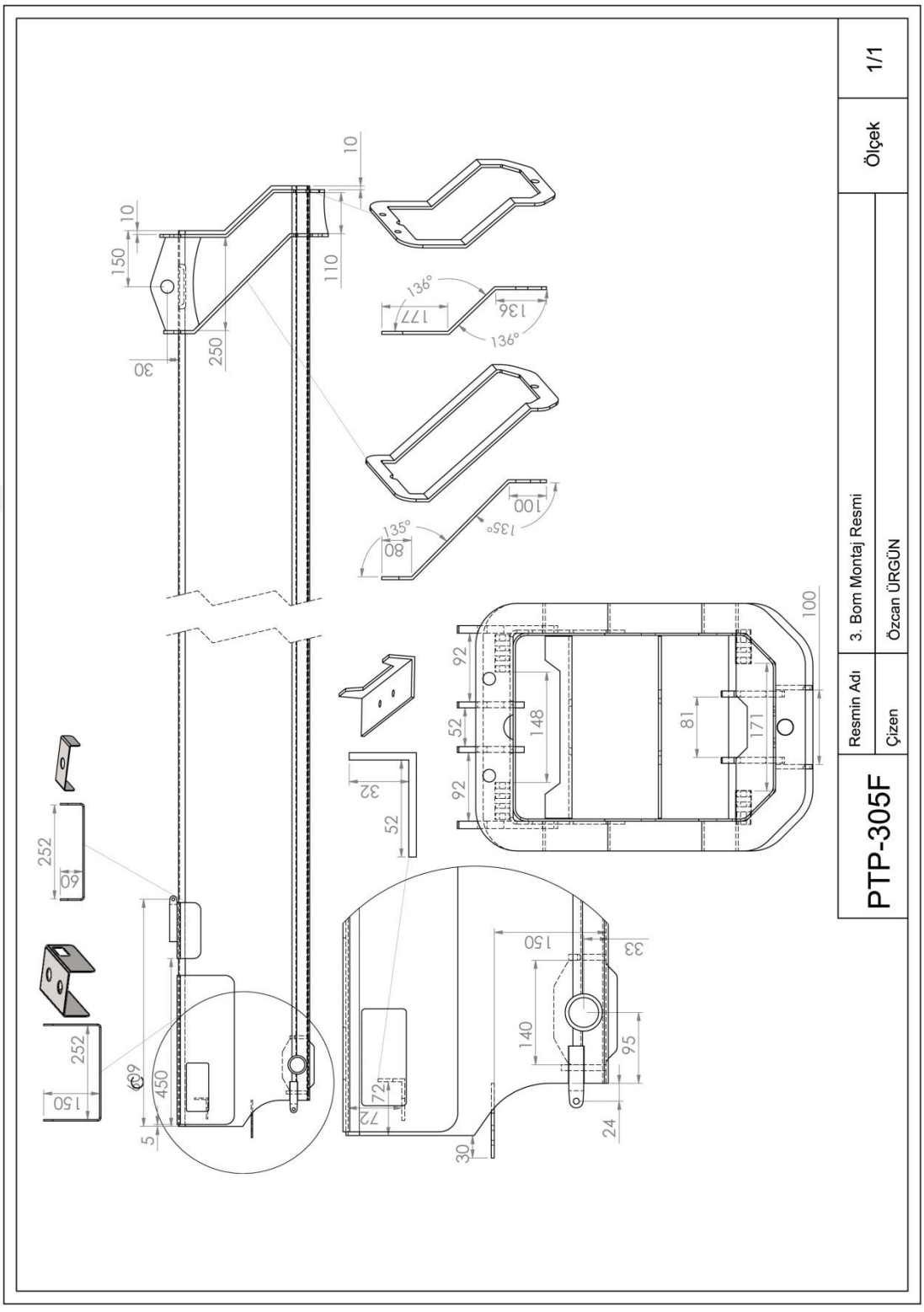
[46] Fish J., & Belytschko T. (2017) s11. *Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.* (B. Deliktaş, M. A. Güler, & O. Mülkoğlu, Çev.) Ankara: Nobel Yayınları.

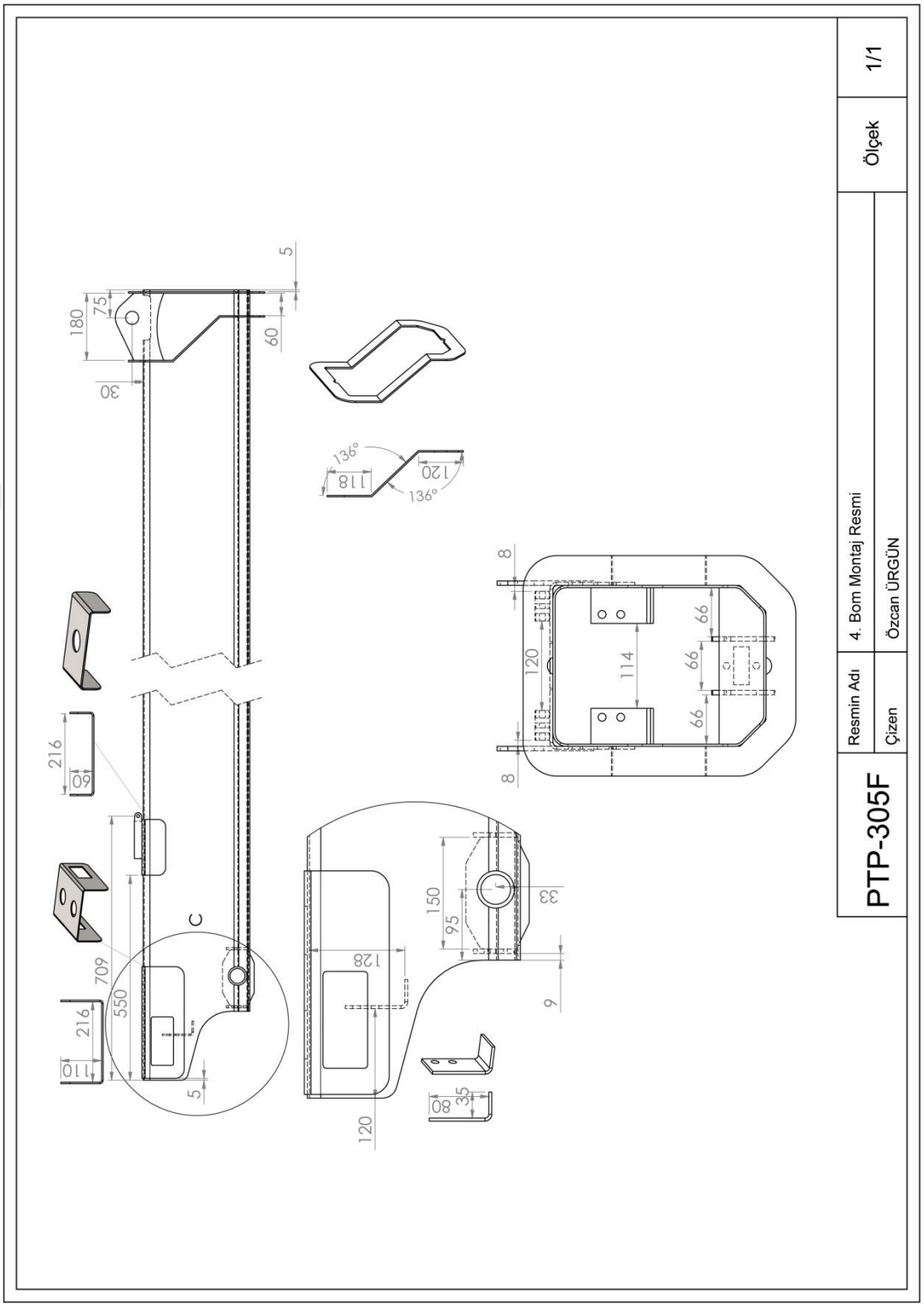
EKLER

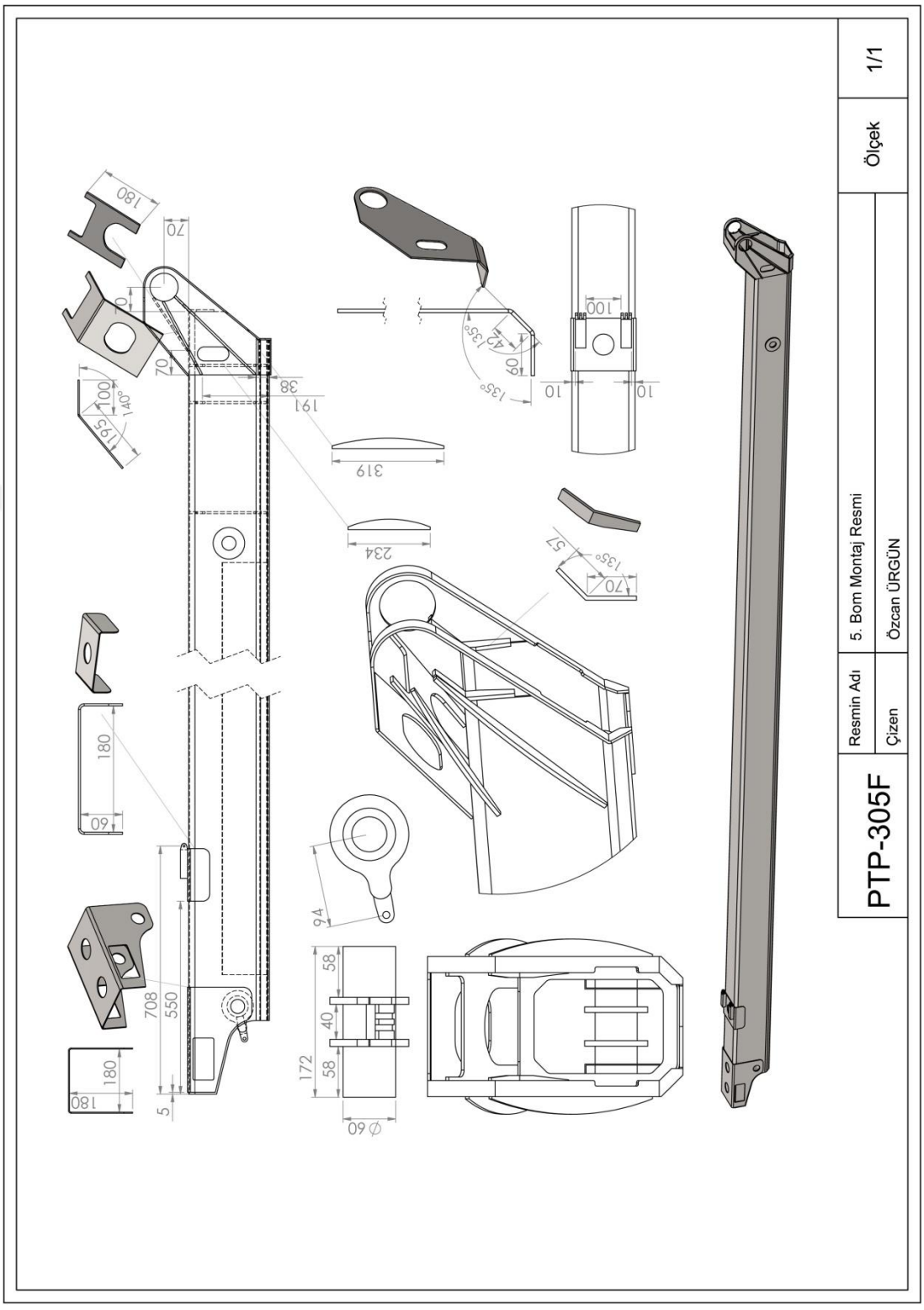
MONTAJ RESİMLERİ

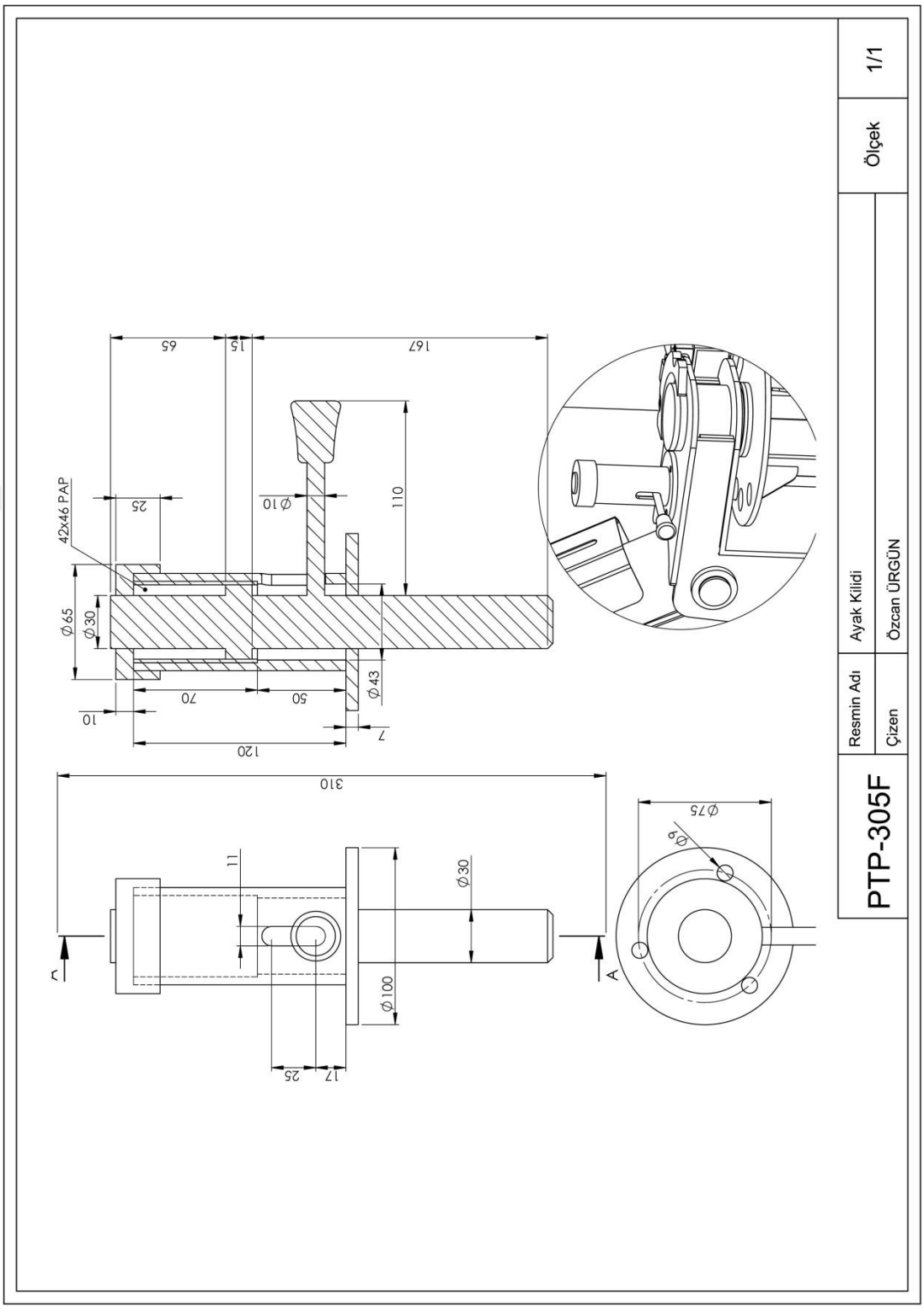


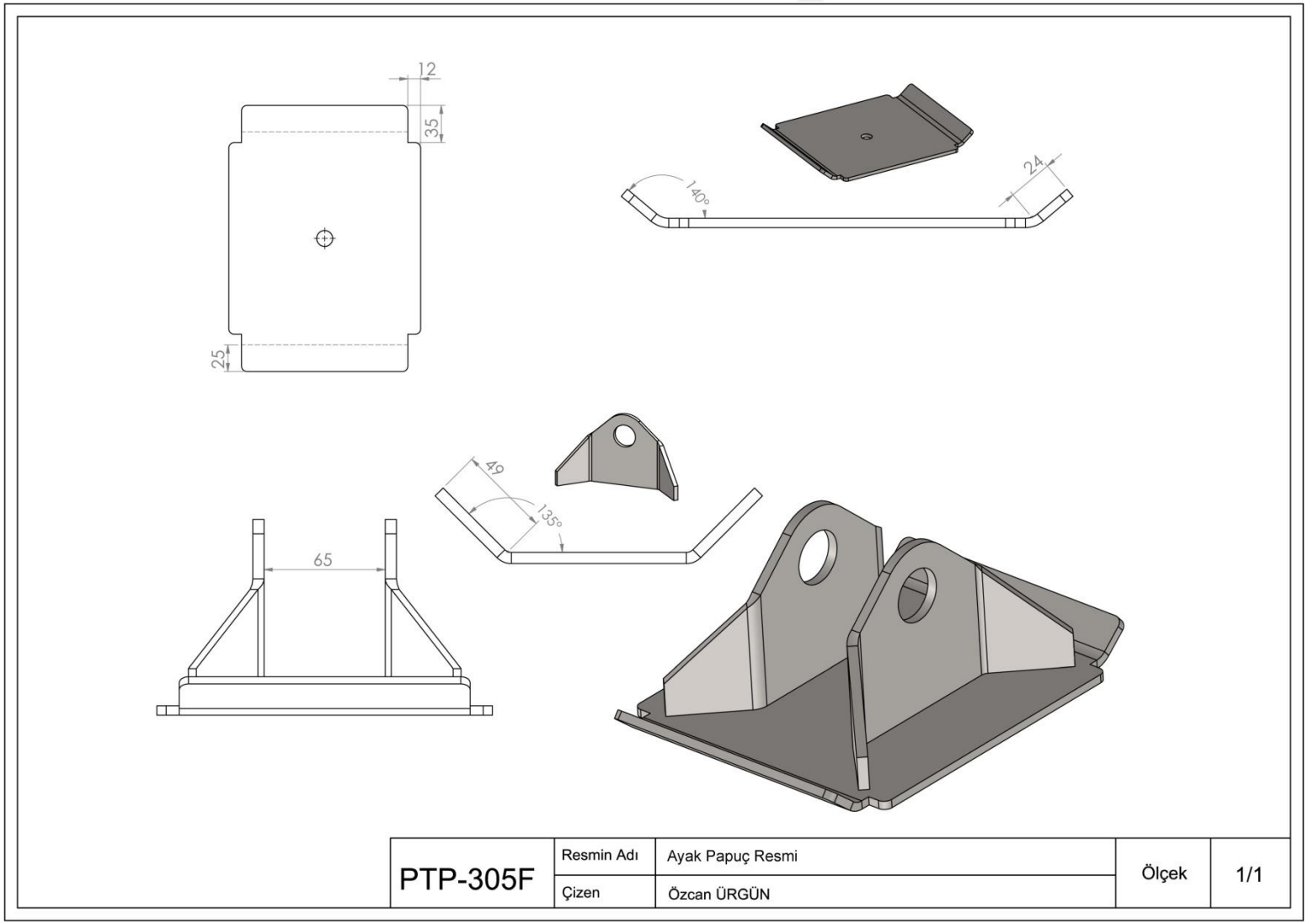

PTP-305F
Resmin Adı
2. Bom Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
205
103
60
115
132
120
103
400
290
150
140
85
34
225
150
30
10
100
255
140
10
135°
152
115
132°
110
80
5
61


PTP-305F
Resmin Adı
3. Bom Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

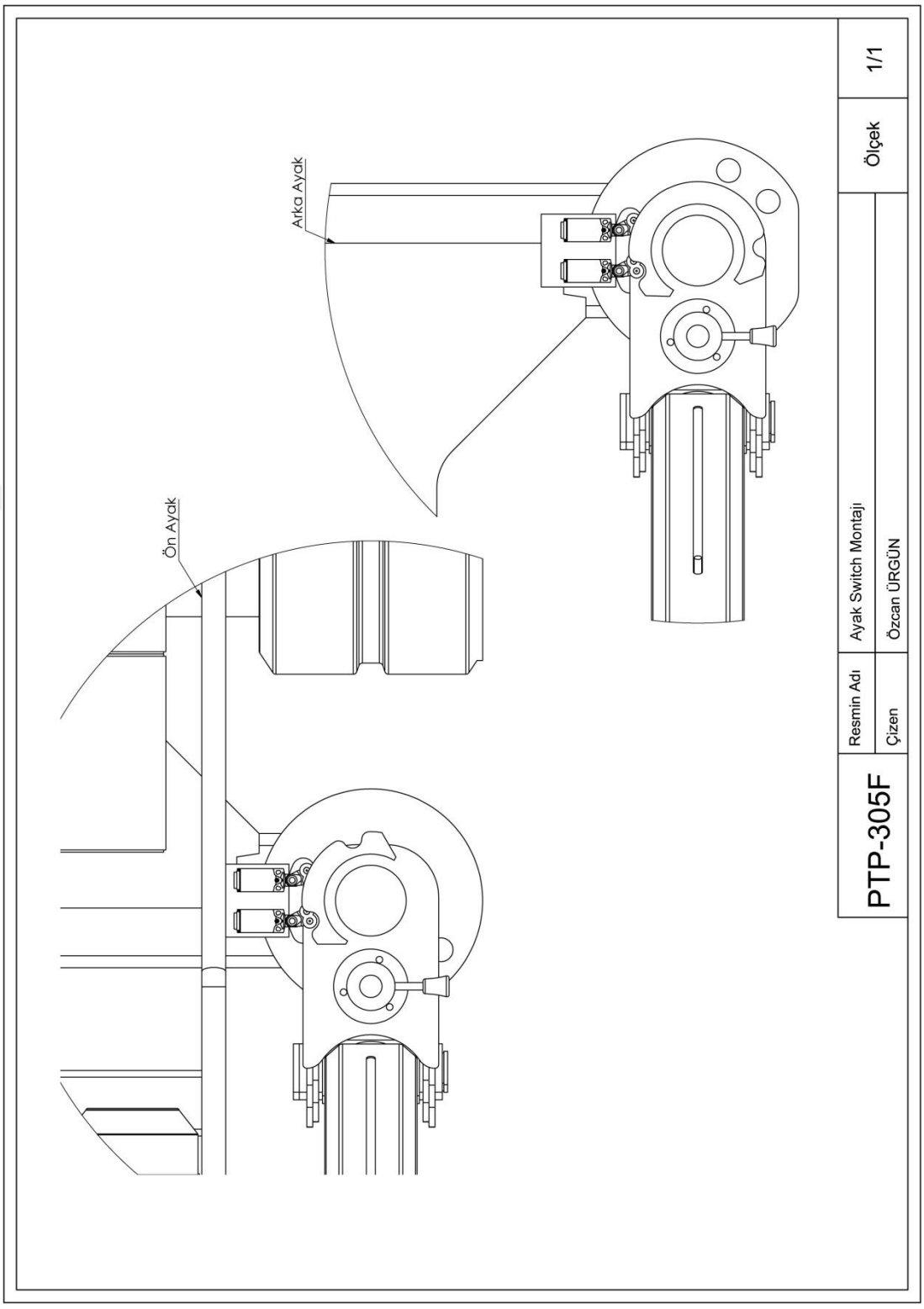

PTP-305F
Resmin Adı
4. Bom Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
180
75
30
60
5
216
60
709
550
216
110
5
C
136°
118
120
136°
8
120
114
66
66
66
8
128
150
95
33
9
120
80
35

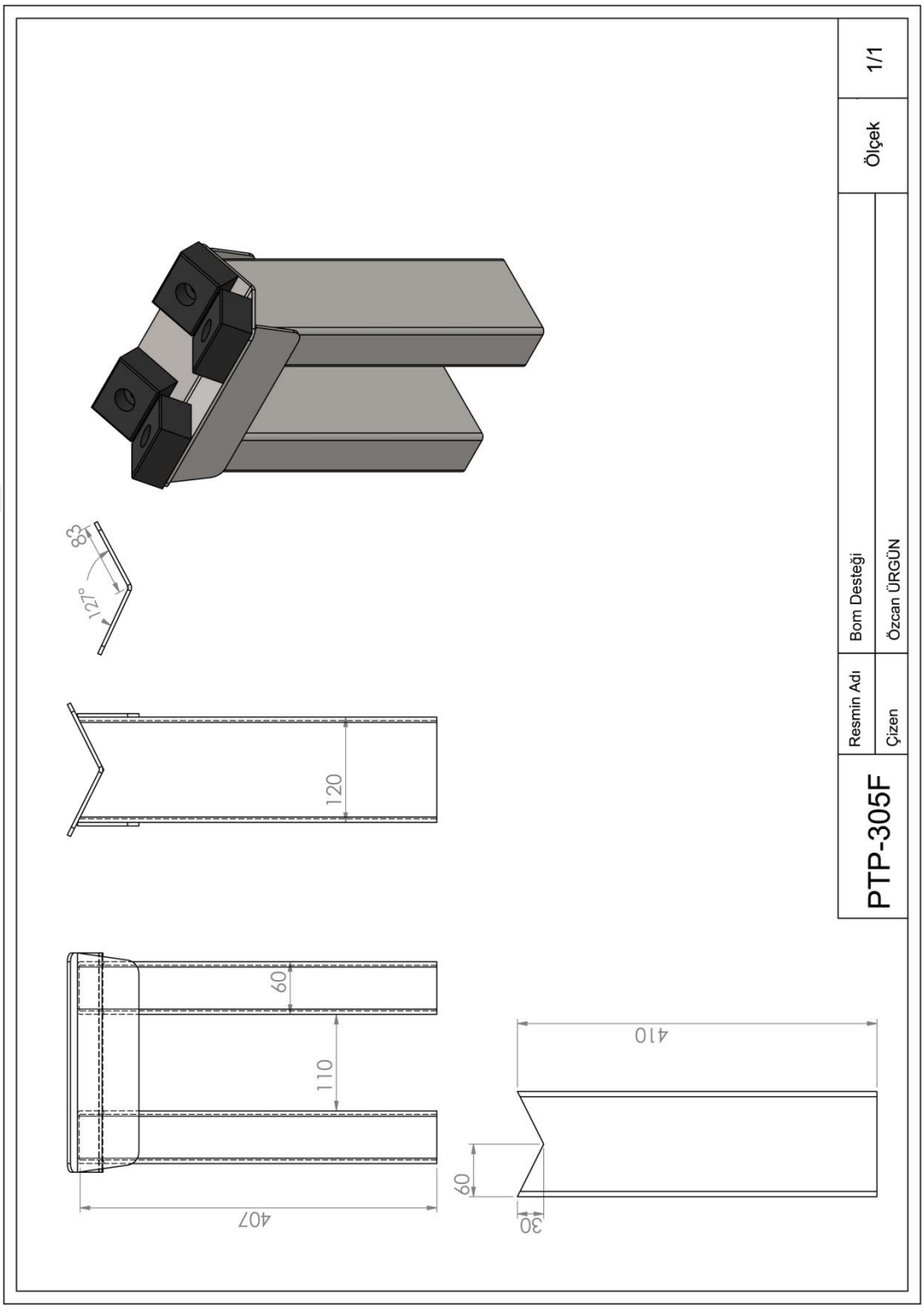

PTP-305F
Resmin Adı
5. Bom Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

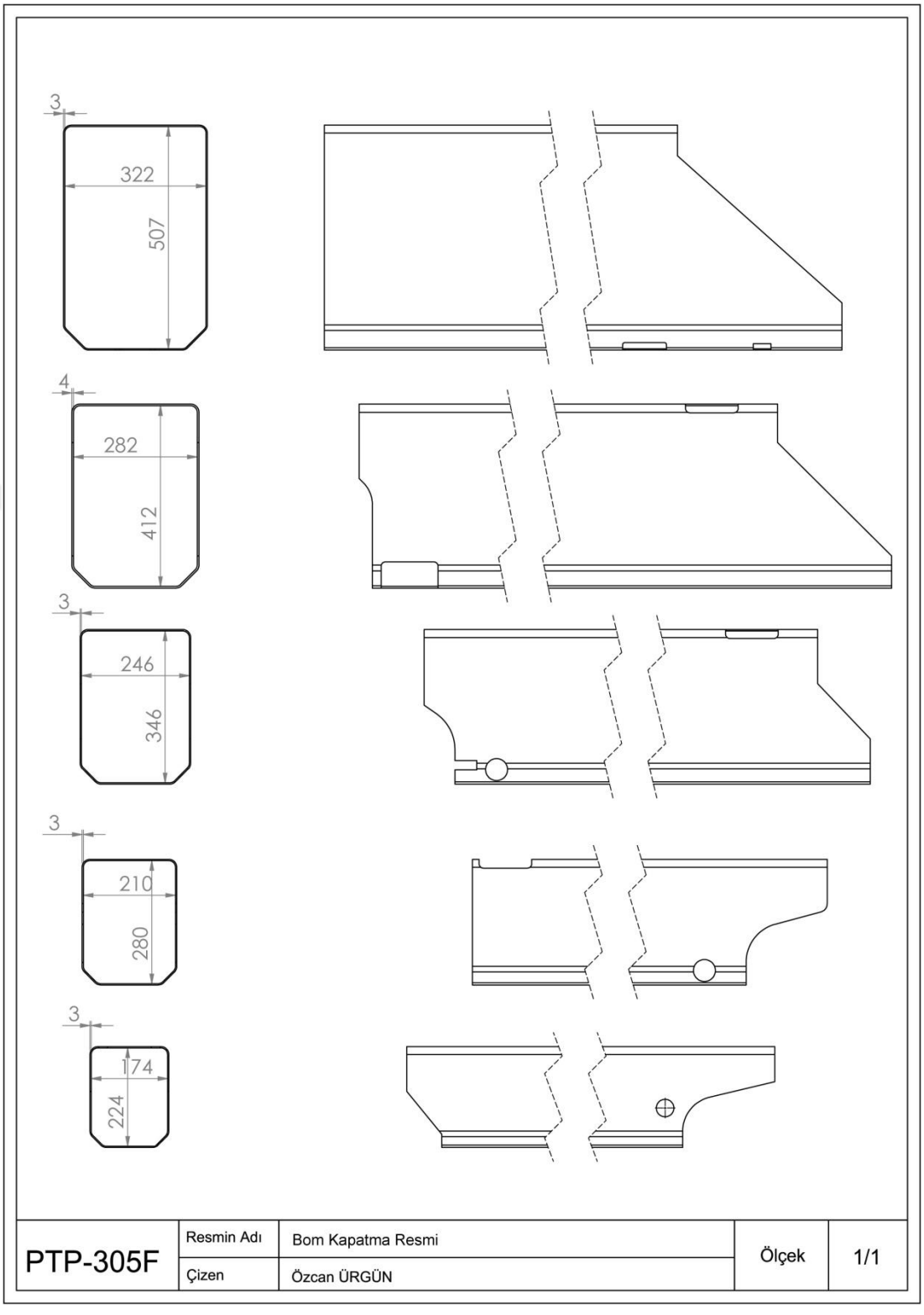

65
15
167
42x46 PAP
25
Ø10
110
Ø65
Ø30
70
50
Ø43
10
7
120
310
11
Ø30
Ø100
25
17
Ø75
9Ø
A
A
PTP-305F
Resmin Adı
Ayak Kilidi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1



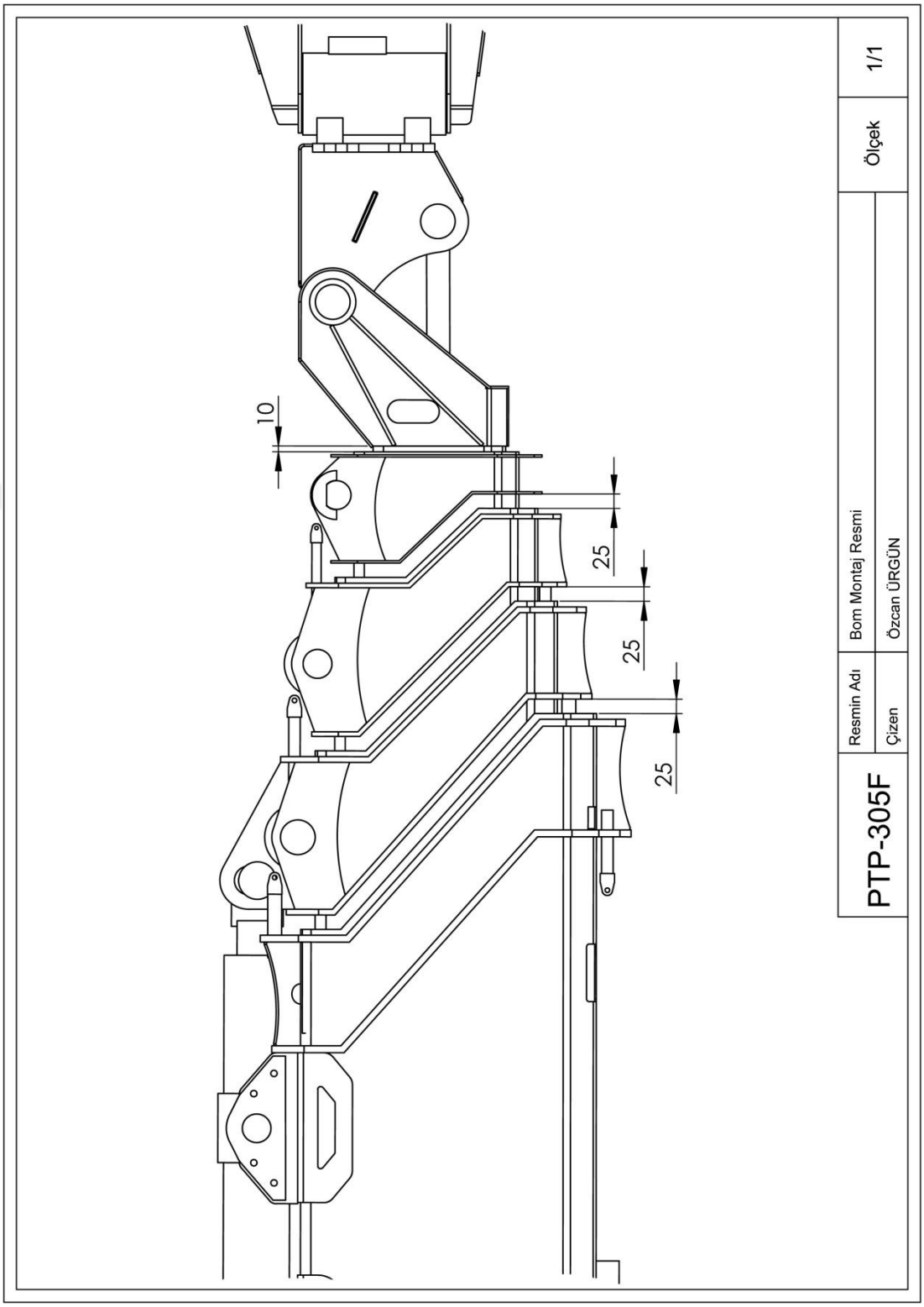
PTP-305F	Resmin Adı	Ayak Papuç Resmi	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

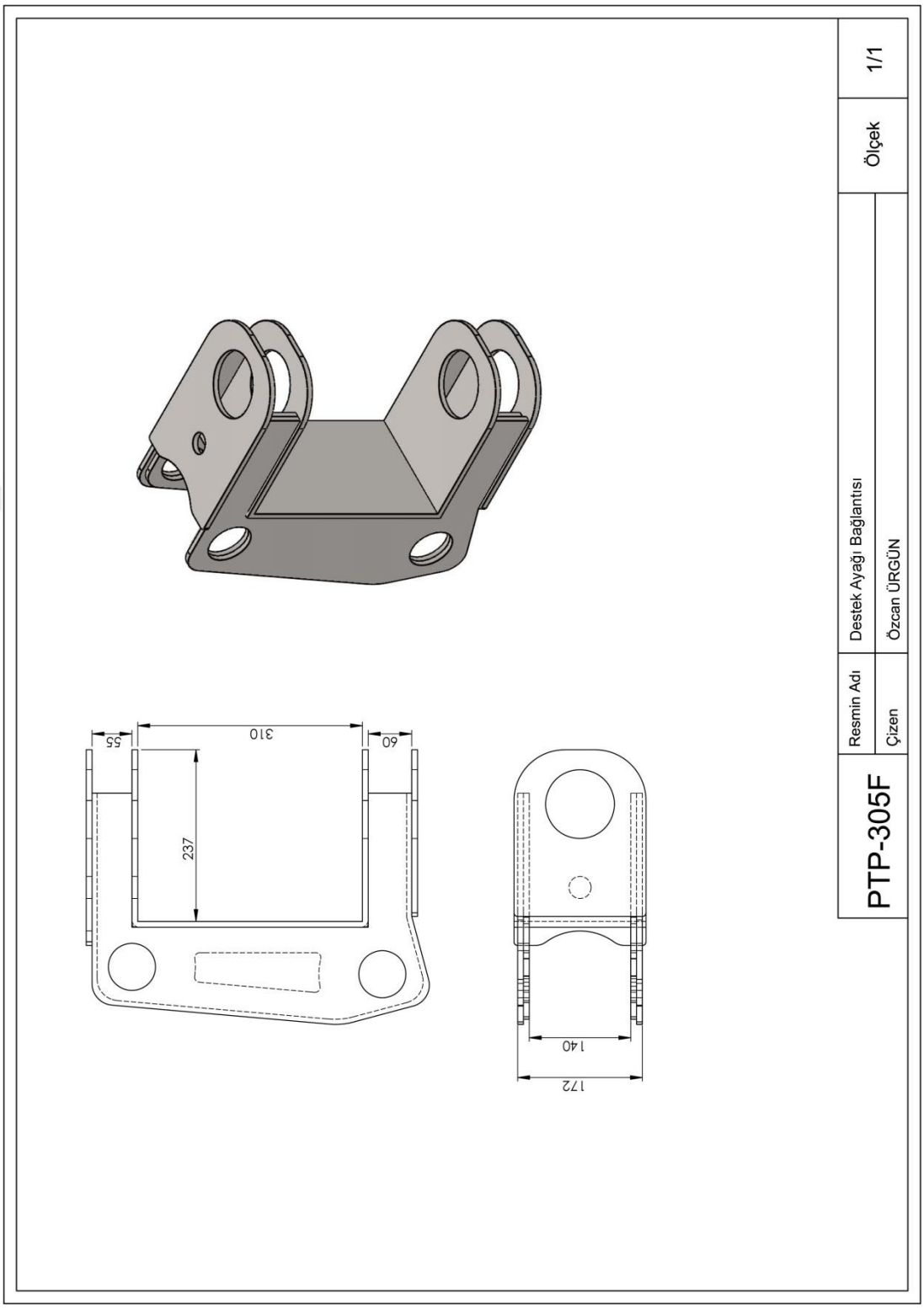

Arka Ayak
Ön Ayak
PTP-305F
Resmin Adı
Ayak Switch Montajı
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

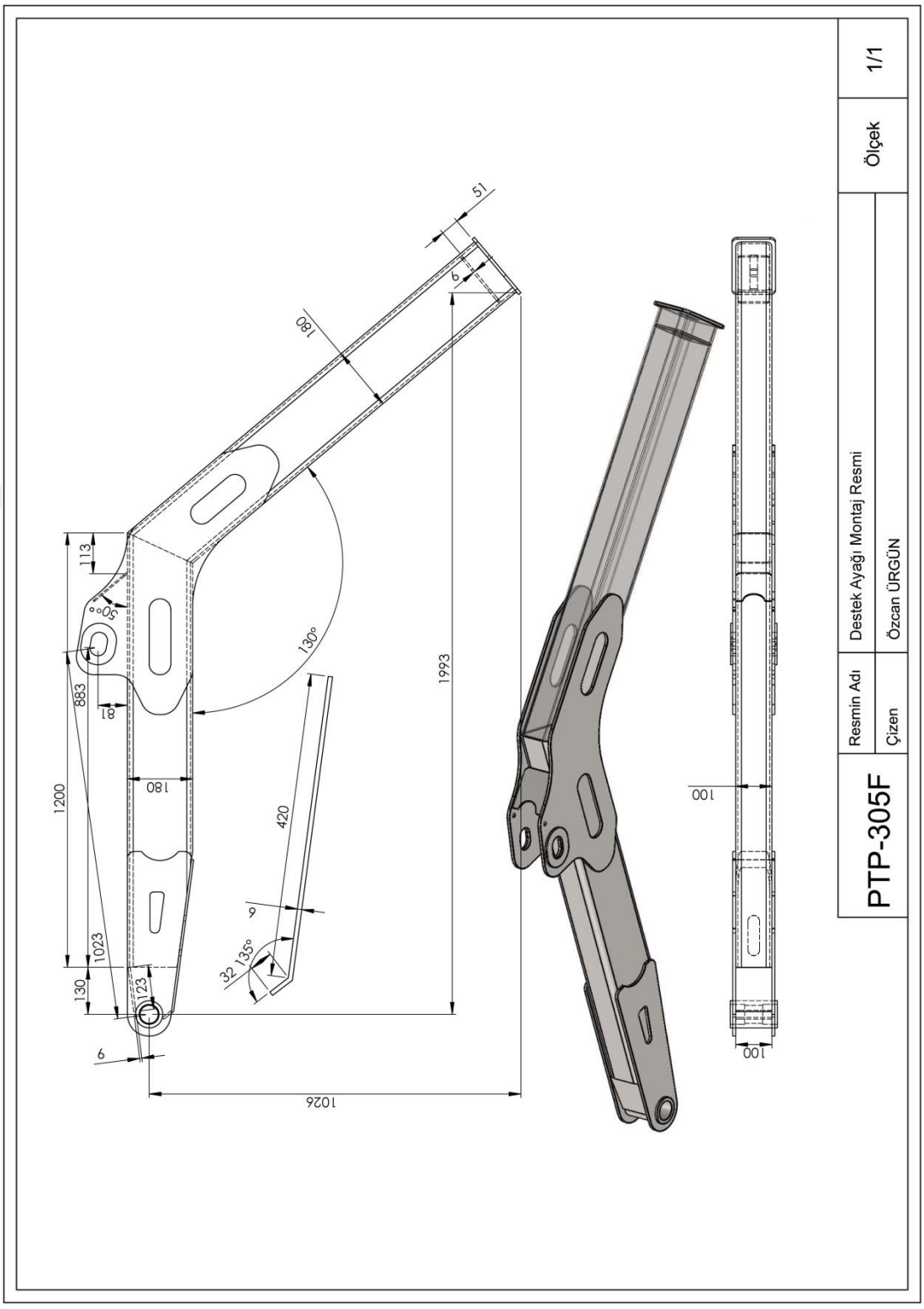

PTP-305F
Resmin Adı
Bom Desteği
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
83
127°
120
60
110
407
410
60
30

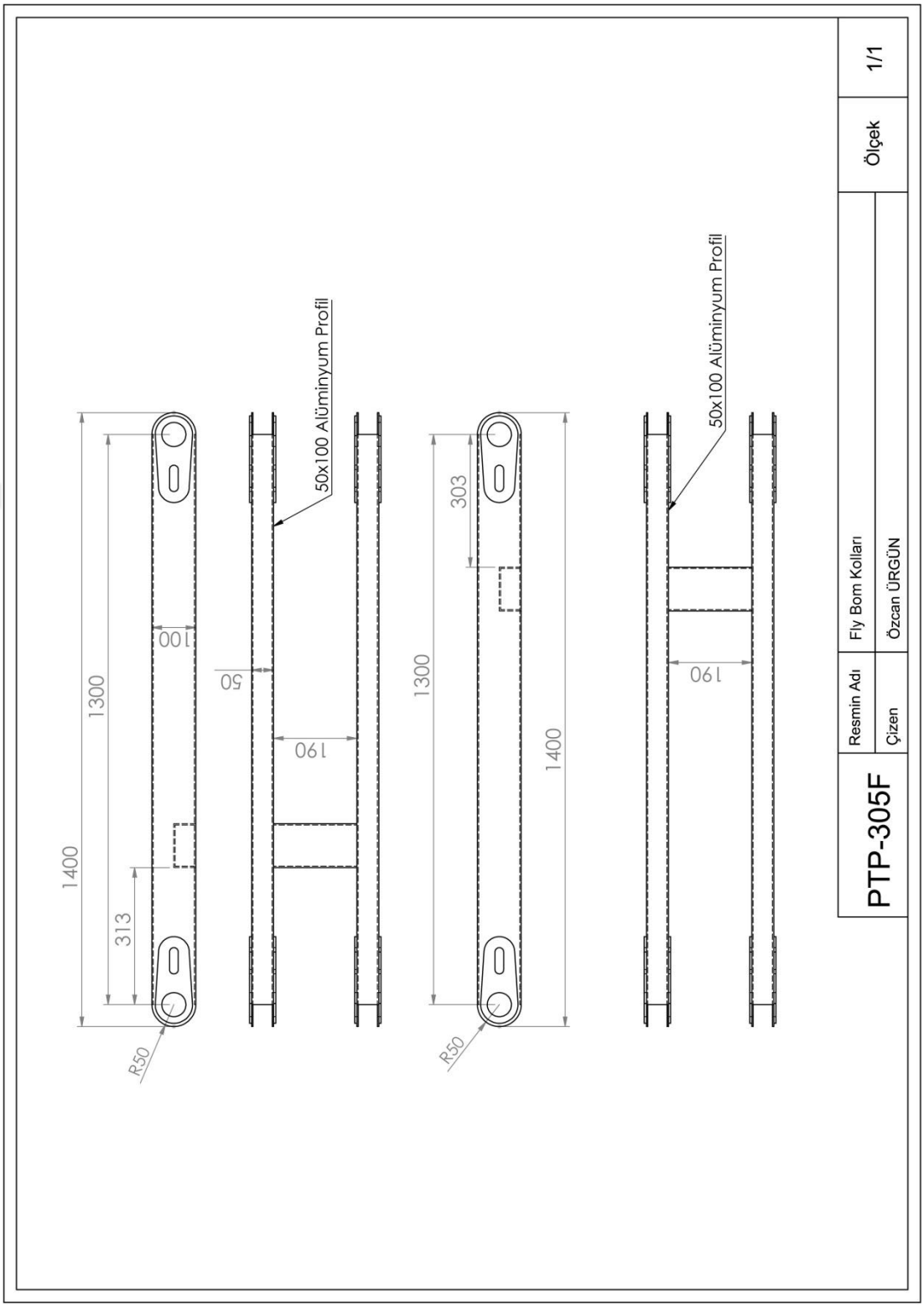


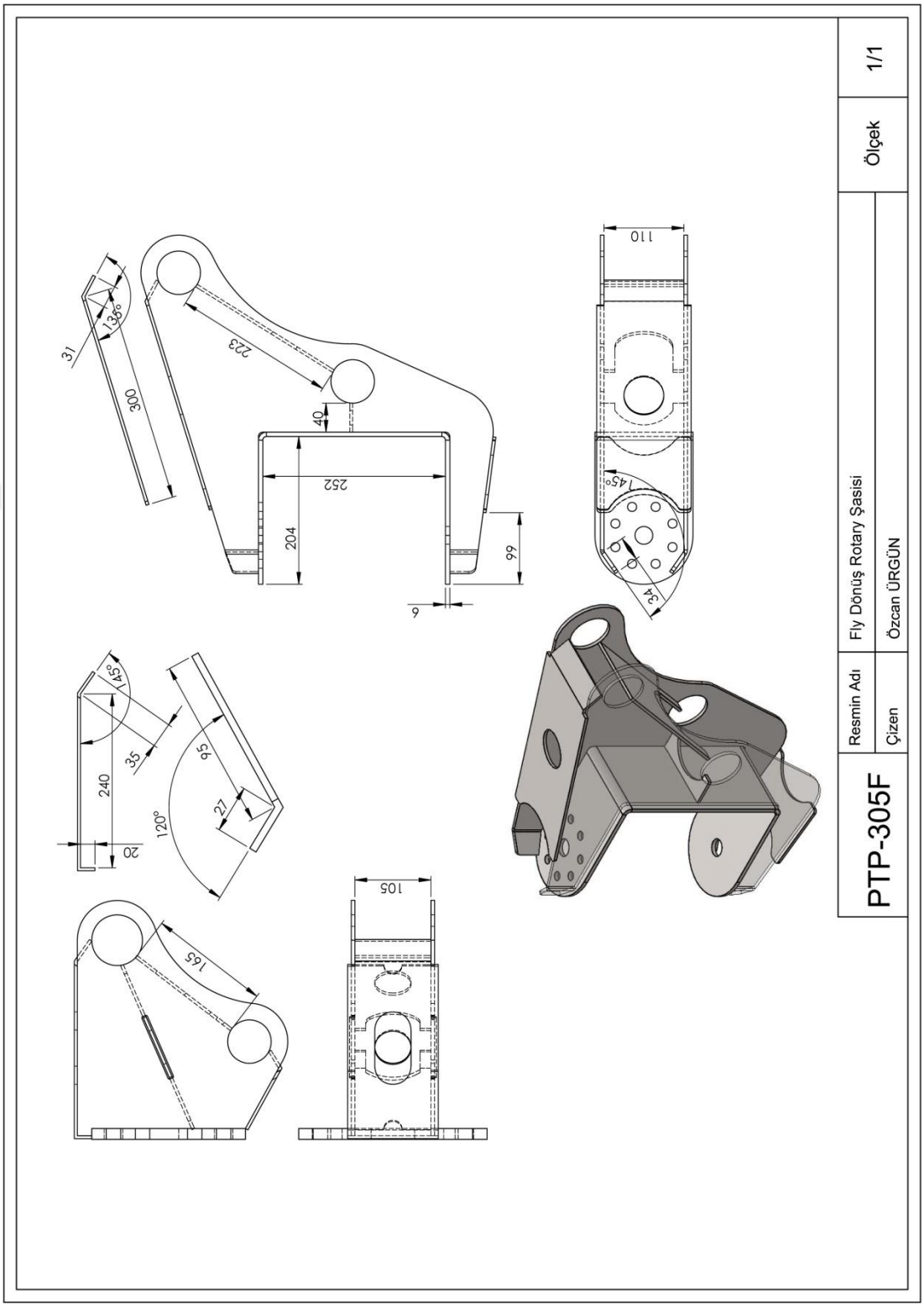
PTP-305F	Resmin Adı	Bom Kapatma Resmi	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

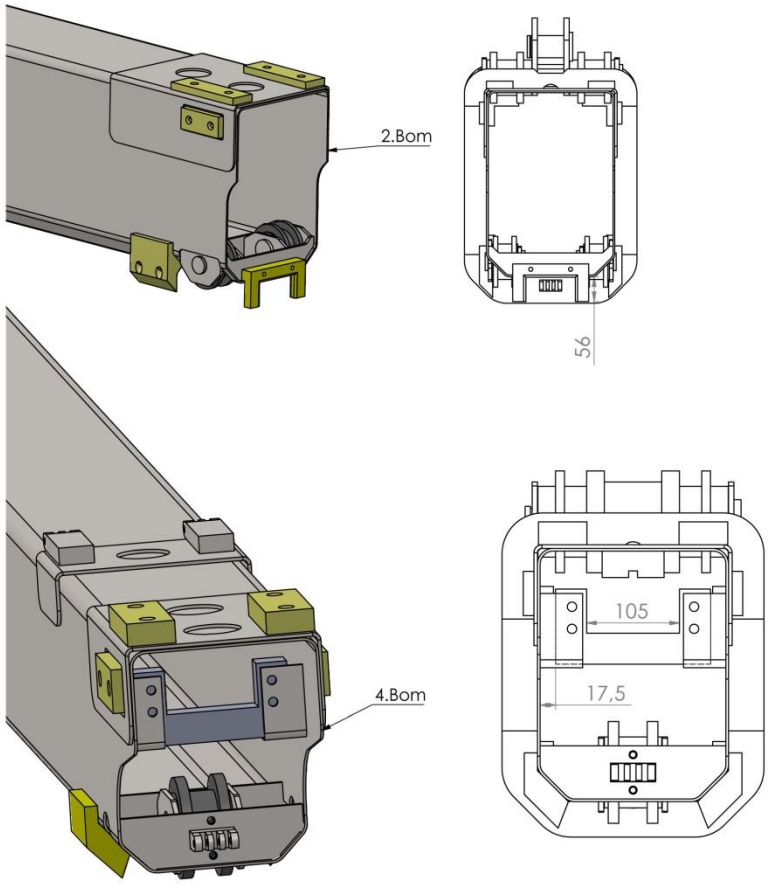

10
25
25
25
PTP-305F
Resmin Adı
Bom Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1


PTP-305F
Resmin Adı
Destek Ayağı Bağlantısı
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
310
55
60
237
140
172

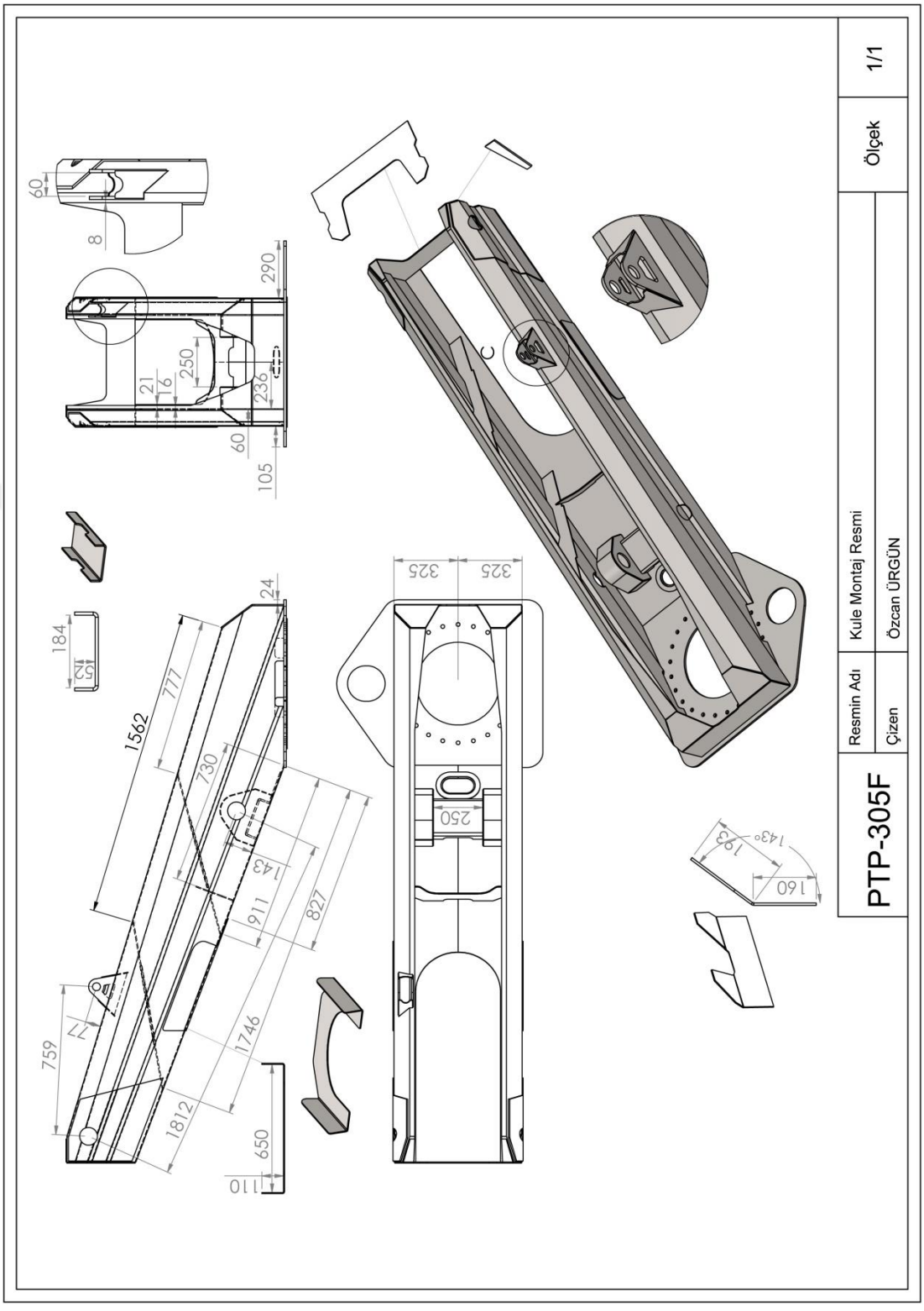

51
6
180
113
50°
130°
1993
883
81
1200
180
420
6
135°
32
1023
130
123
6
1026
100
100
PTP-305F
Resmin Adı
Destek Ayağı Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

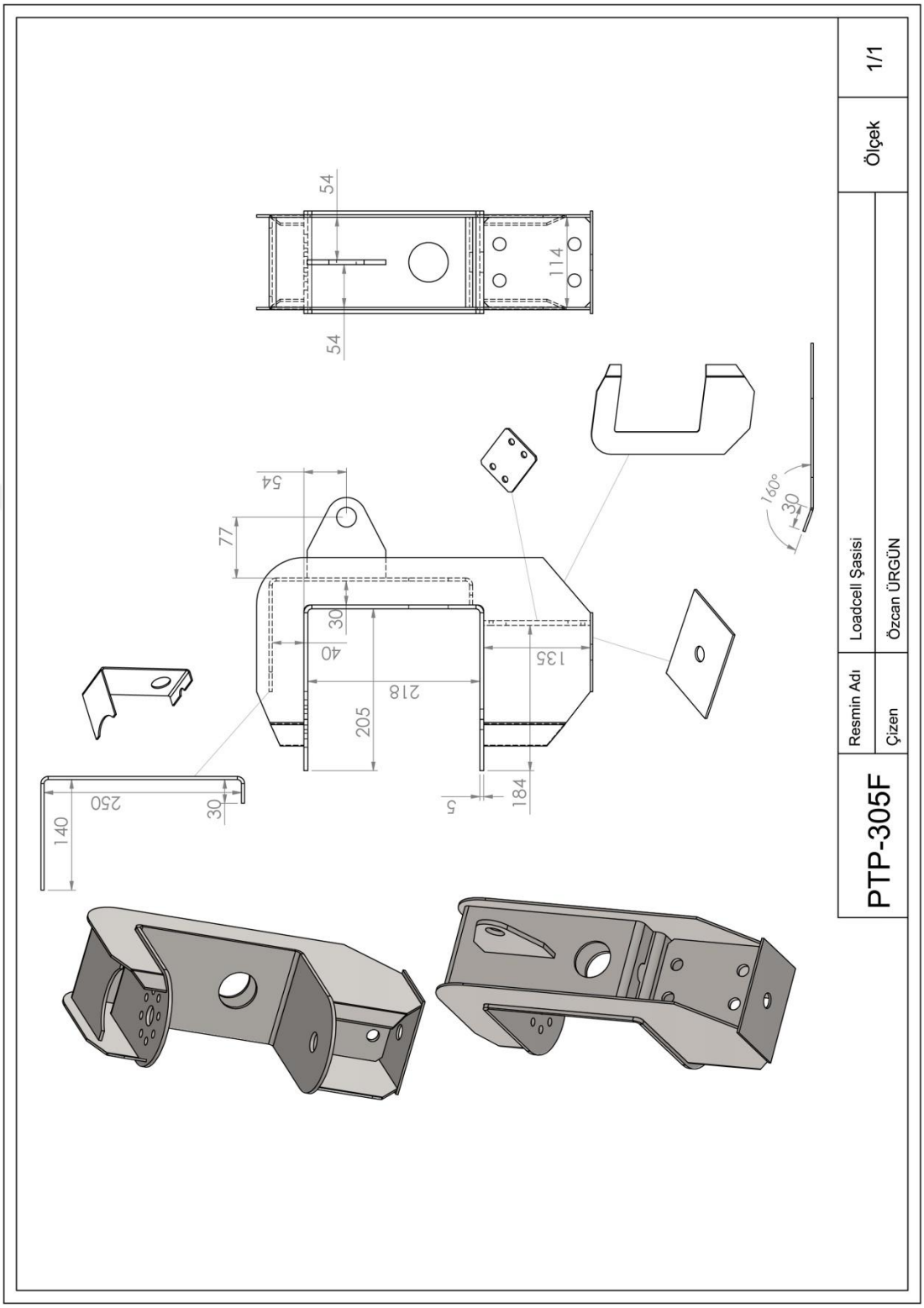

1400
1300
313
100
R50
50x100 Alüminyum Profil
50
190
1300
303
1400
R50
50x100 Alüminyum Profil
190
PTP-305F
Resmin Adı
Fly Bom Kolları
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

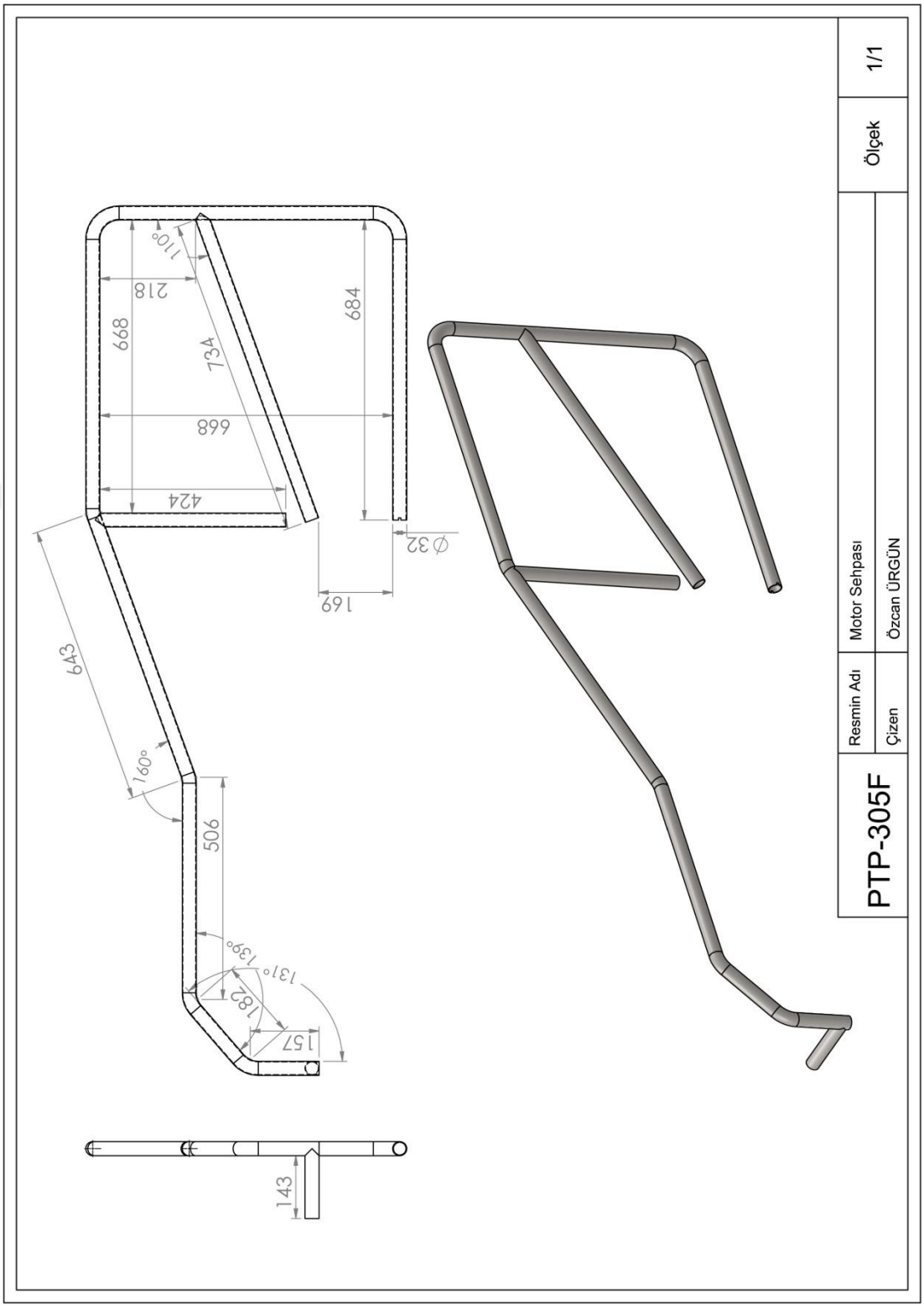

PTP-305F
Resmin Adı
Fly Dönüş Rotary Şasisi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
223
300
31
38°
40
252
204
99
6
110
145°
42
145°
35
240
20
120°
27
95
105
165

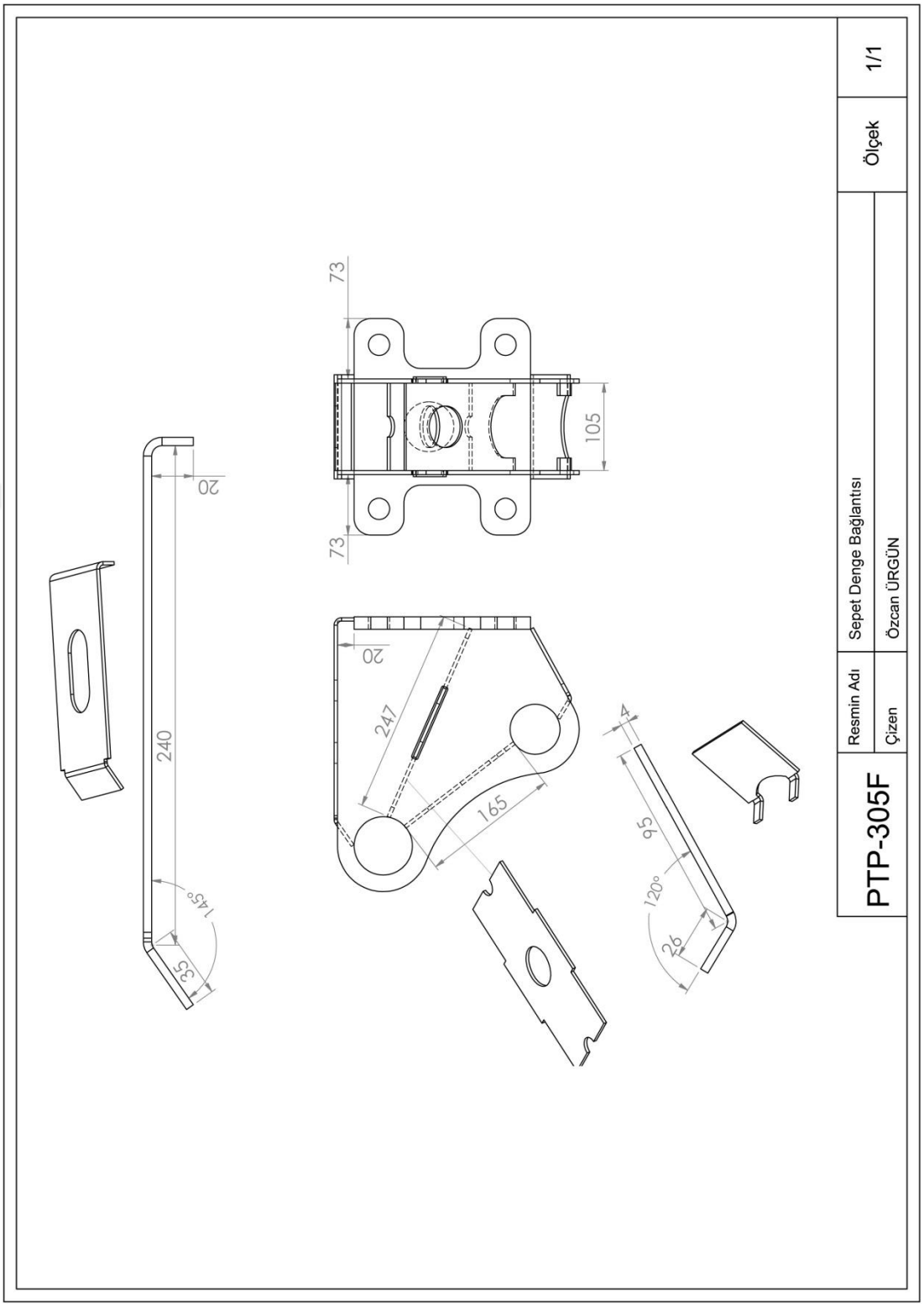


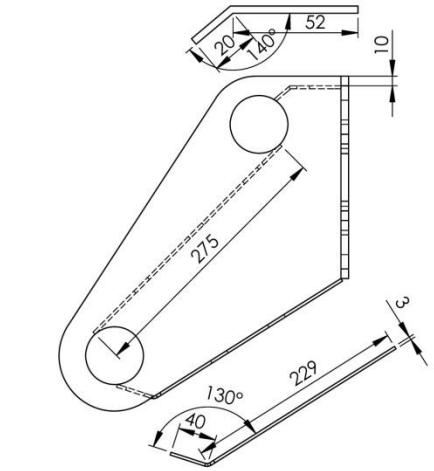
PTP-305F	Resmin Adı	Kablo Taşıma Kanalı Bağlantı Resmi	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

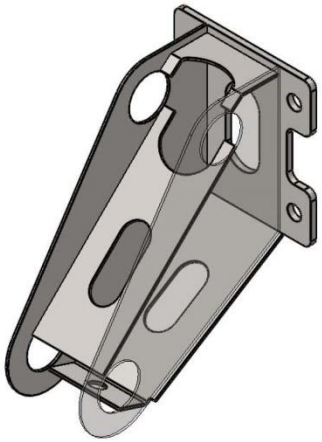

PTP-305F
Resmin Adı
Kule Montaj Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
60
8
290
250
21
16
236
60
105
184
24
1562
777
730
43
911
827
1746
1812
759
650
110
325
325
250
143°
193
160

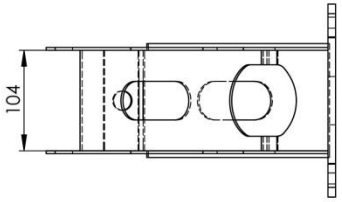

54
114
54
54
77
30
40
135
218
205
184
5
140
250
30
160°
30
PTP-305F
Resmin Adı
Loadcell Şasisi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1


PTP-305F
Resmin Adı
Motor Sehpası
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
110°
218
668
734
684
668
424
Ø32
169
643
160°
506
139°
131°
182
157
143


73
105
73
20
240
145°
53
20
247
165
4
95
120°
26
PTP-305F
Resmin Adı
Sepet Denge Bağlantısı
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1

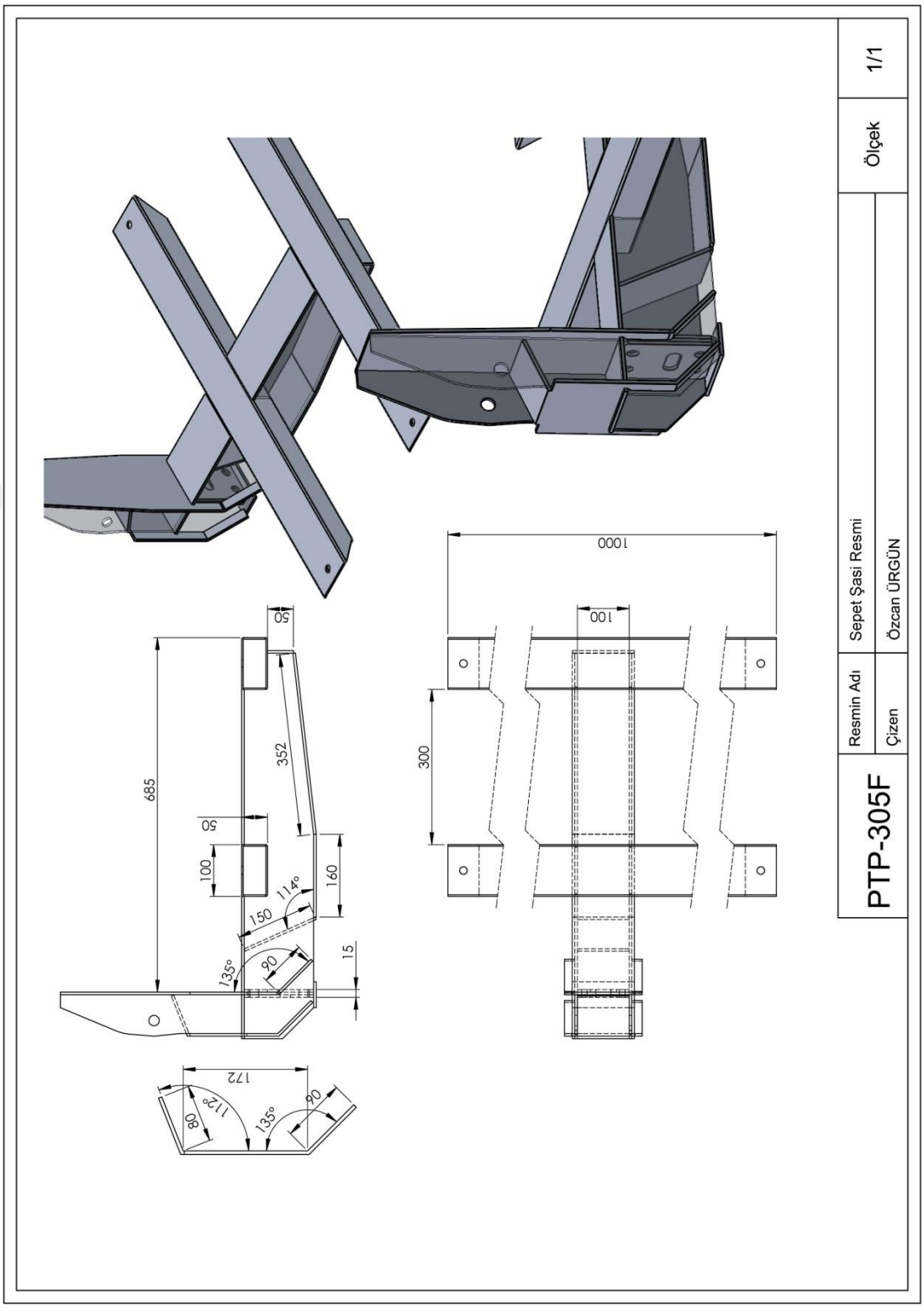


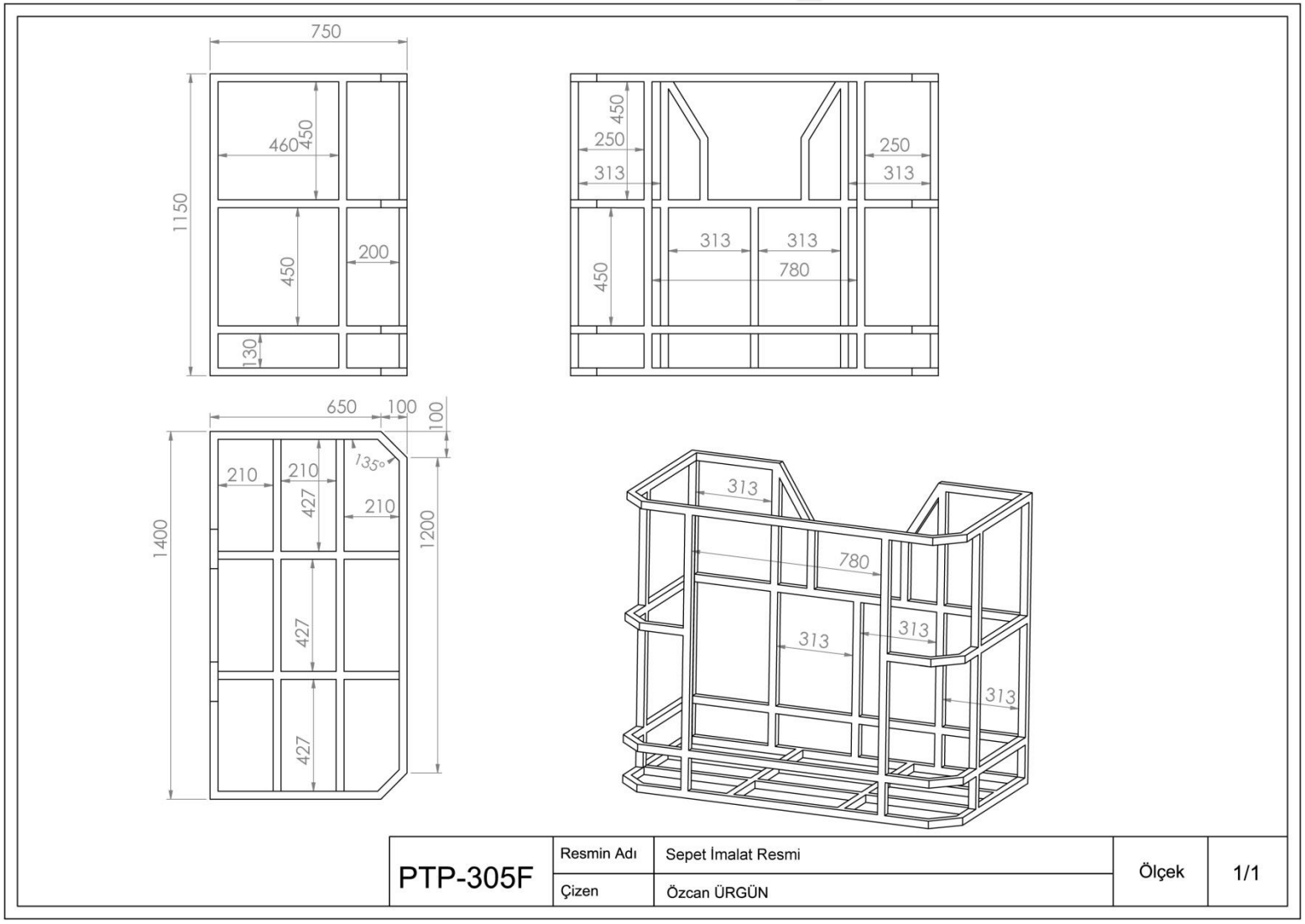




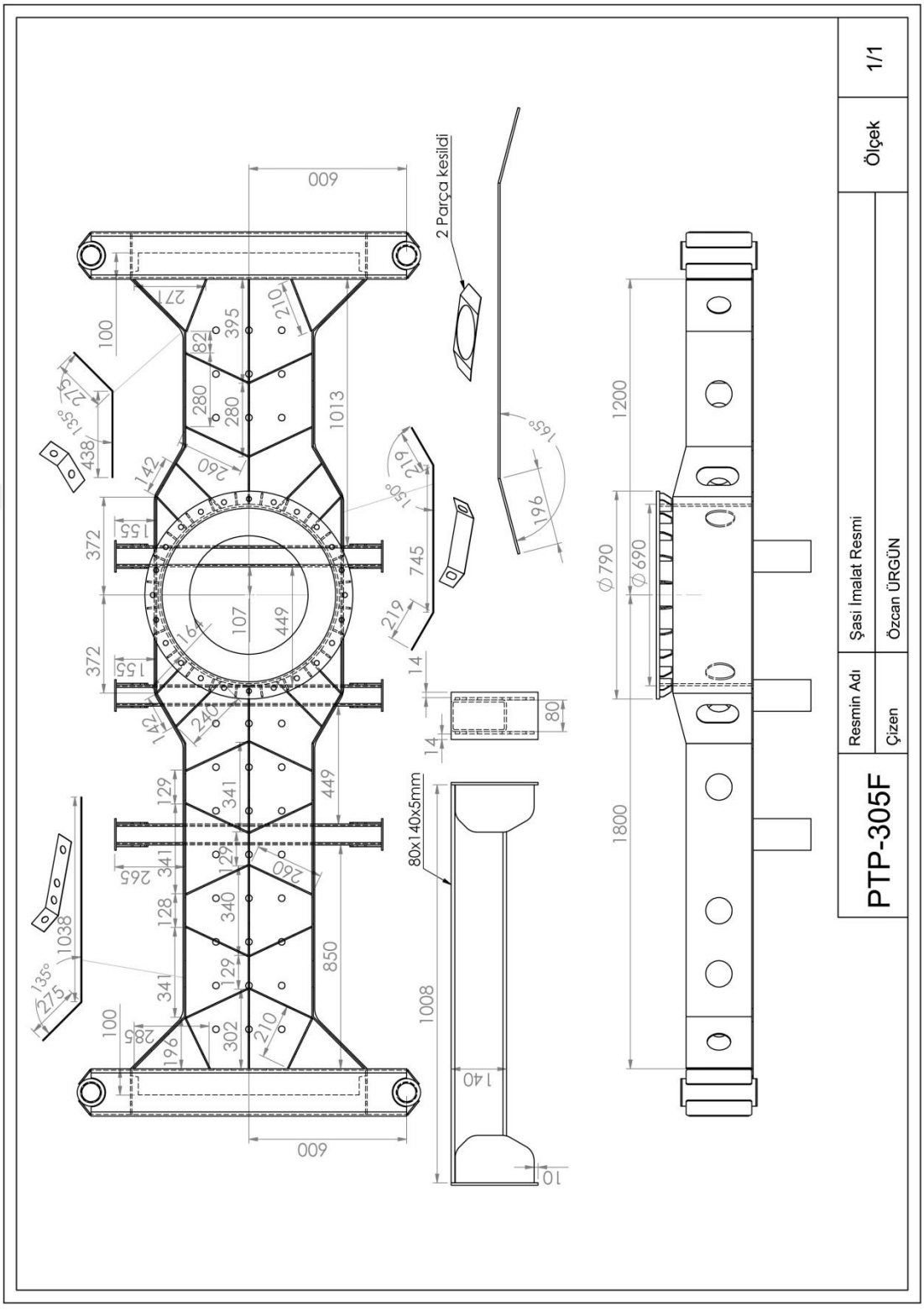
PTP-305F	Resmin Adı	Sepet Dönüş Rotary Şasisi	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

PTP-305F
Resmin Adı
Sepet Merdiven Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
870
760
335
250
30
Ø16,50
70
44
27
3
87
31
10
11
147°
123°

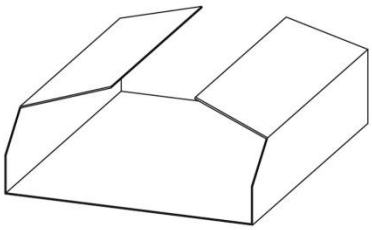

PTP-305F
Resmin Adı
Sepet Şasi Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
1000
100
300
685
352
50
100
160
150
114°
135°
90
15
172
112°
68
135°
90

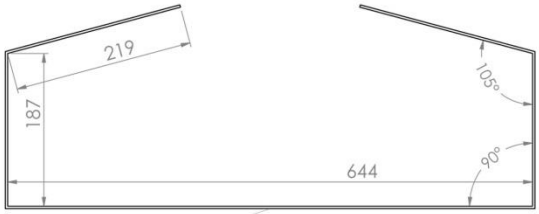


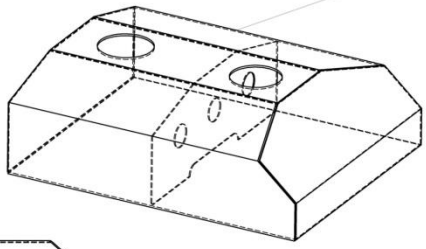
PTP-305F	Resmin Adı	Sepet İmalat Resmi	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

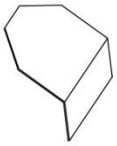

PTP-305F
Resmin Adı
Şasi İmalat Resmi
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
2 Parça kesildi
80x140x5mm
600
1200
1800
1008
1013
850
449
745
Ø790
Ø690

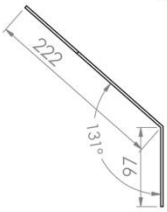
PTP-305F
Resmin Adı
Şasi Katı Görünüş
Çizen
Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1



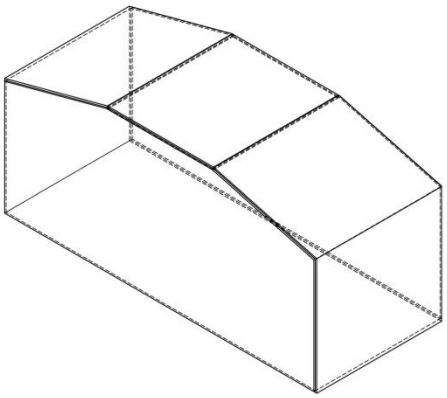


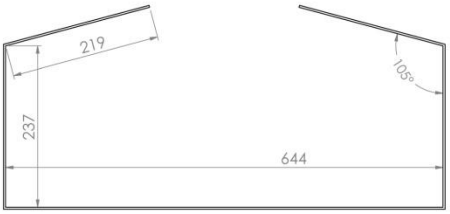






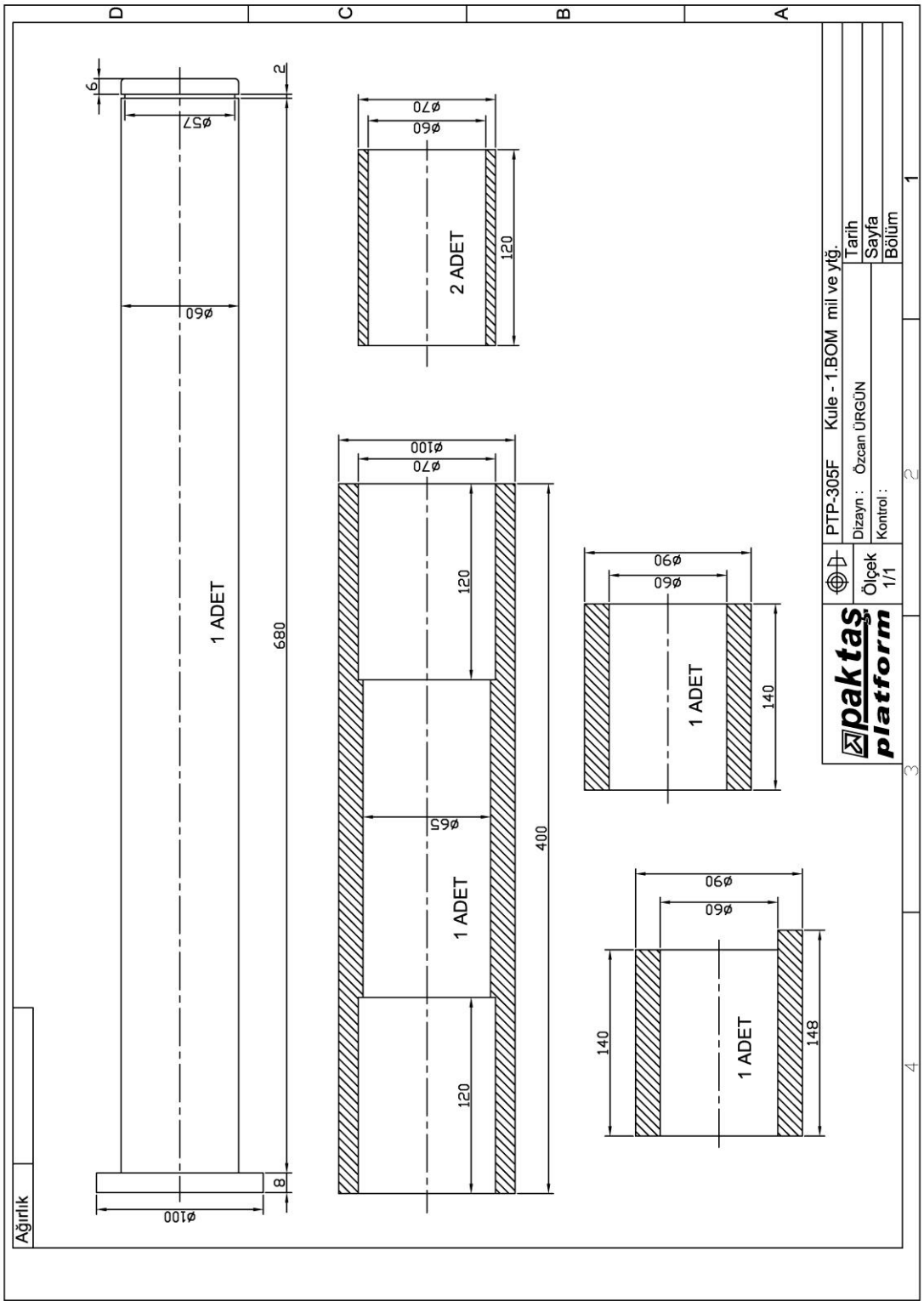


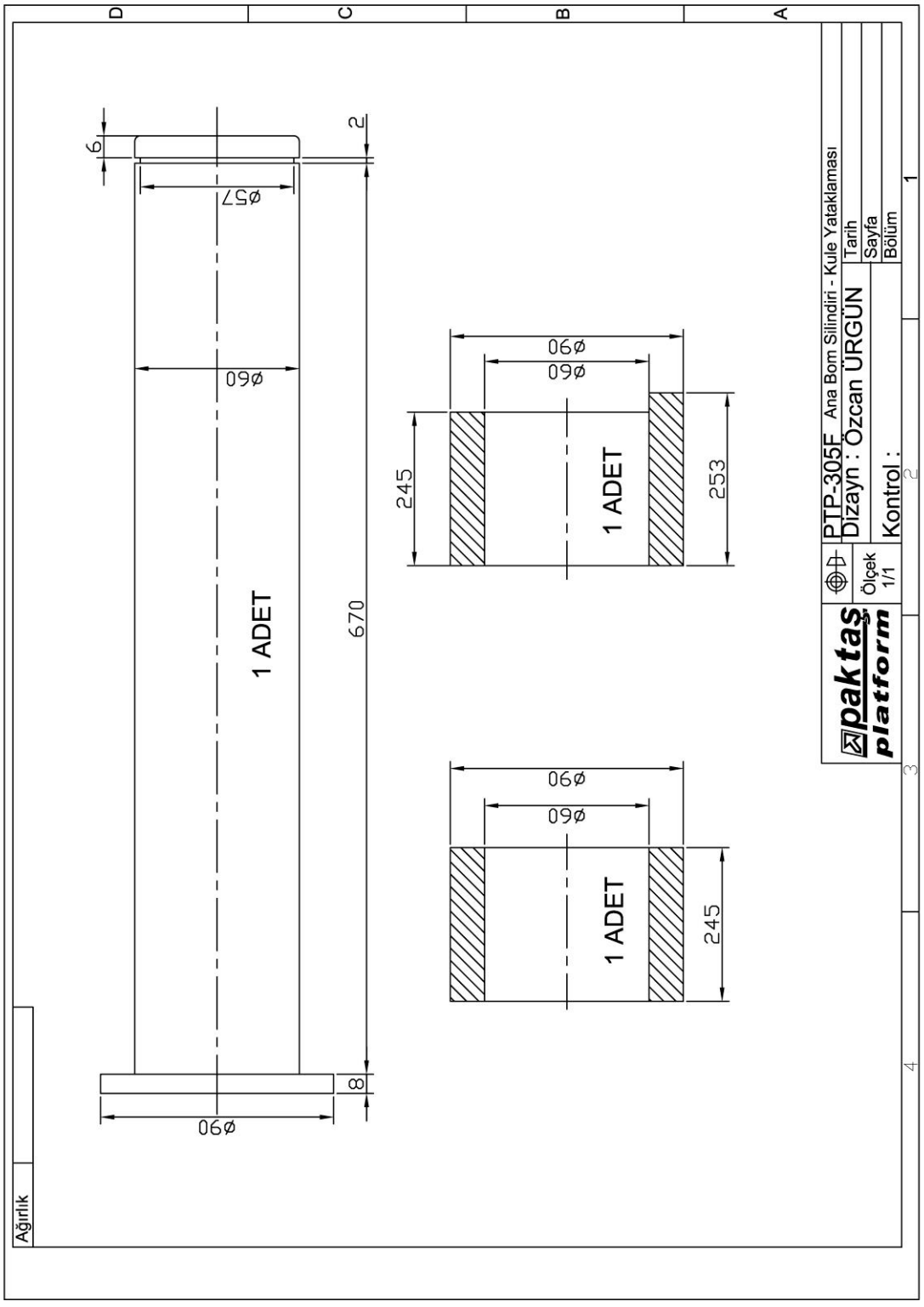


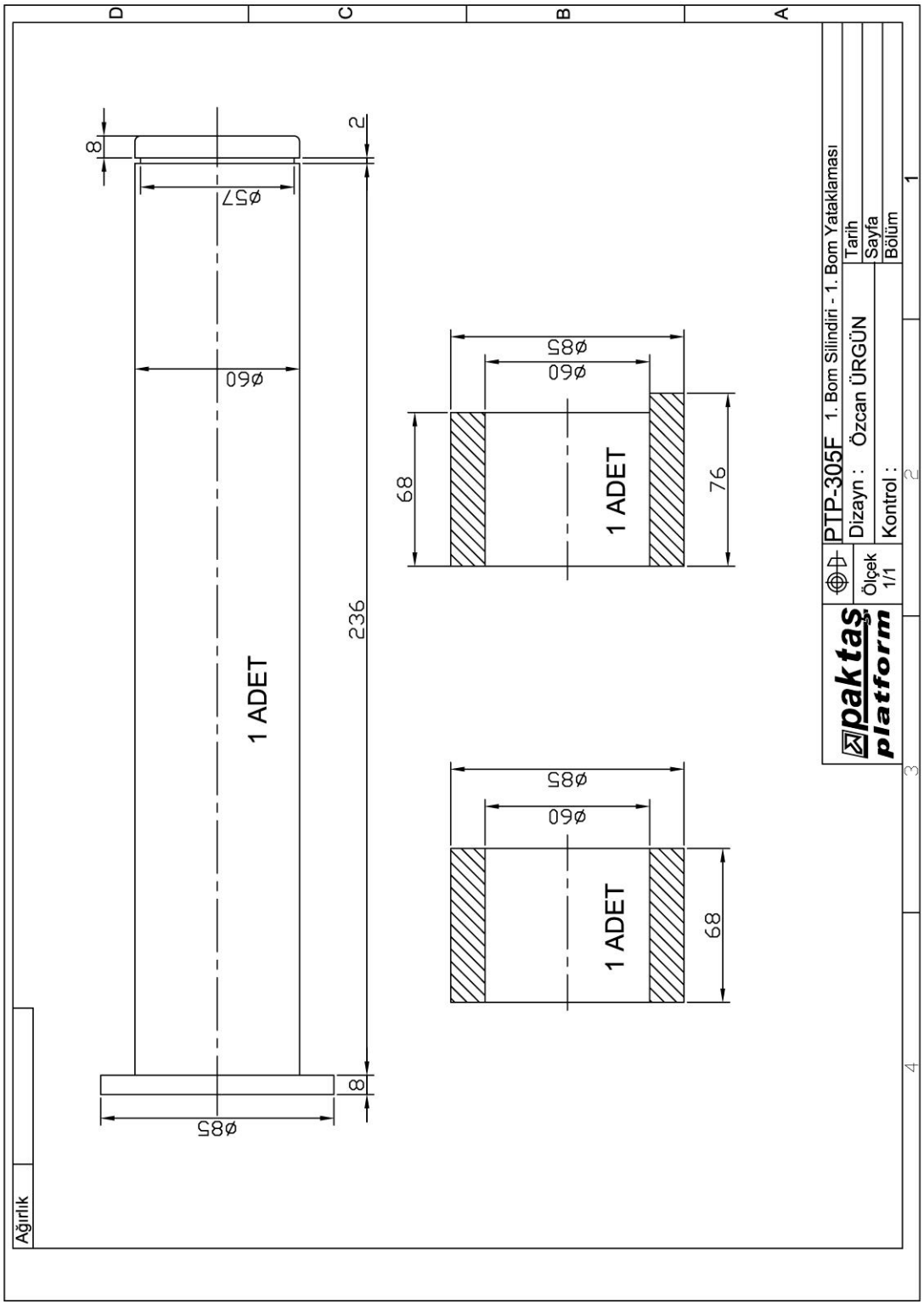


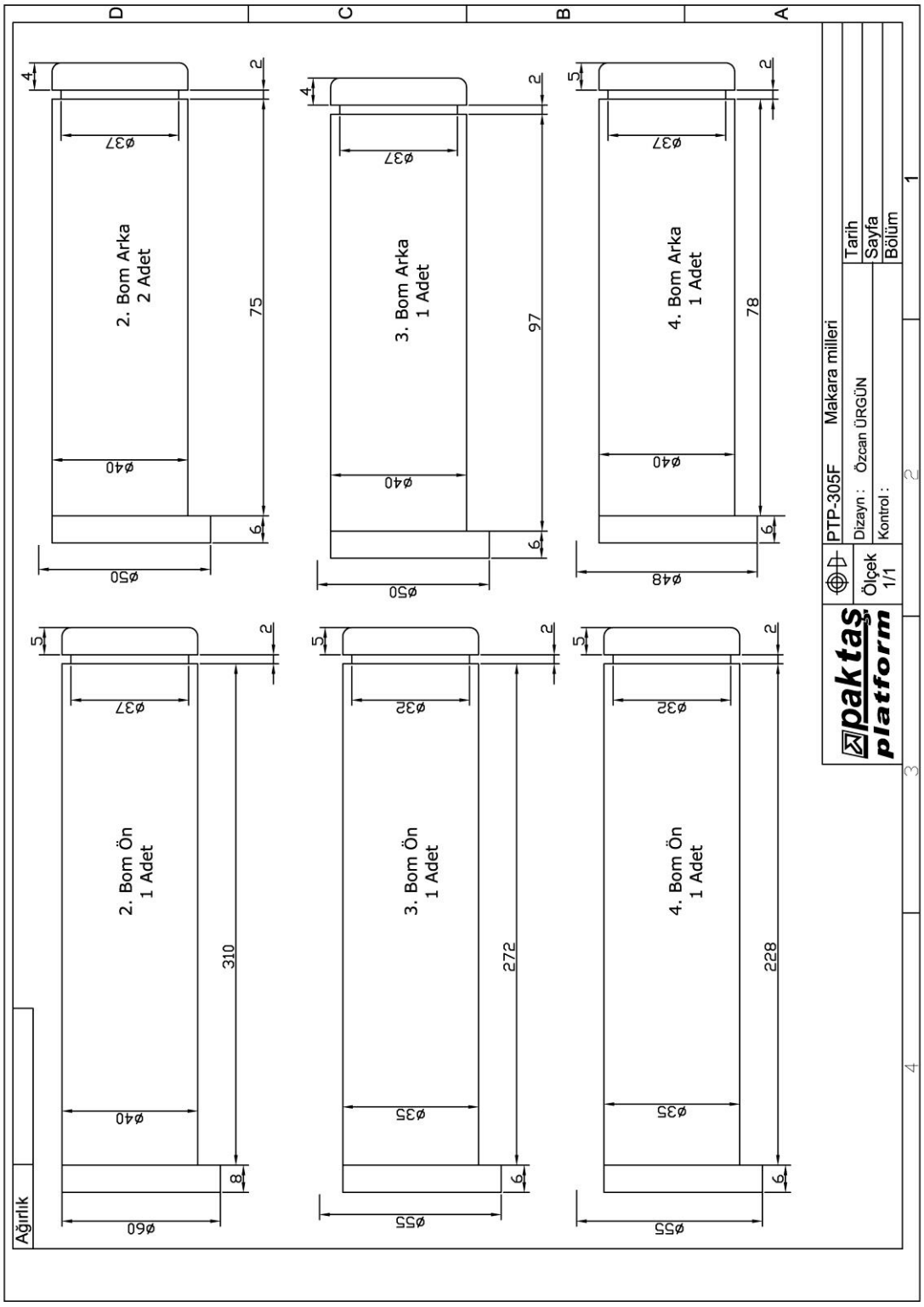
PTP-305F	Resmin Adı	Yağ ve Yakıt Tankı	Ölçek	1/1
	Çizen	Özcan ÜRGÜN		

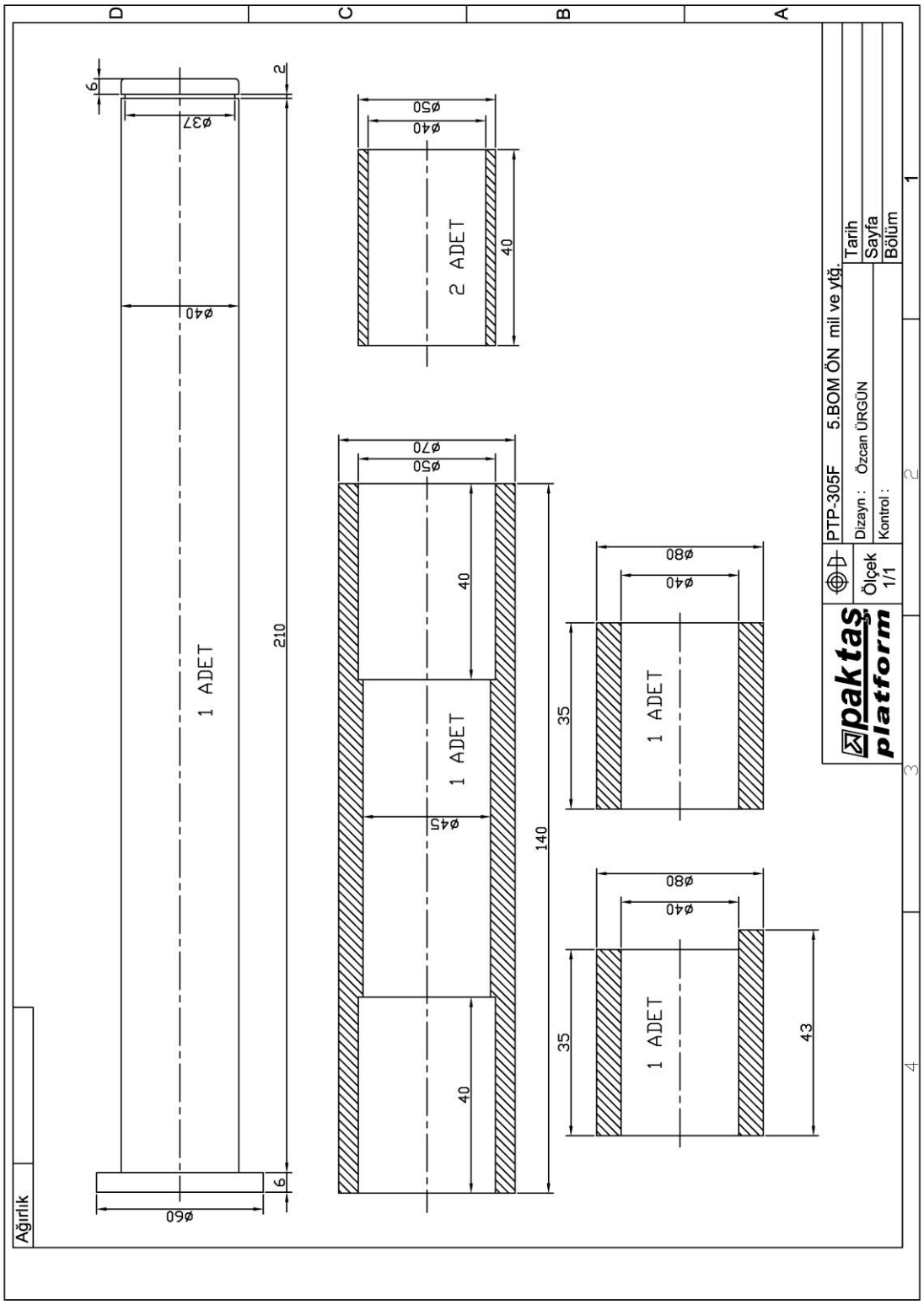
TALAŞLI İMALAT RESİMLERİ

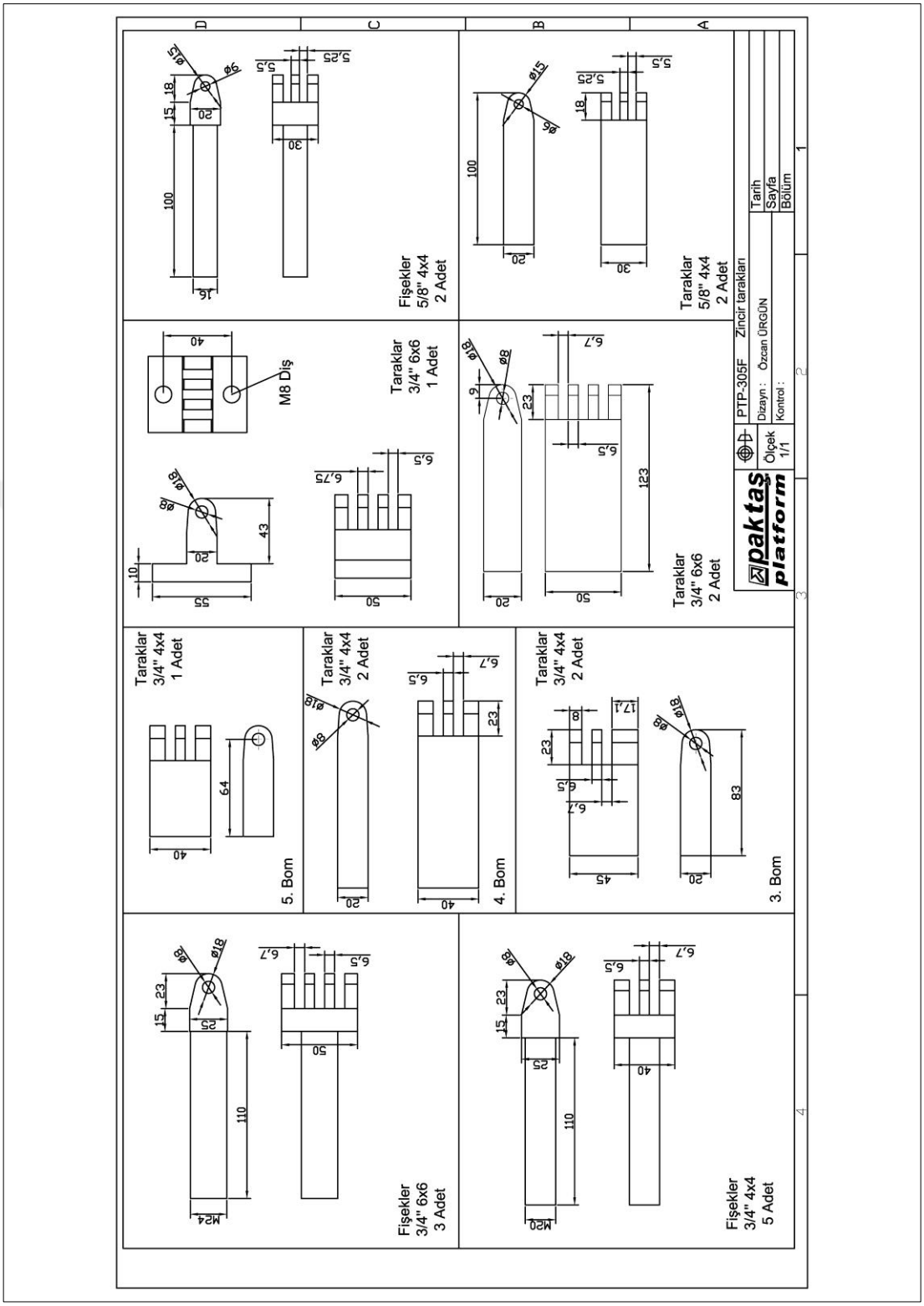


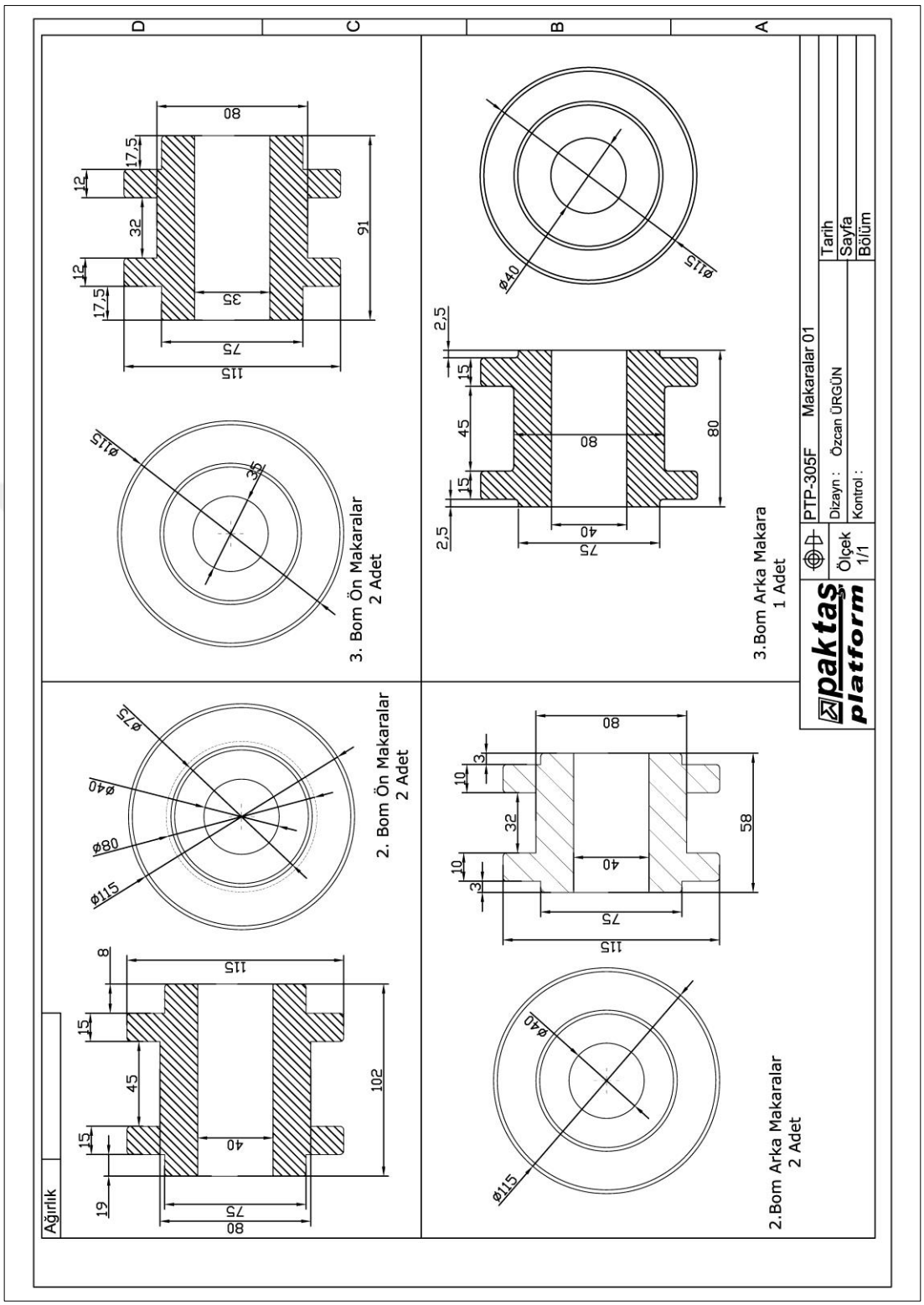

D
C
B
A
6
2
Ø57
Ø60
1 ADET
670
8
Ø90
Ø60
Ø90
245
1 ADET
253
Ø60
Ø90
1 ADET
245
Ağırlık
paktaş platform
Ölçek 1/1
PTP-305F Ana Bom Silindiri - Kule Yataklaması
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Tarih
Sayfa
Bölüm
1
2
3
4

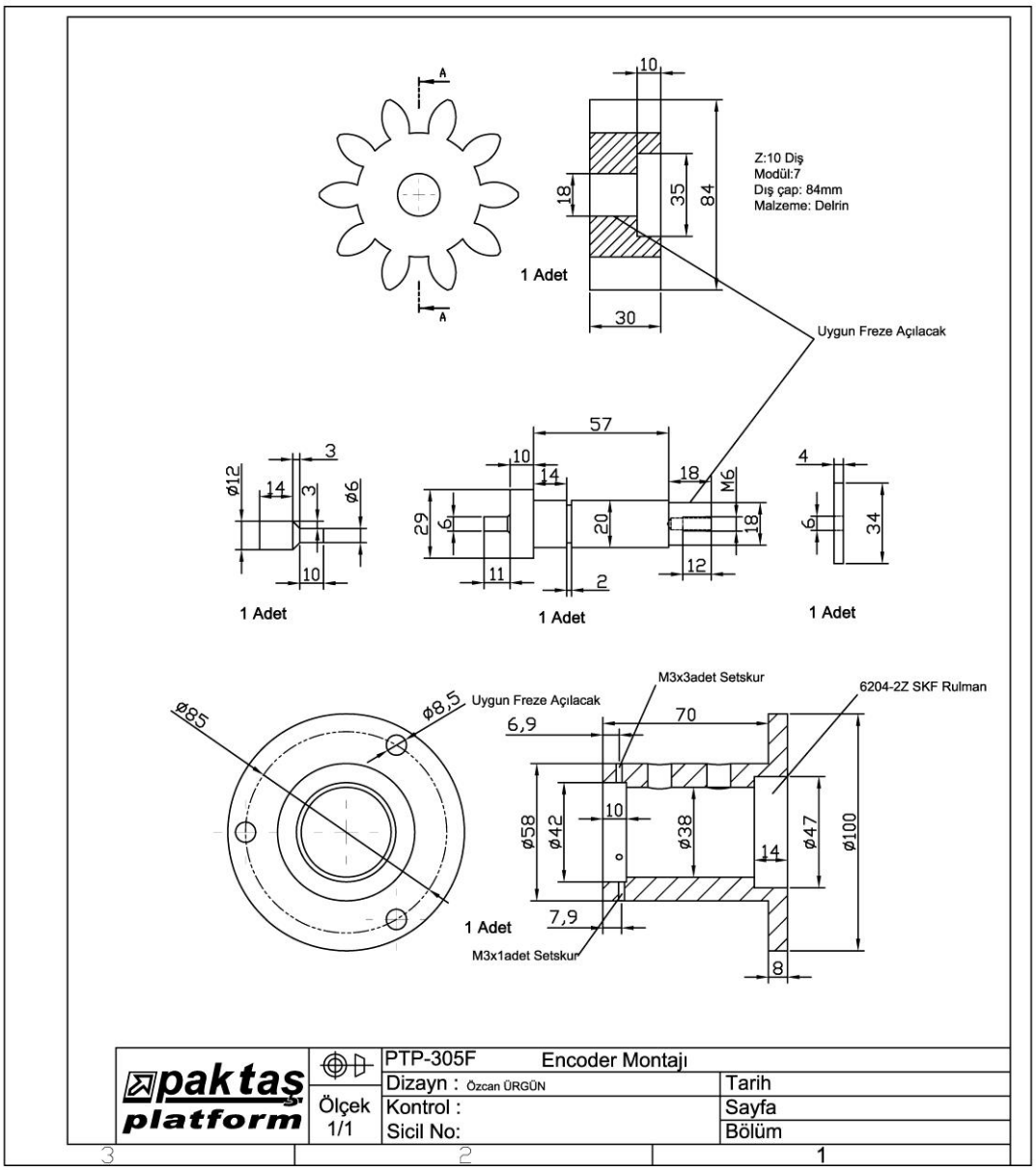

D
C
B
A
8
2
Ø57
Ø60
1 ADET
236
8
Ø85
Ø85
Ø60
68
1 ADET
76
Ø85
Ø60
1 ADET
68
Ağırlık
paktaş platform
PTP-305F 1. Bom Silindiri - 1. Bom Yataklaması
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Ölçek 1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm
1
2
3
4

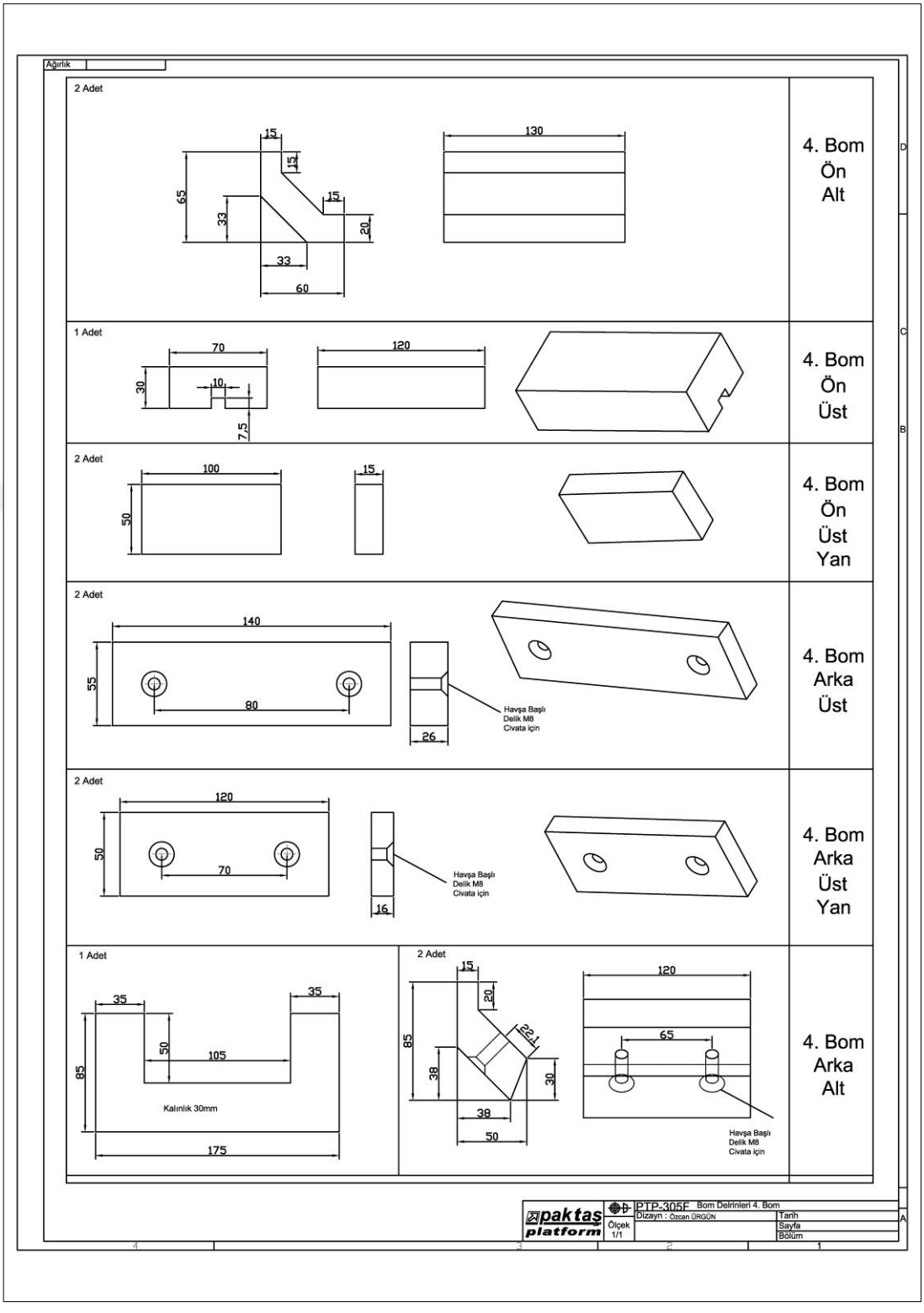

D
C
B
A
2. Bom Arka
2 Adet
3. Bom Arka
1 Adet
4. Bom Arka
1 Adet
2. Bom Ön
1 Adet
3. Bom Ön
1 Adet
4. Bom Ön
1 Adet
75
97
78
310
272
228
ø37
ø40
ø50
ø48
ø32
ø35
ø60
ø55
PTP-305F
Makara milleri
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Ölçek 1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm
paktaş platform
Ağırlık


D
C
B
A
6
2
ø37
ø40
1 ADET
210
6
ø60
ø50
ø40
2 ADET
40
ø70
ø50
40
1 ADET
ø45
140
40
ø80
ø40
35
1 ADET
ø80
ø40
35
1 ADET
43
Ağırlık
paktaş
platform
PTP-305F 5.BOM ÖN mil ve ytğ.
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Ölçek 1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm
1
2
3
4

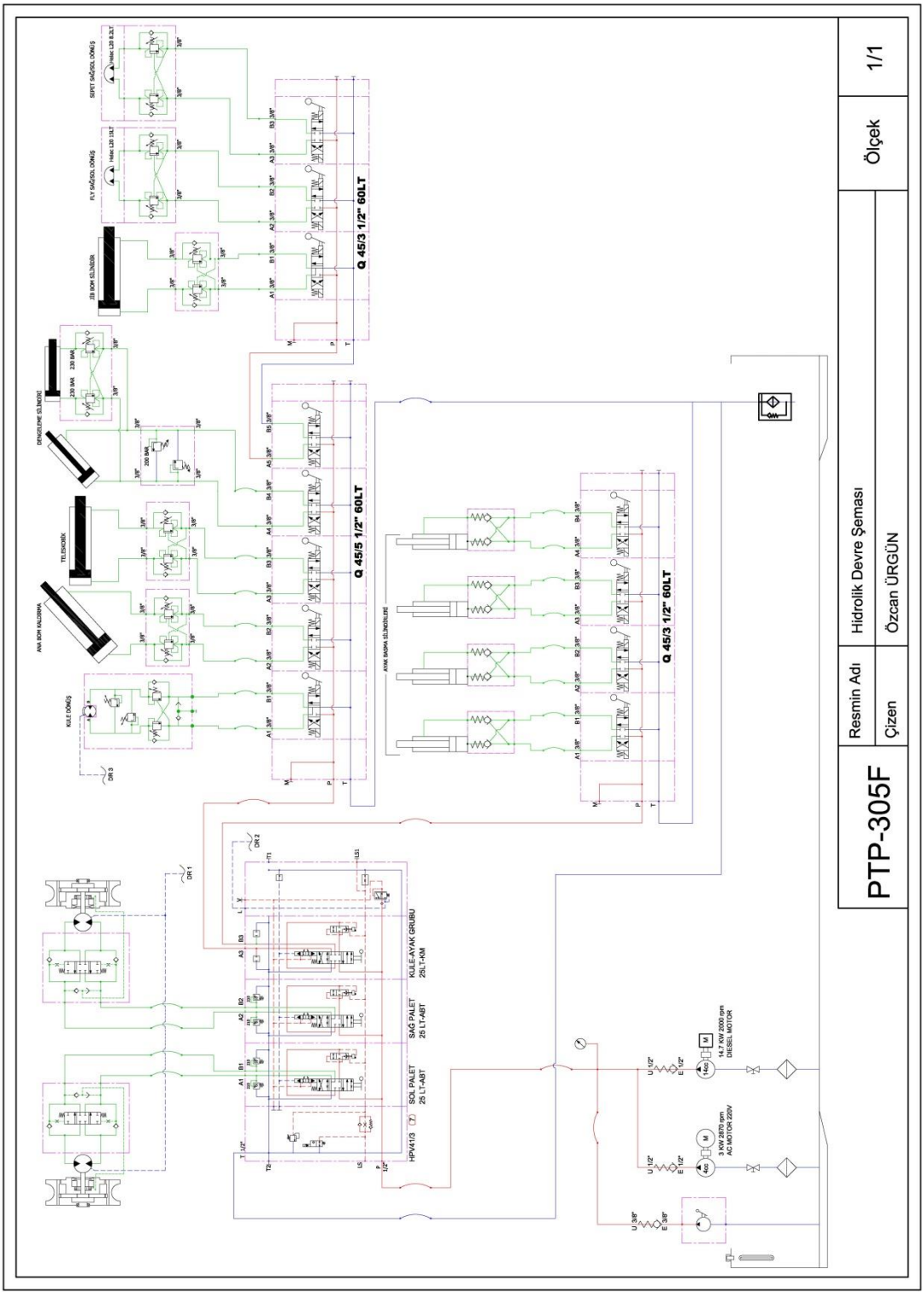

Fişekler
5/8" 4x4
2 Adet
Taraklar
5/8" 4x4
2 Adet
Taraklar
3/4" 6x6
1 Adet
M8 Diş
Taraklar
3/4" 6x6
2 Adet
Taraklar
3/4" 4x4
1 Adet
5. Bom
Taraklar
3/4" 4x4
2 Adet
4. Bom
Taraklar
3/4" 4x4
2 Adet
3. Bom
Fişekler
3/4" 6x6
3 Adet
Fişekler
3/4" 4x4
5 Adet
paktaş
platform
PTP-305F
Zincir tarakları
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Ölçek 1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm


D
C
B
A
3. Bom Ön Makaralar
2 Adet
3.Bom Arka Makara
1 Adet
2. Bom Ön Makaralar
2 Adet
2.Bom Arka Makaralar
2 Adet
Ağırlık
paktaş
platform
PTP-305F
Makaralar 01
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Kontrol :
Ölçek 1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm


A
10
18
35
84
Z:10 Diş
Modül:7
Dış çap: 84mm
Malzeme: Delrin
1 Adet
30
Uygun Freze Açılacak
57
3
ø12
14
3
ø6
10
1 Adet
10
14
18
M6
29
6
20
18
11
2
12
1 Adet
4
6
34
1 Adet
ø85
ø8,5
Uygun Freze Açılacak
M3x3adet Setskur
6204-2Z SKF Rulman
6,9
70
ø58
ø42
10
ø38
14
ø47
ø100
7,9
1 Adet
M3x1adet Setskur
8
paktaş
platform
Ölçek
1/1
PTP-305F Encoder Montajı
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Tarih
Kontrol :
Sayfa
Sicil No:
Bölüm
3
2
1


Ağırlık
2 Adet
15
15
15
65
33
20
33
60
130
4. Bom
Ön
Alt
1 Adet
70
10
30
7,5
120
4. Bom
Ön
Üst
2 Adet
100
50
15
4. Bom
Ön
Üst
Yan
2 Adet
140
55
80
Havşa Başlı
Delik M8
Civata için
26
4. Bom
Arka
Üst
2 Adet
120
50
70
Havşa Başlı
Delik M8
Civata için
16
4. Bom
Arka
Üst
Yan
1 Adet
35
35
50
105
85
Kalınlık 30mm
175
2 Adet
15
20
22,1
85
38
30
38
50
120
65
Havşa Başlı
Delik M8
Civata için
4. Bom
Arka
Alt
paktaş
platform
PTP-305F Bom Delrinleri 4. Bom
Dizayn : Özcan ÜRGÜN
Ölçek
1/1
Tarih
Sayfa
Bölüm

HİDROLİK DEVRE ŞEMASI



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Ürgün Ö.**, Güven E. A., Görgen H., Ürgün S., Paletli Tip Havai Çalışma Platformunun Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tasarımı ve Üretimi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kocaeli, 2019* .

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Tokat Turhal'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tokat'ta tamamladı. Lise ve ön lisans öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2011 yılında girdiği Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2015-2017 yılları arasında. Kocaeli'de bulunan Özel bir şirkette tasarım mühendisi olarak çalıştı 2017 itirabi ile aynı şirkette tasarım müdürü olarak çalışmasına devam ediyor. 2016- yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.