



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEŞ SERBESTLİK DERECELİ BOMBA YÜKLEME ARACININ TASARIMI, ANALİZİ, SIMULINK/SIMMECHANICS MODELİ VE ANİMASYONU

ÜMİT KOÇER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEŞ SERBESTLİK DERECELİ BOMBA YÜKLEME ARACININ TASARIMI, ANALİZİ, SIMULINK/SIMMECHANICS MODELİ VE ANİMASYONU

Ümit KOÇER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Koray KAVLAK

2013, 126 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ziya ŞAKA
Yrd. Doç. Dr. Arif ANKARALI
Yrd. Doç. Dr. Koray KAVLAK

Bu çalışmada, motorlu ve motorsuz bomba yükleme araçları ile farklı amaçlar için kullanılan benzer liftler ve kaldıraçlar araştırılmıştır. Farklı tahrik ve hareket sistemleri kullanılarak birkaç farklı tasarım elde edilmiştir. Bu tasarımlar arasından en uygun olanı seçilerek üniversal bir bomba yükleme aracı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bomba yükleme aracının temel bileşenleri olan hidrolik sistemler, lineer kızaklar ile döner tablalı rulman kataloglardan seçilmiştir. Özel imalat gerektiren parçaları ise sisteme uygun olarak tasarlanmıştır.

Savaş uçakları için beş serbestlik derecesine sahip motorsuz ve hidro-mekanik bir bomba yükleme aracı Pro-Engineer programında tasarlanmıştır. Pro-Mechanica programında statik analizleri yapılmıştır. Maksimum gerilme ve maksimum deplasmanlar görsel ve grafiksel olarak elde edilerek incelenmiştir.

Yapılan üç boyutlu tasarımın taşıyıcı tabla kısmı Matlab Simmechanics programına aktarılmıştır. Daha sonra tasarımın matematiksel modeli oluşturularak gerekli eyleyici bağlantıları yapılmıştır. Araca asıl hareketi veren hidrolik sistemlerin matematiksel modelleri oluşturularak zamana bağlı basınç, kuvvet, hız, konum, debi ve dönme açısı grafikleri elde edilmiştir. Sisteme bağlanan hidrolik eyleyiciler ile de sisteme ait hareket durumu ile konum ve hız grafikleri de oluşturulmuştur. Sonuç olarak elle tahrik edilen aracın uygun silindir ve basınçlarda çalışması ile ilgili herhangi bir problem oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bomba Yükleme Aracı, Bilgisayar Destekli Tasarım, Statik Analiz, Pro-Engineer, Pro-Mechanica, Matlab, Simmechanics.

ABSTRACT

MS THESIS

FIVE DEGREES OF FREEDOM BOMB LOADING DEVICE DESIGN, ANALYSIS SIMULINK/SIMMECHANICS MODEL AND ANIMATION

Ümit KOÇER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Koray KAVLAK

2013, 126 Pages

Jury
Prof. Dr. Ziya ŞAKA
Assist. Prof. Dr. Arif ANKARALI
Assist. Prof. Dr. Koray KAVLAK

In this study, bomb loading devices with the motorized and non-motorized and similar lifts and hoists to use for different purposes are investigated. Using a different drive and motion systems several different design is obtained. Selecting the most appropriate one of these designs, design of a universal bomb loading device is achieved. The hydraulic systems, linear guides and rotary table bearings which are the basic components of the designed bomb loading device have been selected from catalogs. The other parts which require special manufacturing is designed in accordance to the system.

A non-motorized and hydro-mechanical loading device that have five degrees of freedom for fighter jets is designed on the Pro-Engineer program. Static program analysis was made on Pro-Mechanica. Maximum stresses and maximum displacements are examined and obtained as visually and graphically.

The moving tables part of the three dimensional design with were transferred to the Matlab Simmechanics program. Later creating a mathematical model of the design made the necessary connections to the actuator. Pressure, force, velocity, position and flow rates graphics with respect to time is achieved by creating mathematical models of hydraulic systems that the real movement of the device. The state of motion of the system and graphics were obtained with hydraulic actuators which connected to the system. As a result, no problem observed after movement with appropriate cylinder and pressures of the manually driven device.

Keywords: Bomb Loading Device, Computer Aided Design, Static Analysis, Pro-Engineer, Pro-Mechanica, Matlab, Simmechanics.

ÖNSÖZ

Günümüz teknolojisinin gelişim hızının sayısal bir değeri olmasa da, devamlı olarak yükselen bir grafik çizdiği görülmektedir. Önümüzdeki yüzyılda yeni nesil ürünleri çağın ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde kendi milli imkânları ile üretebilen devletler, dünya platformunda ön sıralardaki yerini alabilecek ve teknolojiyi daha ucuza kullanabileceklerdir.

Dünyadaki bu hızlı gelişimin temel taşlarını ise savunma sanayisine yaptıkları yatırımlar ile dünya ekonomisine yön veren devletler oluşturmaktadır. Sivil halkın kullandığı teknolojinin en üst sınırını devletler milli savunma sanayilerinde kullanmaktadırlar. Olası bir gerilimde her devlet elindeki savaş gücü oranında başarıya ulaşabilecektir. Savunma sanayisinde milli imkânlar ile yapılmayan her türlü savaş aracı ve teçhizat ileride ülkeler arasındaki ilişkiler ile doğru orantılı olarak risk teşkil etmektedir.

Sadece milli savunma sanayinde değil, diğer sektörlerde de yapılan yeni ürünler ve yatırımlar, ekonomiyi geliştireceği gibi yeni iş olanakları da sağlayacaktır.

Bu tezin hazırlanmasında gösterdiği ilgi ve kolaylık için danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Koray KAVLAK'a ve değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Arif ANKARALI'ya teşekkür ederim. Yoğun iş hayatımın içerisinde bana olan desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen ve her konuda bana yardımcı olan eşim Müyesser KOÇER'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Ümit KOÇER

KONYA 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. UÇAK BOMBALARI VE BOMBA YÜKLEME ARAÇLARI **8**

3.1. Uçak Bombaları 8
3.2. Bomba Yükleme Araçları 11
3.2.1. MJ-1B bomba yükleme aracı 11
3.2.2. Koca Yusuf BYA-1750 bomba yükleme aracı 12
3.2.3. BL-1 bomba yükleme aracı 12
3.2.4. Aero 47A, Aero 47A-1, And MJ-7 bomba yükleme araçları 13
3.2.5. Pak-Lift bomba yükleme aracı 14
3.2.6. MK-7 bomba yükleyici 15

4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM **17**

4.1. CAD/CAM Nedir? 17
4.2. CAD Dizayn Prosesi 17
4.3. CAD Sistemini Kullanmanın Temel Nedenleri 18
4.4. CAD Dizayn Prosesleri 19
4.5. Bilgisayar Destekli Tasarımın Faydaları 21

5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE ANALİZ **23**

5.1. Avantajları 23
5.2. FEA Nedir? 23
5.3. Analiz Yapma Süreci 24

6. MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ **26**

6.1. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi 26
6.2. Mühendislik Akma Eğrisi 26
6.3. Gerçek Akma Eğrisi 27
6.4. Çok Eksenli Gerilme İçin Tresca Kriteri 28
6.5. Çok Eksenli Gerilme İçin Von Mises Kriteri 29
6.6. Çok Eksenli Akma Kriterlerinin Grafiksel Gösterimleri 31
6.7. Akma Yüzeyi 33
6.8. Eşdeğer Gerilme ve Şekil Değiştirme 34

7. BEŞ SERBESTLİK DERECELİ BOMBA YÜKLEME ARACININ TASARIMI 35

7.1. Uçaklara Bomba Yükleme İşleminin Yapılması 35
7.2. Tasarlanan Bomba Yükleme Aracında Olması İstenilen Avantajlar 35
7.3. Bomba Yükleme Aracının Tasarımında Kullanılan Makine Parçaları 36
7.3.1. Lineer kızaklar 37
7.3.1.1. Avantajları 37
7.3.1.2. Genel özellikleri 38
7.3.2. Döner tablalı rulman 40
7.3.2.1. Yuvarlanma yolu kapasitesi 41
7.3.2.2. Bağlantı cıvataları kapasitesi 41
7.3.2.3. Destek yüzeyi 41
7.3.2.4. Toz keçeleri 42
7.3.2.5. Döner tablalı rulman dişlisi 42
7.3.2.6. Pinyon dişli 42
7.3.3. Sanayi tipi tekerlek 43
7.3.3.1. Kullanım alanı 43
7.3.3.2. Hareket kabiliyeti 44
7.3.3.3. İklim şartları 44
7.3.3.4. Çevresel şartlar 44
7.3.3.5. Yük kapasitesi 44
7.3.3.6. Yataklama ve bağlantı çeşitleri 44
7.3.3.7. Tekerleğin genel konstrüksiyonu 45
7.3.3.8. Tekerlek yerleşim şekilleri 46
7.3.3.9. Tekerleğin kimyasal dayanıklılığı 46
7.3.3.10. Tekerlek seçerken dikkat edilecek hususlar 47
7.3.3.11. Tekerlek seçim formülü 47
7.4. Beş Serbestlik Dereceli Bomba Yükleme Aracının Genel Özellikleri 48
7.4.1. Lift arabası özellikleri 53
7.4.2. Taşıyıcı tabla özellikleri 55

8. KRİTİK PARÇALARIN ANALİZLERİ 58

9. TAŞIYICI TABLANIN MATLAB MODELİ VE ANALİZLERİ 61

9.1. Doğrusal ve Açısal Hareket Sağlayan Hidrolik Silindirlerin Matlab Modeli 61
9.2. Taşıyıcı Tablanın Simmechanics Modeli 66

10. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 73

10.1. Kataloglardan Seçilerek Tasarlanan Parçaların Yük Kapasitesi 73
10.2. Tasarlanan Parçaların Maksimum Gerilme ve Maksimum Yer Değiştirme Analizleri 74
10.3. Emniyet Katsayısının Seçimi 74
10.4. Malzeme Seçimi 76
10.5. Matlab Modeli Analizleri 78
10.6. Genel Değerlendirme 78

11. ÖNERİLER 80

12. KAYNAKLAR 81

13. EKLER 84

EK-1 BL-1 Bomba Yükleme Aracının Yandan, Önden ve Üstten Görünüşleri 84
EK-2 Tasarımda Kullanılan Taşıma Rayının ve Arabasının Genel Özellikleri 84
EK-3 Tasarımda Kullanılan Döner Tablalı Rulmanın Genel Özellikleri 89
EK-4 Tasarımda Kullanılan Sanayi Tipi Tekerleğin Genel Özellikleri 92
EK-5 Bomba Yükleme Aracının Genel Görünüşleri 94
EK-6 Lift Arabasına Ait Diğer Görünüşler 97
EK-7 Taşıyıcı Tablaya Ait Diğer Görünüşler 99
EK-8 Özel Üretim Gerektiren Üst Tabla, Ara Tabla-01, Ara Tabla-02, Ara Tabla-03 ve Lift Kaldırma Kolu Parçalarına Ait Grafikler ve Analiz Görüntüleri 101
EK-9 Üç Boyutlu Çizimlere Ait Elde Edilen Görüntüler 120
EK-10 Kütle, Atalet, Konum ve Yönlendirme Özellikleri 121

ÖZGEÇMİŞ 126

SİMGELER VE KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design
CAM	: Computer Aided Manufacturing
ICG	: Interactive Computer Graphics
CRT	: Cathode Ray Tube
NC	: Numerical Control
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
FEM	: Finite Element Method
FEA	: Finite Element Analysis
JDAM	: Joint Direct Attack Munition
HİBM	: Hava İkmal Bakım Merkezi
ISO	: International Organization for Standardization
USAF	: United States Air Force
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
MBE	: Makas Benzeri Eleman
D-MBE	: Değiştirilmiş Makas Benzeri Eleman
HRB	: Rockwell Sertliği
PS	: Physical Signal
$\sigma_{em.}$	: Emniyet gerilmesi
S	: Emniyet katsayısı
σ	: Malzemenin akma veya kopma mukavemet sınırı
K	: Seçilecek tekerleğin minimum taşıma kapasitesi
B	: Uygulama aracının boş ağırlığı
Y	: Taşınacak yükün ağırlığı
T	: Uygulama aracına bağlanacak tekerlek sayısı
E	: Tekerlek için emniyet çarpanı

1. GİRİŞ

Dünyada hem sivil hem de askeri alanda havacılık sektörü sürekli ve dinamik bir gelişim içerisindedir. Bu nedenle havacılık stratejik bir sektör olarak ülkelerin yakın ilgisini çekmektedir. Hızla küreselleşmekte olan havacılık sektöründe rekabet giderek artmaktadır. Sanayileşmiş ülkeler havacılık sektörünün korunması ve rekabet gücünün geliştirilmesi için özel politikalar ve planlar üretip uygulamaktadırlar.

Tüm dünyada kullanılan teknolojilerin temelini genel olarak askeri çalışmalar oluşturmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise geçmişte olduğu gibi gelecekte de savunma sanayisi güçlü olan ülkelerin her alanda güçlü olmasıdır. Günümüzde Kara, Hava ve Deniz Kuvvetleri arasında ise en etkin ve üst düzey teknolojiler Hava Kuvvetlerinde kullanılmaktadır.

Savaş uçaklarının sivil uçaklardan en büyük farkı, gelişmiş silah sistemleri ile donatılmış olmasıdır. Silahsız ve bombasız olan bir savaş uçağının sivil uçaktan bir farkı olmayacaktır. Bu nedenle büyük önem arz eden uçak bombaları, uçaklara yüklendiği anda savaş uçağı özelliğini katmaktadır.

Uçak sistemleri ve yardımcı teçhizatları bu nedenle bir bütün olarak ele alındığı taktirde bir anlam kazanmaktadır. Bu büyük zincirin en önemli halkalarından biri de bombanın uçağa yüklenmesini sağlayan bomba yükleme araçlarıdır. Şu ana kadar dünyada ihtiyaçlar doğrultusunda tasarlanan birçok motorlu ve motorsuz bomba yükleme aracı bulunmaktadır. Gelişen yeni nesil insanlı ve insansız uçaklar için savaş taktikleri ile de doğru orantılı olarak farklı özelliklerde bombalar ve bomba yükleme araçları tasarlanmaktadır.

Yapılan literatür taramasında özellikle motorlu birçok bomba yükleme aracının tasarlanıp üretildiği ve kullanıldığı görülmektedir. Türkiye'de 2'nci Hava İkmal Bakım Merkezi (HİBM) Komutanlığı bünyesinde bulunan "Yer Destek Teçhizatı Araç ve İş Makineleri Bakım-Onarım" kısmı tarafından "Koca Yusuf Bomba Yükleme Aracı" ve "MJ-1B Bomba Yükleme Aracı" üzerine çalışmalar yapılmaktadır. ABD bünyesinde ise sivil bir kuruluş olan "PDI Ground Support Systems" firmasının "BL-1 Silah Yükleme Aracı" ürettiği ve bomba yükleme işlemlerinde kullanılan birçok yer destek teçhizatları ile ilgili çalışmaları olduğu bilinmektedir. Pakistan'da ise uçak yer destek ekipmanları üretimi konusunda faaliyet gösteren "Tash International (Pvt.) Ltd." şirketi, "Pak-lift Bomb Truck" bomba yükleme aracını tasarlayarak üretimini gerçekleştirmiştir.

Uçak ve bomba bir arada düşünüldüğünde yeni geliştirilen uçaklar ve bombalar ile birlikte bunların yan ürünleri olan teçhizatlarda teknolojik gelişim devam etmektedir. Bomba yükleme işleminde ana teçhizat olan bomba yükleme araçlarının yanı sıra taşıma, koruma, bakım, tadilat ve depolama gibi işlemler için de birçok teçhizata ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, dünyada yapılan motorlu ve motorsuz bomba yükleme araçları ile farklı amaçlar için kullanılan benzer liftler ve kaldıraçlar araştırılmıştır. Farklı tahrik ve hareket sistemleri kullanılarak birkaç farklı tasarım elde edilmiştir. Elde edilen tasarımların olumlu ve olumsuz tarafları değerlendirilerek değişiklikler yapılmıştır. Neticede bu tasarımlar arasından en uygun olanı seçilerek motorsuz üniversal bir bomba yükleme aracının tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan bomba yükleme aracının temel bileşenleri olan hidrolik sistemler, lineer kızaklar ile döner tablalı rulman kataloglardan seçilmiştir. Özel imalat gerektiren parçaları ise sisteme uygun olarak tasarlanmıştır.

Savaş uçakları için beş serbestlik derecesine sahip motorsuz ve hidro-mekanik bir bomba yükleme aracı Pro-Engineer programında tasarlanmıştır. Pro-Mechanica programında statik analizleri yapılmıştır. Maksimum gerilme ve maksimum deplasmanlar görsel ve grafiksel olarak elde edilerek incelenmiştir.

Yapılan üç boyutlu çizimlerin taşıyıcı tabla kısmı Matlab Simmechanics programına aktarılmıştır. Simmechanics'de oluşturulan üç boyutlu çizimlerin matematiksel modeli oluşturularak gerekli eyleyici bağlantıları yapılmıştır. Araca asıl hareketi veren hidrolik sistemlerin matematiksel modelleri oluşturularak zamana bağlı basınç, kuvvet, hız, konum, debi ve dönme açısı grafikleri elde edilmiştir. Sisteme bağlanan hidrolik eyleyiciler ile de sisteme ait hareket durumu ile konum ve hız grafikleri elde edilmiştir. Sonuç olarak elle tahrik edilerek hareketi sağlanan aracın uygun silindir ve basınçlarda çalışması ile ilgili herhangi bir problem oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

Tamamen bilgisayar ortamında yapılan bu çalışma kullanılan mühendislik programları sayesinde çok düşük bir maliyet ve sıfır riskle oluşturulmuştur. Aynı zamanda farklı ihtiyaçlar, fikirler ve görüşler neticesinde elde edilen bu tasarım geliştirilmeye ve revize edilmeye açıktır. Sistemlerin hareketini sağlayan elemanlara uygulanacak kontrol yöntemleri ile farklı çalışmalar da elde etmek mümkündür. Bomba yükleme işlemini bir robot kolu ile de yapmak mümkündür. Ancak ortaya konulan bu çalışma maliyet oranları düşük ve ihtiyacı savaş şartlarında en etkin şekilde karşılayacak bir tasarımdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada yapılan kaynak araştırmasında tezin konusu ile ilgili direkt bir kaynak bulunmamaktadır. Askeri ve ticari bir konu olması nedeniyle detaylı bilgiler internet ortamında bulunmamaktadır. Bilinen askeri kaynaklar ise bilgi güvenliği kapsamında bu tezde kullanılmamıştır. Bu nedenle sadece açık olan kaynaklardan faydalanılmıştır. Ancak özgün bir tasarım olması itibariyle sistem bazında kaynak araştırması yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım, hidrolik sistemler, lineer kızaklar, kaldırma platformları, döner tablalar ve Matlab konularında kaynak araştırması yapılmıştır.

Akaya ve ark. (2001), çalışmalarında bir hidrolik güç iletim sisteminin matematik modelini, akışkanın sıkıştırılabilirlik özelliğini, süreklilik denklemini ve momentum denklemlerini esas alarak oluşturmuşlardır. Hidrolik sistemin modelinin gerçeğe yakın olması için viskoz sönüm etkilerini de hesaplara dâhil etmişlerdir. Durum denklemlerinin integrasyon yöntemi olarak Runge-Kutta formülünü, Dormand-Prince çiftine dayanan sayısal integral alma yöntemlerini uygulayan ode45 çözüm fonksiyonunu kullanmışlardır. Matlab programlama dili ile yazılan hidrolik güç iletim sisteminin benzetiminde konum, aç-kapa ve PD algoritmalı kapalı çevrimde iki ayrı şekilde kontrol ederek karşılaştırmışlardır.

Barrett ve ark. (2001), makalelerinde doğrusal hareket uygulamalarının her zamankinden daha fazla talep edildiğini belirtmişlerdir. Az gürültülü, daha hassas, maliyeti düşük, hızlı ve güvenilir sistemlerin günümüzde daha kolay elde edilebildiğini vurgulamışlardır.

Becan ve ark. (1998), hidrolik güç iletim sistemlerini performans testlerine tâbi tutmadan önce gerçeğe yakın modellerle benzetim çalışmaları yaparak, proje planlama ve test maliyetlerini önemli ölçüde düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Hidrolik güç iletim sistemleri konusunda yapılan son çalışmalarda Becan ve ark., temel hidrolik konum kontrol sisteminin esneklik modülünün, silindirin her iki tarafındaki hacim değişimlerini dikkate alarak kontrol katsayıları belirlemişler ve esneklik modülü sabit olan modelle karşılaştırma yapmışlardır.

Coplin (1989), kitabında mühendislik tasarımlarının, piyasa ihtiyaçlarını karşılayabilecek en güçlü faktör olduğunu vurgulamıştır. Tasarımın, analiz ve görsellikle desteklenen ayrıntılı bir planlama süreci olduğunu, yeniliğin ise ihtiyaç ve rekabetin göz önünde tutularak kârlılık elde edilebilecek bir süreç olduğunu

tanımlamıştır. Teknolojinin gelişimi ile eğitim ihtiyaçları ve masraflar artarken teknolojilerin getirilerinin de artacağının kaçınılmaz olduğunu ifade etmiştir. Tasarım çerçevesinde ürün geliştirmenin, farklı ve karmaşık yönleri olduğunu belirtmiştir.

Cürgül ve ark. (2002), bir makinenin tasarlanması için öncelikle makineden ne beklendiğini, yani ihtiyacın tanımlanması gerektiğini ifade etmişlerdir. Fiziksel ve matematiksel modelin oluşturulması ile kâğıt üzerinde makinenin ilk temellerinin atılmış olacağını ve bu modellerin kurulması aşamasında ne tür makine elemanları kullanılacağı, bu elemanların birbirleriyle olan fiziksel ilişkilerinin nasıl teşkil edileceği, hangi malzemeler ve hangi üretim yöntemleri ile elde edilecekleri gibi soruların cevaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Tarihsel gelişimi içinde bir makinenin (veya teknolojik bir ürünün) imal edilmesinin ya bir ihtiyaçtan kaynaklandığını ya da yeni bir buluşun toplumun hizmetine sunulması fikri ile elde edilebileceğini vurgulamışlardır. Bir ihtiyaca cevap verecek çözüm ile yeni bir buluşun toplumun beğenisine sunulmasının aynı şey olmadığını ifade etmişlerdir. Yeni tasarım ürünlerinin toplum içinde birçok yönden kuşkulu ve temkinli yaklaşımla karşılanarak kabul görmesi için uzun zamana ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, tasarımın asıl kısmını mevcut ürünler üzerinde yapılan yenilikler, yani bir makine veya cihazın yapmış olduğu işi daha kolay, daha kısa zamanda ve daha ekonomik olarak yapması gibi kriterlerin oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Dale (2010), döner rulmanların ve lineer rulmanların kusursuz bir hareket sağladığını makalesinde vurgulamıştır. Fabrika otomasyonlarında, sağlık, paketleme, CNC tezgâhı, otomotiv, montaj, gıda ve havacılık gibi birçok sektörlerde hızla ilerleme kaydettiğini vurgulamıştır. Tasarımcıların doğru seçimi yapmaları için alternatif sistemleri detaylı incelemeleri gerektiğini ifade etmiştir. Profil raylı taşıma sistemlerinde yüksek doğruluk, yüksek sertlik ve yüksek yük taşıma kapasitesinin önemli kriterler olduğunu belirtmiştir.

Dubey ve Dwivedi (2003), bir araç şasisinin sonlu elemanlar yöntemiyle ANSYS programında gerilme analizlerini yapmışlardır. Çeşitli analiz cihazları ile gerçek zamanlı ölçümler yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde ettikleri analiz sonuçlarını, ölçümler ile karşılaştırarak benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Genç (2007), araştırma tezinde denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılan paserella üzerinde çalışmıştır. Tasarımını yaptığı paseralla, dört kademeli ve teleskopiktir. Üç boyutlu olarak paserallayı Pro-Engineer paket programında tasarlamıştır. Sonlu elemanlar programı olan ANSYS'te gerilme analizi yapılarak

paserellanın taşıyıcı kol sistemi için en uygun profil kesit ölçüleri belirlenmiştir. Birbiri içerisinde çalışan kol profilleri arasında ne tür bir yatak malzemesi kullanılacağı belirlenmiştir. Farklı yükleme şekillerinde belirlenen emniyet katsayısına göre sistemin emniyetli olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında sistemin emniyetli olmayan yerleri emniyetli hale getirilmiştir.

Habibi ve Goldenberg (2000), geleneksel hidrolik sistemlerin avantajlarını kullanarak yüksek performanslı yeni bir hidrolik hareketlendirici sistemin ön modelini ve tasarımını gerçekleştirmişlerdir.

Hollis ve ark. (2002), yüksek performanslı altı serbestlik dereceli programlanabilir bir bilek tasarlamışlardır. Tasarımla ilgili olarak, cihazın ana unsurları belirlenip tartışılmış ve modelleme konularında, kinematik, dinamik ve kontrol yöntemlerini sunmuşlardır. Kontrollü bir prototip bilek imal ederek deneysel sonuçlar elde etmişlerdir. Yüksek bant genişliği, konum kontrolü, uyumlu kontrol, yüksek hassasiyet ve hassas hareketleri gerektiren manipülatör görevlerini yerine getirerek gerekli yazılımları geliştirmişlerdir.

İbrahim ve ark. (2010), günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber, sanayide insan gücünün yerini tutacak seri ve paralel robotların kullanılmaya başlanmasını öngörerek bir proje hazırlamışlardır. Yaptıkları çalışmada, karmaşık çözümlemeler gerektiren 3x3'lük bir Stewart Platform Mekanizmasının (SPM), düz kinematik analizinde Bezout Yöntemi, Newton Raphson Yöntemi (NR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) olmak üzere üç farklı yöntem kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları, hesaplama sürelerini ve hata oranlarını tablolarda karşılaştırmışlardır. Simülasyon ve deneysel sistem sonuçlarını elde ederek tartışmışlardır. Seri ve paralel robotlarda en temel kinematik problem olan ters ve düz kinematik çözümleri elde etmişlerdir.

Karagöz ve Düzcükoğlu (2011), yaptıkları çalışmada vinç operatörünün kabin içerisinde görüş alanını arttırmak amacı ile, belirli açılarda ve yönlerde hareket edebilen robot operatör kabini tasarlamışlardır. Bu sayede operatöre yükleme ve boşaltmalarda kabin içersinden kumanda etme imkânı ile belirli mesafe ve açılarda görüş alanı sağlanmıştır. 3D tasarımda Solid Works 2010 programından yararlanmışlardır. Malzeme seçimi, yük, sınır şartları belirlenerek robot kabinin hareketleri ve kabinin ağırlığından dolayı oluşan gerilmelerin statik analizi ANSYS Workbench V12 SPO paket programı yardımı ile yapılmıştır.

Köseoğlu ve Yılmaz, kitaplarında mekanizma çeşitleri, yürek mekanizmaları, düzlemsel hareketin kinematik özellikleri, mekanizmaların analitik yöntemle kinematik analizi konularını incelemişlerdir.

Nielsen ve Schmidt (2009), hidrolik tahrikli bir robot manipülatöründe mekanik sistemi tasarladıktan sonra matematik modelini oluşturmuşlardır. Doğrusal ve doğrusal olmayan kontroller uygulayarak çıkan sonuçları yorumlamışlardır.

Paluri ve Gershenson (2001), mevcut bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinin, ürün geliştirmenin ilk aşaması olduğunu belirtmişlerdir. CAD sistemleri sayesinde yaratıcı fikirlerin, uygulamaya kolaylıkla geçirilebildiğini ifade etmişlerdir.

Sellgren (1999), mühendislik tasarımını, problem çözme veya bir karar verme süreci olarak tanımlamıştır. Bilgisayar yazılım araçlarının, teknolojilerin mekanik sorunlarının çözümü için yeni yaklaşımlar oluşturduğunu, modern CAD sistemlerinin çok karmaşık şekiller ve detay çizimler için verimli araçlar haline getirildiğini ifade etmiştir. CAD teknolojisi ile tasarımda yapılan değişimlerin diğer taraftan fiziksel hesaplamalarda da değişimi sağladığını belirtmiştir. Geleneksel fiziksel test yöntemleri ile sayısal modelleme ve simülasyon yöntemleri karşılaştırıldığında zamandan büyük tasarruf sağlandığını belirtmiştir. Sayısal modellemede parametrelerin değişiminin kolay olmasının problemlerin çözümünü kolaylaştırmakta olduğunu, bilgisayar tabanlı ürün modelleme ve simülasyon ürünlerinin performansının artmasının tasarım sürecini kısalttığını ifade etmiştir.

Sellgren (1999), “Atlas Copco” adlı bir robot modellemiş ve simülasyonlarını yapmıştır. Tünel uygulamaları için kullanılan Atlas Copco; uzun ve ince mekanik parçalardan, hidrolik elemanlardan, sensör ve bir kontrol sisteminden oluşan karmaşık bir sistemden elde edilmiştir. Hassasiyet ve hız gibi önemli faktörlerin yanı sıra performansı da arttırarak müşteri odaklı bir tasarım yapmıştır. Modüler ve fiziksel yapısını da sayısal modellemelerden elde etmiştir.

Shuichi ve ark. (2005), araştırmalarında konum algılayıcı entegre sistemlerini kullanmışlardır. Araştırmada düzlemsel hareketler ile beş serbestlik derecesine sahip bir sistemi incelemişlerdir. Elemanların hareketini tek seviyeli üç lineer motor ve piezoelektrik transducer (PZT) eyleyiciler ile sağlamışlardır. PZT eyleyiciler Z-X-Y yönünde hareket ederken, üç lineer motor ise düzlemsel olarak X-Y-Z yönlerinde hareketi oluşturmuştur. Geri besleme kontrolünü yüzey kodlayıcı ve iki boyutlu açılı sensörlerle sağlamışlardır.

Söylemez (2000), kitabında mekanizma çeşitlerini detaylı olarak açıklamış, farklı mekanizmaların kinematik analizini ve sentezini incelemiştir.

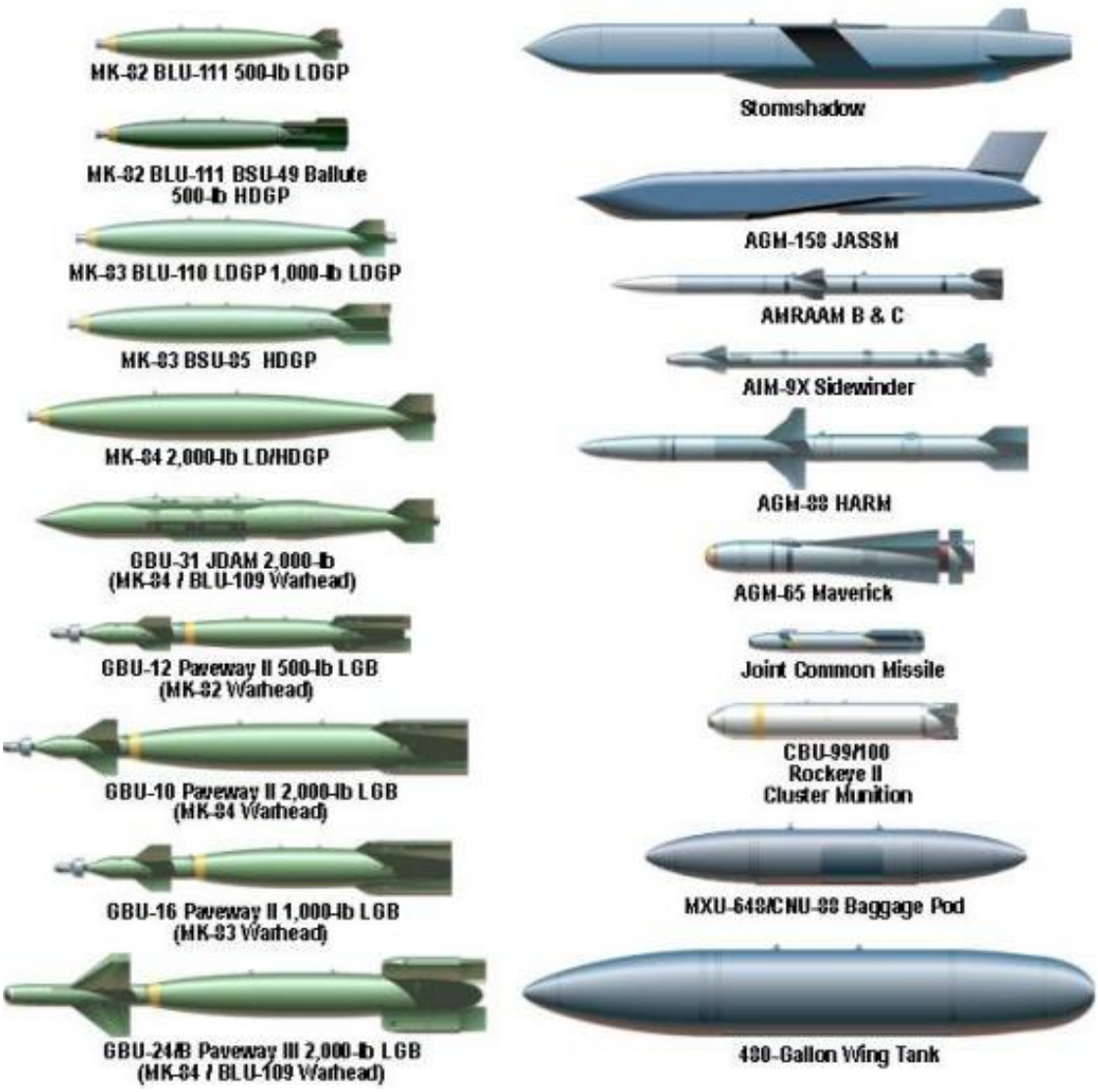
Şenalp ve Bezer (2006), bildirilerinde Pro-Engineer programında geometrik tasarımı yapılan konteynır taşıyıcı treylerin, sonlu elemanlar metodunu kullanarak statik ve dinamik yükleme analizlerini yapmışlardır. Bu analizler şasenin statik yüklemesi ve konteynırın treyler üzerine oturtulurken 30 mm/sn hızla şase üzerine çarpması sonucu oluşan gerilmeleri tespit etmek amacı ile yapılmıştır. Statik Sonlu Elemanlar Analizleri için ANSYS, çarpma analizleri için ise Ls-Dyna/Explicit programları kullanılmıştır. Ayrıca ANSYS-Workbench ile de belli tip yüklemeler için yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yenal ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada birçok eğrisel geometriyi oluşturabilecek şekilde kendini uyarlayabilen, yeni geliştirilmiş bir mimari yapıyı tanıtmış ve bu yapının kinematik analizlerini yapmışlardır. Bu yeni yapıyı, makas benzeri elemanlardan (MBE) ve çeşitli noktalara eklenmiş eyleyicilerden oluşturmuşlardır. Mevcut makas benzeri elemanları değiştirerek elde edilen "Değiştirilmiş makas benzeri eleman" (D-MBE) ile de daha önce makas benzeri elemanlardan oluşmuş yapılardan ayrılmışlardır. D-MBE, bilinen MBE'lerin eksen noktalarına eklenmiş iki döner mafsal ile oluşturulmaktadır ve bu eleman sayesinde yapı, birim elemanlarında herhangi bir boyutsal değişiklik yapmadan her türlü eğrisel geometriyi oluşturabilmektedir. Özellikle yapının 2 ve 4 serbestlik dereceli tiplerini incelemişlerdir. Daha önceki deneysel çalışmalardan bu iki tipin uygulanabilirliğinin ve şekil değiştirme kapasitesinin diğerlerinden daha üstün olduğunu belirtmişlerdir.

3. UÇAK BOMBALARI VE BOMBA YÜKLEME ARAÇLARI

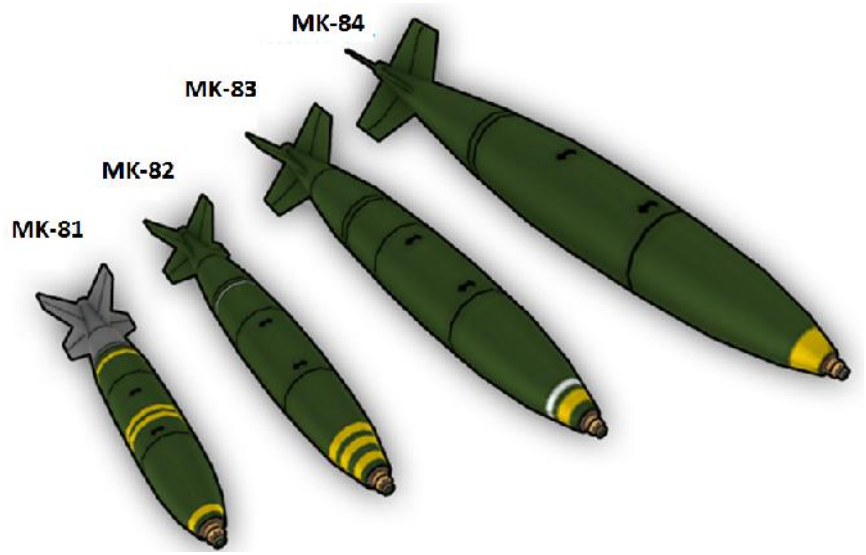
3.1. Uçak Bombaları

Uçak bombaları hava-hava ve hava-yer bombaları olmak üzere iki çeşittir. Hava-hava bombaları düşman uçaklarına karşı hava savunma üstünlüğü sağlamak için yapılmıştır. Hava-yer bombaları ise yerdeki hedefleri imha etmek için yapılmışlardır. Boyut ve ağırlık olarak hava-yer bombalarının ağırlıkları ve büyüklükleri daha fazladır. Harici yük olarak nitelendirilen sınıfa giren bombalar, uçak üzerine ihtiyaçlar doğrultusunda sonradan yüklenmektedirler (Şekil 3.1.). Bombaların uçak üzerine yüklenmesi için bomba yükleme araçları kullanılmaktadır.

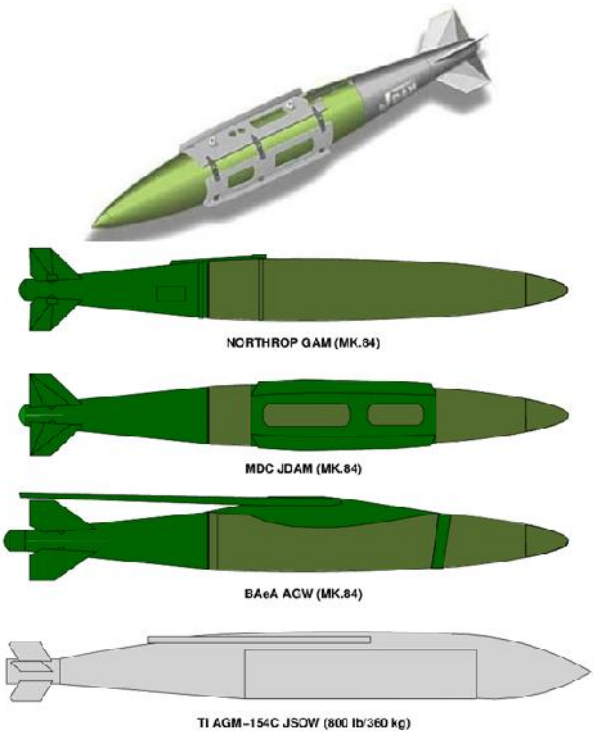


Şekil 3.1. Uçakta bulunan farklı tiplerdeki harici yükler

Farklı büyüklüklerdeki genel maksat bombaları en çok kullanılan bomba türlerindendir (Şekil 3.2.). Burun kısmına, kuyruk kısmına ve gövdesine farklı özelliklerdeki parçalar monte edilerek bombaların özellikleri arttırılabilmektedir (Şekil 3.3.). Gövde kısmı tamamen patlayıcı ile yüklü olan bombalar bu sayede akıllı bombalar haline getirilmektedirler. MK-84 bombası ve JDAM bombasına ait özellikler Şekil 3.4.'de görüldüğü gibidir (Anonim-1).



Şekil 3.2. Farklı büyüklüklerdeki genel maksat bombaları



Şekil 3.3. JDAM bombaları



MK-84	
İşlev:	Havadan-Karaya Serbest Düşümlü Patlayıcı ve Parça Tesirli
Ağırlık:	908 kg
Uzunluk:	3.3 m
Patlayıcı Başlık	896 kg H-6 patlayıcı
Çap:	457 mm
Hizmete Girşi:	1950



GBU-31: JDAM eklenmiş Mk84 bombası

Joint Direct Attack Munition (JDAM)	
Temel fonksiyonu:	Genel güdümsüz bombalara eklenebilen GPS/INS akıllı kuyruk takımı
Uzunluk:	3.0 - 3.9 metre arası
Kanat genişliği *(wingspan)*:	483 - 635 mm arası
Menzil:	24 km

Şekil 3.4. MK-84 ve JDAM bombalarının genel özellikleri

Bombalar taşıma arabaları (Şekil 3.5.) ile cephanelik bölgesinden uçak başına getirilirler. Bombaların bütün nakil işlemleri bu arabalar ile yapılmaktadır.



Şekil 3.5. Bomba taşıma arabası

3.2. Bomba Yükleme Araçları

3.2.1. MJ-1B Bomba Yükleme Aracı

2'nci HİBM Komutanlığın bünyesinde bulunan "Yer Destek Teçhizatı Araç ve İş Makineleri Bakım-Onarım" kısmı tarafından Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterinde bulunan MJ-1B bomba yükleme aracına (Şekil 3.6.) tadilat uygulanmıştır. Bu kapsamda 1960 model 4 silindirli, benzinle çalışan ve demode olan MJ-1B bomba yükleme araçlarına, sık sık arıza vermesi, yedek parçalarının temininde problemler yaşanması gibi nedenlerden dolayı 2 silindirli, dizel ve hareket sistemi tamamen hidrolik sistem olacak şekilde tadilat uygulanmış olup teknik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir (Anonim-2).



Şekil 3.6. MJ-1B bomba yükleme aracı

Tablo 3.1. MJ-1B bomba yükleme aracı teknik özellikleri

KALDIRMA KAPASİTESİ	3000 POUND/1359 KG
ENİ	132 CM
BOY	370 CM
YÜKSEKLİK	105 CM
ÖN VE ARKA TEKER ARASI MESAFE	170 CM
ÖN TEKERLER ARASI MESAFE	71 CM
ARKA TEKERLER ARASI MESAFE	106 CM
AĞIRLIĞI	3800 POUND / 1740 KG
MOTOR	28 HP GÜCÜNDE, 2 SİLİNDİRLİ HAVA SOĞUTMALI DİZEL
HIZI	15 KM/SAAT
DİREKSİYON	HİDROLİK ARKA TEKERE ETKİLİ
TAM YÜKTE KALDIRMA ZAMANI	9 SN

3.2.2. Koca Yusuf BYA-1750 Bomba Yükleme Aracı

2’nci HİBM Komutanlığın bünyesinde bulunan “Yer Destek Teçhizatı Araç ve İş Makineleri Bakım-Onarım” kısmı tarafından Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterine kazandırılmış bir bomba yükleme aracıdır. Koca Yusuf bomba yükleme aracı kısa mesafelerde bomba, füze ve buna benzer mühimmatları, yakıt tanklarını, paylonları ve 1750 kg’a kadar olan hava yüklerini, muharip uçakların kanat ve gövde altlarındaki istasyonlara yüklenmesi ve irtibatlandırılması amacı ile kullanılır. Koca Yusuf BYA-1750 bomba yükleme aracına ait özellikler Şekil 3.7.’de belirtilmiştir (Anonim-2).



Şekil 3.7. Koca Yusuf BYA-1750 bomba yükleme aracı ve özellikleri

3.2.3. BL-1 Bomba Yükleme Aracı

BL-1 bomba yükleme aracı PDI Group of Companies firması tarafından üretilmektedir. BL-1 bomba yükleme aracının genel görünüşü Şekil 3.8.’de, yandan, önden ve üstten görünüşleri EK-1’de verilmiştir.

PDI Group of Companies firması tarafından yapılan birçok askeri havacılık sektörü ile ilgili ürünler ve tasarımlar arasında en dikkat çekici ürünü BL-1 bomba yükleme aracıdır (Anonymous-3).

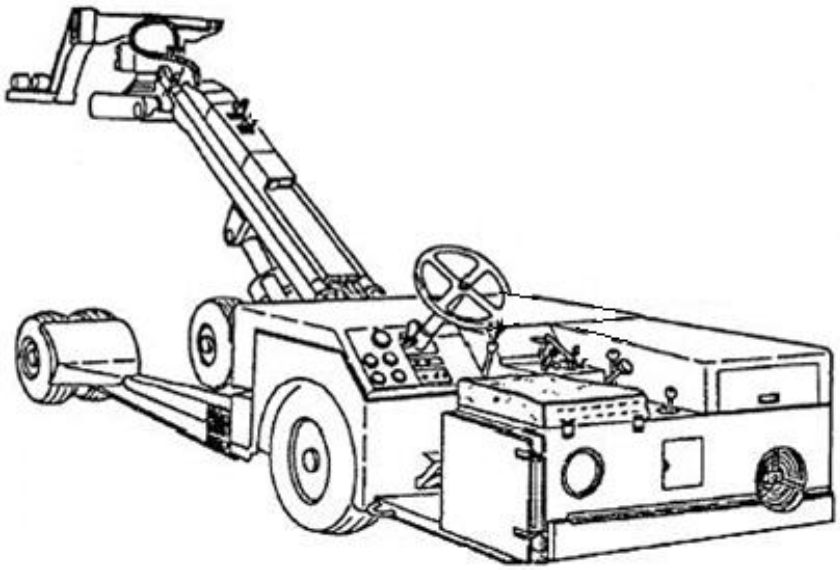


Şekil 3.8. BL-1 bomba yükleme aracının genel görünüşü

3.2.4. Aero 47A, Aero 47A-1, And MJ-7 Bomba Yükleme Araçları

Aero 47A, 47A-1, ve MJ-7 bomba yükleyiciler (Şekil 3.9.), yürüyen mekanizmaları olan hareketli araçlardır. Her bomba yükleyici gibi yüksek dayanımlı tekerlekler tarafından desteklenmektedir. Her bir bomba yükleme aracı, kaldırma ve tahrik mekanizmalarından oluşmaktadır.

Kaldırma mekanizması, bombayı hidrolik sistem ile kaldırır. Kaldırma işlemi bombanın tablaya alınması ile yapılır. Bomba tablası ise piston tipi hidrolik silindir tarafından hareket ettirilir. Bomba tablası yatay ve dikey hareketleri ile dönme ve yatma hareketleri de yapmaktadır. Bomba, tablasına bağlı çatal sayesinde istenilen açısal ve doğrusal konuma ulaşabilmektedir.



Şekil 3.9. Aero 47A, Aero 47A-1, ve MJ-7 bomba yükleme araçları genel görünüşü

Tahrik mekanizması geleneksel otomotivlerdeki gibi debriyaj ve şanzımana sahip olup arkadan tahrik edilmektedir. Bu bomba yükleme araçlarının dört tekerleği de hidrolik frenli olup mekanik park freni de bulunmaktadır. Arka tekerlekler hidrolik direksiyon ile donatılmıştır. Ayrıca gece yükleme işlemleri için ışıklandırma sistemi de bulunmaktadır. Hidrolik sistem kontrolleri operatörün ulaşabileceği mesafede bulunmaktadır. Kaldırma ve tahrik mekanizmalarını çalıştırmak için gerekli olan güç dört silindirli, hava soğutmalı dizel motor tarafından sağlanır.

Aero 47A, 47A-1, ve MJ-7 bomba yükleme araçları uçağa yüklenecek olan bombalar, seyahat ve yakıt tankları için kullanılabilmektedir (Anonymous-4).

3.2.5. Pak-Lift Bomba Yükleme Aracı

Pakistan'da uçak yer destek ekipmanları üretimi konusunda faaliyet gösteren Tash International (Pvt.) Ltd. şirketi, "Pak-lift Bomb Truck" bomba yükleme aracını tasarlayarak üretimini gerçekleştirmiştir.

Bomba yükleme, taşıma ve boşaltma işlemi için kullanılan bu araç hidrolik sistem ile çalışmaktadır. 1020 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Tüm test ve incelemesi tamamlanan "Pak-lift Bomb Truck" bomba yükleme aracı, Pakistan Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır. Bomba yükleme aracı genel görünüşü Şekil 3.10.'da verilmiştir (Anonymous-5).

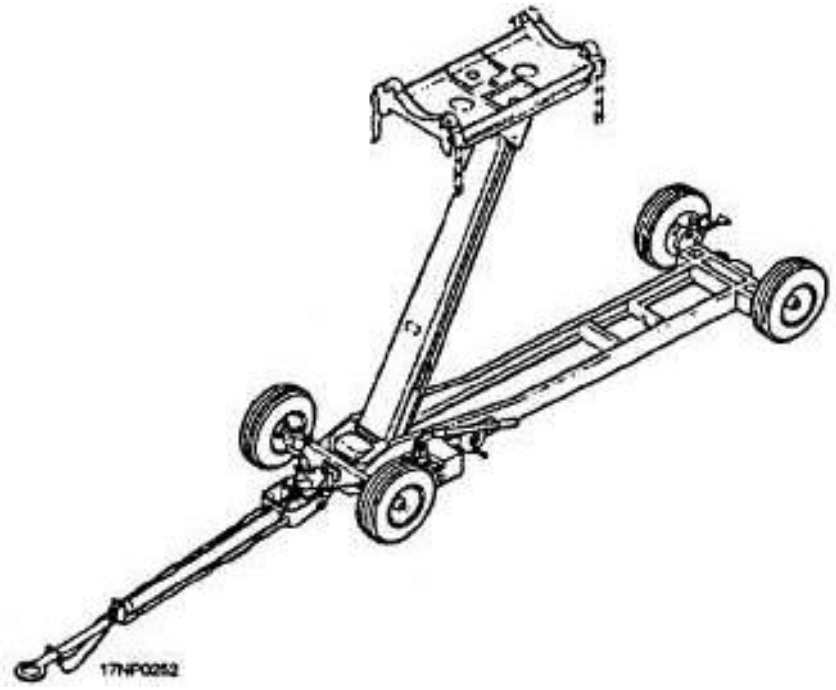


Şekil 3.10. Pak-Lift bomb truck genel görünüşü

3.2.6. MK-7 Bomba Yükleyici

MK-7 tipi yükleyiciler küçük mühimmatları uçaklara yüklemek amaçlı kullanılmaktadır. Römork üzerinden mühimmatı almaktadır. Dört adet tekerlekten oluşmakta olup iki adet aksı vardır. Yaprak tipi yaylar ile de desteklenmiştir. Ön aksı elle kontrollü olup çekerek hareket ettirilir. Kaldırma aparatında mühimmatı sabitleme elemanları bulunmaktadır.

Uçak veya benzeri araçlara silah yüklemek için kullanılan bu mekanizmada kaldırma işlemi, elle çalıştırılan bir pompa yardımıyla hidrolik sistem sayesinde gerçekleştirilmektedir. Genellikle kısa mesafeli yüklemelerde kullanılmaktadır. MK-7 bomba yükleme aracının genel görünüşü Şekil 3.11.'de verilmiştir (Anonymous-6).



Şekil 3.11. MK-7 bomba yükleme aracının genel görünüşü

4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM

4.1. CAD/CAM Nedir?

CAD/CAM bilgisayar destekli dizayn ve bilgisayar destekli imalat anlamına gelen terimlerdir. Dizayn ve üretimde bir takım fonksiyonları yerine getirmek için dijital bilgisayarların kullanılmasıyla ilgili bir teknolojidir.

Bilgisayar destekli dizayn (CAD), mühendislik tasarımının ortaya çıkarılması, geliştirilmesi, analizi ve modifikasyonunu desteklemek için bilgisayar sistemlerinin kullanılması olarak tanımlanabilir. CAD sistemi, kullanılan bir donanım (hardware), yazılım (software) ve kullanıcı üçlüsünden oluşur.

CAD donanımı, tipik olarak bir bilgisayarı, bir veya daha fazla grafik gösterimli terminali, klavyeyi, yazıcıyı, çiziciyi ve diğer çevresel donanımı içerir.

CAD yazılımı, sistem üzerinde bilgisayar grafiklerini uygulamak için bilgisayar programlarını ve çekme/yorulma deneyleri, mekanizmaların dinamik yapı analizleri, ısı transfer hesaplamaları ve nümerik kontrollü parça programları v.b. gibi mühendislik fonksiyonlarını kolaylaştırmak için de programların kullanılmasını içerir.

Bilgisayar destekli imalat (CAM), bir imalat tesisinin üretim kaynakları arasında oluşturulan bir bilgisayar etkileşim alanı vasıtasıyla tesisin faaliyetlerini ister direkt ister endirekt olarak planlaması, yönetimi ve kontrolü için bilgisayar sistemlerinin kullanımı olarak tanımlanabilir. Tanımdan da anlaşılacağı üzere CAM'in uygulamaları iki geniş kategoriye ayrılır:

a) Bilgisayarlı gözetim ve kontrol: Bilgisayar prosesinin gözlenmesi veya kontrolü amacıyla imalat prosesine doğrudan doğruya bağlandıkları direkt uygulamalardır.

b) İmalat destek uygulamaları: Bilgisayarla imalat prosesi arasında direkt bir etkileşimin olmadığı, bilgisayarın tesis içindeki üretim faaliyetleridir (Anonim-7).

4.2. CAD Dizayn Prosesi

CAD herhangi bir araştırma geliştirme veya tasarım probleminin çözümünde, grafik özellikler kullanılarak iki veya üç boyutlu çizimlerin ve tasarımların, bilgisayar desteği ile oluşturulmasına dayanan çalışma yöntemlerinin tümüdür. Modern CAD sistemleri İnteraktif Bilgisayar Grafiklerine (ICG) dayanırlar. ICG'ler

bilgisayarların şekil veya sembol formunda veri oluşturulması, iletilmesi ve ekranda gösterilmesinde kullanılan, kullanıcıya dayanan sistemlerdir.

Bilgisayar Destekli Dizayn Sistemlerindeki kullanıcı, verileri ileten ve bilgisayara çeşitli girdi araçlarının herhangi biri vasıtasıyla komut veren desinatördür. Bilgisayar kullanıcıyla katot ışın tüpü (CRT) yardımıyla iletişim kurar. Operatör CRT ekranı üzerinde, bilgisayarın belleğinde depolanmış istenilen yazılım alt programlarını çağıran bir giriş komutu ile bir görüntü yaratır. Operatör, boyutlarda genişleme/daralma, rotasyon, ekran üzerinde başka bir konuma gitme vb. çeşitli manipülasyonlar yardımıyla, görüntünün istenen detaylarını komutlarla formüle edebilir.

Günümüzde hassasiyetleri artan ve gerek renk ve gerekse gösterim yetenekleri yüksek ekranlar üretilmektedir. Bu ekranlar üzerindeki en basit bir bilgisayar grafik uygulaması dahi binlerce noktadan oluşmaktadır. Kapasiteleri çok büyük mikro çiplerin geliştirilmeleri sonucunda bellekte milyonlarca noktanın koordinatları depolanabilmektedir. ICG sistemi CAD sisteminin bir bileşenidir. Diğer bileşen operatördür. ICG, dizayn problemini çözmek için operatör tarafından kullanılan verilerdir. Operatör, insanın zihinsel yeteneklerine (fikir oluşturma, bağımsız düşünme) en çok uyan dizayn prosesini gerçekleştirir. Bilgisayarsa, kendi yeteneklerine (hesaplama hızı, gösterim yeteneği, bellek) en iyi uyacak şekilde görevini yerine getirir (Anonim-7).

4.3. CAD Sistemini Kullanmanın Temel Nedenleri

a) Tasarımcının üretkenliğini arttırmak: Ürünün alt montaj bileşenleri ve parçalarının tasavvur edilmesinde operatöre yardım eder. Böylece tasarımdaki sentez, analiz ve döküm için gerekli zamanın kısaltılması sağlanır. Üretkenliğin gelişmesiyle sadece daha düşük tasarım maliyeti değil, aynı zamanda da daha kısa proje tamamlanma zamanı sağlanır.

b) Dizayn kalitesini geliştirmek: Bir CAD sistemi ile çalışmak, yapılan tasarımda daha çok alternatifin göz önüne alınması, düşünülen alternatiflerin hesaplarının yapılarak değişik durumlarda mühendislik analizleri yapabilme imkânı sağlayacaktır. Tüm bu çalışmalar sırasında hassasiyet, tasarım hatalarını en aza indirecektir. Ayrıca ortaya çıkan çizimlerde en az çizim hataları yaratılacak böylece daha temiz ve standartlara uygun çizimler elde edilecektir.

c) İmalat için veri tabanı oluşturmak: Üretim için teknik dokümanların hazırlanması sırasında ürünün işlenebilmesi için gerekli olan veriler de göz önünde tutulacaktır. Bu veriler, ürünün geometrik boyutları, ürünün geometrisini oluşturan tanımlanmış temel elemanların neler olduğu, detayların nasıl birleştirileceği, detaylara ait malzeme bilgileri, mamulün işleneceği hammaddenin ölçüleri (kaba malzeme ölçüleri) vb. bilgilerdir. Bu bilgiler değişik formatlarda sistemden alınarak birbirinden farklı birçok amaç için kullanılabilir (Anonim-7).

4.4. CAD dizayn prosesleri

a) İhtiyacın belirlenmesi: Bir takım düzeltici faaliyetlerin yapılması gerektiğinin bir kişi tarafından anlaşılmasıdır. Bu, bir mühendis tarafından mevcut makine dizaynındaki bazı kusurların belirlenmesi veya bir satıcı tarafından yeni bir ürünün pazarlama fırsatlarının algılanması olabilir.

b) Problemin tanımı: Dizayn edilecek parçanın tüm özelliklerini içerir. Bunlar fiziksel ve fonksiyonel karakteristikler, kalite ve işleme performansını kapsar.

c) Sentez (Mühendislik tasarımı): Bilindiği üzere geleneksel mühendislik tasarımı, çizim masası üzerinde başlar ve orada ayrıntılı bir doküman teknik resim haline dönüşür. Makine mühendisliğinde tasarım; bir ürünün onun alt parçalarının ve hatta bu ürünün imal edilmesi için gerekli olan takım ve tertibatların tüm teknik resimlerini içerir. Elektrik ve elektronik mühendisliğinde tasarım ise elektrik devre ve şemaların hazırlanması gibi işlemleri içerir. Buna benzer şekilde diğer mühendislik dallarında da yapılan tasarımların elle doküman haline getirilmeleri söz konusudur.

Mühendislik tasarımı geleneksel olarak tasarımın çizim masalarında detaylı mühendislik resimleri formunda dokümante edilmesi ile oluşurlar. Bilgisayar destekli tasarımda bir tasarım işleminde yapılması öngörülen bütün işlemler çizim masası yerine artık bir CAD sisteminden oluşur. CAD sistemi aşağıdaki kısımlardan meydana gelir:

- Tasarımcı,
- Donanım,
- Yazılım,
- Problem.

Tasarımcı, karşılaştığı problemleri mevcut olan bilgisayardaki CAD programını kullanarak çözümler. CAD sisteminde kullanılan bilgisayar, gerekli tasarımın

yapılmasına olanak verecek bir CAD yazılımına sahiptir. Bu yazılım ile tasarımcı, bilgisayarın çevre üniteleri ile (ekran, klavye vb.) sürekli etkileşim halindedir. Yapacağı tasarımın cinsine göre çeşitli geometrik çizim elemanlarını kullanarak çizimleri ekranda gerçekleştirir. Yani geleneksel olarak çizim masasında kâğıt üzerinde yapılan çizimler ve tasarımlar, CAD sistemlerinde artık ekranda yapılır. Bu arada eğer tasarlanan geometri üzerinde yapılacak düzeltmeler, değişiklikler, büyültme, küçültme, kopyalama ve bunun gibi işlemler varsa bunlar rahatlıkla ekranda yapılabilmektedir. Böylece diğer tasarım yöntemlerindeki yorucu ve zaman alıcı işlemler bilgisayarlarda rahatlıkla yapılmış olmaktadır.

CAD ile tasarımcı, yaptığı tasarımı çok daha rahat bir şekilde göz önünde canlandırabilir; birkaç alternatif tasarımı kısa bir sürede analiz edip, ilişkili alt parçaları ile birlikte kolaylıkla ekran üzerinde monte edebilir ve bunlar üzerinde çok değişik analizler yapabilir. Ayrıca yeni yapılacak tasarım, eski tasarımların bazı kısımlarının değiştirilmesiyle elde edilecekse, bu da son derece hızlı bir şekilde eski tasarımın ekrana çağrılıp üzerinde gerekli değişikliklerin yapılması ile elde edilir. Özet olarak, tasarımcının üretkenliği CAD sistemlerinin kullanılmasıyla artmaktadır.

d) Analiz ve optimizasyon: Sentez ve analiz etme, dizayn prosesi ile yakından ilgilidir. Bir operatör tarafından belli bir bileşen veya tüm bir sistemin alt sisteminin fikri oluşturulur, analiz edilir, analiz prosedürü ile geliştirilir ve tekrar dizayn edilir.

e) Değerlendirme: Dizaynı, problem tanımlama safhasında belirlenen özelliklere göre ölçmektir. Bu değerlendirme işletim performansı, kalite, güvenirlilik ve diğer kriterleri değerlendirmek için prototip modelin test edilmesi ve imal edilmesidir.

f) Sunma (mühendislik çizimlerinin hazırlanması): Dizayn prosesinde en son safha sunmadır. Yapılan mühendislik tasarımlarının belgelendirme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bunlar genellikle teknik resimler ve raporlar şeklinde olabilir. Bunların hazırlanmaları imalat için şarttır. Bir CAD sisteminde yapılan tasarımların dokümantasyonu çiziciler ve yazıcıların kullanılmasıyla olur. Bu işlem direkt olarak bilgisayardaki çizimlerin kâğıda yazıcı ve çiziciler yardımı ile aktarılması yoluyla gerçekleştirilir ve elde edilen çizimler geleneksel metotla yapılan teknik resimlere karşın çok daha hassas ve kaliteli olur.

Yapılan bu çalışmaların nedeni ise tasarımların daha sonra imalatta faydalanacak şekilde bir veri tabanı oluşturmasına imkân vermesidir. Geleneksel metotlarla yapılan tasarımlardan sonra imalat mühendisleri tarafından iki ayrı bölümde iki ayrı yöntem uygulanmaktadır. Böylece tasarım ve imalat birimleri tarafından aynı olan bazı işlemler

tekrarlanmakta, dolayısıyla belirli ölçüde zaman kaybı ortaya çıkmaktadır. Buna karşın bir CAD/CAM sisteminde tasarım aşamasında bir veri tabanı oluşturulmakta ve aynı veri tabanı imalat için de kullanılmaktadır. Daha önce yapılan işlemler yinelenmemektedir. Bir başka deyişle, ekran başında tasarlanan parça, kalıp vb. ürün yine ekran başında işlenmektedir. Bu işleme sırasında sahip olunan takım tezgâhının ve bu tezgâhın mevcut kesici kalem vb. özellikleri bilgisayarla simüle edilebilmektedir. Bu şekilde NC parça programlama yapılmış ve o parça için NC kodlama elde edilmiş olur. Daha sonra bu NC verileri takım tezgâhına gerek şerit, gerek manyetik bant ve gerekse de doğrudan bağlantı ile aktarılır. Böylece imalatı düşünülen parça tasarımdan imalatına kadar CAD sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olur (Anonim-7).

4.5. Bilgisayar Destekli Tasarımın Faydaları

CAD'in pek çok faydası vardır. Ancak bunlardan sadece bazıları kolaylıkla ölçülebilir. Örneğin, iş kalitesinin gelişmesi, daha kullanışlı bilgi, kontrolün gelişmesi gibi belirli bir miktar ile belirlemenin güç olduğu soyut faydaları vardır. Bazı faydaları ise somuttur fakat bunlardan sağlanan faydaları üretim prosesinden bulup çıkarmak ve dolayısıyla tasarım safhasında bunları para miktarı ile ifade etmek güçtür. CAD sistemlerinin uygulanmasından sağlanan bazı faydalarsa direkt olarak ölçülebilirler. Bütünleşik CAD/CAM sistemlerinden sağlanan faydalar aşağıda verilmiştir:

a) Mühendislik üretkenliğini geliştirir.

b) Daha kısa temin zamanları sağlar.

c) Mühendislik personelinin ihtiyaçları azalır.

d) Yapılmış tasarımlar üzerinde ortaya çıkan müşteri isteklerinin kolaylıkla yerine getirilmesi sağlanır.

e) Piyasanın ihtiyaçlarına daha hızlı cevap verilir. Gerekli veri tabanı oluşturulduktan sonra benzer yeni mamuller üretmek için gereken proje zamanlarını en aza indirerek, pazar rekabetinde avantaj sağlanır.

f) Kopyalama (çizme) hataları en aza iner.

g) Tasarımın doğruluğu artar.

h) Tasarımlar daha standart olur.

i) Analiz sırasında bileşenlerin birbirleriyle etkileşimleri daha kolay belirlenir. Daha iyi bir fonksiyonel analiz sağlayarak prototip test sayısı azalır. Dokümantasyon hazırlamaya destek sağlar.

j) Takım tasarımında üretkenliği arttırır.

k) Maliyetler hakkında daha iyi bilgi sağlar.

l) Daha iyi bir tasarım sağlar.

m) NC parça programları ve rutin çizim görevleri için gerekli eğitim süresini azaltır.

n) NC parça programlarında daha az hata oluşur.

o) Mevcut parçaların daha fazla işlenmeleri ve kullanılmaları için bir potansiyel sağlar.

p) Tasarımın mevcut imalat tekniklerine uygun olmasını sağlar.

q) Algoritmaları en uygun hale getirerek malzemelerden ve makine zamanlarından tasarruf sağlar.

r) Projeler üzerinde çalışan dizayn personelinin daha etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar.

s) Karmaşık parçaların incelenmesine yardımcı olur.

t) Mühendisler, tasarımcılar, yönetim ve farklı proje grupları arasında daha iyi bir anlaşma ve haberleşme ortamı sağlar (Anonim-7).

5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE ANALİZ

Analitik yöntemler tam ve doğru olsa bile, birçok mühendislik tasarımına uyarlanmaz. Sürekli olarak matematiksel yer değiştirme kalıpları kullanılır, fakat bunun için geometrinin basit olması gerekmektedir. Sonlu elemanlar metodunda, Finite Element Method (FEM) geometrisi, karışık şekilleri birçok küçük elemanlara ayırarak çözer.

5.1. Avantajları

1. Parametrik çalışmalar önemli derecede zaman kazancı sağlar.
2. Sıfır malzeme masrafı ile ekonomiklik sağlar.
3. Aşırı ve gerçek dışı kabullerle çok sayıda denemeler yapılabilir.
4. Teşhis edici bir sistemdir
5. Otomatik optimizasyon yapılabilir (Anonim-8).

5.2. FEA Nedir?

Finite Element Analysis (FEA) olarak da bilinen sonlu elemanlar yöntemi gerçek maddeleri matematiksel olarak ifade etmeyi amaçlayan bir diferansiyel hesaplamalar dizisidir. Bu yöntemin örnekleri; makine tasarımı, akustik, elektromanyetizma, akışkanlar dinamiğini de içine alan birçok mühendislik dalında görülmektedir. FEA genel olarak mukavemet, frekans (vibrasyon) ve termal analiz problemlerinde kullanılmaktadır.

FEA yazılımlarında 3 temel aşama mevcuttur:

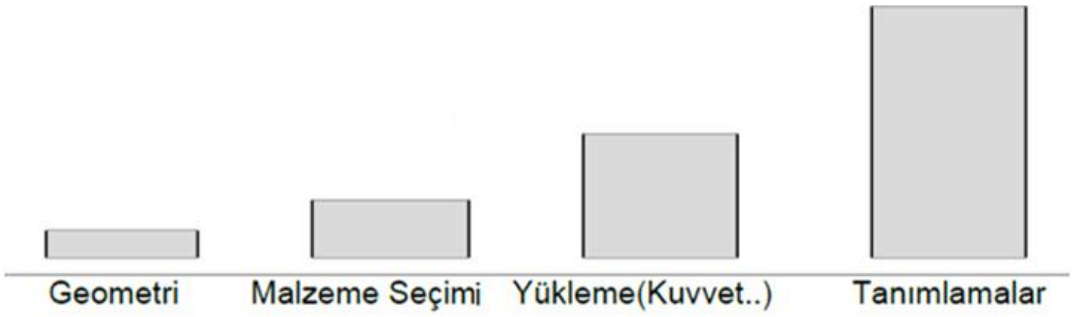
1. İşlem Öncesi: Analizin türü (statik, termal, frekans vb.), malzeme özellikleri, yüklemeler ve mesnetler belirlendikten sonra model sonlu elemanlara bölünür.

2. Problemi Çözme**:** İstenilen sonuçlara ulaşmak için gerekli analizler yapılır.

3. İşlem Sonrası: Analiz sonuçlarından grafikler ve simülasyonlar elde edilir (Anonim-8).

5.3. Analiz Yapma Süreci

CAD modelinin analiz programına aktarımı: Çizilen parça FEA ortamına aktarılır. Bu süreçte aynı yazılım altındaki programlar kullanılabileceği gibi, sadece analiz yapabilen programlara da çizilen parça aktarılabilir. Aynı ara yüzü kullanan programlar için aktarım süreci daha hızlı, daha verimli ve düzeltme süreci daha kısadır. Şekil 5.1.'de sürecin işleyişi ile ilgili ana basamaklar sıralanmıştır.



Şekil 5.1. Sürecin işleyiş basamakları

Malzeme seçimi: FEA ortamına atılan parçanın öncelikle malzeme cinsi tanımlanmalıdır. Tanımlanacak malzeme cinsine uygun sonuçlar elde edilmektedir. İstenilen analiz sonuçları alınmadığı takdirde daha mukavemetli bir malzeme seçimi ile analiz tekrar yapılarak istenilen sonuçlar elde edilebilir.

Eleman tipi: Parça ve montaj bazında mukavemet veya herhangi bir analiz çeşidine başlarken belli başlı tanımlamalar yapılmalıdır. Genel olarak bu tanımlamalar aşağıda sıralanmıştır:

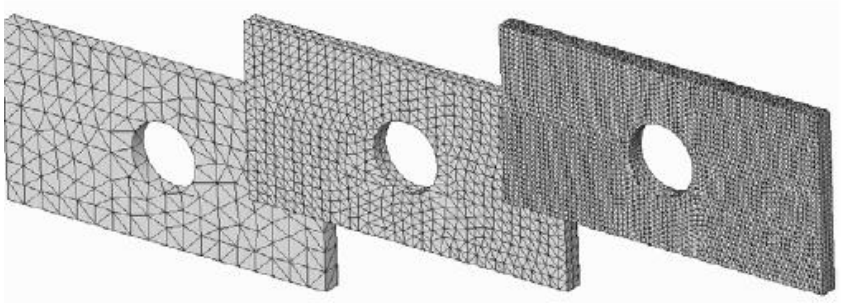
1. Temas gerilmeleri,
2. Yatak kuvvetleri, yerçekimi, santrifüj kuvveti tanımlayabilme,
3. Sabit ve değişken yükler tanımlayabilme,
4. Pim, yay, cıvata, somun tanımlama, etkilerini görebilme.

Mesnet seçimi: Analizi yapılacak parçanın mesnet kısıtlamaları iyi belirlenip seçilmelidir. Rijit, döner veya açısal bağlantı seçeneklerinden biri seçilebilir.

Yük durumunun seçimi: Mesnet seçiminden sonra ise yük, moment, basınç vb. gibi etki eden büyüklükler tanımlanır. Büyüklük tipi seçildikten sonra ise uygulama bölgesine göre (yüzeysel, çizgisel vb.) parça üzerinden değerleri girilir. Seçilen koordinat sistemine göre yüklerin yönü ± ile belirlenir.

Ağ kontrolü: Parça ya da montaj ortamında bir analiz yapılacağı zaman sonuçların gerçek değerlerine yakın çıkmasında en büyük etkenlerden biri ağ olayıdır. Ağ kalitesi ve ağ parametrelerinin iyi tanımlanması durumunda daha gerçek bir çözüme ulaşılır. Bunun için ağ konusunun iyi anlaşılması ve iyi kullanılması gerekir.

Farklı ağ kaliteleri Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Buna bağlı olarak da çıkan sonuçlar farklı olacaktır. Parçanın yüzey ve geometrik şekline göre otomatik veya girdi yapılarak ağ işlemi yapılabilir.



Şekil 5.2. Ağ örnekleri

Analizin başlatılması: Seçilen kriterler doğrultusunda yapılacak olan analiz tipi belirlenir. Analiz tipine göre ilgili girdiler ve özellikler seçilerek analiz çalıştırılır. Bu işlem parçanın büyüklüğüne, ağ işleminin kalitesine, yük durumuna ve yük sayısına bağlı olarak uzun sürebilmektedir. Analizin sona ermesi ile maksimum ve minimum sayısal değerler elde edilir. Hesaplama bilgisayar ortamına kaydedilir. Yapılan analizin çeşidine göre elde edilen sonuçların miktarı, tipi ve değerleri farklılıklar gösterecektir. Kaydedilen bu değerler okutularak istenilen animasyonlu görsel analizler renk kodları ile yapılabilmektedir. Aynı zamanda farklı grafik sonuçları da elde edilebilmektedir (Anonim-8).

6. MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Tasarımda kullanılan özel tasarım parçaların analizlerinin yorumlanabilmesi için öncelikle mekanik özelliklerini etkileyen bazı bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen temel kavramlar ile kullanılan Von Mises analizlerinin hangi kriterlerde yapıldığı, Tresca kriterleri ile nasıl bir karşılaştırma yapılması gerektiği aşağıda açıklanmıştır.

6.1. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Gerilme-şekil değiştirme eğrisi (akma eğrisi), tek eksenli çekme ya da baskı testlerinde uygulanan gerilme miktarına bağlı olarak malzemede oluşan ortalama şekil değişiminin nasıl değiştiğini göstermektedir (Anonim-9).

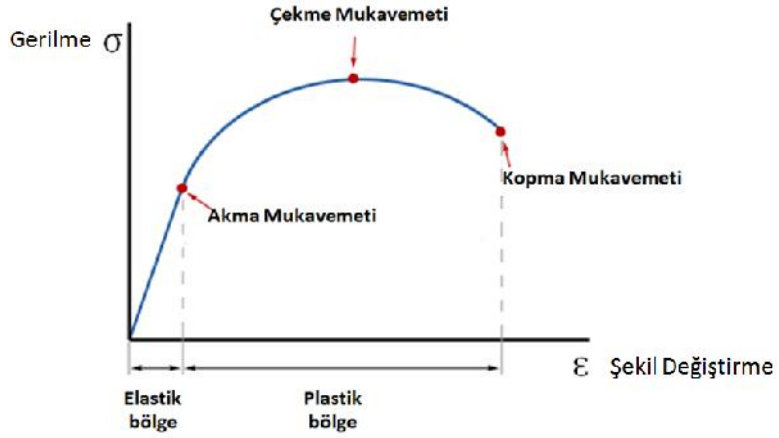
6.2. Mühendislik Akma Eğrisi

Bir malzemenin gerilme altındaki davranışı tek eksenli çekme testiyle incelenmektedir. Tek eksenli çekme testinde, silindir ya da plaka geometrisine sahip bir çekme numunesi bir ucundan sabitlenip, diğer ucundan, sadece uzunluğu doğrultusunda yük uygulanarak yapılmaktadır. Test sonrasında elde edilen verilerin doğru olması için numuneye uygulanan kuvvetin tek eksen doğrultusunda etki etmesinin kesin bir şekilde sağlanması gerekmektedir.

Bu testte, yük miktarı kontrollü bir şekilde arttırılarak numunede oluşan uzama miktarı ölçülmektedir. Test sonunda elde edilen veri, kuvvet (P) ve kuvvete bağlı olarak numunede oluşan uzama (ΔL) değerlerinden oluşmaktadır. Bu iki değeri kullanılarak, mühendislik akma eğrisine çok benzeyen yük-uzama eğrisi çizilebilmesine rağmen, malzemelerin mekanik davranışını analiz etmek için bu eğriler pek sık kullanılmamaktadır.

Yük-uzama eğrilerinin çok sık kullanılmıyor olmasının nedeni, bu eğrinin sağladığı bilgilerin numunenin boyutlarına çok bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, aynı malzemeden yapılan, fakat farklı kalınlığa sahip iki numunenin yük-uzama eğrilerinin oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, numune boyutlarının test sonuçları üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için yük-uzama eğrileri yerine gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin kullanımı tercih edilmektedir.

Mühendislik gerilmesi, numune üzerindeki yükü numunenin test öncesindeki kesit alanına bölerek; mühendislik şekil değişiminin ise numune üzerinde seçilen iki nokta arasındaki mesafenin göreceli artışına bakılarak hesaplanmaktadır. Şekil 6.1.'de mühendislik akma eğrisinin genel yapısı görülmektedir.



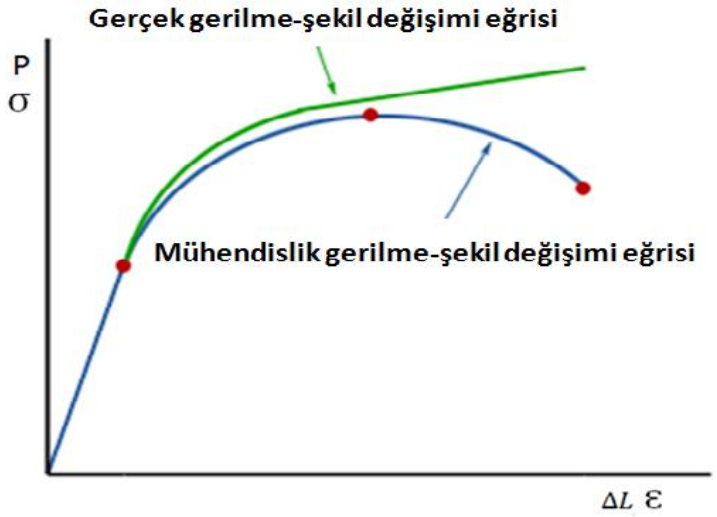
Şekil 6.1. Mühendislik akma eğrisi

Akma dayanımına kadar gerilme ve şekil değişimini doğrusal bir ilişki içindedirler. Atomların konumlarında bir değişme olmadan, sadece atomlar arası bağların esnemesi ile ortaya çıkan bu şekil değişimine elastik şekil değişimi adı verilmektedir. Elastik olarak şekil değiştirmiş bir numune üzerindeki yük kaldırıldığında, numune yük uygulanmadan önceki şekline geri dönmektedir.

Gerilme, akma dayanımı üzerine çıktığında, gerilme ve şekil değiştirme arasındaki doğrusal ilişki ortadan kalkmaktadır. Bu noktadan sonra, malzeme içindeki kristal blokları birbirleri üzerinde kaymaya başlayarak kalıcı şekil değişimi oluşmasını sağlamaktadır. Elastik şekil değişiminden farklı olarak, plastik olarak adlandırılan bu kalıcı şekil değişiminde atomların konumları kayma hareketi nedeniyle değişmeye başlamaktadır (Anonim-9).

6.3. Gerçek Akma Eğrisi

Gerçek gerilme değeri hesaplanırken numunenin test öncesindeki kesit alanı yerine, anlık kesit alanı dikkate alınmaktadır. Gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme değerleri kullanılarak akma eğrisi çizildiğinde, eğrinin şeklinin değiştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.2. Gerçek ve mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 6.2.'de gösterilen gerçek akma eğrisinin verdiği gerilme değerlerinin, mühendislik akma eğrisine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. İki eğri arasındaki bu fark, gerçek akma eğrisini çizerken kesit alanındaki anlık daralmaların dikkate alınması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu durum hesaplanan gerçek gerilme değerlerinin, mühendislik değerlerinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Anonim-9).

6.4. Çok Eksenli Gerilme İçin Tresca Kriteri

Malzemelerin kalıcı olarak şekil değiştirebilmeleri temel olarak, dislokasyon hareketi adı verilen kristal kümelerinin birbirleri üzerinde kaymalarını sağlayan bir işleyiş sayesinde mümkün olmaktadır.

İlk olarak akma kriteri 1860'lı yıllarda Fransız makine mühendisi Henri Tresca tarafından ortaya atılmıştır. Çok eksenli gerilme durumunda Mohr çemberinden, kesme gerilmesinin en yüksek değerinin, en yüksek ve en düşük asal gerilmeler arasındaki farkdan bakarak bulunabileceğini belirtmiştir. Bu iki asal gerilme değerinin farkı Mohr çemberinin çapını verdiği için, bu değerin yarısının, yani yarıçapın da, en yüksek kesme gerilmesini vermektedir.

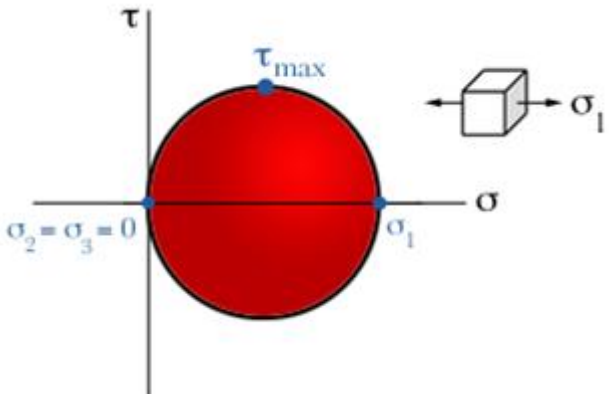
Şekil 6.3.'de tek eksenli çekme gerilmesi için en yüksek kesme gerilmesinin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (6.1)$$

formülüyle hesaplanır.

Tresca'nın akma kriteri bu eşitliğe dayanmaktadır. Tresca, akmanın başlayabilmesi için cisim içerisindeki kesme gerilmesinin, bu eşitlikle verilen en yüksek kesme gerilmesini aşması gerektiğini ifade etmektedir. Burada Mohr çemberi her ne kadar tek eksenli çekme gerilmesi için çizilmiş olsa da elde edilen formül çok eksenli gerilme durumlarında da aynı şekilde kullanabilmektedir.

Tresca kriteri, Von Mises kriterine kıyasla çok daha basit bir ifadeye sahiptir. Fakat ikinci asal gerilmesini hesaba katmaması, yani sadece en büyük ve en küçük asal gerilmeler üzerinden bir değerlendirme yapması nedeniyle Von Mises kadar doğru bir sonuç sağlamamaktadır (Anonim-9).



Şekil 6.3. Tek eksenli çekme gerilmesi

6.5. Çok Eksenli Gerilme İçin Von Mises Kriteri

Tresca'nın ardından, yaklaşık 50 sene sonra bir başka akma kriteri de Avusturya doğumlu matematikçi Richard von Mises tarafından öne sürülmüştür. Von Mises akma kriteri, Tresca'dan farklı olarak yalnızca en büyük ve en küçük asal gerilmeleri değil, bütün asal gerilmeleri göz önüne almıştır. Dolayısıyla, daha doğru bir akma tahmininde bulunulabilmesini sağlamıştır.

Gerilmenin hidrostatik bileşeni, şekil değişimine neden olmamaktadır. Şekil değişimi sadece sapma bileşenine bağlıdır. Von Mises, akma kriterini bu düşünce doğrultusunda geliştirmiştir. Hidrostatik gerilmenin akma üzerinde bir etkisi olmaması nedeniyle, sapma tansörünün birinci katsayısı J_1 göz ardı edilmektedir. Bunun yerine

asal gerilmeler arasındaki farkları dikkate alan ikinci sabit katsayıya J_2 odaklanarak, akma kriteri bu katsayı çevresinde şekillendirilmektedir.

Von Mises kriteri, akmanın başlayabilmesi için sapma gerilmesinin ikinci katsayısının k^2 ile gösterilen belli bir değeri aşması gerektiğini söylemektedir. Kriterin J_2 üzerine kurulması nedeniyle birçok kaynakta Von Mises kriteri J_2 akma teorisi adıyla ifade edilmektedir. Von Mises kriterinin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$f(J_2) = J_2 J_2 - k^2 = 0 \tag{6.2}$$

burada ikinci sabit katsayı ise

$$J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right] \tag{6.3}$$

şeklindedir.

Von Mises kriterine göre J_2 ile gösterilen sabit katsayının değeri k^2 değerinin üzerine çıktığında akma başlamaktadır.

Tek eksenli gerilmede, ikinci ve üçüncü asal gerilme değerlerinin sıfır olduğu bilinmektedir ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$). Dolayısıyla, sadece birinci asal gerilmesini kullanarak Von Mises kriteri aşağıda gösterilen şekilde yazabilir:

$$J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_1 - 0)^2 + 0 + (0 - \sigma_1)^2\right] = k^2 \tag{6.4}$$

$$\sigma_1{}^2 + \sigma_1{}^2 = 6k^2 \tag{6.5}$$

Tek eksenli gerilme için akma gerilmesi σ_0 ile gösterilirse, k değeri akma gerilmesi cinsinden;

$$k = \frac{\sigma_1}{\sqrt{3}} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \tag{6.6}$$

olur.

Yani bir malzeme üzerine uygulanan kesme gerilmesinin akma yaratabilmesi için, tek eksenli akma gerilmesinin karekök üçe bölünmüş miktarda daha düşük olması yeterli olmaktadır.

Von Mises kriterinin çok eksenli gerilme için genel ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_v = \sqrt{3\,J_2} \tag{6.7}$$

Bu eşitlikteki σ_v ifadesi, Von Mises gerilmesini, yani çok eksenli gerilme için eşdeğer bir akma gerilmesini göstermektedir (Anonim-9).

6.6. Çok Eksenli Akma Kriterlerinin Grafiksel Gösterimleri

Tresca kriteri, akmanın başlayacağı noktayı tahmin etmek için en büyük ve en küçük asal gerilmelerin farkını göz önüne almaktadır. Düzlemsel gerilme durumunda asal gerilmelerden biri sıfır değerini aldığı için, Tresca kriteri kullanılırken hangi asal gerilmelerin kullanılacağı, gerilmelerin işaretine göre değişiklik göstermektedir. Eğer cisim üzerine etki eden iki gerilme de çekme gerilmesi ise (yani + işarete sahipse), daha büyük değere sahip olan asal gerilmesi σ_1, sıfır değerine sahip olan gerilmesi de, en küçük asal gerilme değeri olduğu için, σ_3 olarak kabul edilmektedir. Yani ortanca değere sahip σ_2'nin değeri ne olursa olsun, σ_1'in üzerine çıkmadıkça, ya da σ_3'ün altına düşmedikçe, tahmin edilen akma değeri üzerinde hiçbir etki yaratmamaktadır.

Tresca kriterinden farklı olarak Von Mises kriteri kullanıldığında ise, akmanın başlayacağı noktayı bulmak için her üç asal gerilme de göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla, akmanın başladığı noktaya dair daha doğru bir tahminde bulunulabilmektedir.

Düzlemsel gerilme durumu için Von Mises kriteri, çok eksenli gerilme için eşdeğer akma gerilmesini;

$$\sigma_0 = \sqrt{3\,J_2} \tag{6.8}$$

eşitliğiyle ifade etmektedir.

Kareköklü ifadeden kurtulmak için her iki tarafın karesi alınarak, sapma tansörünün ikinci katsayısı da açık ifadesiyle yazılabilir. Düzlemsel gerilme altındaki

cisme etki eden iki asal gerilmenin de çekme gerilmesi olduğu varsayılarak her iki gerilmenin de (+) değerde olması nedeniyle, $\sigma_3 = 0$ olarak kabul edilmektedir. (Eğer cisim üzerindeki gerilmelerden biri basma olursa, bu gerilme (-) değere sahip olacağı için, en küçük asal gerilme (σ_3) olur.)

$$\sigma_0{}^2 = 3J_2 = \frac{3}{6}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2{}^2 + \sigma_1{}^2\right] \tag{6.9}$$

eşitliği düzenlenirse;

$$2\sigma_0{}^2 = \sigma_1{}^2 - 2\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2{}^2 + \sigma_1{}^2 + \sigma_2{}^2 \tag{6.10}$$

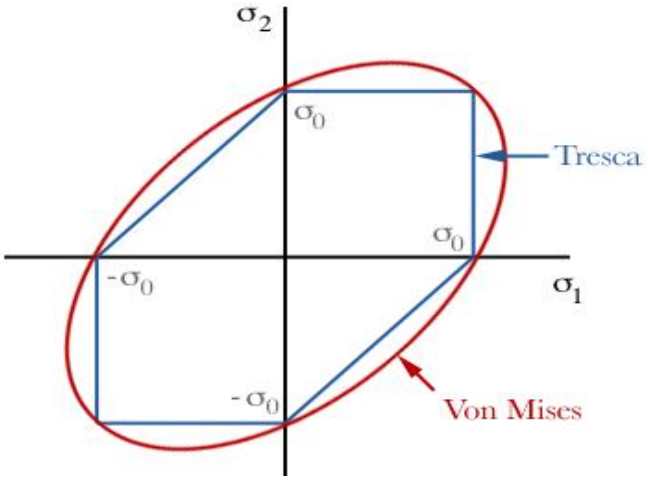
$$2\sigma_0{}^2 = 2\sigma_1{}^2 + 2\sigma_2{}^2 - 2\sigma_1\sigma_2 \tag{6.11}$$

elde edilir.

Von Mises kriteri düzlemsel gerilme için aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\sigma_0{}^2 = \sigma_1{}^2 + \sigma_2{}^2 - \sigma_1\sigma_2 \tag{6.12}$$

Elde edilen bu eşitlik σ_1 ve σ_2 eksenleri üzerinde gösterildiğinde bir elips elde edilmektedir. Şekil 6.4.'de Von Mises ve Tresca kriterlerince tahmin edilen akma gerilmesi değerlerinin, σ_1 ve σ_2'ye bağlı olarak değişimleri görülmektedir.



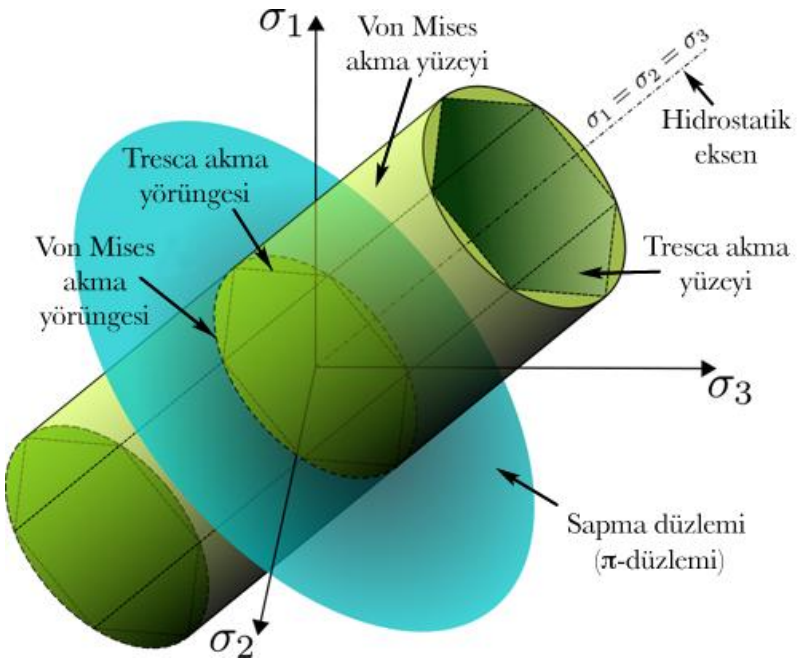
Şekil 6.4. Tresca ve Von Mises kriterlerince tahmin edilen akma gerilmesi

Asal gerilmelere bağlı olarak akmanın başlayacağı noktayı ifade eden bu gösterimlere akma yörüngeleri adı verilmektedir. Her iki kriter de, tek eksenli gerilme durumunda (yani eksen çizgileri üzerinde) akma gerilmesinin σ_0 değerini alacağını doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir.

İki kriter arasındaki fark, iki eksenli gerilme durumlarında ortaya çıkmaktadır. Von Mises kriteri, Tresca kriterine kıyasla akmanın başlayacağı gerilmenin mutlak değerini biraz daha yüksek bir değerde tahmin edebilmektedir. Kolay olması nedeniyle Tresca kriteri mühendislik uygulamalarında daha sık tercih edilmektedir. Ancak Von Mises kriterinin her üç asal gerilmeyi de göz önüne alması nedeniyle, daha gerçekçi bir tahmin yapabilmektedir (Anonim-9).

6.7. Akma Yüzeyi

Akma yörüngeleri, asal gerilme değerlerine bağlı olarak akma gerilmesinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 6.5.'de üç asal gerilmeye bağlı olarak Tresca ve Von Mises akma yüzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Tresca ve Von Mises akma yüzeyleri

Akma yörüngeleri gibi akma yüzeyleri de akmanın başlayacağı gerilme değerlerinin tahmin edebilmesini sağlamaktadır. Örnek olarak Von Mises yüzeyi ele

alınırsa, cisim üzerine etki eden üç asal gerilmenin eksenler üzerindeki değeri silindirin içinde kalıyorsa bu gerilme değerlerinin akma için yeterli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Eğer asal gerilmeler silindirin yüzeyindeki ya da silindirin dışındaki bir noktaya denk geliyorsa, bu gerilme değerlerinin malzemede akma, yani kalıcı (plastik) şekil değişimi yaratacağı anlaşılmaktadır (Anonim-9).

6.8. Eşdeğer Gerilme ve Şekil Değiştirme

Çok eksenli gerilme durumlarında, gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi oldukça karmaşık olmaktadır. Pratik açıdan bakıldığında, tek eksenli çekme testinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi gibi basit gösterimlerin çok daha kullanışlı olduğunu görülmektedir. Bu amaçla, bir cismin maruz kaldığı çok eksenli gerilme durumunu bir gerilme- şekil değiştirme ($\sigma - \varepsilon$) eğrisi üzerine taşıyabilmek için eşdeğer gerilme ve eşdeğer şekil değiştirme ifadelerinden faydalanılmaktadır. Eşdeğer gerilme ve eşdeğer şekil değiştirme, aşağıda gösterildiği gibi σ ve ε terimlerinin üzerine bir çizgi ekleyerek belirtilmektedir (Anonim-9).

Eşdeğer gerilme:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \tag{6.13}$$

Eşdeğer şekil değiştirme:

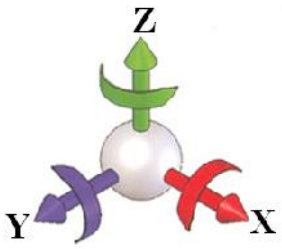
$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2)} \tag{6.14}$$

7. BEŞ SERBESTLİK DERECELİ BOMBA YÜKLEME ARACININ TASARIMI

7.1. Uçaklara Bomba Yükleme İşleminin Yapılması

Bomba yükleme işlemi önceden hazırlanmış olan bombaların, taşıma arabalarıyla uçak başına getirilmesi ile başlanır. Bu işlem bomba yükleme araçlarıyla gerçekleştirilir. Bomba taşıma arabaları, üzerindeki bombaları yükleme araçlarının alabileceği şekilde tasarlanmışlardır. Bomba taşıma arabasından, yükleme aracı ile alınan bombaların, uçağın kanat altındaki veya ucundaki fırlatıcılara sabitlenmesiyle yükleme işlemi tamamlanır.

Bomba yükleme aracı, bombanın taşıma arabasından alınması, uçağa yüklenmesi/indirilmesi için farklı eksenlerdeki doğrusal ve açısal hareketleri sağlayabilecek şekilde beş serbestlik derecesine sahip olmalıdır. Bu serbestlik dereceleri için Şekil 7.1.'de gösterilen koordinat eksenleri referans alınacak olursa bomba yükleme aracı X, Y ve Z eksenlerinde doğrusal hareket, Y ve Z eksenlerinde ise açısal hareket kabiliyetine sahip olmalıdır.



Şekil 7.1. X, Y ve Z koordinat eksenleri

7.2. Tasarlanan Bomba Yükleme Aracında Olması İstenilen Avantajlar

Yapılan yeni tasarım bomba yükleme aracının, diğer bomba yükleme araçlarına göre birçok avantajı bulunmaktadır. Aşağıda verilen avantajları sağlayacak şekilde tasarım yapılmıştır.

1. Maliyet oranının düşük olması; Maliyetin düşük olması nedeniyle her uçak başına bir adet yapılabilecektir. Motor ve aksamları olmayacağından çok daha ucuza imal edilebilecektir. Onarım ve parça değişim masrafları da düşük olacaktır.

2. Arıza oranının düşük olması; Envanterdeki araçlar gibi motorlu yürüyen bir aksamı olmayacağı için arıza yapma oranı düşük olacaktır.

3. Bakım kolaylığı; Bakım periyodu daha uzun ve kolay olacaktır.

4. Uçuş ve yer emniyet risklerinin azalması; Maliyetinin düşük olması nedeniyle her uçak başına bir adet konulduğu takdirde aracın sürekli yer değiştirmesi gerekmeyeceğinden uçuş ve yer emniyeti açısından riskler en aza inecek ve böylece arıza yapma olasılığı da azalacaktır.

5. Göreve hazırlık sürelerinin kısalması; Gerçek durumlarda veya denetlemelerde bütün uçaklara aynı anda yükleme yapılabilme imkânı sağlanacaktır. Sağlayacağı faydalar neticesinde kuvvet çarpanı yüksek bir bomba yükleme aracı olacak ve bomba yükleme zamanlarını düşürecektir. Böylece göreve hazırlık süresi kısalacağı gibi hazır uçak sayısı da artacaktır.

6. Kullanım kolaylığı, çalışma veriminin yüksek olması, kaza riskinin düşük olması; Kullanımı oldukça kolay olmakla beraber motorsuz olduğu için çalışma sırasında, personel arasındaki iletişim daha kolay olacak ve kaza olasılığı riski azalacaktır. Aynı zamanda personelin çalışma verimi de artacaktır.

7. Sağlıklı kullanım sağlaması; Gürültüsü ve havayı kirletecek bir gaz çıkışı olmayacağından, özellikle sığınak içerisindeki çalışmalarda personel sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecektir.

8. Yedek parça avantajı; Yedek parça temini maliyetlerin düşük olmasından ve parçaların sanayiden kolaylıkla bulunabileceğinden dolayı kolay olacaktır.

9. Yakıt masrafının olmaması; Kullanılan motorlu bomba yükleme araçları gibi yakıt masrafı olmayacaktır. Bu nedenle elde edilen tasarrufla belirli bir sürede kendini amorti edebilecektir.

10. Personel tasarrufu; Aracı kullanacak ek bir personele ihtiyaç olmayacağı için personelden tasarruf sağlanacaktır.

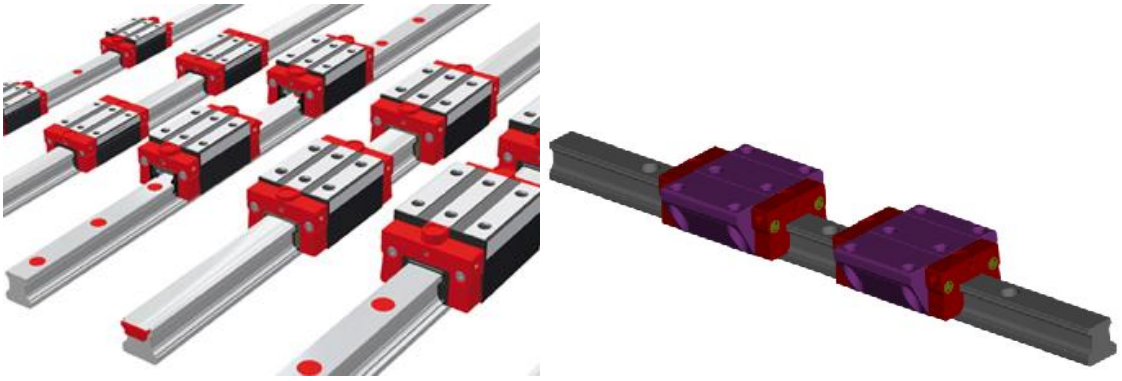
11. İntikalinin kolay olması; İntikal durumlarında yerden ve ağırlıktan tasarruf sağlanacaktır. Böylece intikallerde istenilen sayıda bomba yükleme aracı götürülebilecektir.

7.3. Bomba Yükleme Aracının Tasarımında Kullanılan Makine Parçaları

Bomba yükleme aracının tasarımında istenilen özellikleri sağlayabilecek şekilde kullanılan makine parçalarından lineer kızaklar, döner tablalı rulman, sanayi tipi tekerlek ve hidrolik sistem elemanları kataloglardan seçilmiştir. Özel üretim gerektiren parçalar ise tasarıma uygun olacak şekilde tasarlanmıştır.

7.3.1. Lineer Kızaklar

Çok hassas tek ray profilli kızaklar (Şekil 7.2), birçok takım tezgâhı uygulamalarında ve küçük manipülatörlerde kullanılmaktadır. Mükemmel dinamik özellikleri ile piyasada ticari manada birçok avantajı bulunmaktadır. Az sayıdaki bileşenleri, çok sessiz oluşu, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek hızlarda da çalışma kabiliyetinin olması çoğunlukla tercih edilmesini sağlamaktadır. Taşıma, montaj ve bakım kolaylığının olmasının yanı sıra uzun ömürlü oluşuyla da maksimum güvenilirlik sağlamaktadır. Hız, güvenilirlik ve sağlamlık yönüyle endüstriyel birçok uygulamada geniş bir kullanım alanına sahip ekonomik ve güvenilir ürünlerdir. Gıda endüstrisi makinelerinde, tıbbi malzemelerde, temiz oda uygulamalarında, vakum teknolojisinde, kimyasal proseslerin kullanıldığı yerlerde, CNC tezgâhlarında ve birçok makinede kullanım alanına sahiptir (Anonymous-10).



Şekil 7.2. Lineer kızaklar

7.3.1.1. Avantajları

1. Tüm eksenlerde yüksek yük taşıma kapasitesi,
2. Yüksek ve düşük hızlarda çalışma hassasiyeti,
3. Farklı boyutlarda ve özelliklerde alternatiflerinin olması,
4. Alternatif taşıma arabası ve ray seçeneklerinin olması,
5. Farklı yük taşıma durumlarına göre ray çeşitliliğinin olması,
6. 6 metreye kadar tek parça ray imkânının olması,
7. Taşıma, montaj ve bakım kolaylığı,
8. Maliyetinin düşük olması,
9. Aksesuar seçeneklerinin fazlalığı,

10. Korozyon açısından dayanaklı olması,
11. Komple sızdırmazlık özelliğinin olması (Anonymous-10).

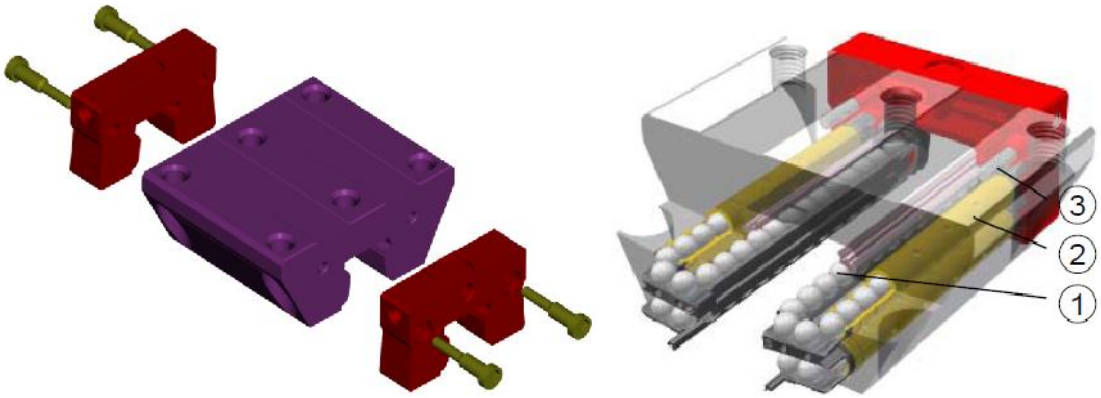
7.3.1.2. Genel Özellikleri

Ray kısımları paslanmaz çelikten imal edilmektedirler. İç kısım (1), yüksek miktarda krom içermektedir. Dış kısmı ise (2) özel olarak sertleştirilmiştir (Şekil 7.3.). Kılavuzlar için normal anti korozyon işlemleri zaten yeterli olmamaktadır. Rockwell deneyi sonucu 56-58 HRB arasında sertlik ölçümleri elde edilmektedir. 6 metreye kadar imal edilebilmektedir. 1 metreden uzun olduğu durumlarda hassas eklemler ile üretilmiştir. Böylece sorunsuz, temiz, hassas ve dayanaklı ürünler elde edilmektedir.



Şekil 7.3. Rayın genel görünüşü

Taşıma arabasının gövdesi (2) paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Yuvarlanma elemanları da (1) paslanmaz çelikten üretilmiş olup sonrasında sertleştirilmektedir. Uç plakalar ve aksesuarları (3) ise, yüksek kaliteli çelikten imal edilmiştir ve vidalar ile monte edilmektedir (Şekil 7.4.).



Şekil 7.4. Taşıma arabası ve genel iç görünüşü

Rayın taban yüzeyi trapez ray profili referans alınarak kesiti elde edilmiş ve mümkün olan en yüksek taşıma kapasitesi için optimize edilmiştir. Taşıma arabaları çıkarılmadan kolaylıkla bakımı da yapılabilmektedir.

Dört sıralı yuvarlanma elemanları iki noktadan temas ederek yükleri taşımaktadırlar. Yükleme anında kuvvetler, sadece iki noktadan zıt yönde etki etmektedir. Rulo halindeki yuvarlanma elemanları ile yana sürtünme en aza indirilerek diferansiyel kayma olmadan düzgün hareketler elde edilmektedir.

Taşıma arabası üzerinde çok yönlü yağlama delikleri bulunmaktadır (Şekil 7.5.). Bu sayede daha güvenilir ve sorunsuz bir hareket elde edilmektedir. Uygulanan her türlü yük durumuna uyum sağlanmaktadır. Bütün eğimli ve eğik yüzeylerde yağ ile temas sağlanmaktadır.



Şekil 7.5. Taşıma arabası yağlama noktaları

Yuvarlanma elemanlarının dönmesini sağlayan bileşen plastik malzemeden yapılmıştır. Dönüş esnasındaki durumunun çalışma verimine büyük etkisi bulunmaktadır. Yuvarlanma elemanlarının dönmesini sağlayan sentetik parçalar gürültüyü azaltmakta, kayganlığı sağlamaktadır. Bu özellikleri ile ömrü de uzun olmaktadır.

İstenilen ölçü ve özelliklerde montaja hazır setlerin temin edilmesi oldukça kolaydır. Ambalajlama ve taşıma kolaylığı ile müşteriye kısa sürede ulaştırılabilmektedirler. İstenilen özelliğe göre çoğunlukla müşteri tarafından montajı kolaylıkla yapılabilmektedir.

O-geometrisi sayesinde yüzeyleri yük taşıma için uygun hale getirilmiştir. Döner parçaların 90°'lik geometrisi sayesinde her yönden gelecek kuvvetleri yüksek seviyede sönümleyerek yüksek moment ve rijitlik sağlamaktadır.

Çelik gövdeli ve sertleştirilmiş arabaların kullanım ömürleri oldukça fazladır. Aşırı yükler altında taşıyıcı arabanın herhangi bir plastik deformasyona uğramaması için yüksek dereceli rulman çelikleri kullanılmıştır.

Benzersiz çalışma karakteristiği olan taşıma arabaları özel olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Geometrik şekilleri ve çalışma sistemi ile en verimli hale getirilmişlerdir. Yüksek ve düşük hız ile büyük ve küçük kuvvetlerde kullanma özelliği sağlanmıştır.

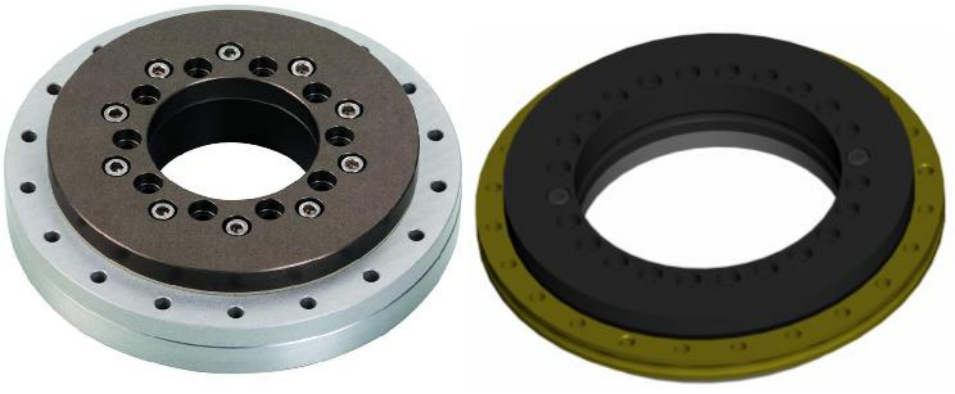
Sızdırmazlık özelliği için taşıyıcı arabalar ikiz dudaklı ve çapraz şekilde elemanlardan yapılmıştır. Sızdırmazlık sisteminde ön plaka ve çelik gövde arasındaki boşluklarda sızdırmazlık sağlanarak verimli çalışma olanağı sağlanmıştır. Böylece kirlenme olasılığı da azaltılmıştır.

Özel uygulamalarda kullanılan bu sistemlerin doğruluk oranı ileri seviyededir. Boyutsal toleranslar ve çalışma doğruluğu, kullanılacak ürüne göre farklı şekillerde imal edilebilmektedirler (Anonymous-11).

Tasarımda kullanılan taşıma rayının ve arabasının genel özellikleri EK-2'de verilmiştir.

7.3.2. Döner Tablalı Rulman

Şekil 7.6.'da gösterilen döner tablalı rulmanlar başta araç üstü ve mobil vinçler, rüzgâr türbinleri, iş ve inşaat makineleri, itfaiye araçları ve platformlar, şişeleme ve dolum tesisleri, savunma sanayi, uzay ve havacılık sanayi olmak üzere yük taşıyan dönüş sistemlerinde kullanılmaktadır. Geniş bir yük taşıma kapasitesine (1-40 ton) sahip olan döner tablalı rulmanlar, temiz ve az bakımlı olması, ayar gerektirmeyen kolay montaj olanağı gibi avantajları nedeniyle birçok uygulamada kullanılan pratik döndürme sistemleridir.



Şekil 7.6. Döner tablalı rulman

7.3.2.1. Yuvarlanma Yolu Kapasitesi

Döner tablalı rulmanının, zarar görmeden taşıyabileceği maksimum statik yük kapasitesidir (Anonim-12).

7.3.2.2. Bağlantı Cıvataları Kapasitesi

Rulman üzerindeki deliklerin tamamının 10.9 kalitesinde cıvata somun ve pullarla destek yüzeyine bağlanması ile geçerli olan kapasitedir. Tüm cıvata somun ve pulların ince bir yağ ile yağlanarak belirtilen tork değerlerinde sıkılması gereklidir. Cıvata başı ve dişlerde oluşan sarmalar tork değeri kaybına yol açar. Bu durum cıvataların doğru bir ön gerilme ile sıkılmasını engeller.

Döner tablalı rulmanlar, normal koşullarda birden fazla rulmanın bir araya gelerek karşılayabileceği yükleri, özel yapısı gereği tek başına emniyetli ve en ekonomik biçimde karşılayan makine elemanıdır. Bu rulmanların bağlanacağı flanş, uygun kalınlıkta, tüm çevre boyunca rulman çember yüzeyine tam destek sağlayacak şekilde ve yüzeyde güçlü bir destek oluşturacak şekilde tasarlanmaktır. Bu sağlam alt yapı, rulmanın düzgün işleyişini kolaylaştırmak ve uzun ömürlü olması için şarttır. Bu yapının düzlemsellik değerleri, tanımlanmış sınırlar içinde kalmalıdır.

Döner tablalı rulmanlar iki destek yüzeyi arasında yük aktarmaya yarar. Alt ve üst destek yapıları, rulmanın taşıma kabiliyetiyle uyumlu mukavemette ve düzgünlükte olmalıdır. Bağlantıyı sağlayan cıvatalar da uygun kalitede olmalıdır (Anonim-12).

7.3.2.3. Destek Yüzeyi

Döner tablalı rulmanlar, aynı işi yapabilecek diğer rulmanlarla kıyaslandıklarında daha düşük bir yüksekliğe ve kesite sahiptir. Bu yüzden bükülmezlik dayanımı azdır. Dolayısıyla eksenel ve radyal yönde sağlam destek yapılarına ihtiyaç duyarlar. Döner tablalı rulmanın düzgün çalışabilmesi ve uzun ömürlü olabilmesi için bağlantı flanşının imalatında izlenmesi gereken sıralama aşağıda verilmiştir.

1. Bağlantı flanşı üzerindeki tüm kaynak işlerinin bitirilmesi,
2. Gerilim giderme işlemi yapılması,
3. Yüzeyler kesinlikle makine ile işlenerek düzlemselliği sağlanmalı.

İşleme sonrası yüzey pürüzlülüğü, Ra 3,2 ile Ra 6,3 arasında olmalıdır. Bağlantı öncesi yüzeylerde olabilecek koruyucu yağ, gres, boya, pas, kir ve çapak temizlenerek giderilmelidir. Döner tablalı rulman, destek yüzeylerine cıvatayla bağlamadan önce işlenmiş olan bağlantı yüzeyleri tamamen düzlemsellik kontrolünden geçirilmelidir (Anonim-12).

7.3.2.4. Toz Keçeleri

Yapılarında toz keçesi bulunan döner tablalı rulmanların çalışma ömürleri önemli oranda artar. Keçeler genel olarak her iki çemberin alın yüzeyine açılmış bir kanal üzerine konumlandırılır. Döner tablalı rulmanlarda toz keçesi olarak nitril kauçuk kullanılır. Bu malzemenin sızdırmazlığı, aşınma direnci, yağa ve toza dayanıklılığı çok yüksektir. Bazı uygulamalar ikinci bir toz keçesi veya koruyucu bir metal kapak gerektirebilir (Anonim-12).

7.3.2.5. Döner Tablalı Rulman Dişlisi

Kullanıcı döner tablalı rulmanlarda taşıma kabiliyetlerine göre seçim yaparken hangi çember üzerinde dişli olması gerektiğine de karar vermelidir. Katalogdaki tablolar üzerinden seçilecek döner tablalı rulmanlar ile ilgili dişli modülü, diş sayısı, normal ve maksimum dişli teğetsel kuvvetleri de belirtilmiştir. Tablolarda belirtilen döner tablalı rulmanlar sertleştirilmiş ve menevişlenmiş ıslah çelikleri kullanılarak imal edilmiştir. Bu katalogda yer alan tüm döner tablalı rulman dişli profilleri DIN3972-2'ye göre imal edilmiştir. Eğer dişli teğetsel mukavemetlerinde daha fazlasına ihtiyaç duyulursa, çekme mukavemetleri daha yüksek malzemeler kullanılabilir. Standart olarak döner tablalı rulmanlar üzerinde bulunan düz dişliler 20° kavrama açısıyla imal edilmektedir. İhtiyaç halinde farklı tip, profil ve kavrama açılarında dişliler de üretilebilir (Anonim-12).

7.3.2.6. Pinyon Dişli

Genel olarak döner tablalı rulmanların tahrikinde sertleştirilmiş pinyon dişliler kullanılır. Pinyon dişlinin boyu, döndürülecek olan çember dişlinin boyundan her iki uçta 5'er mm uzun olması gerekir.

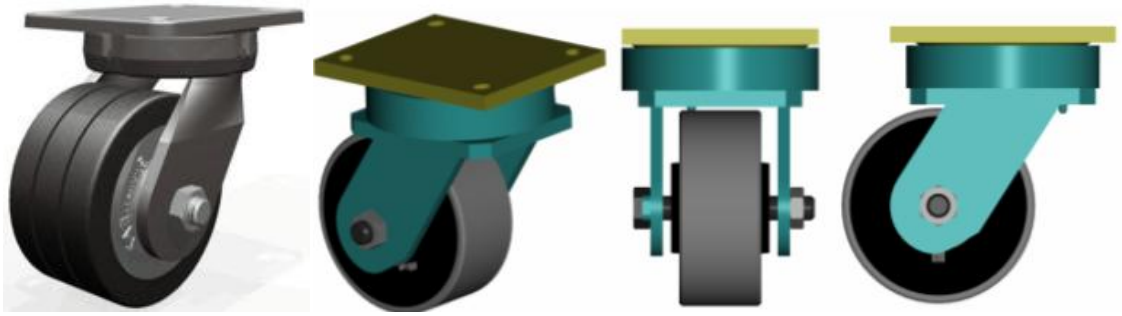
Pinyon dişli profilinde genel olarak diş sayılarına bağlı oranda profil kaydırma uygulanır. Profil kaydırma işlemi pinyon dişlinin diş dibindeki aşınmasını ve zayıf yapısını ortadan kaldırır.

Pinyon dişlilerde ayrıca diş başı yuvarlatması işleminin uygulanması, diş köşelerinin daha yumuşak bir yuvarlaklıkta olmasını sağlar. Bu durum sertleştirilmemiş dişli yüzeyinde aşınma oluşumunu engeller ve daha yumuşak bir çalışma sağlar. İleride oluşacak aşınmaları azaltır (Anonim-12).

Tasarımda kullanılan döner tablalı rulmanın genel özellikleri EK-3'de verilmiştir (Anonymous-13).

7.3.3. Sanayi Tipi Tekerlek

İhtiyaçlara uygun şekilde tasarlanmış birçok tekerlek çeşidi bulunmaktadır (Şekil 7.7). Tekerlek genel olarak kullanılacağı ortam, taşıyacağı yük, istenilen hareket kabiliyeti, yataklama ve bağlantı şekilleri gibi özellikler göz önünde bulundurularak seçilmektedir.



Şekil 7.7. Sanayi tipi tekerlek

7.3.3.1. Kullanım alanı

Seçilen tekerleğin zemine uyum sağlayıp sağlamadığına dikkat edilmelidir. Zemin bozuk veya hassas ise elastik tabanlı tekerlek kullanımına gidilmesinde fayda vardır. Eğer zemin düz ise ayrıca zeminin korunmasına özen gösterilmiyorsa sert tabanlı tekerlek kullanılmalıdır. Sert tabanlı tekerleklerin hareket ettirilmesi daha kolay olmakla birlikte zeminin bozuk olduğu alanlarda ise kauçuk tekerleğin kullanılması doğru olacaktır (Anonim-14).

7.3.3.2. Hareket kabiliyeti

Tekerleğin çapı ne kadar büyük olursa hareket etme kabiliyeti/kolaylığı o derece kolay olmaktadır. Ayrıca tabanı ve yatak cinsi, tekerleklerin kolay hareket edebilmesinde çapın büyüklüğü kadar önemlidir. Mümkün olduğu kadar çapı büyük tekerlek kullanmaya özen gösterilmelidir (Anonim-14).

7.3.3.3. İklim Şartları

Normal iklim şartlarında tekerleklerin hiçbirinde problem görülmez. Ancak anormal iklim şartları veya ortamlarda (aşırı sıcak veya soğuk) bazı tekerleklerde problemler ortaya çıkabilir. Bu nedenle tekerlek seçimi iklim şartları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır (Anonim-14).

7.3.3.4. Çevresel Şartlar

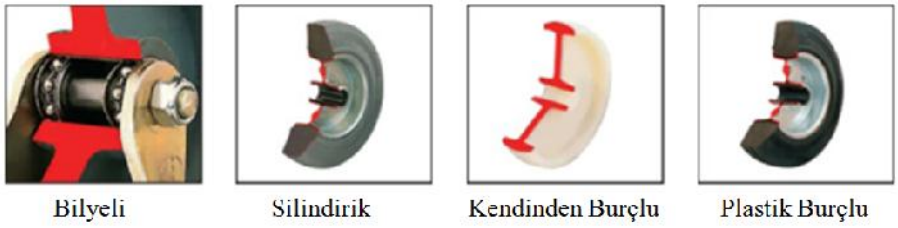
Asitli, kimyevi maddeli yağlı zeminlerde poliamid, döküm veya poliüretan tekerlekler tavsiye edilmektedir. Bu şartlarda kauçuk tekerleğin kullanılması uygun değildir. Zeminin bozuk olduğu yerlerde, suyun tekerleğe temas edebileceği ortamlarda ise kauçuk tekerlek seçimi isabetli olmakla beraber buralarda döküm tekerleğin kullanılmasından kaçınılmalıdır (Anonim-14).

7.3.3.5. Yük Kapasitesi

Yük ağırlaştıkça tekerlek çapının arttırılması gerekir. Yük kapasitesi aynı zamanda tekerleğin hareketine de etki etmektedir. Sürekli hareket gerektiren yerlerde ve yük ağırlığının fazla olduğu yerlerde bilye rulmanlı tekerlek kullanılmalıdır. Ayrıca aşırı sıcağın veya pisliğin olduğu ortamlarda tekerleğin kapasitesinin düştüğü de unutulmamalıdır (Anonim-14).

7.3.3.6. Yataklama ve Bağlantı Şekilleri

Tekerlekler yataklama şekline göre Şekil 7.8.'de görüldüğü gibi dörde ayrılırlar.



Şekil 7.8. Tekerlek yataklama şekilleri

Bilyeli yataklı tekerlekler darbelere karşı dayanıklıdır. Kolay ve sessiz hareket kabiliyetine sahiptir. Maksimum yükleme için son derece yüksek dönüş direnci gösterir. Gresörlüklü modellerde gres yağı ile yağlama mevcuttur. Orta ve ağır hızda hareket ettirilecek araçlardaki tekerlekler için önerilir. Bu nedenlerden dolayı tasarımda bilyeli yatak şeklindeki tekerlek seçilmiştir.

Silindirik yataklı tekerlekler darbelere ve suya karşı dayanıklıdır. Çoğunlukla özel bakım gerektirmez. Uzun ömürlü gres ile yağlanmıştır. Hafif yükler ve düşük hızda hareket ettirilecek araçlardaki tekerlekler için önerilir.

Kendinden burçlu yataklı tekerlekler darbelere ve suya karşı dayanıklıdır. Çoğunlukla özel bakım gerektirmez. Malzeme özelliklerine bağlı olarak aynı zamanda aşınmaya dayanıklıdır. Hafif yükler ve düşük hızda hareket ettirilecek araçlardaki tekerlekler için önerilir.

Plastik burçlu yataklı tekerlekler suya karşı dayanıklıdır ve çoğunlukla özel bakım gerektirmez. Hafif yükler ve düşük hızda hareket ettirilecek araçlardaki tekerlekler için önerilir (Anonim-13).

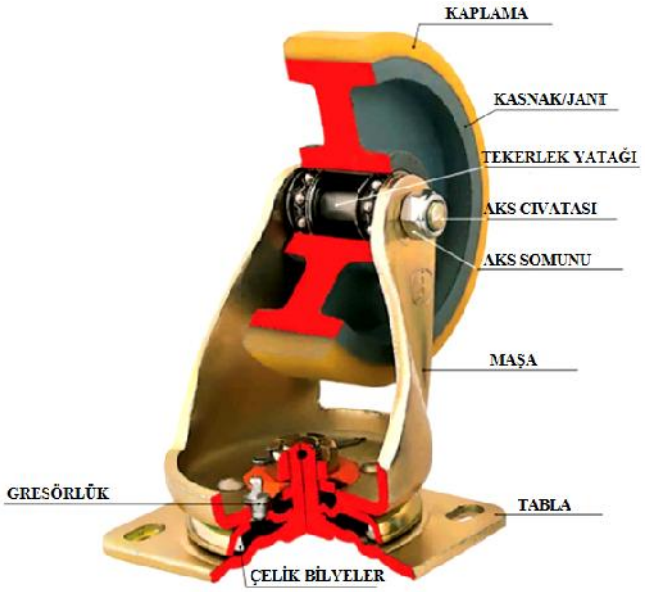
Tekerlekler bağlantı şekline göre Şekil 7.9.'da görüldüğü gibi altıya ayrılırlar. Tasarımda döner tablalı bağlantı şekli seçilmiştir (Anonim-14).



Şekil 7.9. Tekerlek bağlantı tipleri

7.3.3.7. Tekerleğin Genel Konstrüksiyonu

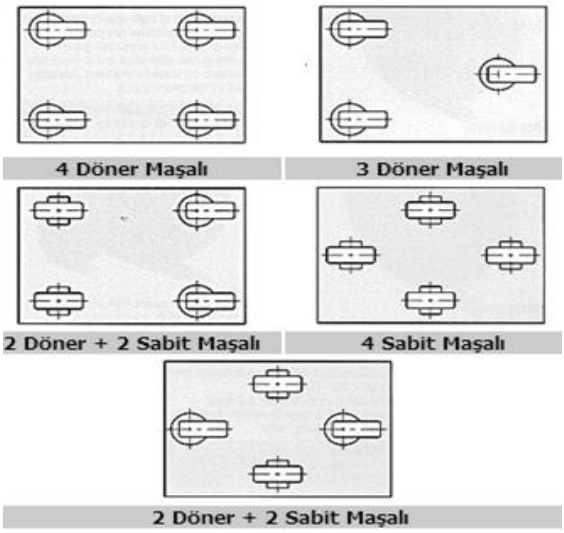
Sanayi tipi tekerleklerin genel konstrüksiyonu Şekil 7.10.'da görülmektedir (Anonim-14).



Şekil 7.10. Tekerleğin genel yapısı

7.3.3.8. Tekerlek Yerleşim Şekilleri

Tekerleklerin yerleşimleri şekilleri Şekil 7.11.'de gösterildiği gibi yapılabilmektedir. Tasarımda dört döner maşalı yerleşim şekli seçilmiştir (Anonim-14).



Şekil 7.11. Tekerlek yerleşim şekilleri

7.3.3.9. Tekerleğin Kimyasal Dayanıklılığı

Tekerleğin kimyasal dayanıklılık ile ilgili özellikleri Tablo 7.1.'de gösterilmiştir. Tasarımda poliüretan malzemesi seçilmiştir (Anonim-14).

Tablo 7.1. Kimyasal dayanıklılık özellikleri

Kimyasal Dayanıklılık	Kauçuk	Poliamid	Polipropilen	Termoplastik Kauçuk	Poliüretan	PVC	Döküm	Yüksek Isıya Dayanıklı
Alkol	+	++	+	+	++	-	--	+
Amonyak	-	++	+	-	++	-	-	+
Bitkisel Yağlar	-	++	++	+	+	+	++	++
Mineral yağlar	--	++	+	+	+	+	++	++
Petrol Ürünleri	--	++	++	+	+	+	++	+
Solventler	-	++	-	-	--	-	++	-
Su	++	++	++	++	++	++	-	++
Sülfürik Asit	-	--	++	+	-	--	--	-
Süt	-	++	++	+	++	-	--	++
Tuzlu Su	+	++	++	+	++	+	--	++
Sıcaklık	-20°C +60°C	-40°C +80°C	-20°C +60°C	-20°C +60°C	-40°C +60°C	-20°C +60°C	-40°C +600°C	-40°C +280°C

7.3.3.10. Tekerlek Seçerken Dikkat Edilecek Hususlar

- Zeminin özelliği nedir? (engebeli, düz, hassas zemin.)
- Nasıl bir ortamda çalışılacak? (soğuk, sıcak)
- Taşınacak toplam ağırlık ne kadardır?
- Tekerleğin çapı ne kadar olacak?
- Tekerleğin montaj şekli nasıl olacak?
- Tekerleğin taşıma kapasitesi hesaplanırken tekerleğin monte edildiği ana gövdenin ağırlığı da göz önünde tutuldu mu?
- Tekerlek dar bir alanda mı yoksa geniş bir alanda mı kullanılacak?
- Tekerlek, hareket halinde mi yoksa sabit durumda mı kullanılacağı önceden belirlenip, yukarıdaki faktörler de göz önünde bulundurulup en uygun tekerlek seçilir (Anonim-14).

7.3.3.11. Tekerlek Seçim Formülü

Uygun taşıma kapasitesine sahip tekerleği seçebilmek için aşağıdaki formül kullanılabilir ($1.5 < E < 2.0$).

$$K = [(B + Y) / T] \times E \qquad (7.1.)$$

Seçilecek olan tekerlek için B = 1500 kg, Y = 1500 kg, T = 4 adet ve E = 2 değerleri kabul edilerek (6.1.) formülünden;

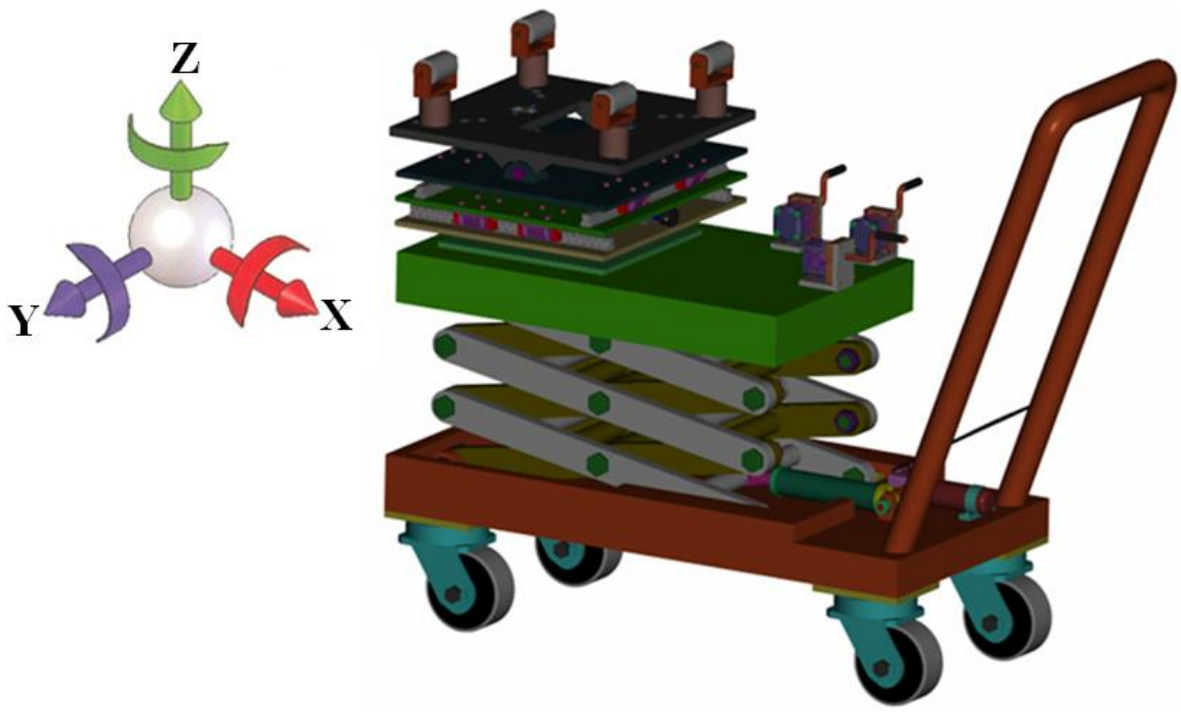
K = [(1500 + 1500) / 4] x 2 = 1500 kg

elde edilir (Anonim-14).

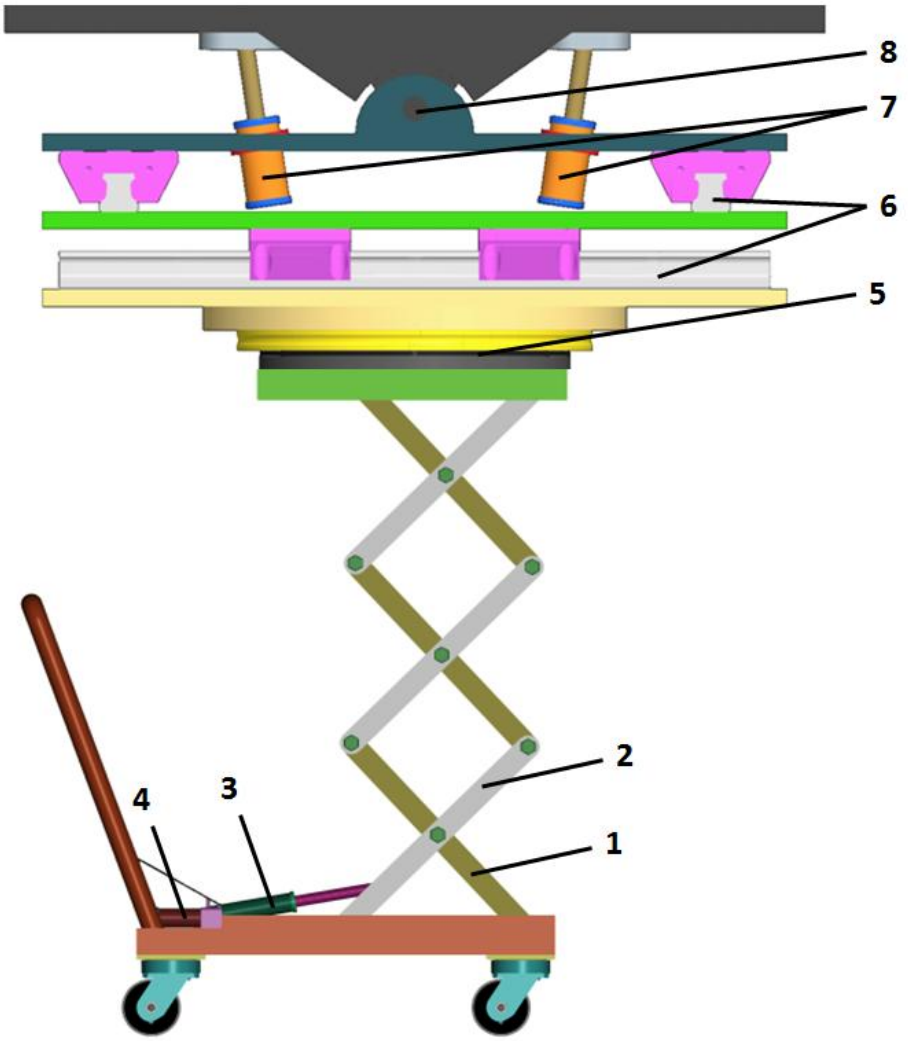
Tasarımda kullanılan sanayi tipi tekerleğin genel özellikleri EK-4'de verilmiştir (Anonymous-15).

7.4. Beş Serbestlik Dereceli Bomba Yükleme Aracının Genel Özellikleri

Bomba yükleme aracının tasarımında Türkiye'de ve dünyada kullanılan farklı bomba yükleme araçlarının model ve özellikleri göz önüne alınmıştır. Bomba yükleme aracının nasıl, ne zaman, nerede ve hangi özelliklerde kullanılacağı sorularına cevap olabilecek kriterler incelenmiştir. İstenilen hareketleri sağlayabilecek şekildeki bomba yükleme aracı, beş serbestlik derecesine sahiptir. Yapılan birkaç üç boyutlu tasarımdan sonra istenilen özellikleri karşılayacak en son tasarım yapılmıştır. Tasarımın genel görünüşü Şekil 7.12.'de ve yandan şematik görünüşü basitleştirilmiş olarak Şekil 7.13.'de verilmiştir.



Şekil 7.12. Beş serbestlik dereceli bomba yükleme aracı



Şekil 7.13. Bomba yükleme aracının yandan şematik gösterimi

Bomba yükleme aracının ±Z eksenindeki doğrusal hareketi makas mekanizması (1 ve 2) ile gerçekleştirilmektedir. Makas mekanizmasının hareketi hidrolik silindir (3) ile sağlanmaktadır. Taşıma arabasının üzerinde bulunan ayak kumandalı hidrolik sistem (4) ile makas mekanizmasının açılıp kapatılması işlemi ayak ile yapılmaktadır. Makas mekanizmasının belirtilen yönlerde 1088 mm hareket kabiliyeti bulunmaktadır.

Z eksenindeki açısal hareket döner tablalı rulman (5) ile gerçekleştirilmektedir. Gerekli olan küçük açısal hareketler insan gücü ile sağlanmaktadır. Belirtilen yönlerde ±30º'lik açısal hareket bomba yükleme işlemi için yeterli olmaktadır.

X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketler lineer kızakların (6) taşıma arabaları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Dört adet taşıma arabasına sabitlenmiş olan tablaların lineer kızaklar üzerindeki doğrusal hareketi büyük hidrolik silindirler ile sağlanmaktadır. Ana taşıyıcı tablada bulunan üç adet hidrolik pompanın elle tahrikiyle

büyük hidrolik silindirlerin hareketi elde edilmektedir. Belirtilen yönlerde 100 mm hareket kabiliyeti bulunmaktadır.

Y ekseni etrafındaki açısal hareket ise üst tablanın bağlı olduğu bağlantı noktaları (8) etrafında gerçekleştirilmektedir. Gerekli olan açısal hareketi küçük hidrolik silindirler (7) sağlamaktadır. Ana taşıyıcı tablada bulunan üç adet hidrolik pompanın elle tahrikiyle küçük hidrolik silindirlerin hareketi elde edilmektedir. Bu sayede Y ekseni etrafında ±15º'lik hareket kabiliyeti bulunmaktadır.

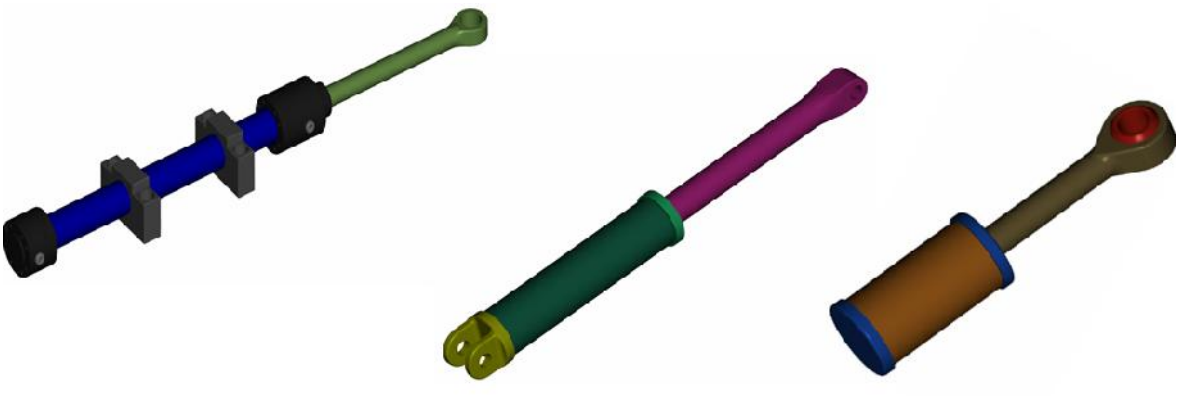


Şekil 7.14. Üst tabla üzerinde bulunan dört adet silindirik ayar aparatı

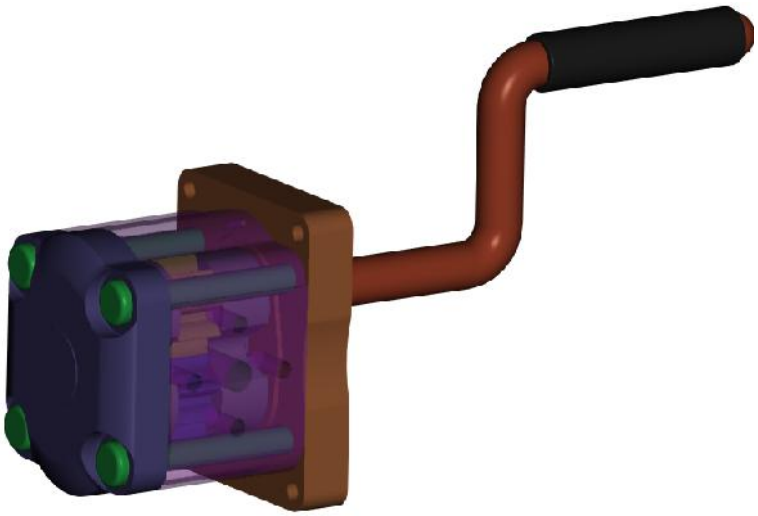
Üst tabla üzerinde bulunan dört adet silindirik ayar aparatı için beş farklı aralıkta delikler vardır (Şekil 7.14.). Ayar aparatlarının yerleri değiştirilerek farklı çaplardaki bombaların yüklenebilmesi sağlanmaktadır. Bombaların üzerinde ağırlık merkezini gösteren işaretler bulunmaktadır. Silindirik aparatlar üzerine bomba yükleme işlemi yapılırken, üst tabla üzerindeki ağırlık merkezi işareti ile bomba üzerindeki ağırlık merkezi aynı konuma getirilmektedir. Bombanın kayma ihtimaline karşı ise ağırlık merkezinden üst tablaya strep ile bağlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Değişik çap ve uzunluklarda silindirik ayar aparatları bulunmaktadır.

Bomba yükleme aracının altında bulunan dört adet tekerlek sayesinde ise taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüklenecek olan bomba, römork üzerinden alınarak uçağa yüklenmek üzere kanat altına getirilmektedir.

Kanat altında yükleme işlemini gerçekleştirmek için X, Y ve Z yönlerindeki doğrusal ve açısal hareketleri sağlayan hidrolik silindirler Şekil 7.15'de ve hidrolik pompa Şekil 7.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Hidrolik silindirler



Şekil 7.16. Hidrolik pompa

Bomba üzerinde uçağa sabitlenmesi için iki adet kanca bulunmaktadır. Uçağa bomba yükleme işleminde paylon (kanat ile bomba arasında bulunan teçhizat) üzerinde bulunan yuvalara bomba kancaları oturtularak kilitleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bomba tipine göre mekanik veya elektrik bağlantıları yapılarak bomba yükleme işlemi tamamlanmaktadır.

Şekil 7.17.'de gösterilen mankenin boyu 1.76 cm'dir. Böylece ergonomiklik açısından bir değerlendirme yapılmış ve tasarımda kullanılmıştır. Bomba yükleme aracı istenilen kriterlerde hareketliliği sağlaması koşuluyla en küçük boyutlarda olacak şekilde tasarlanmıştır. Taşıma kapasitesi olarak maksimum 1000 kg referans alınmış

olup emniyetli olacak şekilde makine elemanlarının seçimi yapılmıştır. Beş serbestlik dereceli hareket kabiliyeti ve yük kapasitesi itibariyle birçok hava-hava ve hava-yer bombalarının uçağa yüklenmesi hedeflenmiştir.

Bomba yükleme aracının kapalı durumdaki toplam yüksekliği ve yüklenecek bombaların çapı dikkate alınarak, yüklenebilecek minimum kanat yüksekliği de tasarımda dikkate alınmıştır.



Şekil 7.17. Bomba yükleme aracının makasının tam açık durumu

Bomba yükleme aracının genel özellikleri Tablo 7.2.'de ve genel görünüşleri EK-5'de verilmiştir.

Tablo 7.2. Bomba yükleme aracının genel özellikleri

BOMBA YÜKLEME ARACI GENEL ÖZELLİKLERİ	
Uzunluk	1432 mm
Genişlik	645 mm
Kapalı Yükseklik	922 mm
Açık Yükseklik	2010 mm
Yükleme Aracının Kaldırma Kapasitesi	1000 kg
Tekerlek Çapı	6 inch
Tekerlek Yük Taşıma Kapasitesi	1580 kg
Tekerlek Adeti	4 adet
Tabla X Ekseni Hareket Kabiliyeti	± 100 mm
Tabla Y Ekseni Hareket Kabiliyeti	± 100 mm
Tabla Z Ekseni Hareket Kabiliyeti	1088 mm
Tabla Y Ekseni Yatış Hareketi	± 15°
Tabla Z Ekseni Dönüş Hareketi	± 30°

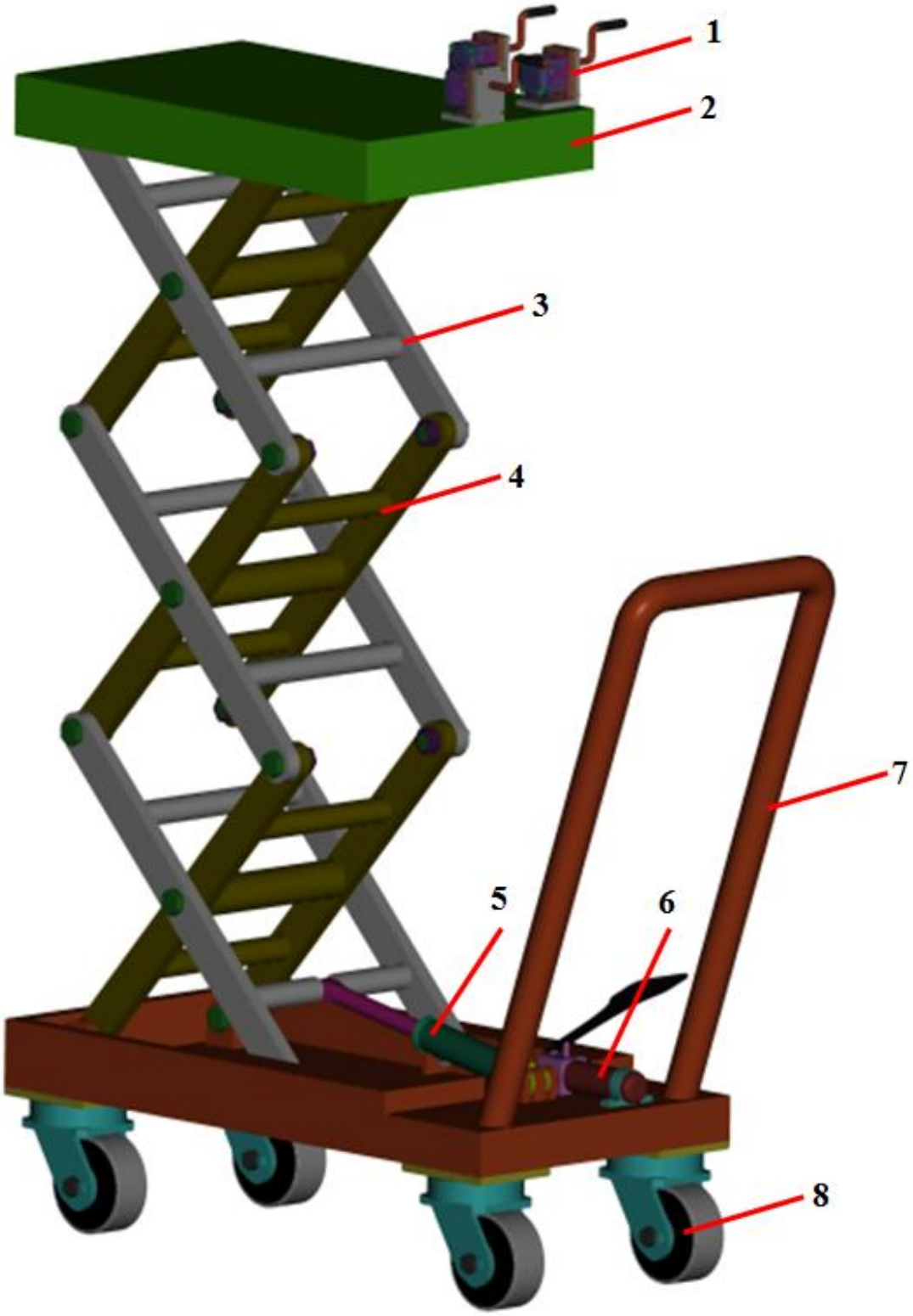
7.4.1. Lift Arabası Özellikleri

Bomba yükleme aracının ±Z yönlerindeki hareketi ile uçağın bomba taşıma arabasından alınarak uçağa yüklenmesi için gerekli hareketi lift arabası sağlamaktadır. Bomba yükleme aracı lift arabasının parçaları Şekil 7.18.'de verilmiştir.

Taşıyıcı tabla üzerindeki hareketleri sağlayan üç adet hidrolik pompa (1) ana taşıyıcı tabla (2) üzerinde bulunmaktadır. Ana taşıyıcı tabla aynı zamanda lift kolları ile bağlantıyı da sağlamaktadır.

Lift arabasının makas mekanizması (3 ve 4), hidrolik silindir (5) ve ayak pompası (6) yardımıyla aşağı yukarı hareket ettirilmektedir. Hızlı ve yavaş konum ayarları ile bomba yükleme aracı boşta iken veya bomba yüklü iken hareket gerçekleştirilebilmektedir.

Bomba yükleme aracı seçilen özel tekerlekler (8) ve bomba yükleme aracında tasarıma eklenen ana taşıyıcı üzerindeki itme kolu (7) yardımı ile kolaylıkla hareket ettirilebilmektedir. Bomba taşıma arabaları ile kanat arasında fazla bir mesafe bulunmadığı için bomba yükleme aracı insan gücü ile hareket ettirilebilmektedir.



Şekil 7.18. Bomba yükleme aracı lift arabasının parçaları

Bomba yükleme aracı lift arabasının parçaları Tablo 7.3.'de ve lift arabasına ait diğer görünüşler EK-6'da verilmiştir.

Tablo 7.3. Bomba yükleme aracı lift arabası parçaları

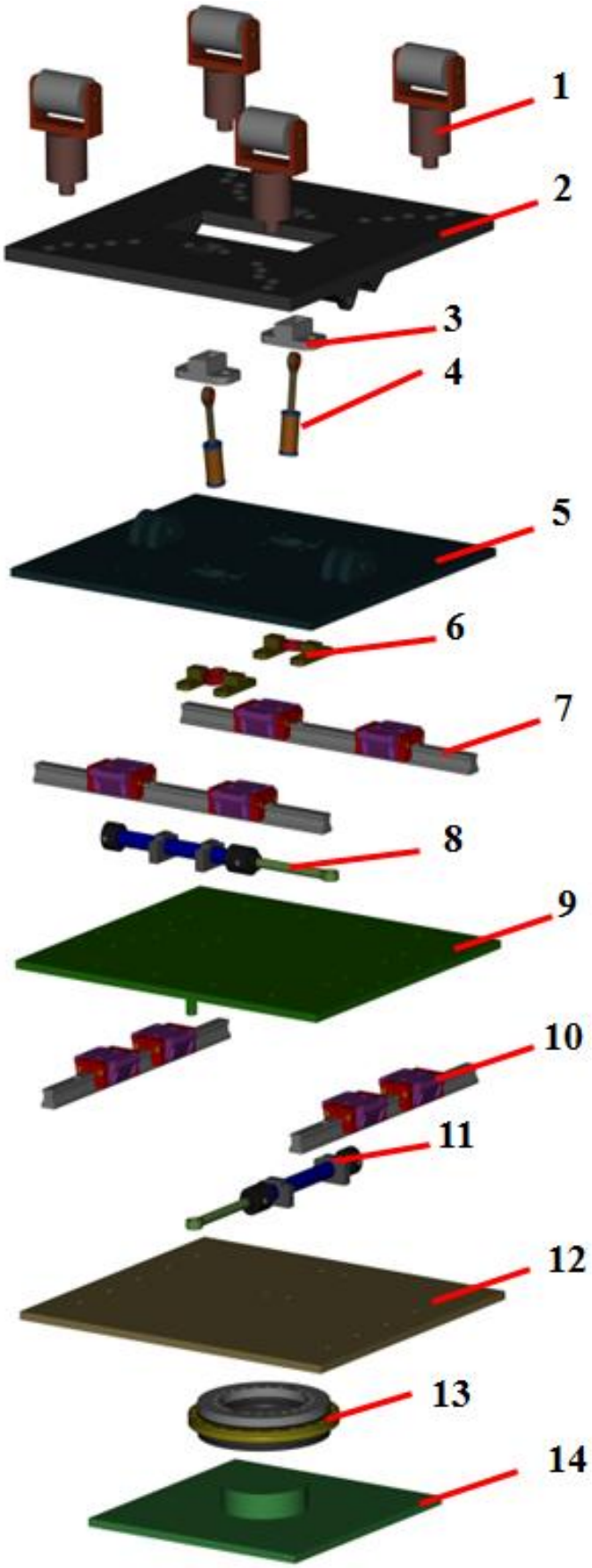
BOMBA YÜKLEME ARACI LİFT ARABASI PARÇALARI		
Parça Nu.	**PARÇA İSMİ**	**ADET**
1	Hidrolik pompa	3
2	Ana taşıyıcı tabla	1
3	Lift kolu-01	3
4	Lift kolu-02	3
5	Hidrolik silindir	1
6	Ayak pompası	1
7	Ana taşıyıcı	1
8	Tekerlek	4

7.4.2. Taşıyıcı Tabla Özellikleri

Bomba yükleme aracının en önemli kısmı taşıyıcı tablasıdır. Asıl bombayı alacak ve uçağa yükleyecek mekanizma bu kısımda yer almaktadır. Toplam beş serbestlik derecesine sahip olan bomba yükleme aracının dört serbestlik derecesi taşıyıcı tabla ile sağlanmaktadır. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tabla parçaları Şekil 7.19.'da verilmiştir.

Bomba yükleme işlemini gerçekleştirecek hareketleri sağlayacak şekilde tasarlanan tabla, hidrolik sistem ve döner tablalı rulman ile kontrol edilmektedir. Tabla üzerinde iki adet büyük ve iki adet küçük hidrolik silindir bulunmaktadır. Küçük hidrolik silindirler (4) tablanın bağlantı noktası etrafında dönme hareketi yapmasını sağlamaktadır. Böylece bombanın döndürülmesi için açısal hareket elde edilmektedir. Büyük silindirler (8 ve 11) ise tablanın X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketini sağlamaktadırlar. Ara tablalar (5, 9 ve 12) bağlı oldukları lineer kızaklar (7 ve 10) ve döner tablalı rulman (13) sayesinde küçük bir kuvvet uygulanarak kolaylıkla hareket ettirilebilmektedir. 360º dönebilen döner tablalı rulman sayesinde 30º'lik açısal hareket sağlanarak yükleme işlemi yapılmaktadır. Alt tabla (14) hem döner tablalı rulmanın bağlanmasını hem de ana taşıyıcı tablaya, taşıyıcı tablanın bağlanmasını sağlamaktadır.

Bomba yükleme esnasında göz ile görerek bomba, uçaktaki askı kancalarına takılmaktadır. Yani göz ve beden kontrolü sayesinde işlem gerçekleştirilmektedir. Bombanın hareketi, hidrolik pompalardaki kollar sayesinde hassas bir şekilde yapılarak yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7.19. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tabla parçaları

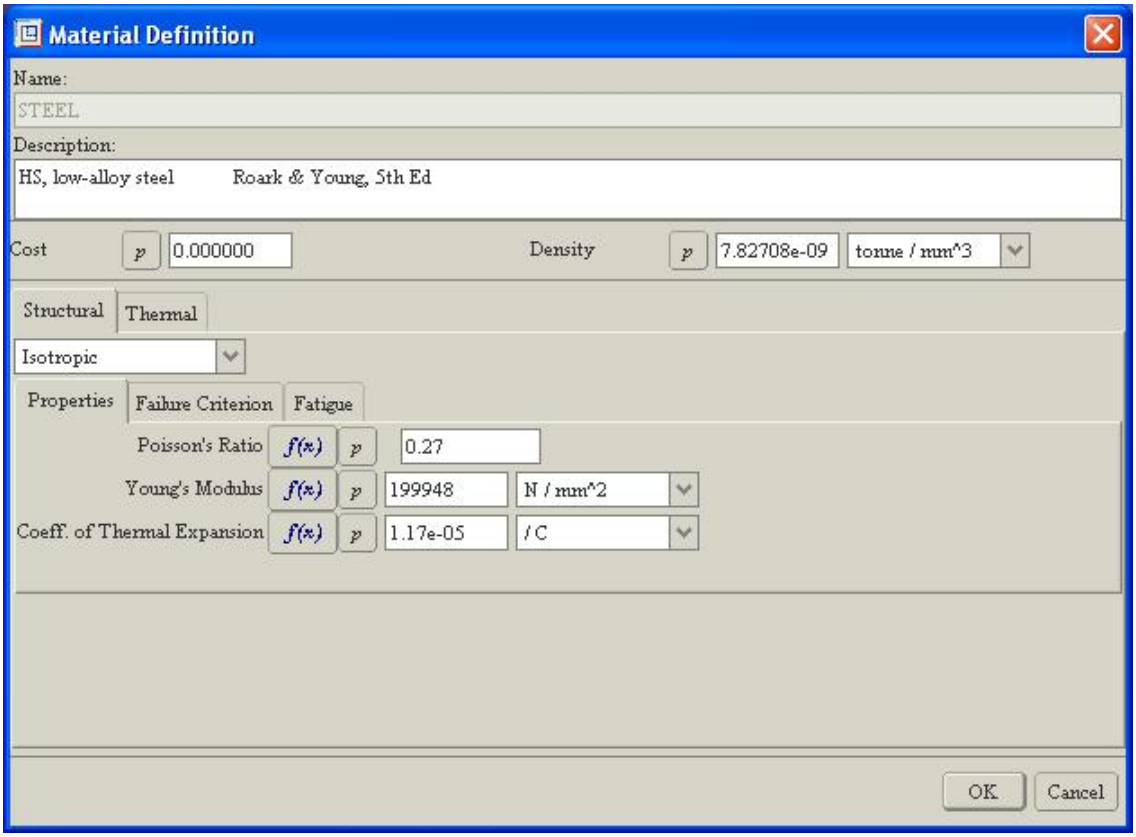
Bomba yükleme aracı taşıyıcı tabla parçaları Tablo 7.4.'de ve taşıyıcı tablaya ait diğer görünüşler EK-7'de verilmiştir.

Tablo 7.4. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tabla parçaları

BOMBA YÜKLEME ARACI TAŞIYICI TABLA PARÇALARI		
Parça Nu.	PARÇA İSMİ	ADET
1	Bomba çapına uygun ayar aparatı	4
2	Üst tabla	1
3	Küçük hidrolik ara bağlantısı-01	2
4	Küçük hidrolik silindir	2
5	Ara tabla-01	1
6	Küçük hidrolik ara bağlantısı-02	2
7	Lineer kızak-01	2
8	Büyük hidrolik silindir-01 ve bağlantı aparatı	1
9	Ara tabla-02	1
10	Lineer kızak-02	2
11	Büyük hidrolik silindir-02 ve bağlantı aparatı	1
12	Ara tabla-03	1
13	Döner tablalı rulman	1
14	Alt tabla	1

8. KRİTİK PARÇALARIN ANALİZLERİ

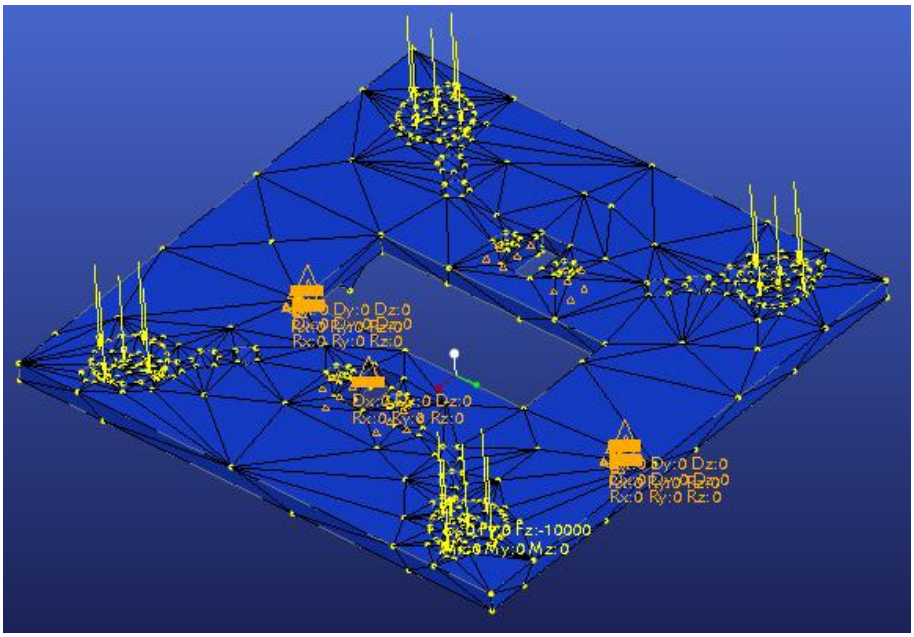
Yapılan tasarımda kullanılan makine elemanları 1000 kg'lık bir yükü taşıyabilecek uygun kriterlerde kataloglardan seçilerek tasarıma dâhil edilmiştir. Lineer kızaklar, döner tablalı rulman, sanayi tipi tekerlekler, hidrolik silindirler ve hidrolik pompalar istenilen yükleri ve kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşıyacak şekilde seçilmiştir. Ancak özel imalat gerektiren parçaların ise istenilen kriterlerde olması için analizlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parçalar düzgün kesitli olmadıkları için matematiksel yöntemler ile hesaplanmaları mümkün olmamaktadır. Bu nedenle üst tabla, ara tabla-01, ara tabla-02, ara tabla-03 ve lift kaldırma kolunun statik analizleri Pro-Engineer programının Pro-Mechanica modülünde yapılmıştır. Önce program kütüphanesinden malzeme seçilmiştir. Tüm parçalar için seçilen çelik malzemenin özellikleri Şekil 8.1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 8.1. Programdan seçilen malzeme özellikleri

Malzeme özelliklerinin seçiminden sonra mesnet yüzeylerin seçimi montaja uygun olarak her bir parça için yapılmıştır. Yüke maruz kalan yüzeylere 10.000 N

(1019.716 kg)'luk kuvvet değeri girilmiştir. Yapılan bu işlemlerden sonra ağ atma işlemi otomatik olarak yaptırılmıştır (Şekil 8.2.).

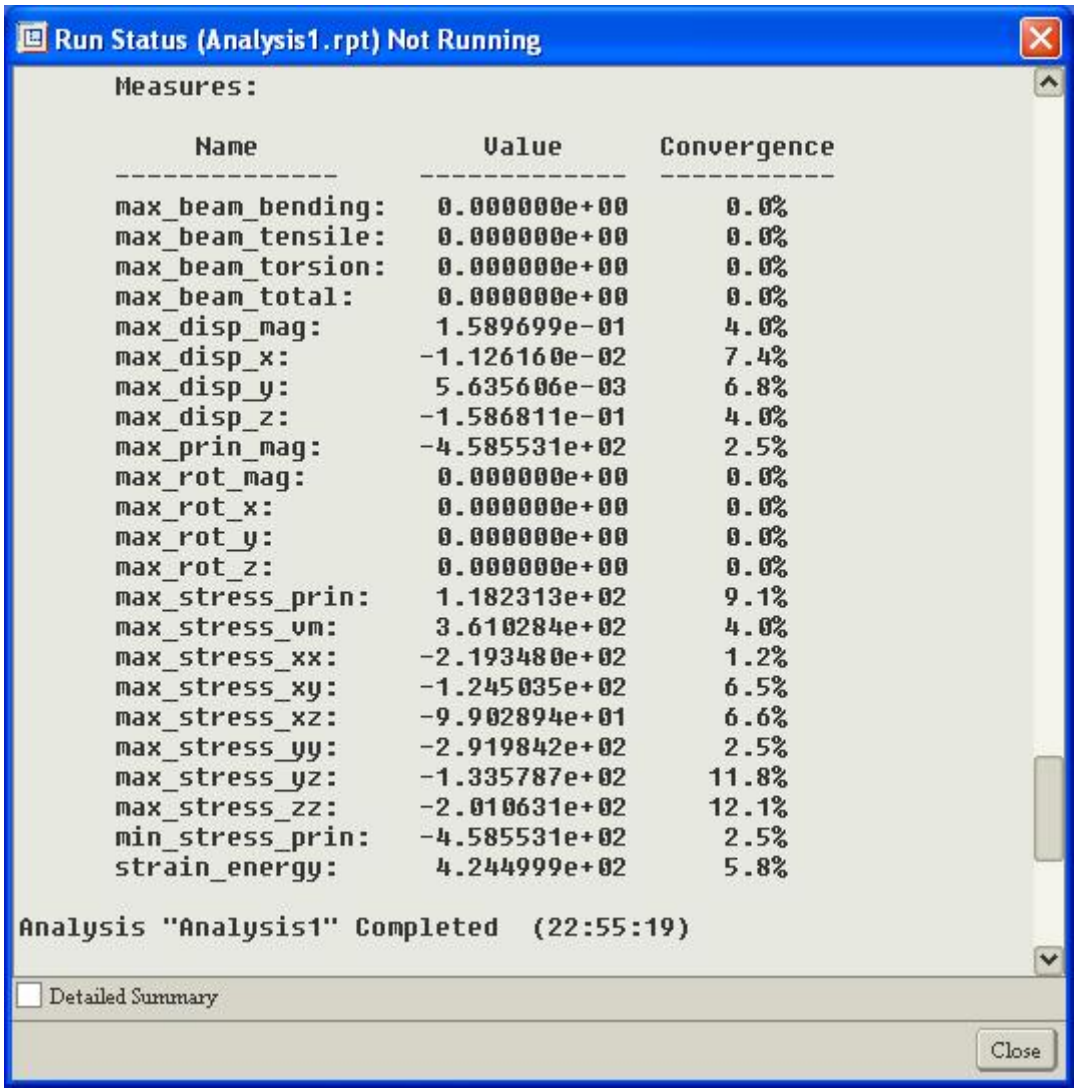


Şekil 8.2. Otomatik ağ atılmış parça örneği

Analiz işlemi seçim kriterleri tamamlandıktan sonra başlatılmaktadır. Yaklaşık 45-60 dakika arası süren hesaplamalardan sonra analiz sonuçları elde edilmektedir. Bu değerler, program tarafından sisteme kaydedilmektedir (Şekil 8.3). Oluşturulan dosya ile birçok analiz sonucu ve grafikler alınabilmektedir. Tasarımda kriter olarak değerlendirilecek olan maksimum gerilme (Stress von Mises Analizi) ve maksimum yer değiştirme (Displacement Mag Analizi) analizleri ve grafikleri elde edilmiştir.

Analiz ve grafiklerin değerlendirilmesi sonucunda maksimum gerilme değerleri yüksek çıkan parçaların istenilen değerlere getirilebilmesi için, malzeme kriterlerinin değiştirilmesi ya da tasarımın boyutlarında parçaya uygun düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle maksimum gerilme değeri yüksek çıkan parçaların kalınlık değerleri arttırılarak maksimum gerilme değerlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Böylece her parçanın malzeme özelliklerinin aynı kalması sağlanmıştır.

Analiz değerleri sonucunda üst tabla, ara tabla-01 ve ara tabla-02 parçalarının maksimum gerilme değerleri yüksek olduğu için kalınlık ölçüleri arttırılarak analiz işlemleri tekrar yapılmıştır. Böylece malzeme özellikleri değiştirilmeden maksimum gerilme değerlerinin azaltılması sağlanmıştır.



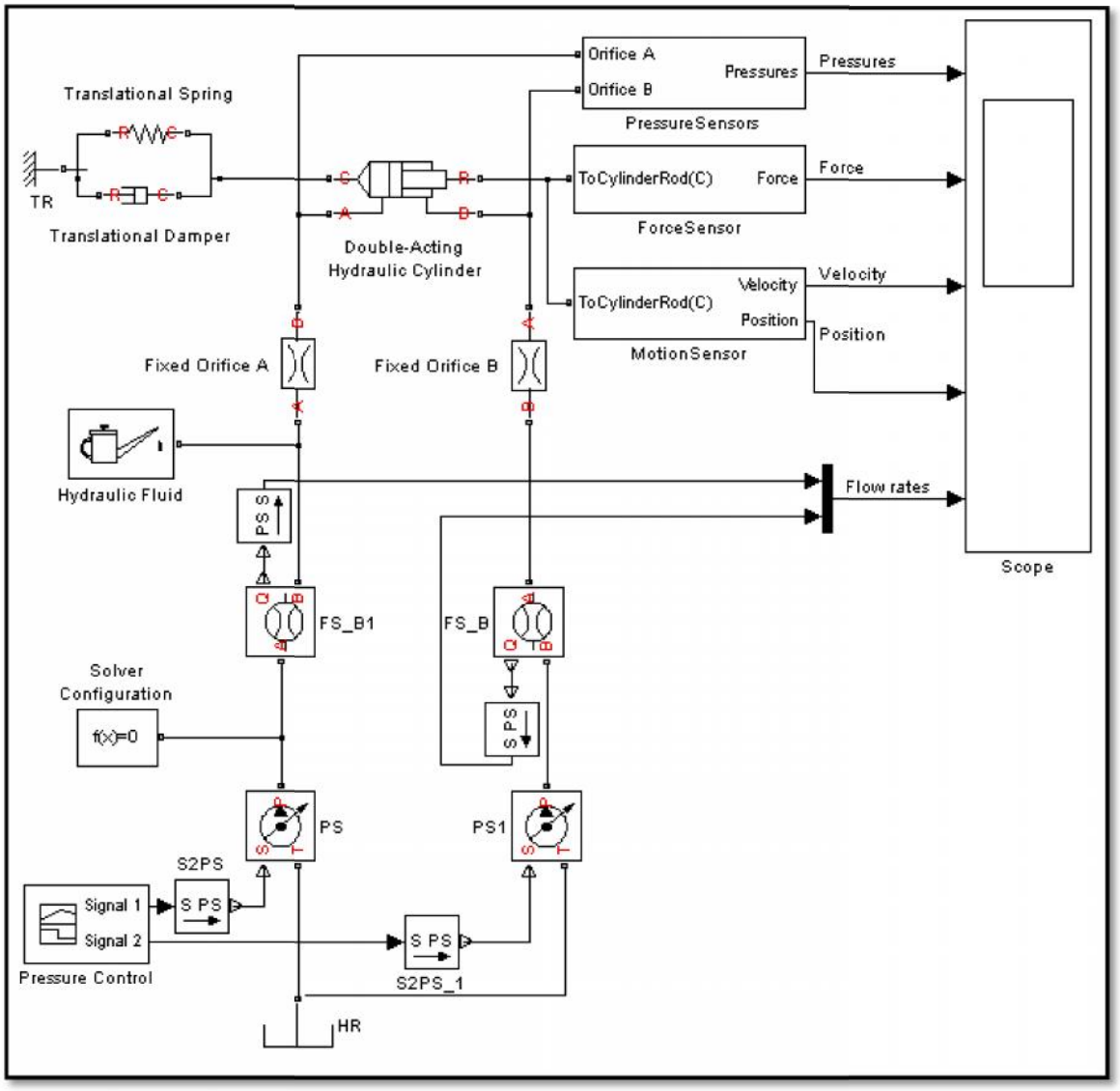
Şekil 8.3. Analiz sonucu elde edilen değerler

Özel üretim gerektiren üst tabla, ara tabla-01, ara tabla-02, ara tabla-03 ve lift kaldırma kolu parçalarına ait analizler yapılmış olup elde edilen grafikler ve analiz görüntüleri EK-8'de verilmiştir.

9. TAŞIYICI TABLANIN MATLAB MODELİ VE ANALİZLERİ

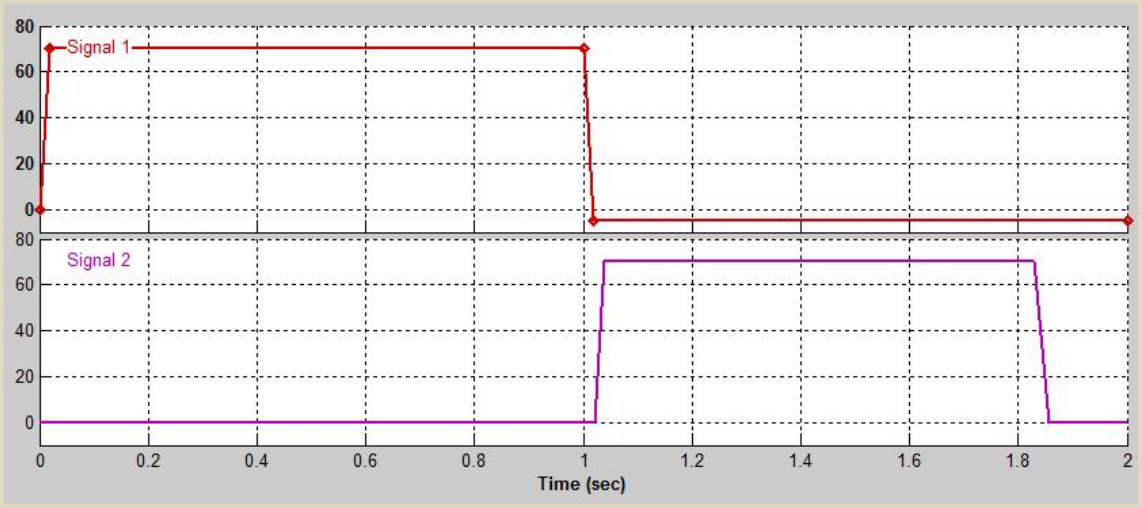
9.1. Doğrusal ve Açısal Hareket Sağlayan Hidrolik Silindirlerin Matlab Modeli

Beş serbestlik derecesine sahip olan bomba yükleme aracının taşıyıcı tabla kısmında dört serbestlik derecesi bulunmaktadır. Buradaki hareketler hidrolik silindirler ile sağlanmaktadır. Doğrusal hidrolik silindire ait Matlab Simmechanics'de oluşturulan model Şekil 9.1.'de gösterilmiştir.



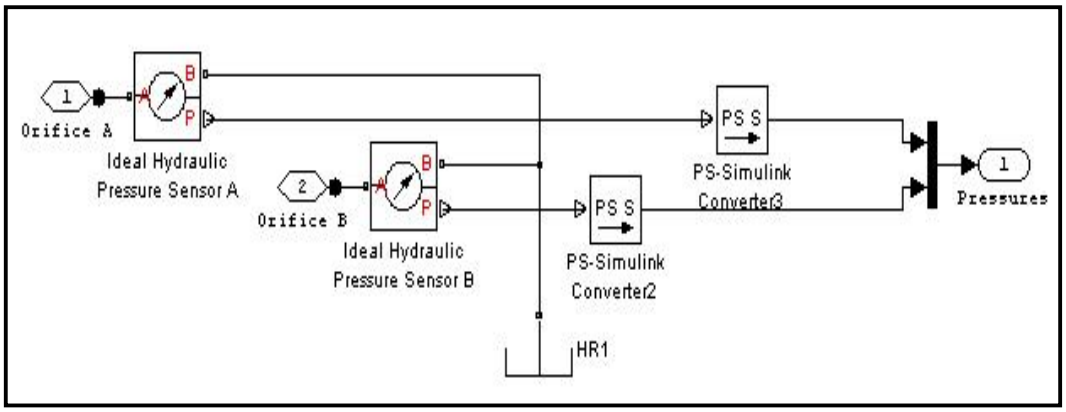
Şekil 9.1. Doğrusal hidrolik silindire ait Matlab modeli

Kapalı bir hidrolik silindir sistemi ile çalışan sistemde basınç kontrolü Şekil 9.2.'de gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak 70 PS (fiziksel sinyal) değerde verilen basınç kontrol, hidrolik silindirin istenilen ideal şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

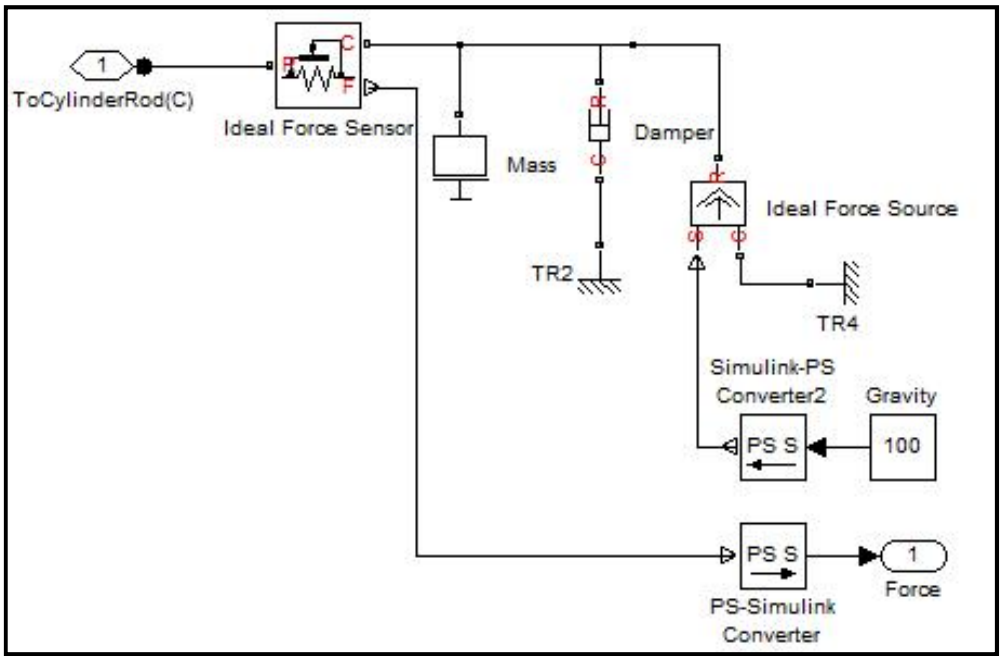


Şekil 9.2. Zamana bağlı basınç kontrol göstergesi

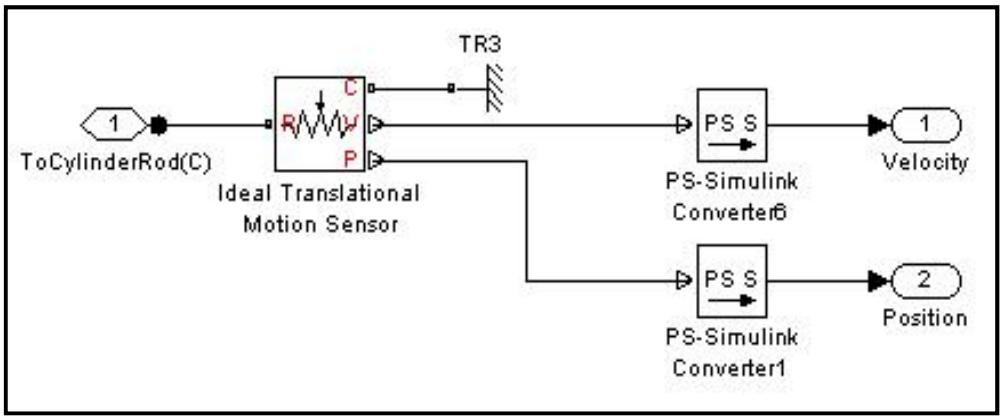
Matlab modelinde hidrolik silindire ait basınç (pressure), kuvvet (force), hız (velocity) ve konum (position) değerleri ile debi (flow rates) değeri elde edilmiştir. Matlab modelinin alt sistemlerindeki basınç sensörü (Pressure Sensors) Şekil 9.3.'de, kuvvet sensörü (Force Sensor) Şekil 9.4.'de ve hareket sensörü (Motion Sensor) Şekil 9.5.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 9.3. Basınç sensörü



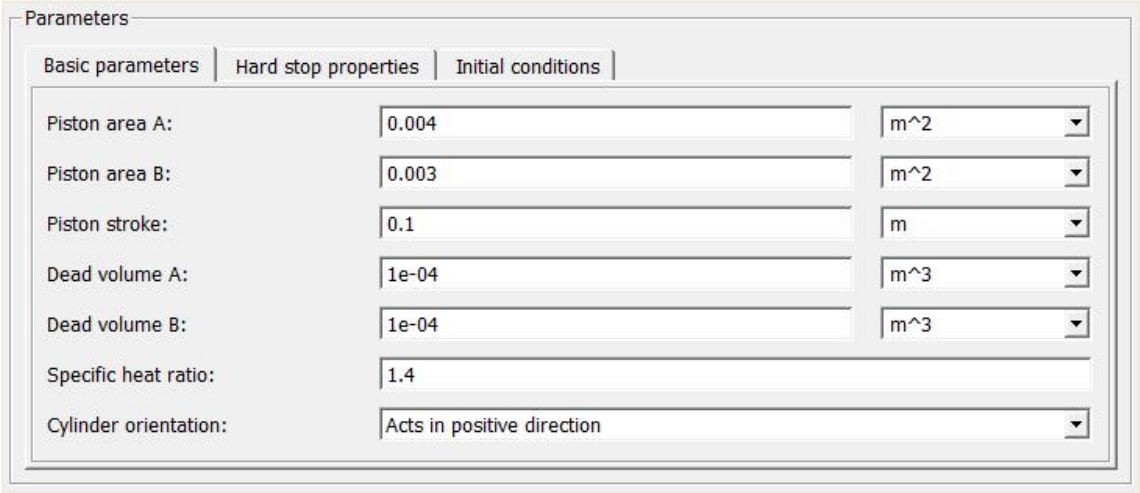
Şekil 9.4. Kuvvet sensörü



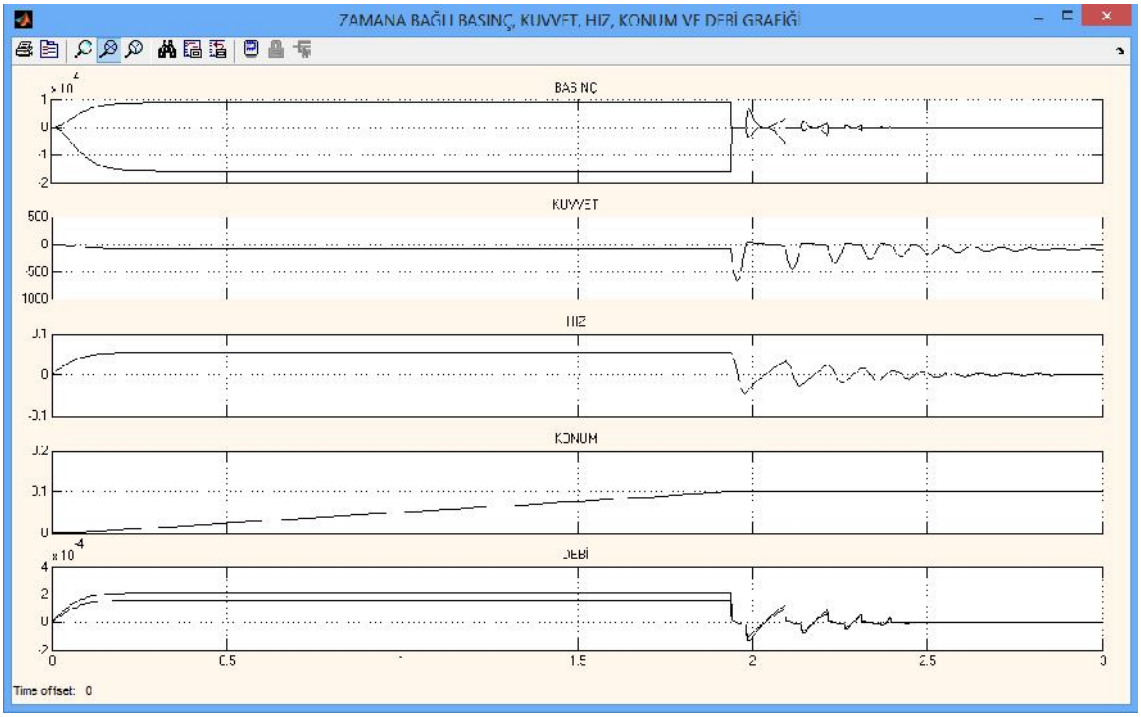
Şekil 9.5. Hareket sensörü

Çift etkili hidrolik silindire (Double-Acting Hydraulic Cylinder) ait sayısal değerler ve birimleri Şekil 9.6.'da gösterilmiştir.

Matlab modelinde sistemin çalıştırılması ile elde edilen basınç, kuvvet, hız, konum ve debi değerlerine ait grafikler Şekil 9.7.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Zamana bağlı olarak elde edilen grafiklerde piston kolu 0.1 m hareket ettirilmiştir. Bu hareket ile bomba yükleme aracının üst tablası sağa ve sola 0.1 m hareket ettirilebilmektedir. Bu değer bomba yükleme aracının çalışacağı maksimum değerdir.

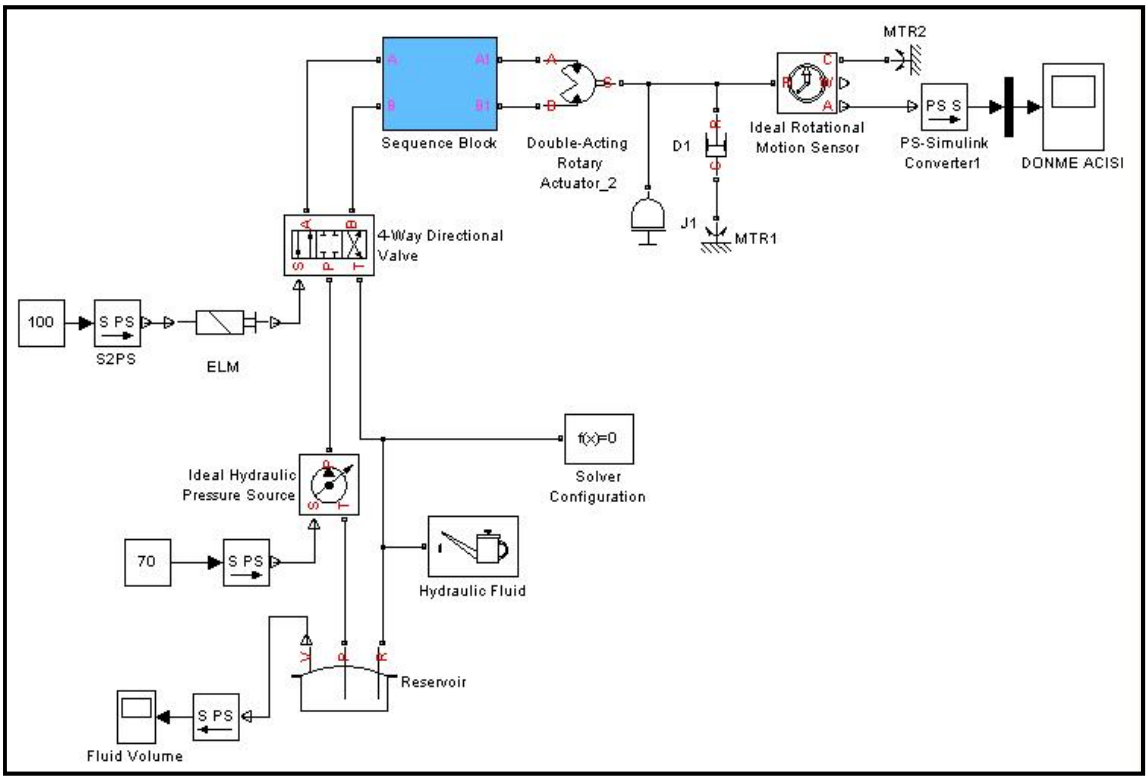


Şekil 9.6. Çift etkili hidrolik silindir parametreleri



Şekil 9.7. Çift etkili hidrolik silindirin zamana bağlı basınç, kuvvet, hız, konum ve debi grafiği

Açısal hareket sağlayan hidrolik silindire ait Matlab Simmechanics'de oluşturulan model Şekil 9.8.'de gösterildiği gibidir.



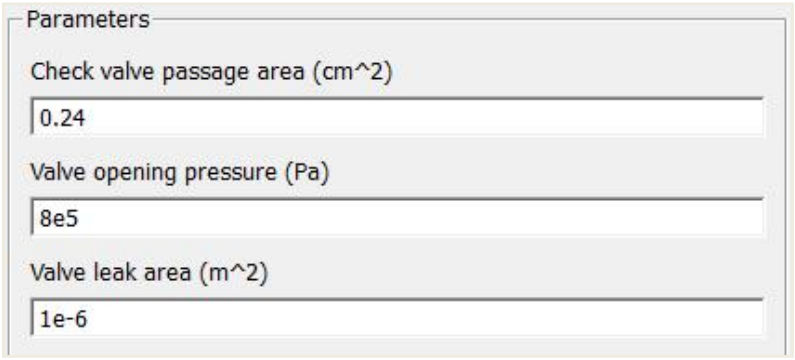
Şekil 9.8. Açısal hareket sağlayan hidrolik silindire ait Matlab modeli

Matlab modelinin alt sistemlerindeki "Double-Acting Rotary Actuator_2" parametreleri Şekil 9.9.'da ve "Sequence Block" parametreleri Şekil 9.10.'da gösterilmiştir.

Parameters

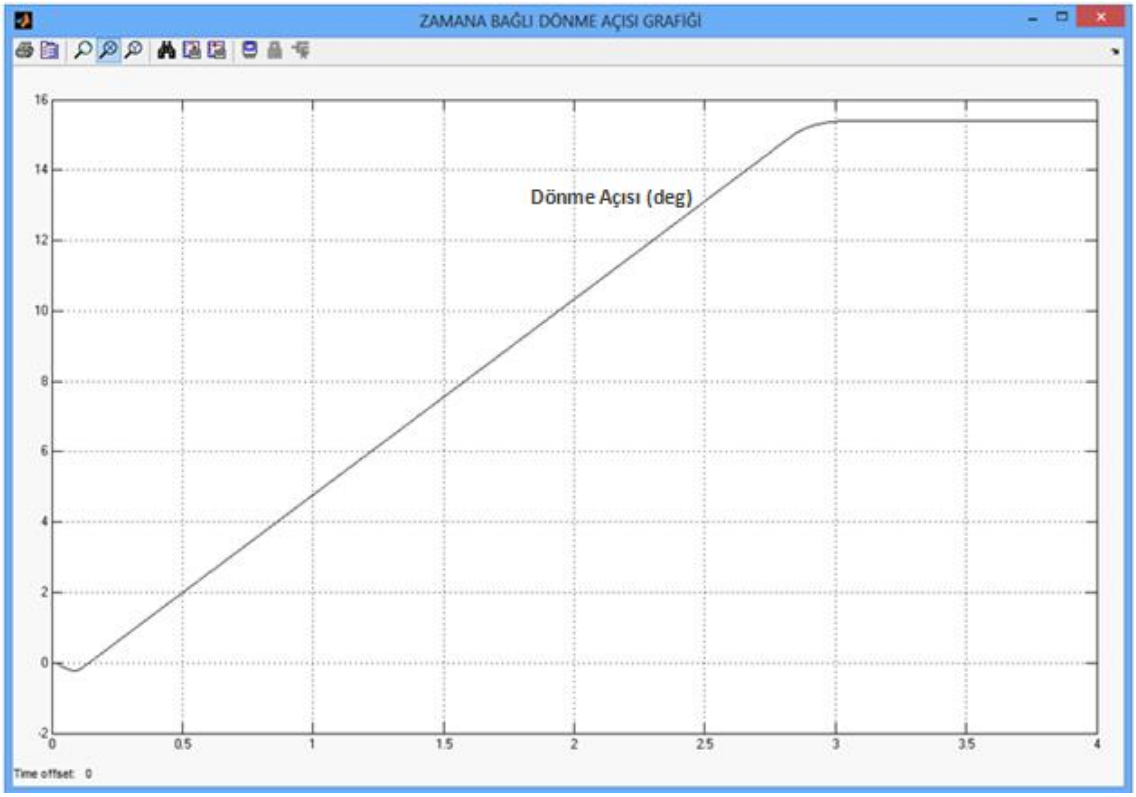
Actuator displacement:	0.001	m^3/rad
Shaft stroke:	15	deg
Shaft initial angle:	0	deg
Dead volume A:	1e-04	m^3
Dead volume B:	1e-04	m^3
Leak coefficient:	1e-14	m^3/s/Pa
Specific heat ratio:	1.4	
Contact stiffness:	1e+06	N*m/rad
Contact damping:	150	N*m/(rad/s)
Actuator orientation:	Acts in positive direction	

Şekil 9.9. Çift etkili döner silindir parametreleri



Şekil 9.10. Sıralı parametreler

Matlab modelinde sistemin çalıştırılması ile elde edilen dönme açısı Şekil 9.11.'de gösterildiği gibidir. Zamana bağlı olarak elde edilen grafikte 15º'lik bir açısal hareket elde edilmiştir. Bu değer bomba yükleme aracının çalışacağı maksimum değerdir.



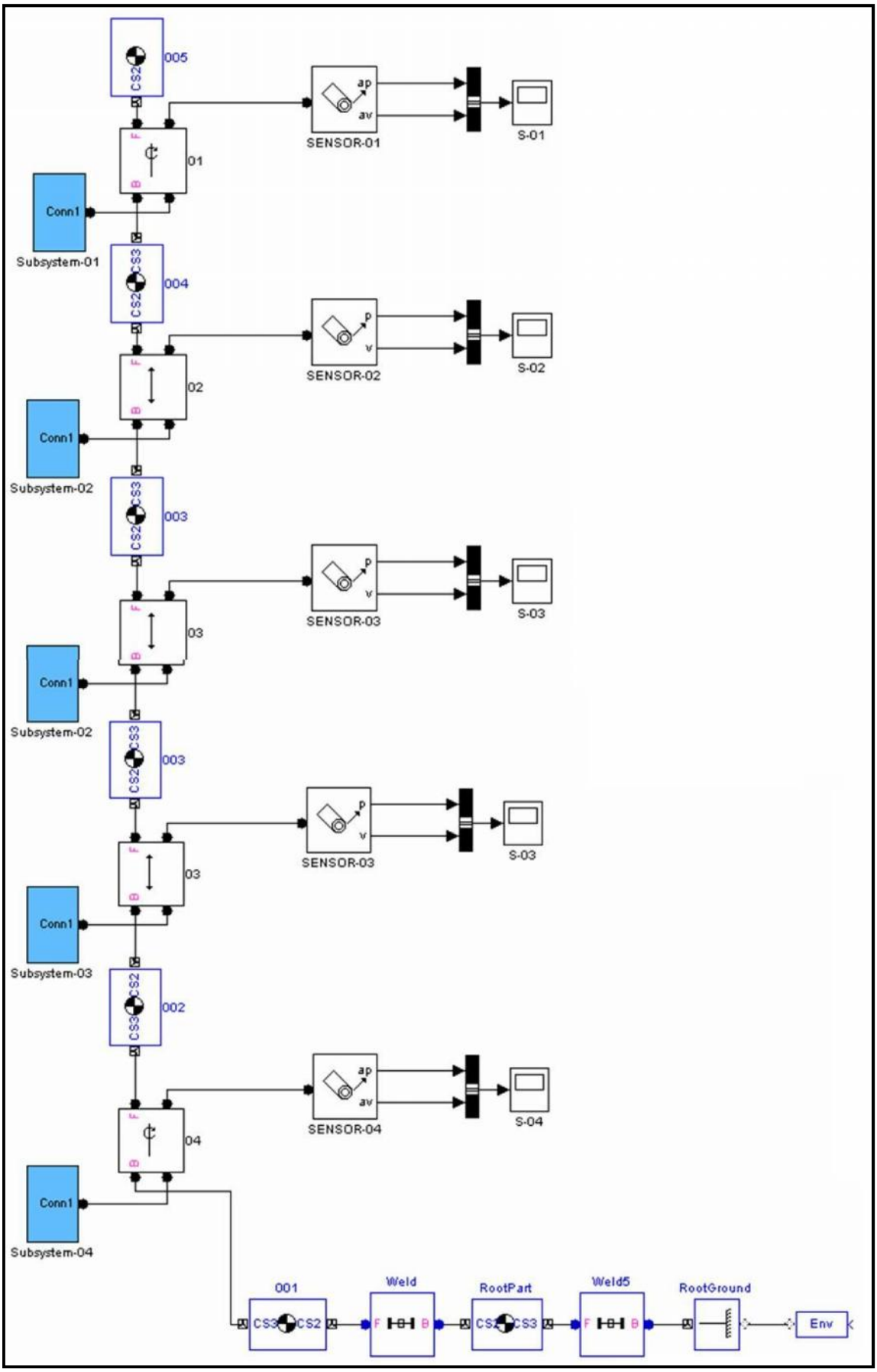
Şekil 9.11. Çift etkili döner silindirin zaman bağlı dönme açısı grafiği

9.2. Taşıyıcı Tablanın Simmechanics Modeli

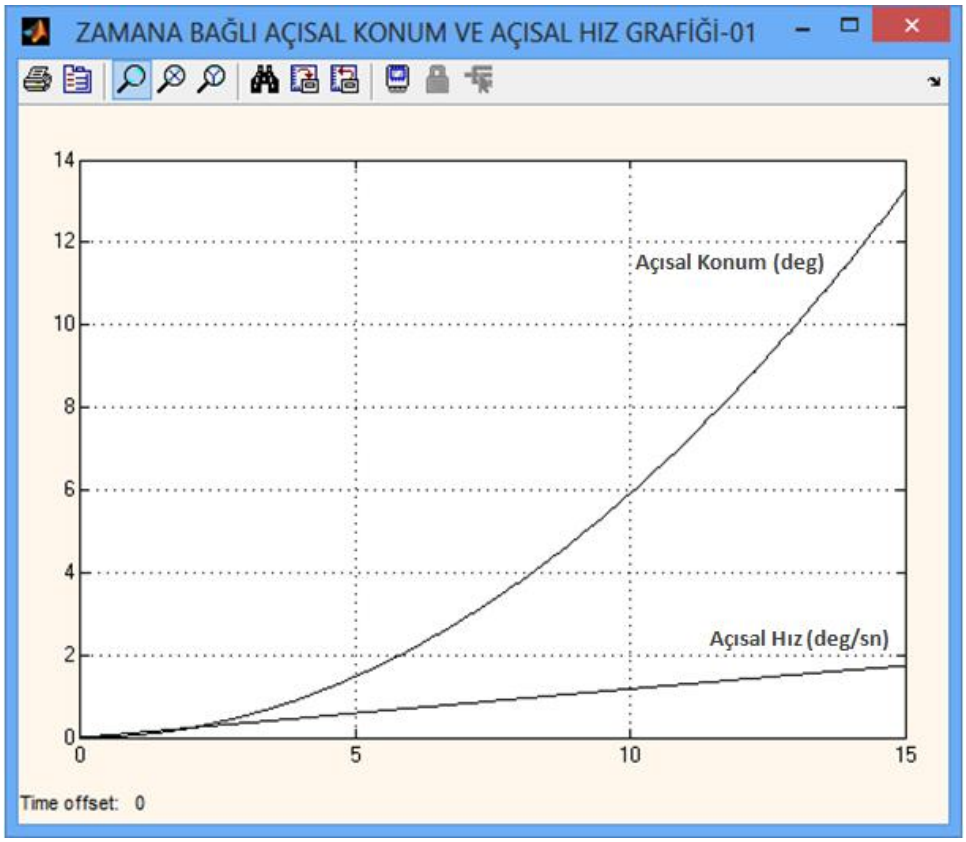
Üst tablaya ait üç boyutlu çizimler basitleştirilerek, Matlab programında Simmechanics modülünün okuyabileceği şekilde, ara yüz programı ile

dönüştürülmüştür. Dönüştürülen bu veriler Matlab programına yüklenerek Simmechanics modülüne aktarılmıştır. Bu özellik sayesinde hazırlanan matematik modeller üç boyutlu veriler ile açısal ve doğrusal hareket özelliklerine göre tanımlanmıştır. Çalıştırıldığında ise Matlab programı üzerinde elde edilen hareketler, üç boyutlu olarak gözlemlenebilmektedir. Çalışma esnasında oluşan grafikler de üç boyutlu verilerin hareket etmesiyle aynı anda elde edilmektedir. Üst tablanın oluşturulan Matlab Simmechanics modeli Şekil 9.12.'de gösterildiği gibidir.

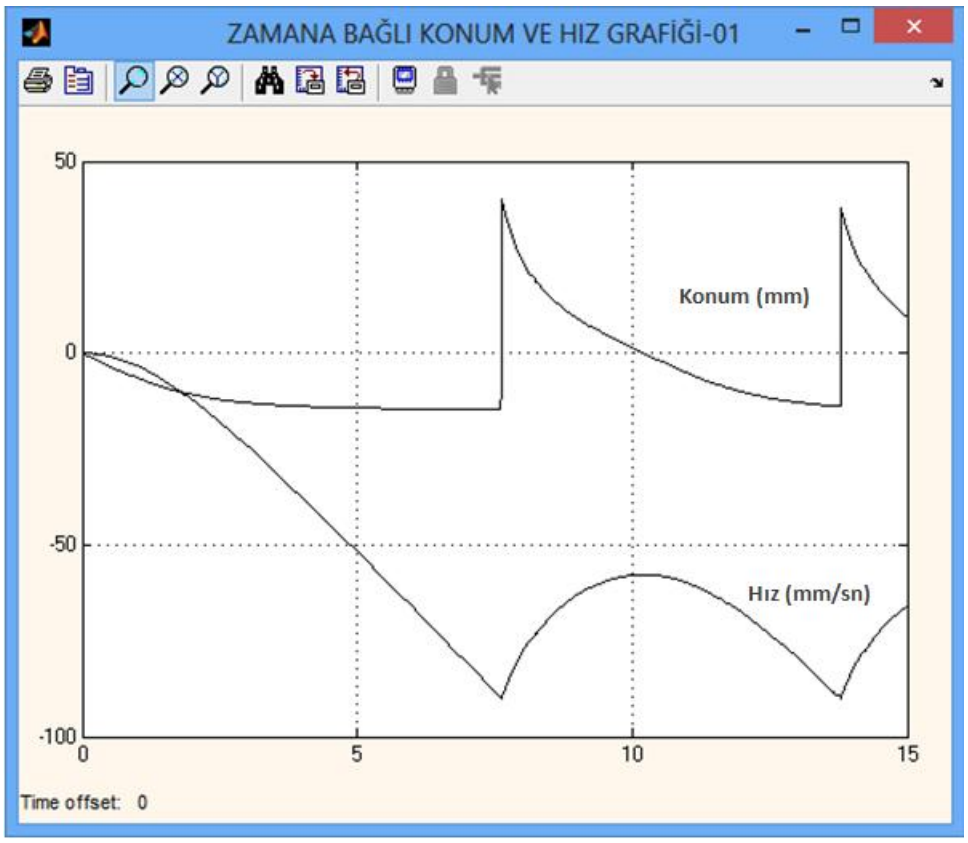
Taşıyıcı tablaya ait Matlab modelinde üst tabla, ara tabla-01, ara tabla-02 ve ara tabla-03 hareketli parçalarına ait zamana bağlı konum/hız ve açısal konum/açısal hız değerleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 9.13., Şekil 9.14., Şekil 9.15. ve Şekil 9.16.'da gösterilmiştir.



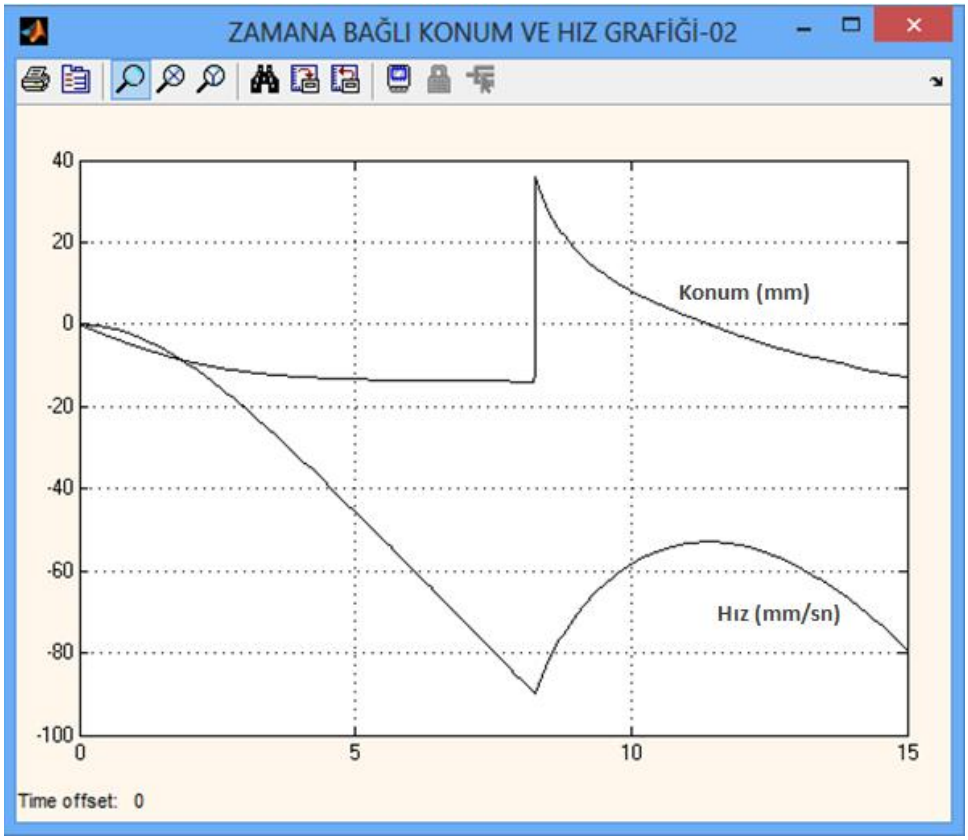
Şekil 9.12. Üst tablanın Matlab Simmechanics modeli



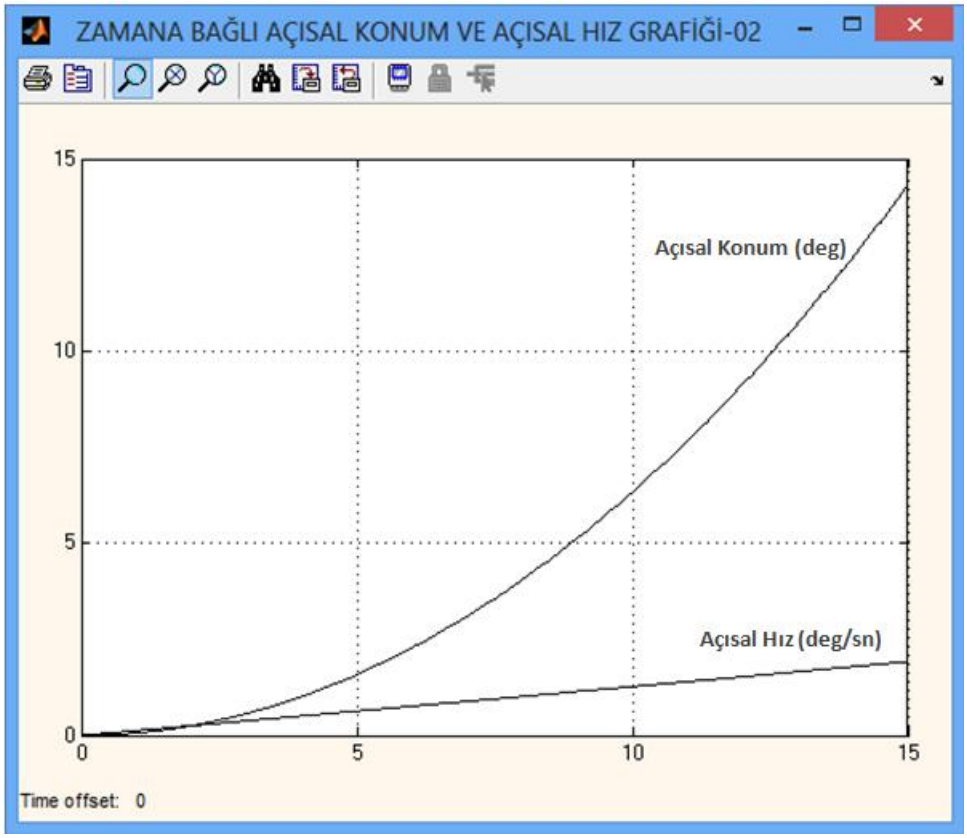
Şekil 9.13. Üst tablaya ait zamana bağlı açısal konum ve açısal hız grafiği



Şekil 9.14. Ara tabla-01'e ait zamana bağlı konum ve hız grafiği



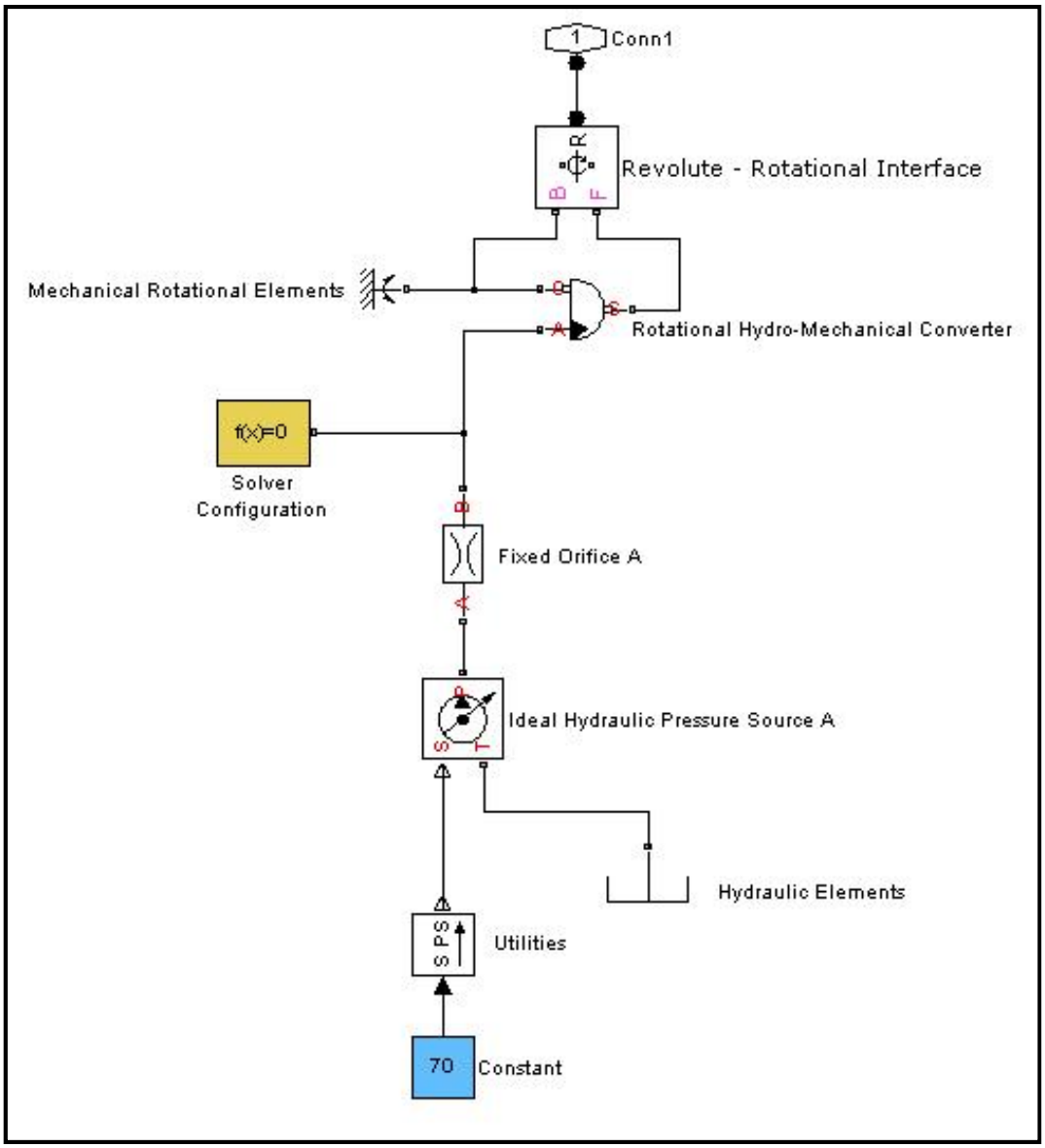
Şekil 9.15. Ara tabla-02'ye ait zamana bağlı konum ve hız grafiği



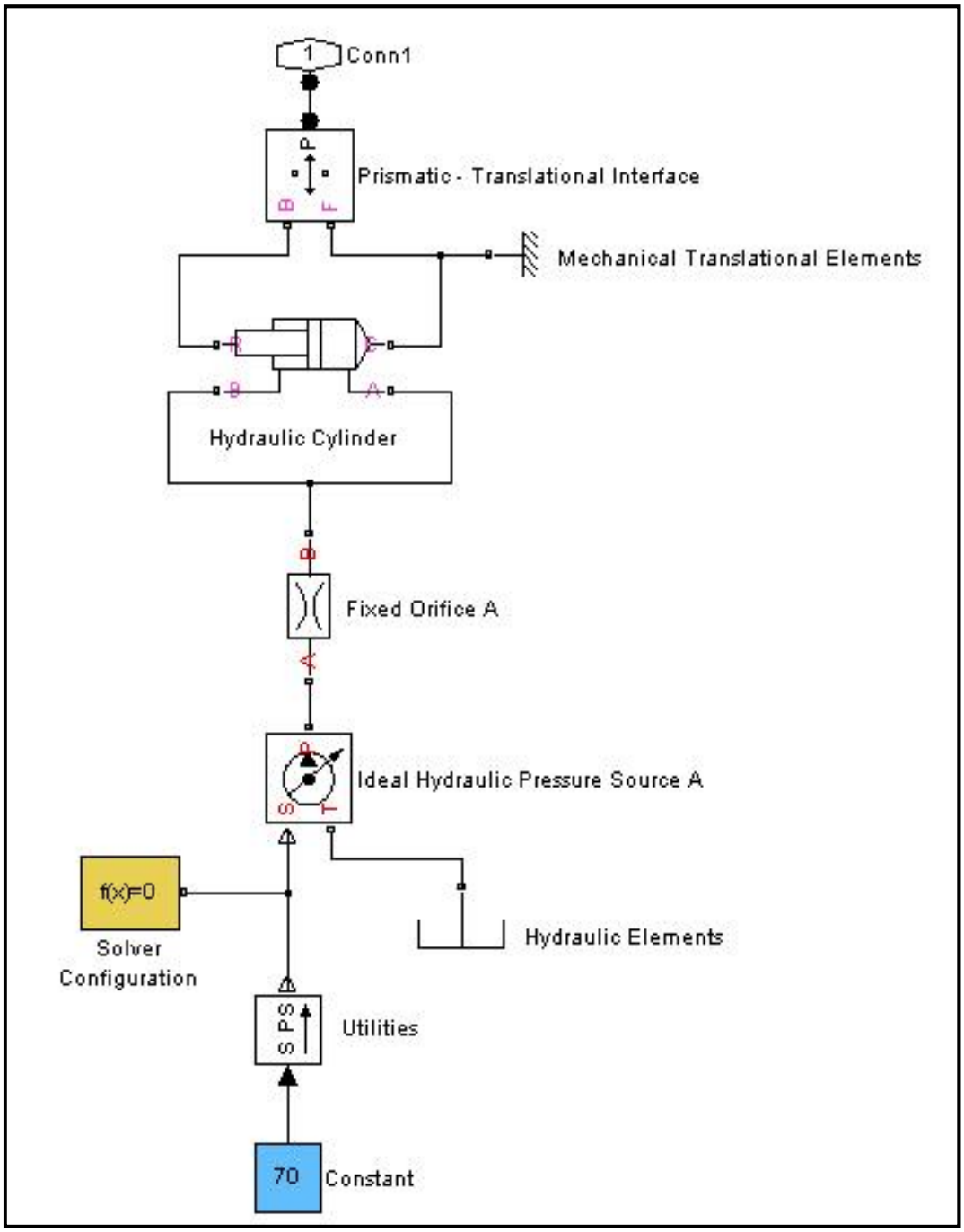
Şekil 9.16. Ara tabla-03'e ait zamana bağlı açısal konum ve açısal hız grafiği

Matlab modelinin çalıştırılması sonucu zamana bağlı olarak elde edilen grafikler ile paralel olarak Simmechanics'deki üç boyutlu çizimler eş zamanlı olarak hareketini tamamlamaktadır. Sistemin çalışmasının sona ermesi ile birlikte üç boyutlu çizimlere ait elde edilen görüntüler EK-9'da verilmiştir.

Üst tablaya ait Matlab modelinin alt sistemlerindeki dönme hareketini sağlayan sisteme ait "Subsystem-01 ve 04" Şekil 9.17.'de, doğrusal hareketi sağlayan sisteme ait "Subsystem-02 ve 03" Şekil 9.18.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 9.17. Subsystem-01 ve 04



Şekil 9.18. Subsystem-02 ve 03

Matlab programında bulunan üç boyutlu verilerin birçok özelliği "Block Parameters" seçeneğinin içerisinde yer almaktadır. Parçalara ait kütle değerleri üç boyutlu verilerin alındığı Pro-Engineer programında hesaplanarak girilmiştir. Atalet, konum ve yönlendirme verileri ise Matlab programı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Her bir üç boyutlu veri için kütle (mass), atalet (inertia), konum (position) ve yönlendirme (orientitation) özellikleri EK-10'da verilmiştir.

10. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

10.1. Kataloglardan Seçilerek Tasarlanan Parçaların Yük Kapasitesi

Bomba yükleme işlemi için gerekli serbestlik derecesi, hareket kabiliyeti, yük kapasitesi ve kullanım şartları göz önünde bulundurularak yapılan bomba yükleme aracının güvenli bir şekilde kullanımı oldukça önemlidir. Bu nedenle kullanılan bütün makine parçalarının emniyetli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Yapılan tasarımda kullanılan parçalar öncelikli olarak tasarıma uygun ölçülerde ve emniyetli çalışma standartlarında seçilmiştir. Hazır kullanılan makine parçaları için taşıyabilecekleri maksimum yükler üretici firmalar tarafından kataloglarda verilmektedir. Taşıma arabasının yük kapasite değerleri Tablo 10.1.'de, hassas döner tablanın yük kapasite değerleri Tablo 10.2.'de ve seçilen tekerleğin yük kapasite değerleri Tablo 10.3.'de verilmiştir. Her bir parça için tablolarda verilen değerlerin 1000 kg'lık (≈10000 N) yükü taşıyabilecek kapasitede olduğu görülmektedir. Bu nedenle tasarımda emniyet açısından herhangi bir problem oluşmayacaktır.

Tablo 10.1. Taşıma arabası yük kapasitesi

Sıra Nu.	LİNEER KIZAK TAŞIMA ARABASI YÜK KAPASİTESİ	
1	C0: Statik Yük Kapasi (N)	46100
2	C100: Dinamik Yük Kapasitesi (N)	21100
3	M0Q: Statik Çapraz Gücü Momenti (Nm)	631
4	M0L: Statik Boyuna Gücü Momenti (Nm)	513
5	MQ: Dinamik Çapraz Gücü Momenti (Nm)	289
6	ML: Dinamik Boyuna Gücü Momenti (Nm)	235

Tablo 10.2. Hassas döner tabla yük kapasitesi

Sıra Nu.	HASSAS DÖNER TABLA YÜK KAPASİTESİ		
1	C_a	102000 N	Dinamik yük katsayısı, eksenel
2	C_{0a}	540000 N	Statik yük katsayısı, eksenel
3	C_r	52000 N	Dinamik yük katsayısı, radyal
4	C_{0r}	143000 N	Statik yük katsayısı, radyal

Tablo 10.3. Seçilen tekerleğin yük kapasitesi

Sıra Nu.	TEKERLEK YÜK KAPASİTESİ	
1	Yük Kapasitesi	1580 kg
2	Kimyasal Dayanıklılık	Yüksek

10.2. Tasarlanan Parçaların Maksimum Gerilme ve Maksimum Yer Değiştirme Analizleri

Bileşik gerilme durumuna ait akma koşulunu, tek eksenli çekme deneyindeki akma koşulu ile bağdaştıran teorik çözümler henüz geliştirilmemiştir. Günümüzde kullanılan akma kriterleri deneysel yolla geliştirilmiş bağıntılardan oluşmaktadır.

Endüstriyel parçaların büyük çoğunluğunun şekilsel boyutlarının karmaşık olması ve matematiksel yöntemlerle hesaplanmasının mümkün olmaması nedeniyle bilgisayar programları tarafından yapılan analizlerden faydalanılmaktadır. Bilgisayar programlarında yapılan gerilme analizlerinde daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için Von Mises yöntemi kullanılmaktadır.

Kataloglardan seçilen parçaların haricinde tasarlanan kritik parçaların maksimum gerilme ve maksimum yer değiştirme analizleri bilgisayar programında yapılmıştır. Bomba yükleme aracının maruz kalabileceği maksimum yük değeri dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun, emniyetli bir şekilde parçaların boyutlandırılması yapılmıştır.

Beş serbestlik dereceli bomba yükleme aracının tasarlanan parçalarının Stress Von Mises ve Displacement Mag analizleri Pro-Engineer programında yapılarak sonuçlar bulunmuştur. Bu parçaların malzeme özellikleri aynı kabul edilerek programda hazır malzeme seçimi yapılmıştır. Parçaların montaja uygun mesnet bağlantıları, mesnet tipleri ve yük değerleri seçilerek analizlerin sonucunda, maksimum gerilme ve maksimum yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Maksimum gerilme değerleri yüksek çıkan parçaların et kalınlıkları arttırılarak analizler tekrarlanmıştır. Böylece bomba yükleme aracının emniyetli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

10.3. Emniyet Katsayısının Seçimi

Makine elemanının geometrik yapısına ve işletme şartlarına bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerinden tespit edilen ve elemanın emniyetle direnç

gösterebileceği en büyük gerilme veya sınır değeri ölçüsü emniyet gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Tasarlanan parçalarda oluşacak maksimum gerilmelerin seçilen malzemelerin sınır değerlerinin altında kalması gerekir. Bir makinenin veya makine elemanının uygun çalışma performansını göstermesi için yeterli bir emniyet katsayısı seçilmelidir.

Emniyet gerilmesi değeri; mekanik testlerden elde edilen kopma veya akma mukavemeti gibi değerlerin emniyet katsayısına bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$\sigma_{em.} = \frac{\sigma}{S} \qquad (10.1)$$

Emniyet katsayısının belirlenmesinde kullanılabilecek kesin bir kural bulunmamaktadır. Çalışma koşulları, dış kuvvetler, momentler ve malzeme özelliği emniyet katsayısının belirlenmesinde önemlidir. Tablo 10.4.'de malzeme özelliklerine göre tavsiye edilen emniyet katsayılarına ait değerler verilmiştir (Kaymaz, 2009).

Tablo 10.4. Malzeme özelliklerine göre tavsiye edilen emniyet katsayıları

Emniyet Katsayısı (S)	Malzemelerin Özellikleri ve Çalışma Şartları
1.25 - 1.5	Kesinlikle tespit edilen kuvvetler ile gerilmelere maruz ve kontrol edilebilen şartlar altında çalışan çok güvenilir malzemeler
1.5 - 2	Nispeten sabit çevre şartlarında çalışan, kolayca tespit edilebilen kuvvetler ile gerilmelere maruz ve özellikleri çok iyi bilinen malzemeler
2 – 2.5	Normal çevre şartlarında çalışan ve tespit edilebilen kuvvetler ile gerilmelere maruz kalan orta kaliteli malzemeler
2.5 - 3	Normal çevre, kuvvet ve gerilme şartları altında çalışan az denenmiş ve kırılgan malzemeler
3 - 4	Normal çevre, kuvvet ve gerilme şartları altında çalışan denenmemiş malzemeler. Belirsiz çevre şartlarında çalışan veya belirsiz gerilmelere maruz kalan malzemeler
≥5	Burkulmaya zorlanan malzemeler

Tasarımı yapılan parçaların emniyet katsayısı Tablo 10.4.'den "Nispeten sabit çevre şartlarında çalışan, kolayca tespit edilebilen kuvvetler ile gerilmelere maruz ve özellikleri çok iyi bilinen malzemeler" standardına göre 2 olarak kabul edilmiştir.

10.4. Malzeme Seçimi

Malzeme seçiminde kullanılacak olan akma mukavemet sınırı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_{em.} = \frac{\sigma}{S} \quad \Longrightarrow \quad \sigma = 2 \text{ x } \sigma_{em.} \tag{10.2}$$

Tablo 10.5.'de analizi yapılan kritik parçalara ait elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 10.5. Analizi yapılan kritik parçaların sonuçları

Analizi Yapılan Parça İsimleri	Birinci Analiz Sonuçları	İkinci Analiz Sonuçları
Üst Tabla	Max_stress_vm= 375 N/mm²	Max_stress_vm=125 N/mm²
	Max_disp_mag=0.15 mm	Max_disp_mag=0.064 mm
Ara Tabla-01	Max_stress_vm=280 N/mm²	Max_stress_vm=122 N/mm²
	Max_disp_mag=0.39 mm	Max_disp_mag=0.065 mm
Ara Tabla-02	Max_stress_vm=420 N/mm²	Max_stress_vm=123 N/mm²
	Max_disp_mag=0.085 mm	Max_disp_mag=0.044 mm
Ara Tabla-03	Max_stress_vm=125 N/mm²	-
	Max_disp_mag=0.87 mm	-
Lift Kaldırma Kolu	Max_stress_vm=90 N/mm²	-
	Max_disp_mag=0.20 mm	-

Parçalara ait en son bulunan $\sigma_{em.}$ sonuçları arasında en büyük değer $\sigma_{em.} = 125 \ \ N/mm^2$'dir. Buna göre akma mukavemet sınırı,

$$\sigma = 2 \text{ x } \sigma_{em.} \quad \Longrightarrow \quad \sigma = 2 \text{ x } 125 \quad \Longrightarrow \quad \sigma = 250 \ N/mm^2 \qquad (10.3)$$

olarak hesaplanır.

Malzeme seçiminde akma mukavemet sınırı en düşük 250 N/mm^2 olan bir çelik türü seçilmesi gerekmektedir. Malzeme seçimi "Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş." tarafından yayınlanan 2013 Erdemir ürün katalogundan faydalanılarak yapılmıştır.

DIN EN 10025-5:2004/ ASTM A 709-11 standardında "Atmosferik Korozyona Dirençli, Sıcak Haddelenmiş Yapı Çeliği" türündeki malzeme seçilmiştir. Seçilen çelik türünün kimyasal bileşim değerleri Tablo 10.6.'da, mekanik özellikleri Tablo 10.7.'de verilmiştir (Anonim-16).

Tablo 10.6. Kimyasal bileşim değerleri

Kimyasal Bileşim (%)

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	C	Mn	P	S	Si	N	Al	Cr	Cu	Ni	V
Standart	Kalite		maks.		maks.	maks.			min.			maks.	
DIN EN 10025-5	S355J2W[(2)(3)]	9952	0.16	0.50-1.50	0.030	0.030	0.50 max	[4]	0.020	0.40-0.80	0.25-0.55	0.65	[5]
ASTM A 709	50WF (345WF) Tip B[6]		0.20[5]	0.75-1.35[5]	0.040	0.050	0.15-0.50	-	-	0.40-0.70	0.20-0.40	0.50	0.01-0.10

Tablo 10.7. Mekanik özellikler

Mekanik Özellikler

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	R_e (min.) N/mm² (kg/mm²) d (kalınlık, mm)					R_m[4] N/mm² (kg/mm²) d (kalınlık, mm)		A (%) (min.) d (kalınlık, mm)					Darbe (Boyuna)	
										A_{80}		A_5			Sıc.	KV_L min.
Standart	Kalite		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	<3	≥3 ≤100	>2 ≤2,5	>2,5 ≤3	≥3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	°C	J
DIN EN 10025-5	S355J2W[(2)]	9952[(4)]	355 (36.2)	345 (35.2)	335 (34.2)	325 (33.2)	315 (32.2)	510-680 (52-69.3)	470-630 (48.0-64.2)	15	16	20	19	18	-20	27
ASTM A 709	50WF(345WF) TipB[(2)]		345 (35.2)					485 min. (49.5) min		A_{80} 19		A_{200} 16			-12	34[(5)]

Katalogdan seçilen malzeme ASTM A 709 standardında, 50WF(345WF) TipB² kalitesinde, maksimum üretim kalınlığı 50 mm, $\sigma_{akma} = 345 \ N/mm^2$ ve $\sigma_{çekme} = 485 \ N/mm^2$ değerindedir.

Seçilen malzemenin akma mukavemet sınırı 345 N/mm^2 olduğundan kritik parçaların emniyetli olarak çalışacağı görülmektedir.

Böylece daha tasarım aşamasında iken üretilmesi hedeflenen parçaların seçilen malzeme özelliklerine göre emniyetli bir şekilde imalatı mümkün olabilecektir. Bilgisayar destekli tasarım, analiz ve imalat yöntemlerinin kullanımı sayesinde çok

düşük maliyetlerde, istenilen özelliklerde makine veya parça imalatının yapılabilmesi mümkündür.

10.5. Matlab Modeli Analizleri

Beş serbestlik dereceli bomba yükleme aracında dört serbestlik derecesine sahip olan taşıyıcı tablanın Matlab modelleri oluşturulmuştur. Tablanın doğrusal ve açısal hareketini sağlayan hidrolik sistemler ile Simulink modelleri ayrı ayrı elde edilmiştir.

Doğrusal hidrolik silindire ait Matlab modelinde sistemin çalıştırılması ile elde edilen basınç, kuvvet, hız, konum ve debi değerlerine ait grafikler elde edilmiştir.

70 PS değerde verilen basınç ile yaklaşık 2 saniye ve 0,05 m/s'de pistonun 0,1 m hareket ettirilebildiği, konum grafiğinde görülmektedir. Lineer kızakların yük taşıma ve hareket kabiliyetinin yüksek olmasından dolayı grafikte elde edilen 500 N'luk kuvvet değeri yeterli olmaktadır. Hidrolik silindir, lineer kızaklar üzerinde oluşabilecek maksimum 1000 kg değerindeki bir yükü kolaylıkla hareket ettirebilecek kapasitededir. Böylece X ve Y eksenlerindeki 100 mm'lik hareketler hidrolik silindirler ile gerçekleştirilmektedir.

Açısal hareket sağlayan hidrolik silindire ait Matlab modelinin çalıştırılması ile dönme açısı elde edilmiştir. Çift etkili döner silindir bomba yükleme aracının üst tablasının ±15º'lik dönme açısını sağlamaktadır. Silindir Y ekseni etrafındaki 15º'lik dönme açısını yaklaşık 3 saniyede gerçekleştirebilmektedir.

Taşıyıcı tablanın Matlab Simmechanics modelinde, üst tablaya, ara tabla-01'e, ara tabla-02'ye ve ara tabla-03'e ait zamana bağlı konum ve hız grafikleri elde edilmiştir. Bütün bu hareketli parçalar gerçek kullanım esnasında ayrı ayrı hareket ettirilmektedir. Matlab Simmechanics modelinde ise bütün hareketli parçalar aynı anda X ekseninde 100 mm, Y ekseninde 100 mm, Y ekseninde 15º ve Z ekseninde 30º olacak şekilde maksimum değerlerde hareket ettirilmiştir. Elde edilen animasyon ile eş zamanlı grafik değerleri gözlemlenmiştir.

10.6. Genel Değerlendirme

Uygun özelliklerde tasarlanan beş serbestlik dereceli bomba yükleme aracının Pro-Engineer programında yapılan kritik parçalarının analiz sonuçları elde edilmiştir. Kritik parçaların tasarım şartlarına uygun olacak şekilde analizleri yapıldıktan sonra

maksimum gerilme değerlerinin yüksek olduğu görülen üst tabla, ara tabla-01 ve ara tabla-02'ye ait malzeme kalınlıkları artırılarak ikinci analizleri tekrar yapılmıştır. Böylece aynı malzeme kullanılacak şekilde parçalarda oluşacak maksimum gerilme değerlerinin azaltılması sağlanmıştır.

Kritik parçalarda kullanılacak olan malzeme için emniyet katsayısı 2 olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu oluşan maksimum gerilme değerleri referans alınarak en düşük akma mukavemet sınırının $250\ N/mm^2$ değerinde olması gerektiği görülmektedir. 2013 Erdemir ürün katalogundan faydalanılarak malzeme seçimi yapılmıştır. Böylece seçilen malzemenin mekanik özellikleri uygun emniyet koşullarını sağlamıştır. Malzemelerde oluşan maksimum yer değiştirme değerleri ise bomba yükleme aracının çalışma şartlarını olumsuz olarak etkilemeyecektir.

Kataloglardan seçilerek tasarlanan parçaların yük kapasiteleri de emniyetli değerlerde olduğu için imalat yönünden herhangi bir problem oluşturmayacaktır.

Tasarımda kullanılan doğrusal ve döner hidrolik sistemlerin Matlab Simulink modeli oluşturularak çalışma kriterlerini sağladığı elde edilen grafiklerden görülmüştür.

Üst tablaya ait üç boyutlu veriler Matlab Simmechanics programında bütünleşik olarak çalıştırılmıştır. Sonuçta sistemin mekanik olarak uyumlu bir şekilde çalıştığı, elde edilen grafikler ve üç boyutlu animasyon ile görülmüştür.

11. ÖNERİLER

Bilgisayar destekli makine tasarımının günümüz teknolojilerinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Böylece bir makine, en kısa sürede tasarlanabilmekte veya geliştirilebilmektedir. Yapılan makine tasarımı sayesinde elde edilen veriler üretimde, analizlerde, görsel sunularda ve benzeri birçok bilgisayar programında kullanılmaktadır. Mühendislik yaklaşımı ile kullanılan paket programlardan elde edilen sonuçlarla daha etkin ve verimli yeni tasarımlar ve imalatlar yapılabilir.

Tasarımların ileri teknoloji ürünlerinden oluşmasından çok çalışma şartlarını sağlayabilecek en uygun parçalardan oluşturmak daha önemlidir. Bu çalışmada imalatı yapıldığında etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilecek bir bomba yükleme aracının tasarımı yapılmıştır.

Bu tasarımda kullanılan eyleyiciler, farklı sistemler ve kontrol yöntemleri (PD, PID ve Fuzzy) kullanılarak çalıştırılabilir. İhtiyaçlar doğrultusunda ilave özellikler tasarıma dâhil edilerek, gelişen havacılık teknolojilerine (insansız hava araçları, uçak gemileri vb.) entegrasyonu sağlanabilir. Özellikle bomba yükleme işleminde dört serbestlik derecesine sahip olan üst tabla, istenilen herhangi bir farklı platform üzerine yerleştirilerek kullanılabilir.

12. KAYNAKLAR

Akaya A., Bögöçlü M. ve Öztürk R., 2001, “Bir Hidrolik Sistemin Dinamik Davranışlarının Benzetimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş / İstanbul.

Barret, J., Harned T. ve Monnich J., (Parker Hannifin Corporation) 2003, “Linear Motors Complement Today’s Linear Motion Technologies.”, North America.

Becan R.M., Kuzucu A. ve Kutlu K., 1998, “Hidrolik Konum Kontrol Sistemlerinin Gerçeğe Yakın Benzetimi” Tr. J. Of Engineering Environmental Sciences, 125-130 Tübitak, 22.

Coplin, J. F., 1989, "Engineering design - a powerful influence on the business success of manufacturing industry", Proc. ICED-89.

Cürgül, İ., Yetiştiren H. ve Sınmazçelik, T., 2002, “Makine Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği”, *Birsen Yayınevi*, Fatih/İstanbul.

Dale W., (Thomson Industries) 2010, “Selecting and Applying Rolling Element Linear Bearings and Guides”, Radford/USA.

Dubey A. and Dwivedi V., 2003, “Vehicle Chassis Analysis: Load Cases & Boundary Conditions For Stress Analysis”, Los Angeles/USA.

Genç İ., 2007, “4 Kademeli Paserellanın Tasarımı ve Analizi”, (Yüksek Lisans) Atatürk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

Habibi S. ve Goldenberg A., 2000, “Design of a New High-Performance Electro Hydraulic Actuator”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.5, No.2, June.

Hollis, R., Salcudean, S., Allan, A., and Thomas J., 2002, (Robotics and Automation) “A six-degree-of-freedom magnetically levitated variable compliance fine-motion wrist: design, modeling, and control”, USA.

İbrahim Y., Vasfi Ö., Zeynep E. ve Alper G., 2010, “6 Serbestlik Dereceli Paralel Mekanizmadaki İleri Kinematik Analiz Yöntemleri”, *Türkiye Otomatik Kontrol Komitesi Ulusal Toplantısı 2010*, Çayırova/Kocaeli.

Karagöz M. ve Düzcükoğlu H., 2011, “Vinç Hareketli Kabinin Tasarımı ve Gerilme Analizi” 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, Turkey

Kaymaz İ., 2009, "Makine Elemanları, Tasarımda Emniyet Katsayısı" http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/ikaymaz/makel/dosya_dosyalar/DERS_3_EMNİYET_2009.pdf.

Köseoğlu, M. ve Yılmaz Y., (İTÜ Vakfı) 1987, "Mekanizma Tekniği", *İTÜ Yayınevi*, Maslak/İstanbul.

Nielsen K. H. ve Schmidt L., 2009, "Comparison of Advanced Control Schemes Implemented on Hydraulic" (Master Thesis), Aaolborg University, Aaolborg/Denmark.

Paluri, S. and Gershenson, J., 2001, "Attribute - based design description system in Design for manufacturability and assembly", Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Utah State University, Logan.

Sellgren, U., 1999, "Simulation - Driven Design - Motives, Means, and Opportunities", (Doctoral Thesis), Department of Machine Design The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Sellgren, U., 1999, "Finite element modeling and optimization of a robot boomer", Technical Report, Department of Machine Design The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Shuichi D., Wei G., Hiroki S., Satoshi K. and Yoshiyuki T., 2005, "Precision positioning of a five degree-of-freedom planar motion stage", Nanometrology Laboratory, Department of Mechatronics and Precision Engineering, Tohoku University ,Tokyo.

Söylemez, E., 2000, "Mekanizma Tekniği", *Birsen Yayınevi*, Fatih/İstanbul.

Şenalp A. Z. ve Bezer Y. İ., 2006, "Treyler Şasisinin Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapısal Analizleri" TİMAK, Tasarım Analiz İmalat Kongresi 26-28 Nisan 2006, Balıkesir.

Yenal A., Gökhan K. ve Fatih C., 2009, "Makas-Benzeri Elemanlar ile Oluşturulmuş Şekli Değişebilen Bir Strüktür Önerisi: Sistemin Kinematik Analizi", *14. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, UMTS 2009,* Lefkoşa.

Anonim-1, http://tr.wikipedia.org/wiki/JDAM, http://tr.wikipedia.org/wiki/MK-84 [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonim-2, http://www.hvlojk.tsk.tr/iha/TURK%20KATALOG11%20(IDEF).pdf [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-3, http://www.pdiblinternational.com/loader.htm [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-4, http://www.tpub.com/aviord321/93.htm [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-5, http://www.tash.com.pk/pak_lift_bomb_truck_01.php [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-6, http://www.tpub.com/aviord321/91.htm [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonim-7, http://www.muhendisiz.net/viewtopic.php?t=12787 [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonim-8, http://www.solidci.com/upload/SolidWorks_Simulation_Egitim_Konulari.pdf [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonim-9, http://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/ [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-10, http://www.schneeberger.com/products/linear-and-profiled-guideways/profiled-guideway/monorail-bm-balls/ [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-11, http://www.schneeberger.com/downloads/downloads/product-catalogues-company-brochures/ [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonim-12, http://www.hanmakina.com/ [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-13, http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.de/en/products_services/inafagproducts/rotativ_products/rotary_table_bearings/rotary_table_bearings.jsp [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

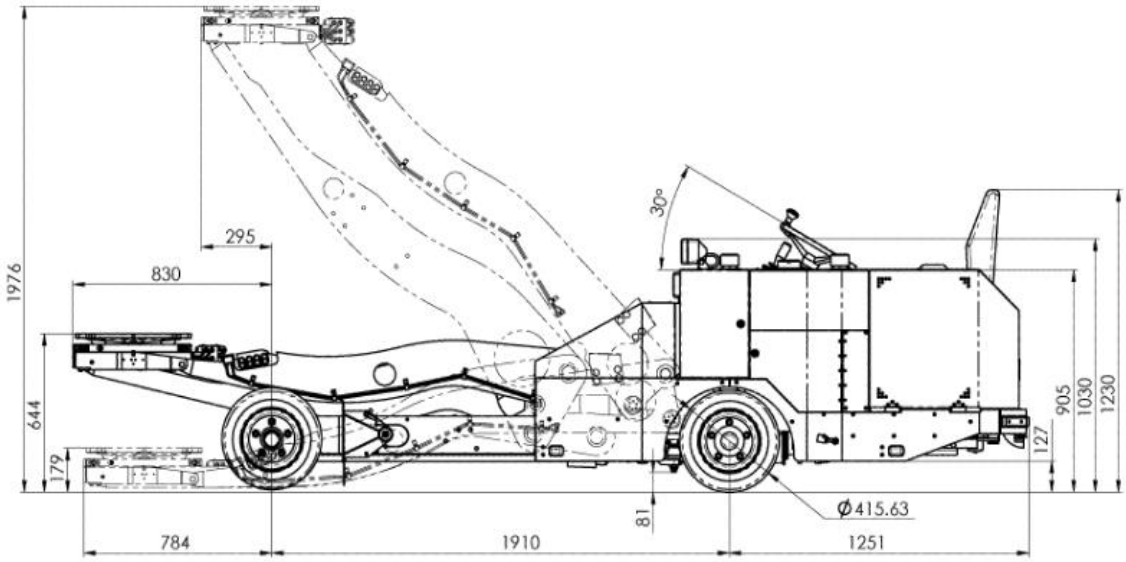
Anonim-14, http://www.alacamteker.com/uygulamalar.htm [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

Anonymous-15, http://www.hamiltoncaster.com/Hamiilton_Caster_Model_Details/PartId/S-SEC-63SWF.aspx [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

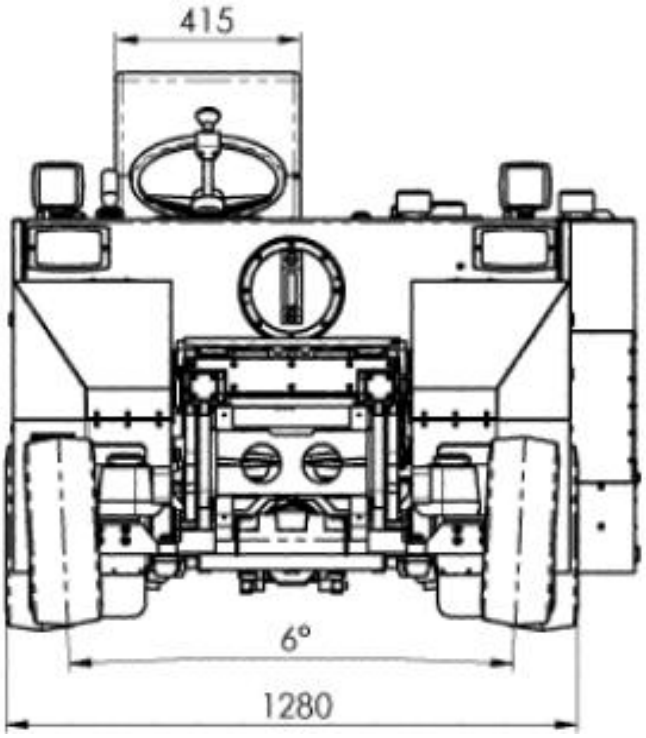
Anonim-16, http://www.erdemir.com.tr/urun_hizmetler/detay.aspx?SectionID=qVxUucCeScmQ3cOwYfFZrQ%3d%3d&ContentId=4I3H9kGsBki8YkBZvKZDVA%3d%3d [Erişim tarihi: 22 Temmuz 2013].

13. EKLER

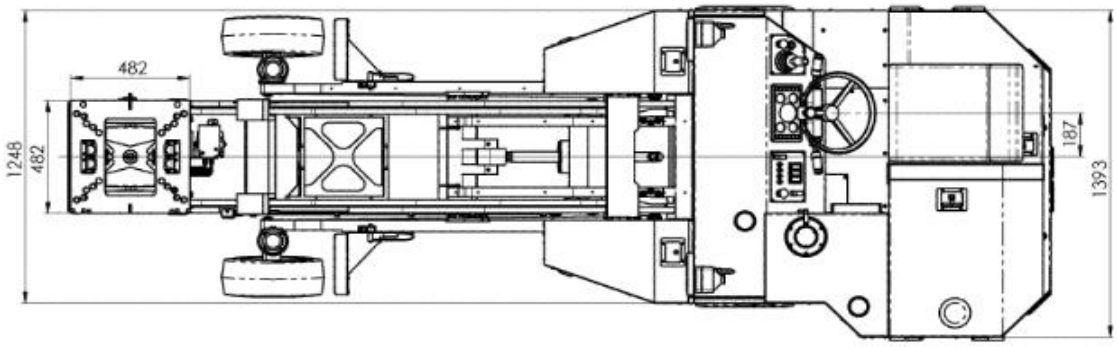
EK-1 BL-1 Bomba Yükleme Aracının Yandan, Önden ve Üstten Görünüşleri



Şekil 1. BL-1 bomba yükleme aracının yandan görünüşü



Şekil 2. BL-1 bomba yükleme aracının önden görünüşü

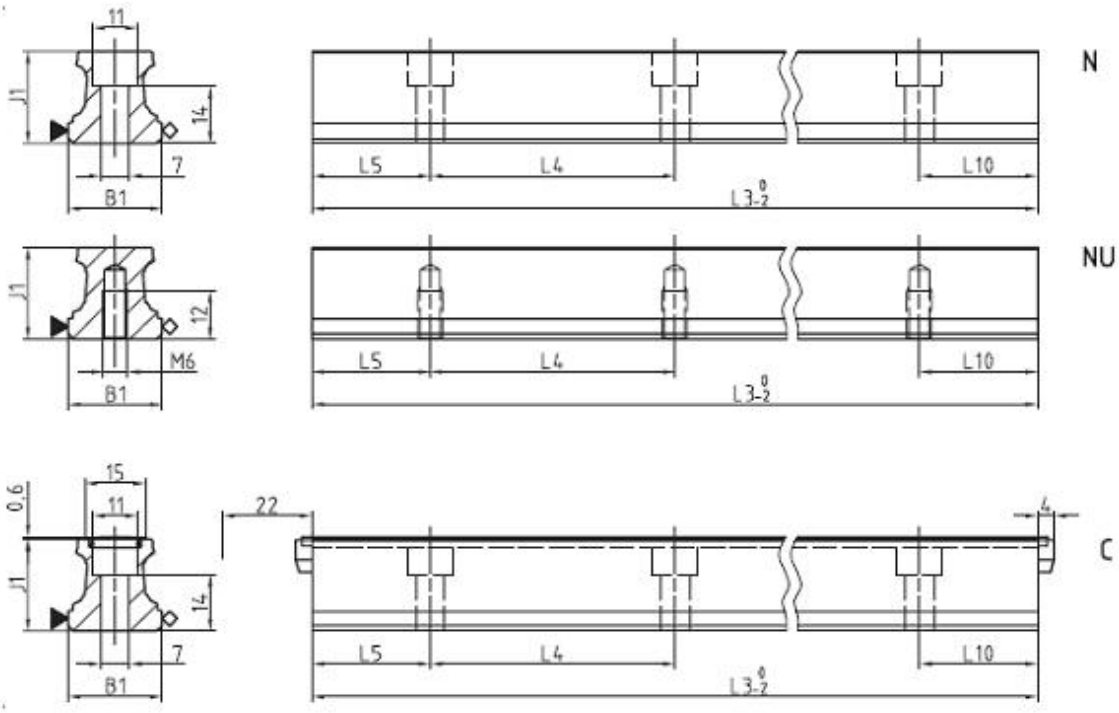


Şekil 3. BL-1 bomba yükleme aracının üstten görünüşü

EK-2 Tasarımda Kullanılan Taşıma Rayının ve Arabasının Genel Özellikleri



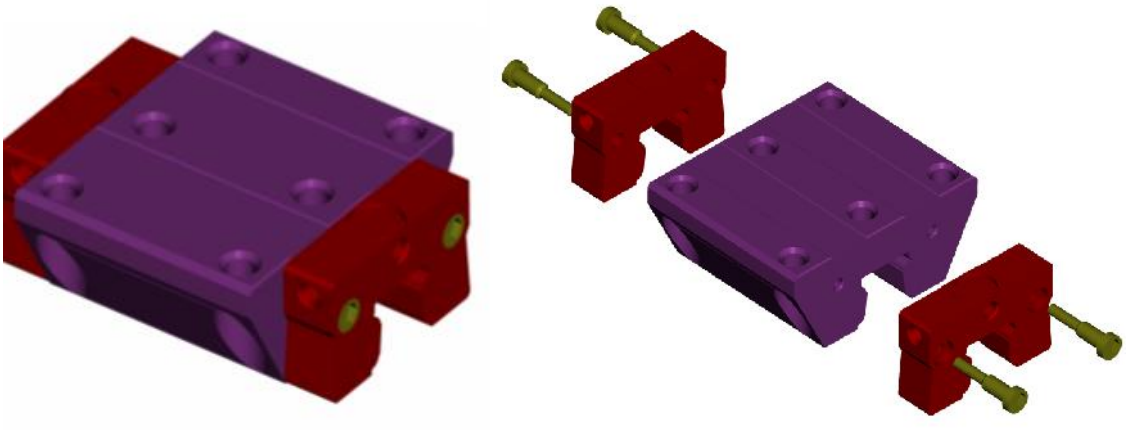
Şekil 4. Tasarımda kullanılan taşıma rayı



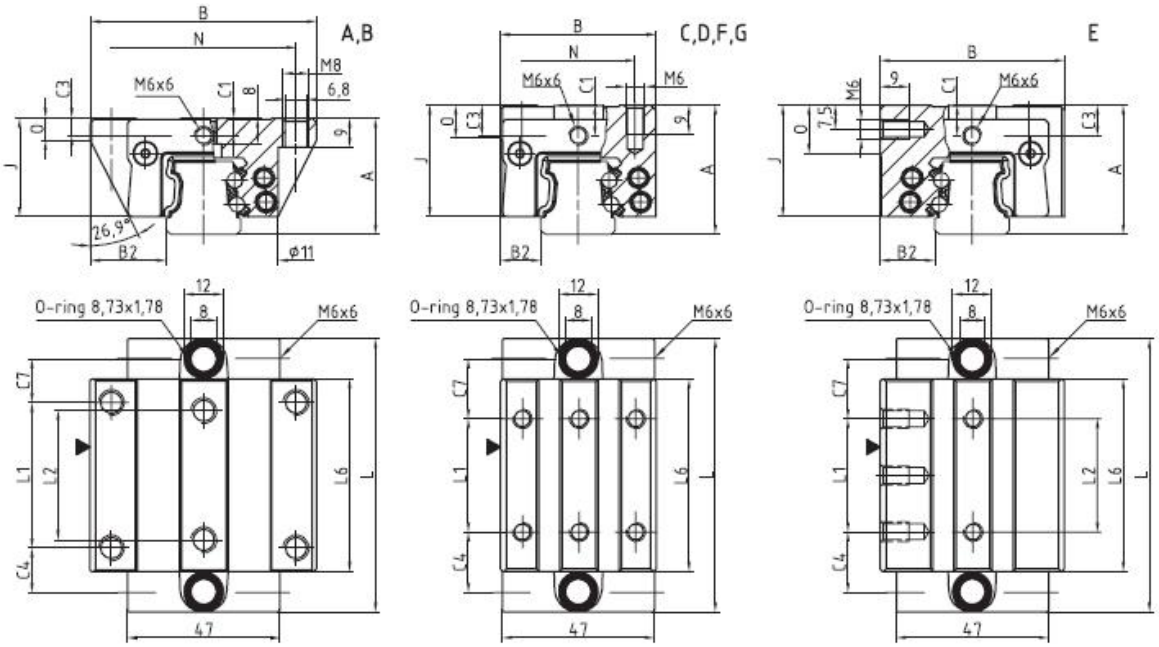
Şekil 5. Taşıma rayı genel ölçüleri

Tablo 1. Taşıma rayı genel özellikleri

Sıra Nu.	TAŞIMA RAYI GENEL ÖZELLİKLERİ	
1	B1: Ray genişliği	23
2	J1: Ray yüksekliği	22.5
3	L3: Ray uzunluğu max.	6000
4	L4: sabitleme delikleri aralığı	60
5	L5/L10: İlk / son tespit deliği Pos.	28.5
6	Raylı ağırlığı (kg/m)	3
7	E2: Diş Çapı	--
8	F1: Delik Çapı	7
9	F2: Havşa Çap	11
10	G2: Delik Uzunluğu	14
11	G3: Diş Derinliği	--



Şekil 6. Tasarımda kullanılan taşıma arabası

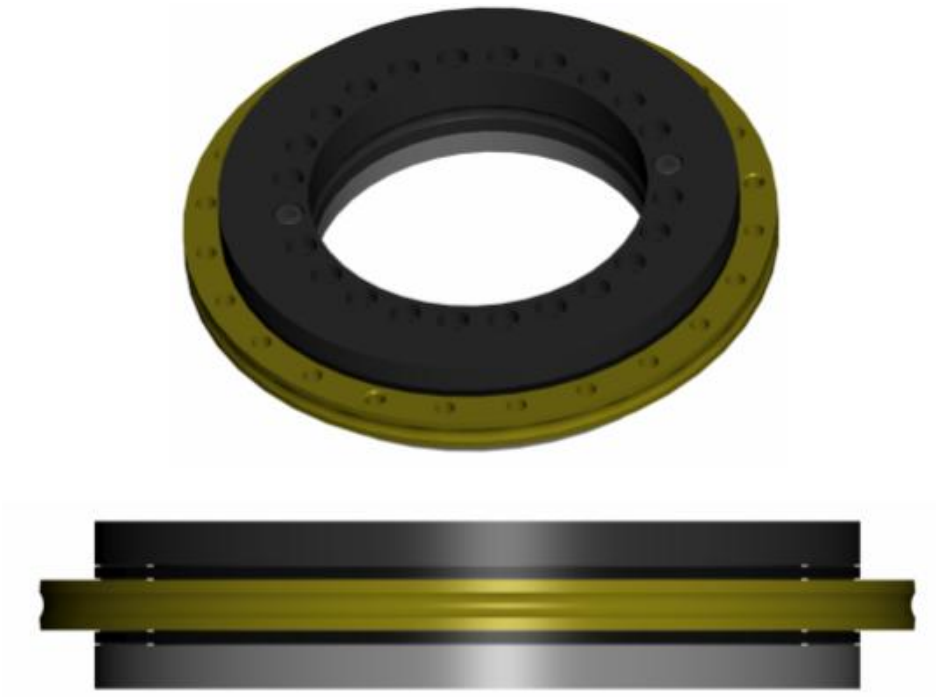


Şekil 7. Taşıma arabası genel ölçüleri

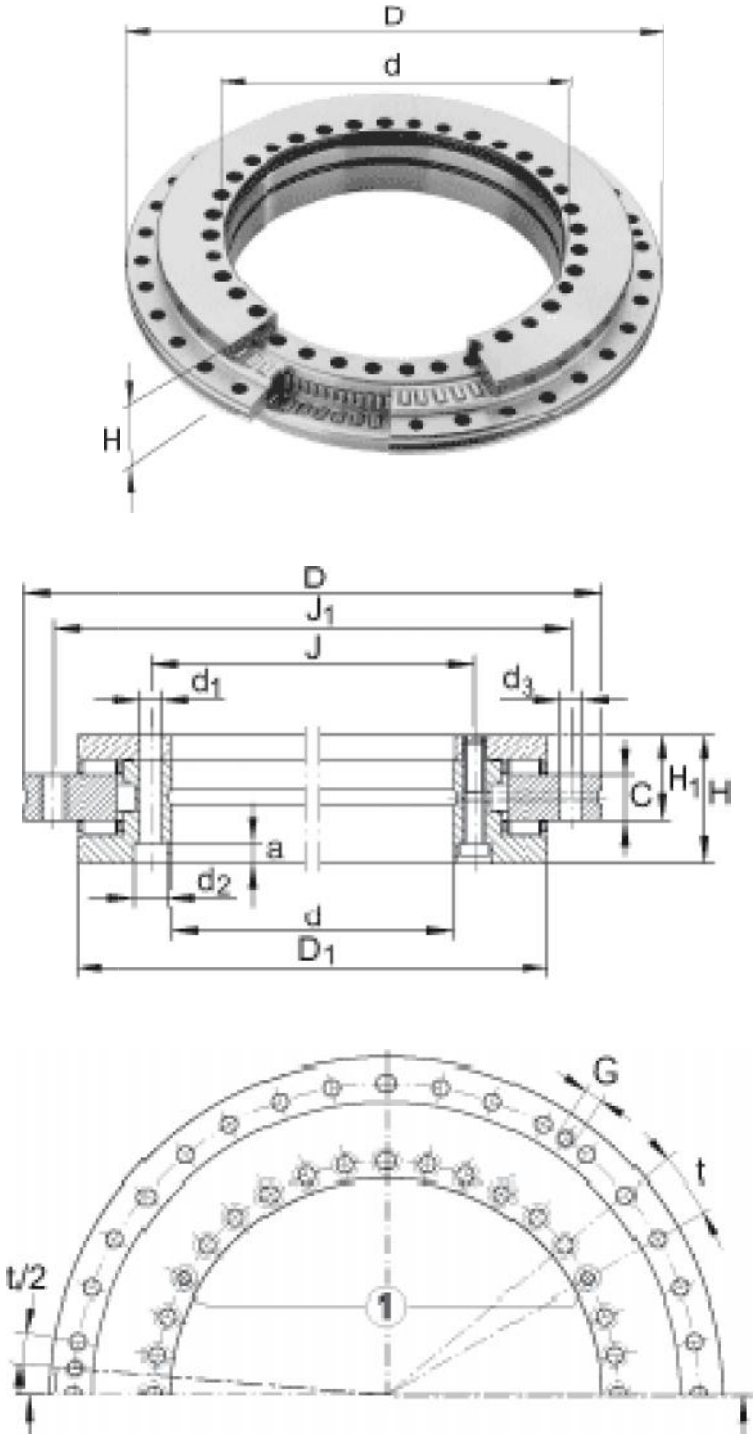
Tablo 2. Taşıma arabası genel özellikleri

Sıra Nu.	TAŞIMA ARABASI GENEL ÖZELLİKLERİ	
1	A: Sistem yüksekliği	36
2	B: Vagon genişliği	70
3	B2: Yerinin yüzleri arasındaki mesafe	23.5
4	C1: Merkez Ön Madeni Delik Pozisyonu	5.5
5	C3: Lateral Madeni Delik Pozisyonu	5.5
6	C4: Lateral Madeni Delik Pozisyon	13.75
7	C7: Üst Madeni Delik Pozisyonu	13.5
8	J: Vagon Yüksekliği	30.5
9	L: Vagon Uzunluğu	84.5
10	L1: Dış Sabitleme Delik Aralıkları	45
11	L2: İçişleri Sabitleme Delik Aralıkları	40
12	L6: Çelik Gövde Uzunluğu	59.5
13	N: Yanal Sabitleme Delik Aralıkları	57
14	O: Referans Yüz Yüksekliği	7
15	C0: Statik Yük Kapasitesi (N)	46100
16	C100: Dinamik Yük Kapasitesi (N)	21100
17	M0Q: Statik Çapraz Gücü Momenti (Nm)	631
18	M0L: Statik Boyuna Gücü Momenti (Nm)	513
19	MQ: Dinamik Çapraz Gücü Momenti (Nm)	289
20	ML: Dinamik Boyuna Gücü Momenti (Nm)	235
21	Taşıma Ağırlığı (kg)	0.7

EK-3 Tasarımda Kullanılan Döner Tablalı Rulmanın Genel Özellikleri



Şekil 8. Tasarımda kullanılan döner tablalı rulmanı



Şekil 9. Döner tablalı rulman genel ölçüleri

Tablo 3. Döner tablalı rulman genel özellikleri

Sıra Nu.	DÖNER TABLALI RULMAN GENEL ÖZELLİKLERİ		
1	d	120 mm	
2	D	210 mm	
3	H	40 mm	
4	Bağlantı delikleri	21	İç bilezikteki bağlantı deliği adedi
		24	Dış bilezikteki bağlantı deliği adedi
5	a	7 mm	İç bilezikte sabitleme delikleri
6	C	12 mm	
7	$D_{1\ max.}$	185 mm	
8	d_1	7 mm	İç bilezikte sabitleme delikleri
9	d_2	11 mm	İç bilezikte sabitleme delikleri
10	d_3	7 mm	Dış bilezikte sabitleme delikleri
11	G	M6	Diş çekilmiş bağlantı deliği (Adet: 3)
12	H_1	26 mm	
13	J	135 mm	İç bilezikte sabitleme delikleri
14	J_1	195 mm	Dış bilezikte sabitleme delikleri
15	t	24 x 15°	
16	m	5 kg	Ağırlık
17	C_a	102000 N	Dinamik yük katsayısı, eksenel
18	C_{0a}	540000 N	Statik yük katsayısı, eksenel
19	C_r	52000 N	Dinamik yük katsayısı, radyal
20	C_{0r}	143000 N	Statik yük katsayısı, radyal
21	n_G	340 1/min	Gresli yağlama için limit devir sayısı
22	M_{RL}	5 Nm	Rulman sürtünme momenti
23	M_A	14 Nm	Cıvata sıkma torku
24	C_{aL}	1.3 kN/µm	Yatağın eksenel dayanımı
25	C_{rL}	2.2 kN/µm	Yatak lokasyonu dayanımı, radyal
26	C_{kL}	7 kNm/mrad	Yatak yerinin devrilme dayanımı
27	C_{aL}	9.1 kN/µm	Yuvarlanma elemanları seti eksenel dayanımı
28	C_{rL}	5.7 kN/µm	Yuvarlanma elemanları seti eksenel dayanımı
29	C_{kL}	29 kNm/mrad	Yuvarlanma elemanları devrilme dayanımı

EK-4 Tasarımda Kullanılan Sanayi Tipi Tekerleğin Genel Özellikleri

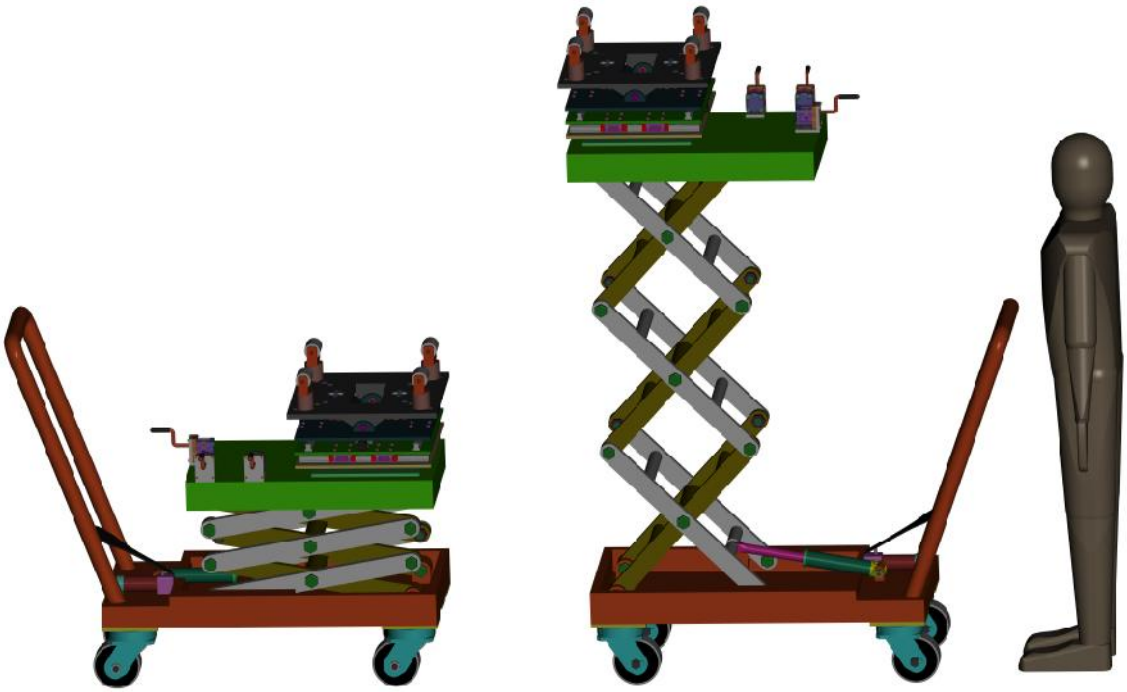


Şekil 10. Tasarımda kullanılan sanayi tipi tekerlek

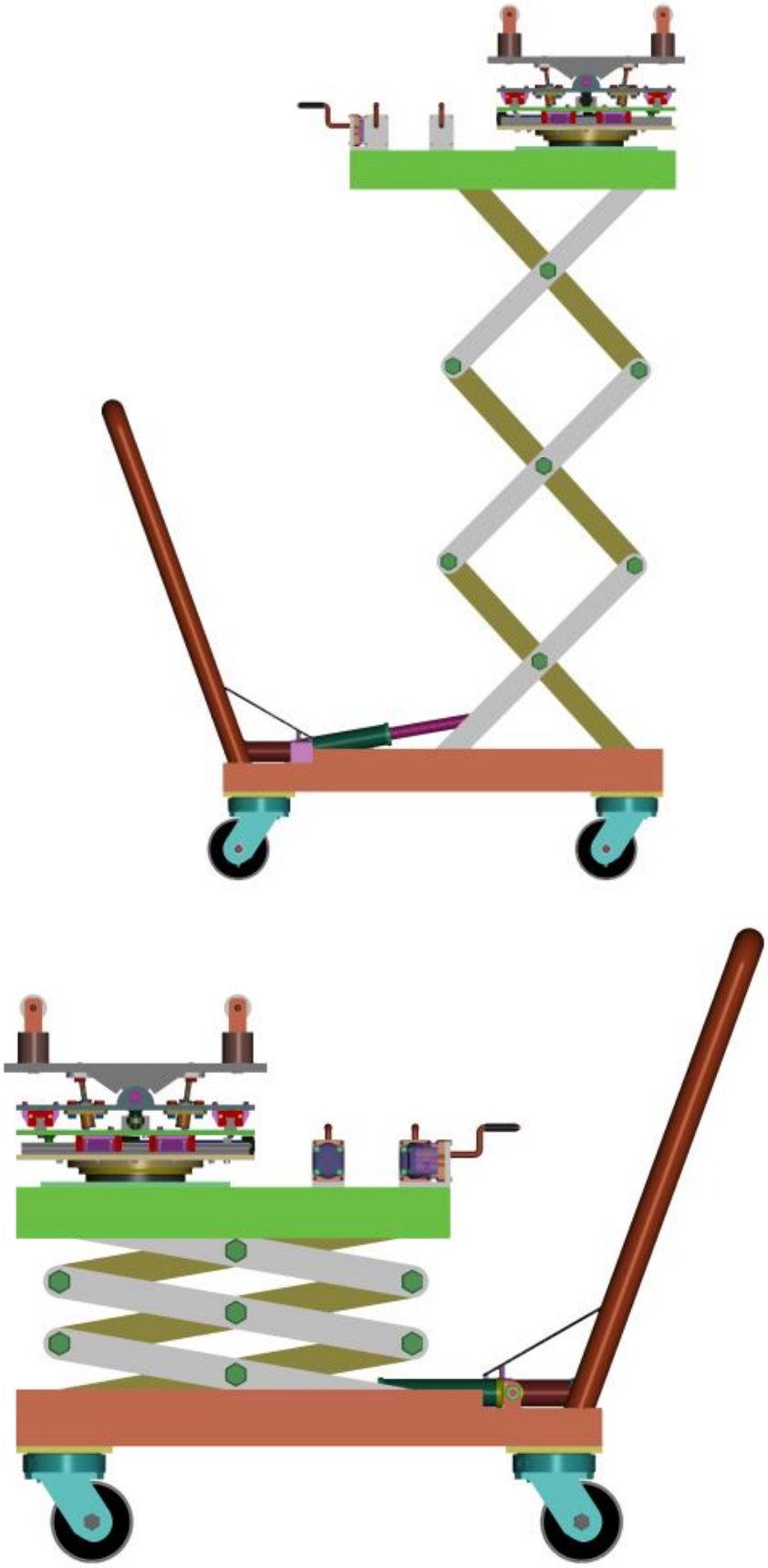
Tablo 4. Seçilen tekerleğin özellikleri

Sıra Nu.	SEÇİLEN TEKERLEĞİN ÖZELLİKLERİ	
1	Tip	Döner Tip ve Kilitli
2	Malzeme	Poliüretan
3	Rulman Tipi	Hassas Bilyeli Rulman
4	Bağıl Kapasitesi	Yüksek
5	Zemin Koruma	Var
6	Yastıklama (Esneklik)	Yüksek
7	Darbe Dayanımı	Yüksek
8	Neme Direnç	Yüksek
9	Aşınma Direnci	Orta
10	Maliyeti	Orta
11	Düşük Sıcaklık Aralığı	-50 °C
12	Yüksek Sıcaklık Aralığı	200 °C
13	Kimyasal Dayanıklılık	Yüksek
14	Rulman Tipi	Prec. BB
15	Cıvata Delik 1	3 3/8 x 5 1/4 inch.
16	Cıvata Delik 2	4 1/8 x 6 1/8 inch.
17	Bolt Boyut	1/2 inch.
18	Caster Rig Türü	Kingpinless-Style
19	Tekerlek Yerleşim Şekli	4 Döner Maşalı
20	Caster Renk / Finish	Battleship Gri
21	Wheel Renk / Finish	Kömür Gri
22	Tekerlek Çapı	6 inch.
23	Yük Kapasitesi	1580 kg
24	Yükseklik	8 inch.
25	Yedek Tekerlek	W-630-NYB-3/4
26	Döner "G" Offset	2.125 inch.
27	Montaj Plakası	5 1/4 x 7 1/4 inch.
28	Montaj Plaka Uzunluğu	7 1/4 inch.
29	Montaj Plaka Genişliği	5 1/4 inch.
30	Ağırlık	10 kg

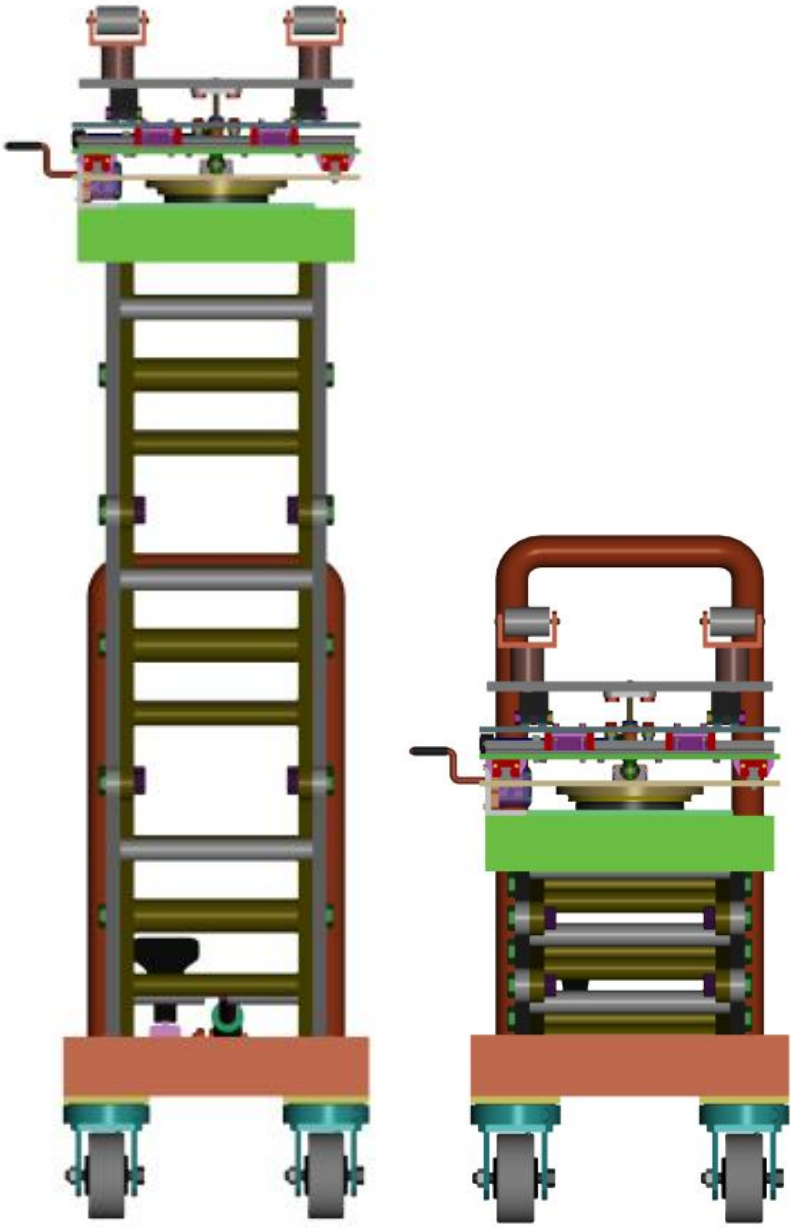
EK-5 Bomba Yükleme Aracının Genel Görünüşleri



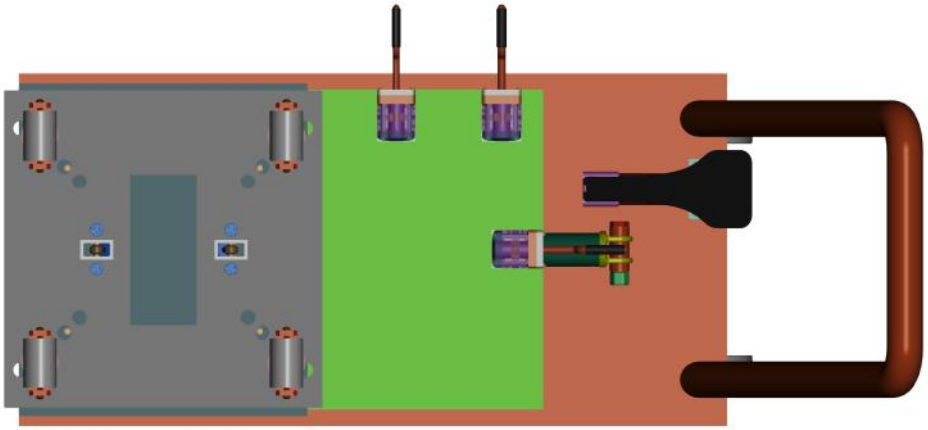
Şekil 11. Bomba yükleme aracının makası açık ve kapalı durumu



Şekil 12. Bomba yükleme aracının makası tam açık ve kapalı iken yandan görünüşü



Şekil 13. Bomba yükleme aracının makası tam açık ve kapalı iken önden görünüşü



Şekil 14. Bomba yükleme aracının üstten görünüşü

EK-6 Lift Arabasına Ait Diğer Görünüşler

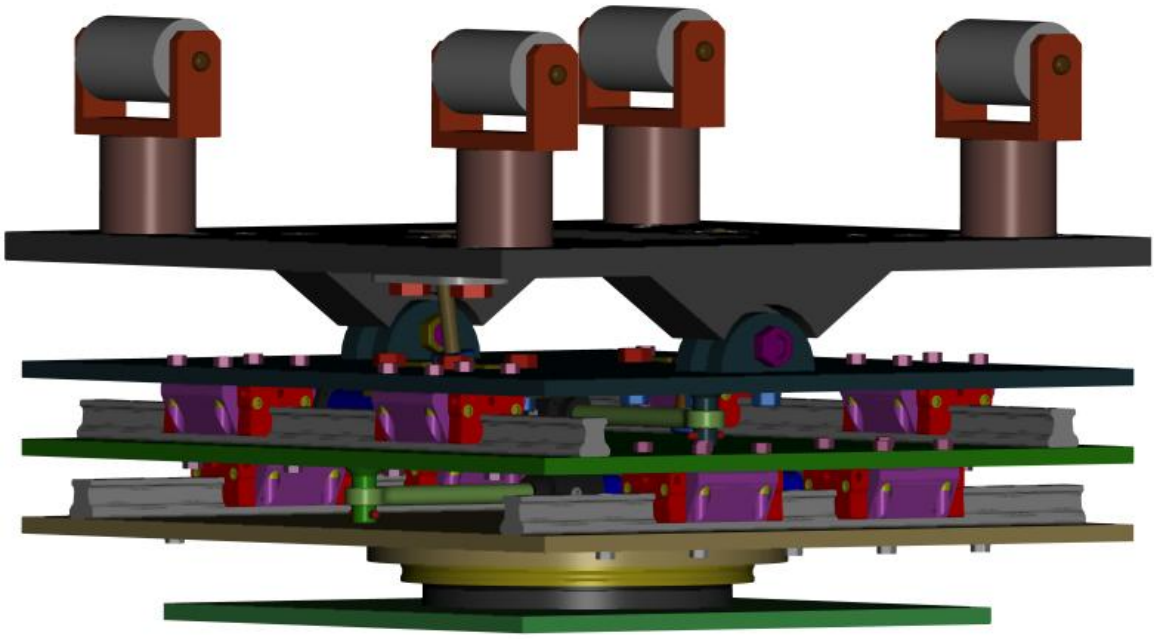


Şekil 15. Bomba yükleme aracı lift arabasının kapalı durumu

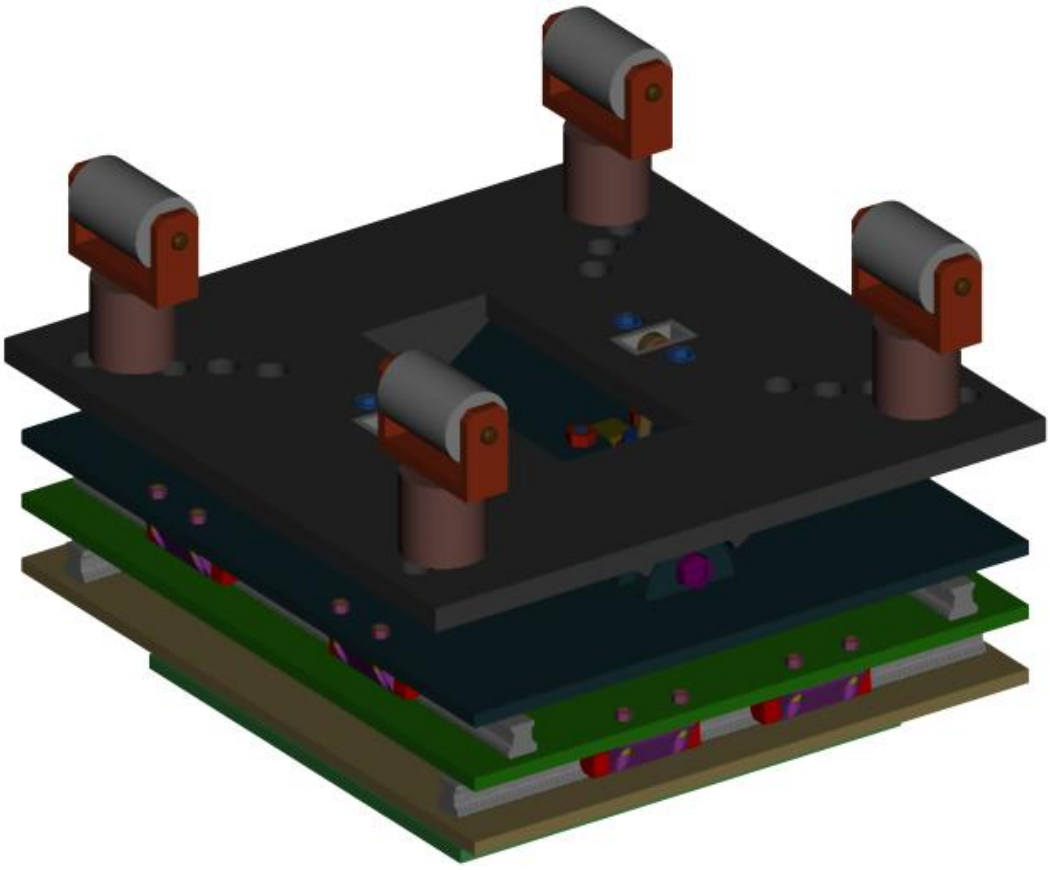


Şekil 16. Bomba yükleme aracı lift arabasının ana taşıyıcısız kapalı ve açık durumu

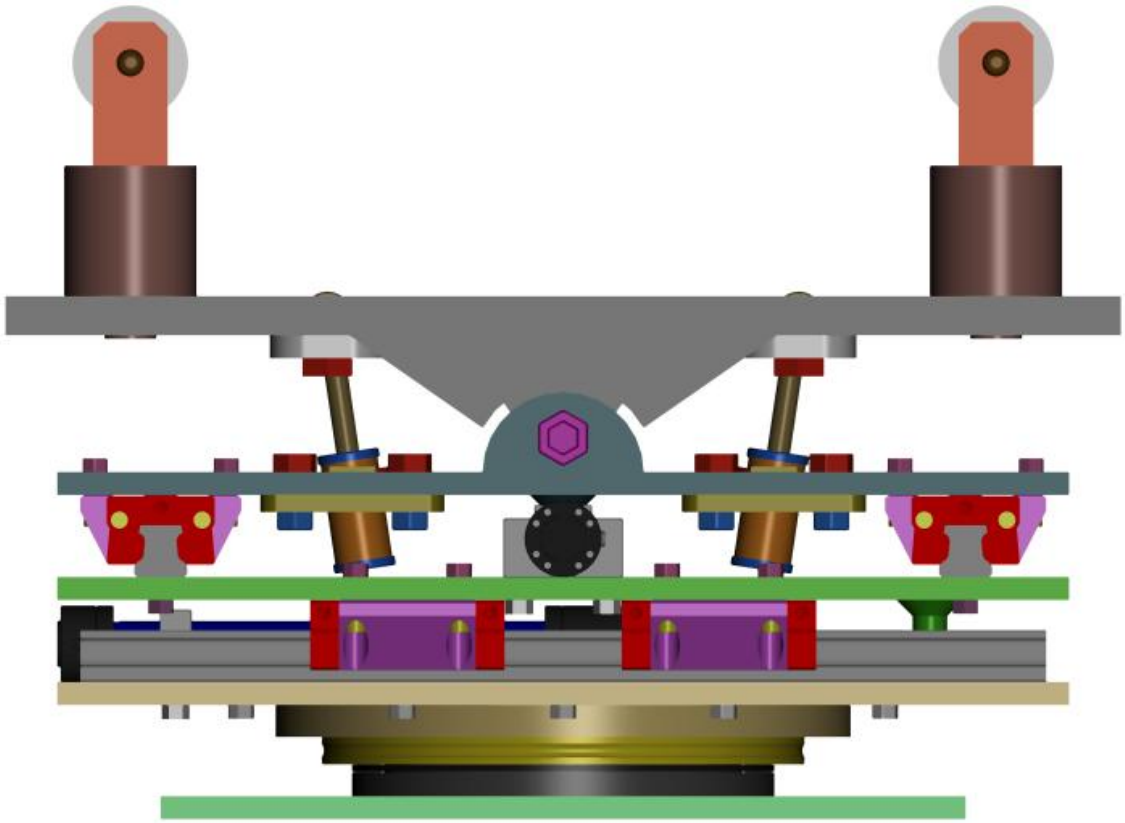
EK-7 Taşıyıcı Tablaya Ait Diğer Görünüşler



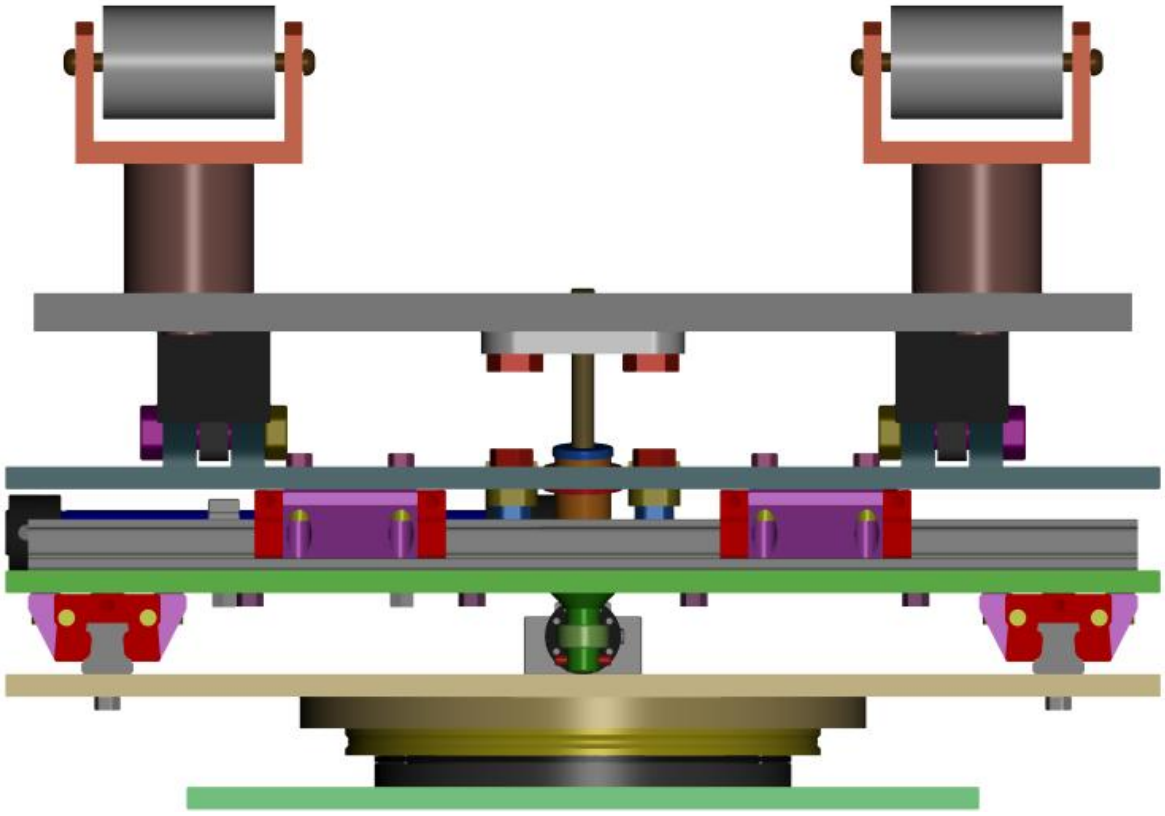
Şekil 17. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tablasının görünüşü-01



Şekil 18. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tablasının görünüşü-02

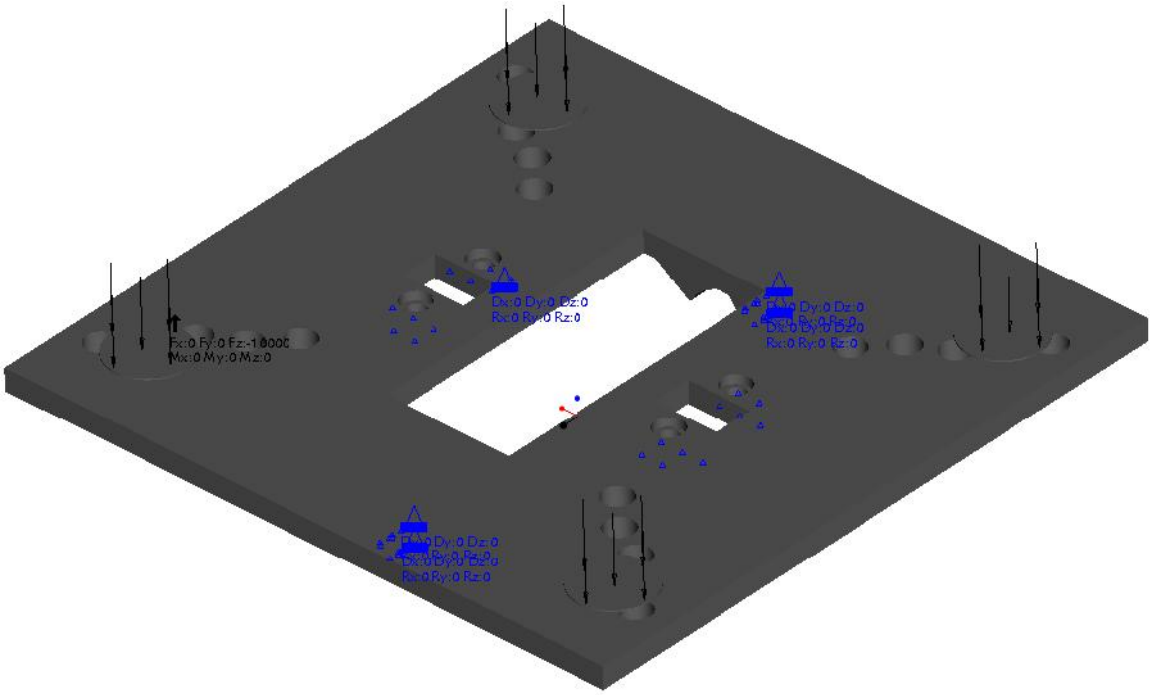


Şekil 19. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tablasının sağdan görünüşü

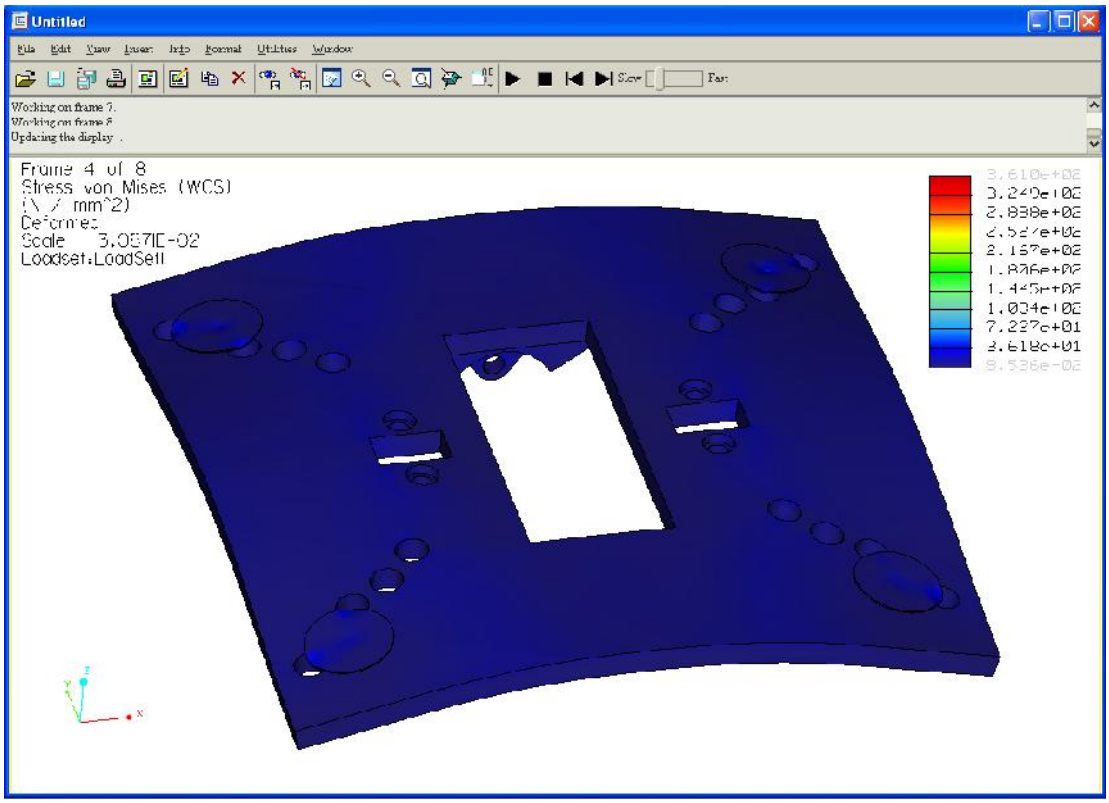


Şekil 20. Bomba yükleme aracı taşıyıcı tablasının soldan görünüşü

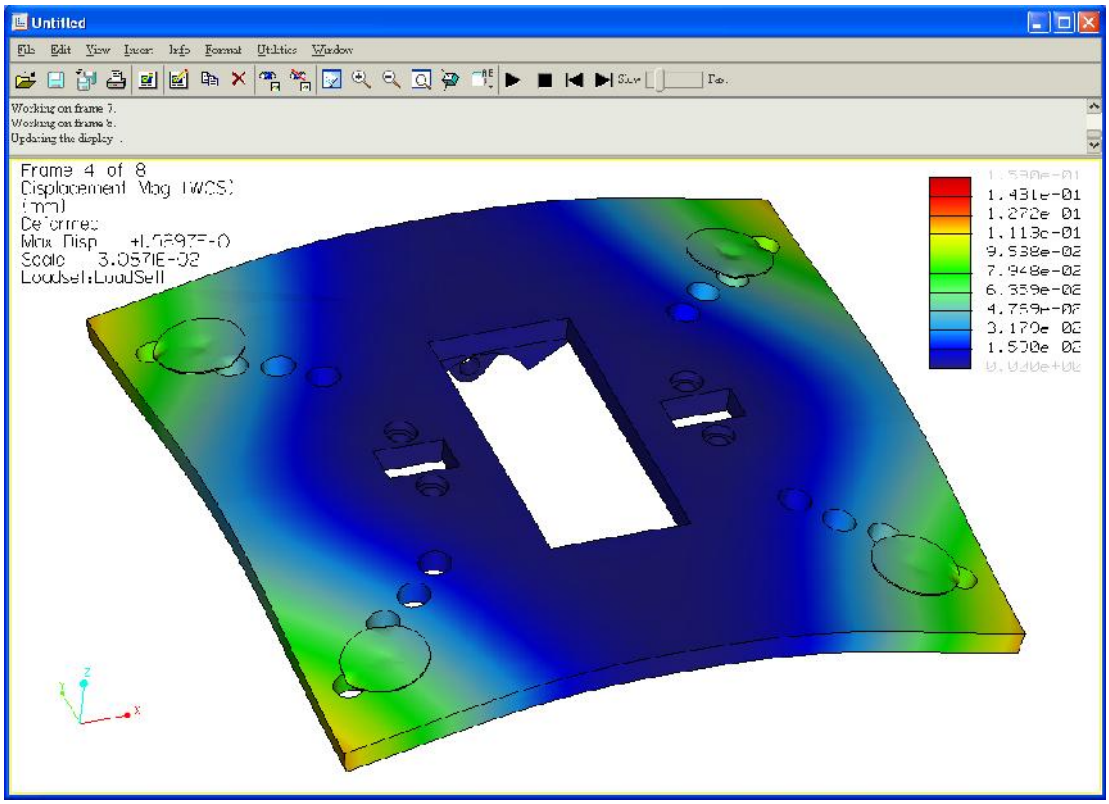
EK-8 Özel Üretim Gerektiren Üst Tabla, Ara Tabla-01, Ara Tabla-02, Ara Tabla-03 ve Lift Kaldırma Kolu Parçalarına Ait Grafikler ve Analiz Görüntüleri



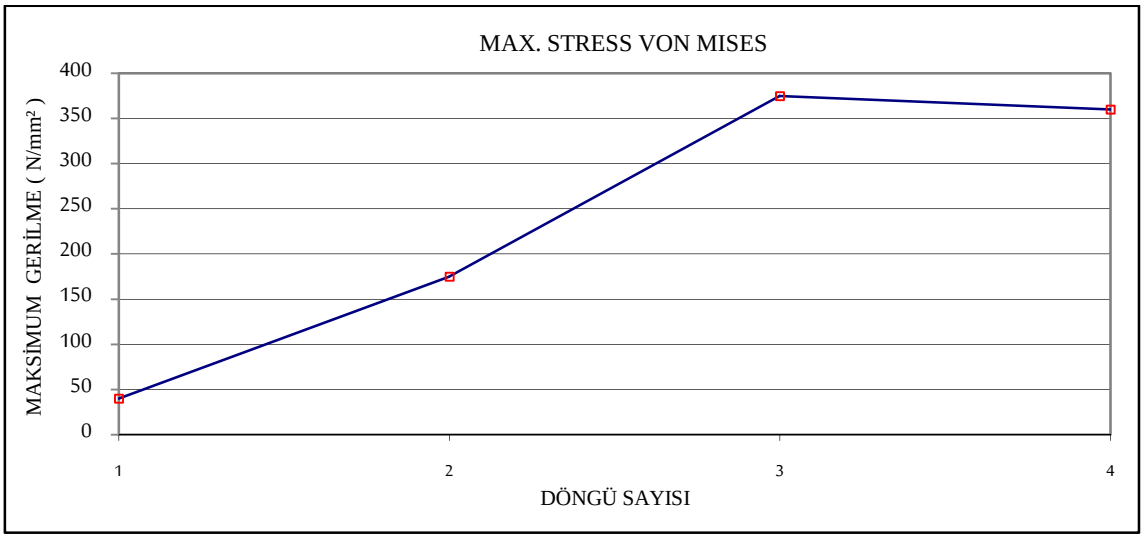
Şekil 21. Üst tabla mesnet yüzeylerinin ve uygulanan kuvvetin seçimi



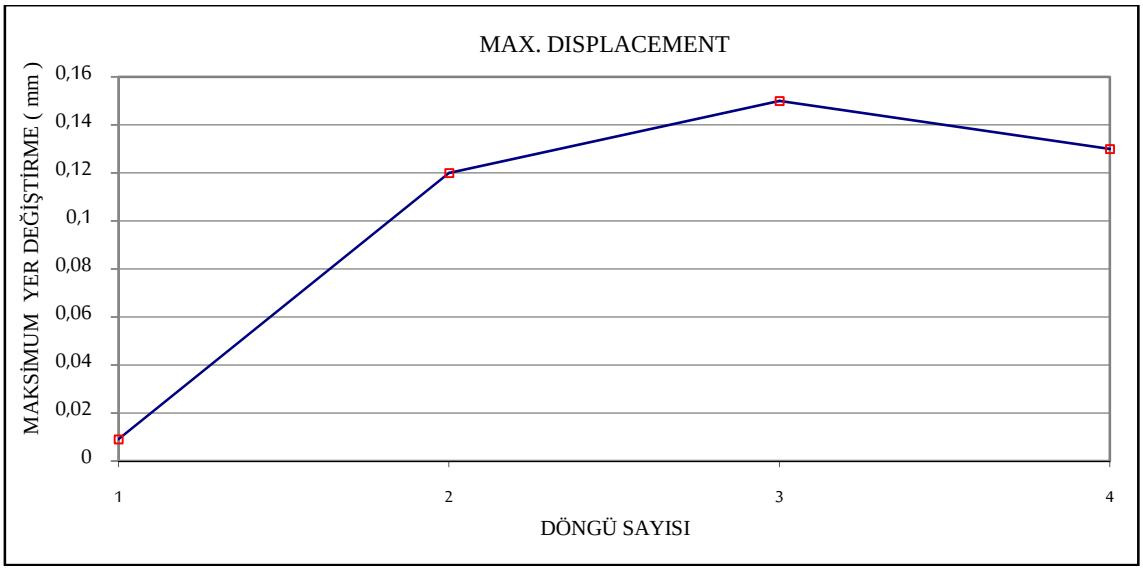
Şekil 22. Üst tablanın birinci Stress von Mises analizi (birinci analiz)



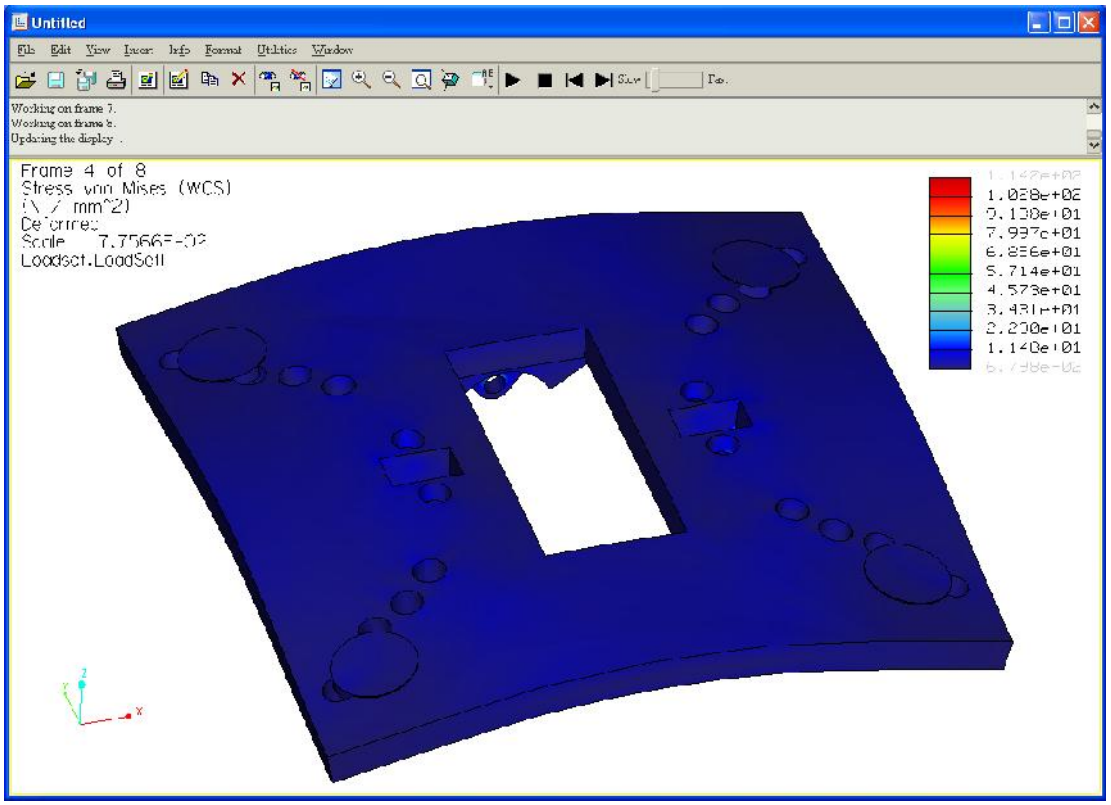
Şekil 23. Üst tablanın birinci Displacement Mag analizi (birinci analiz)



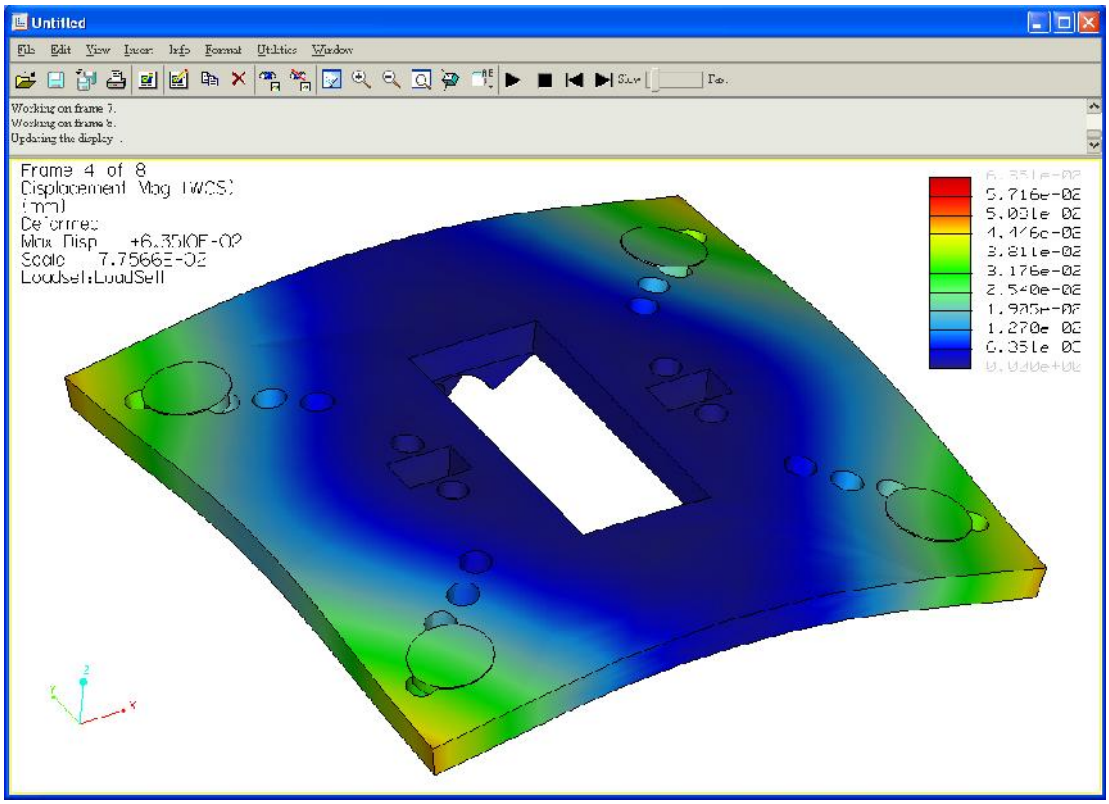
Şekil 24. Üst tablanın birinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



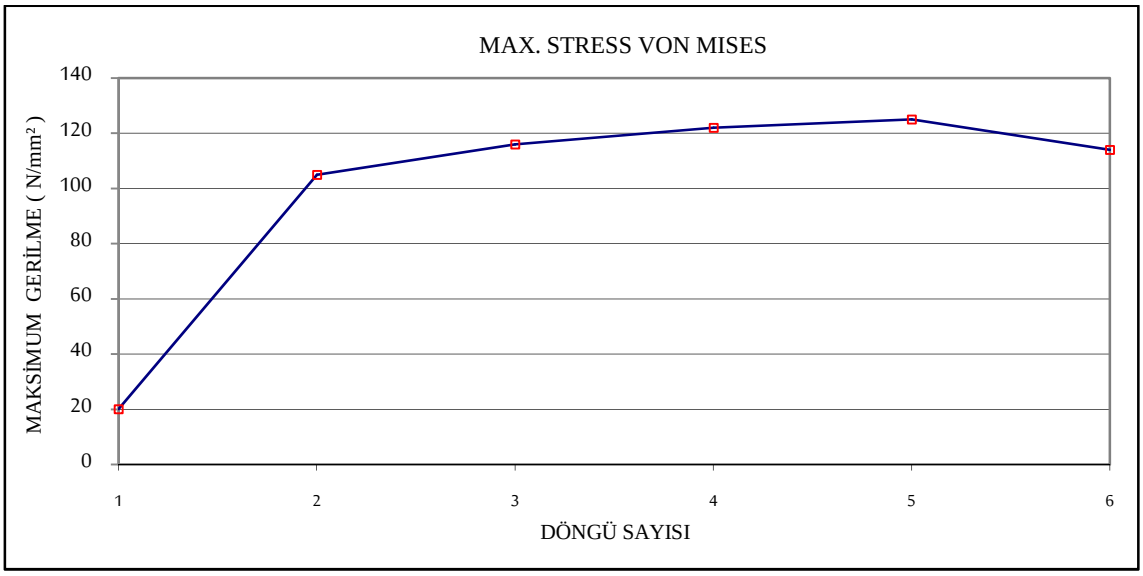
Şekil 25. Üst tablanın birinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



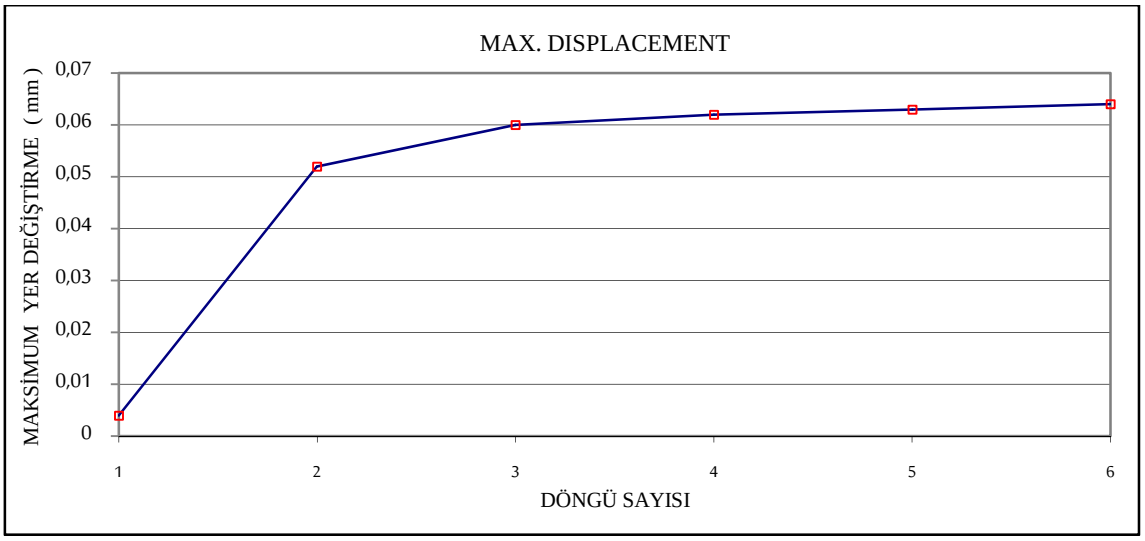
Şekil 26. Üst tablanın ikinci Stress von Mises analizi (ikinci analiz)



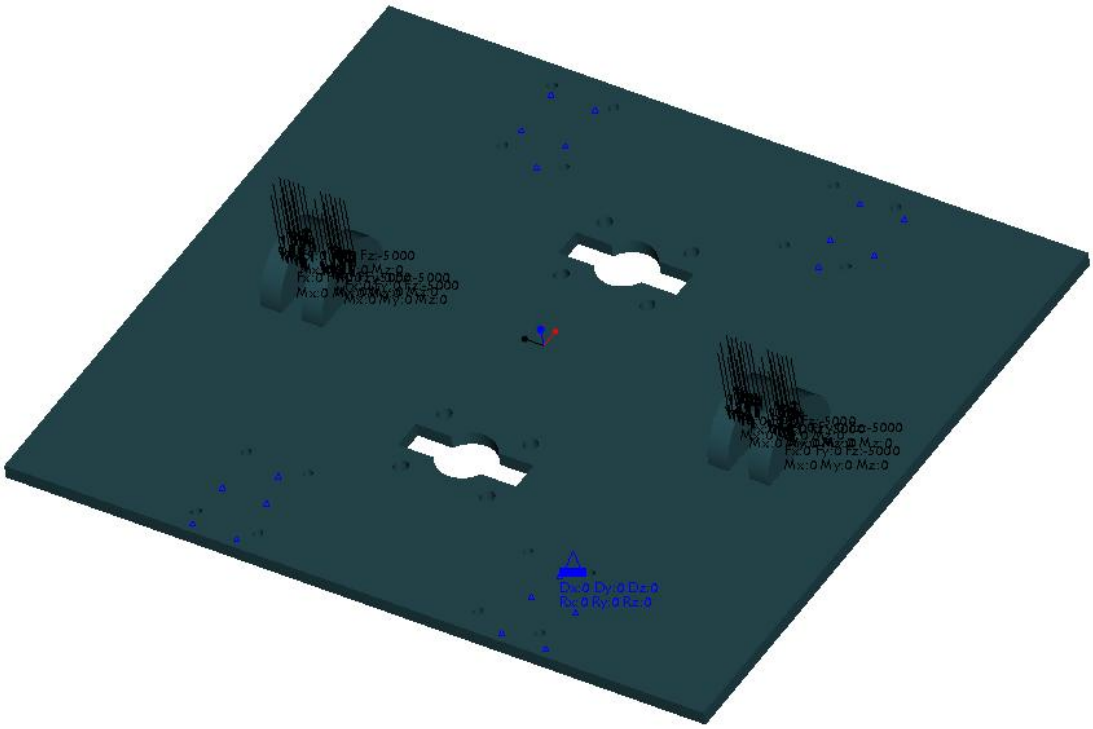
Şekil 27. Üst tablanın ikinci Displacement Mag analizi (ikinci analiz)



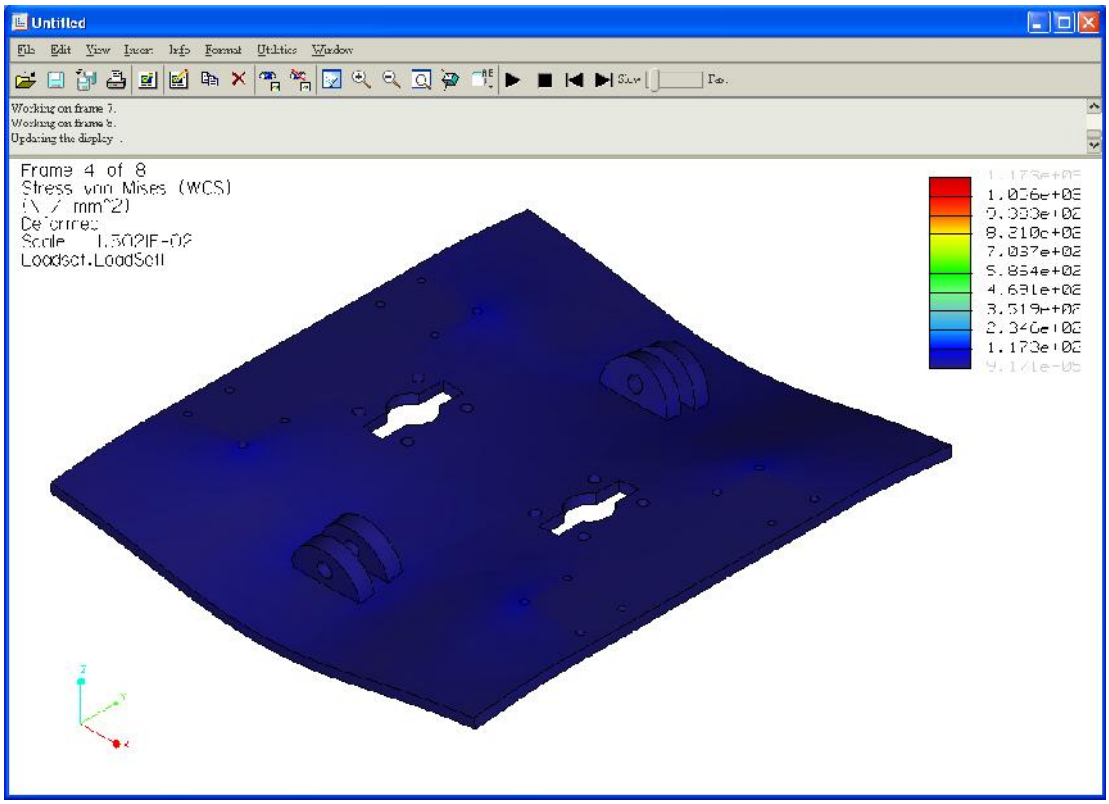
Şekil 28. Üst tablanın ikinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



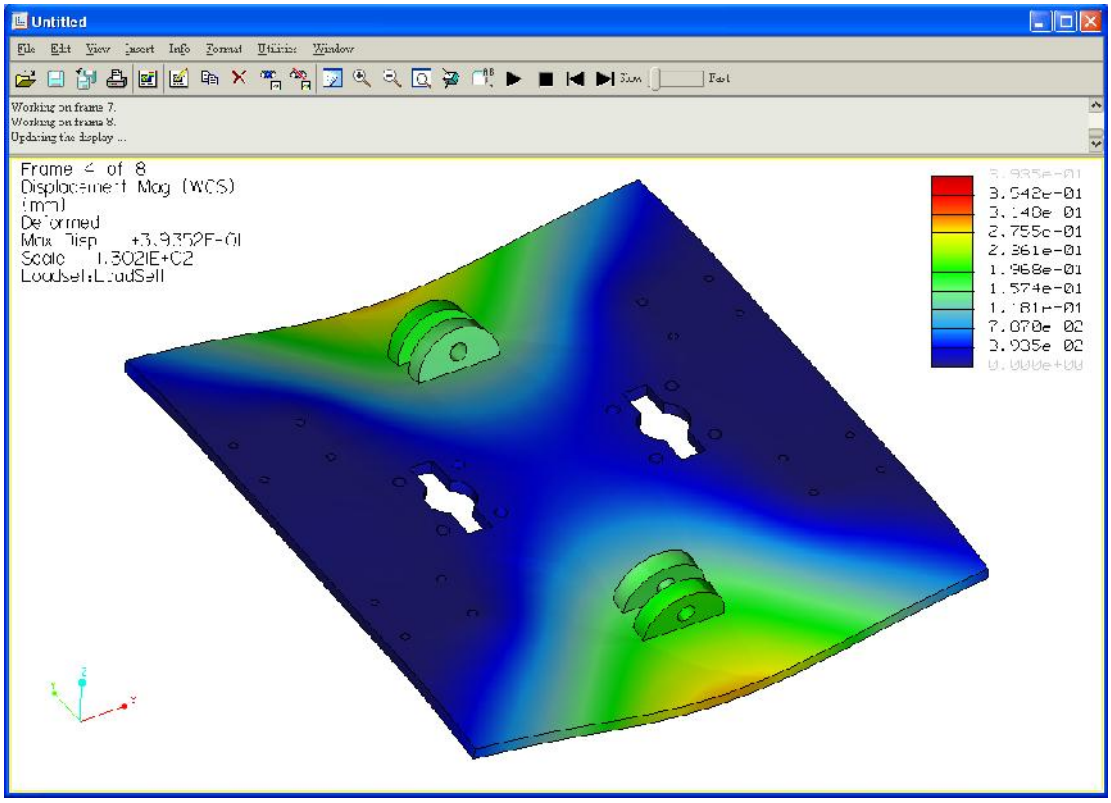
Şekil 29. Üst tablanın ikinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



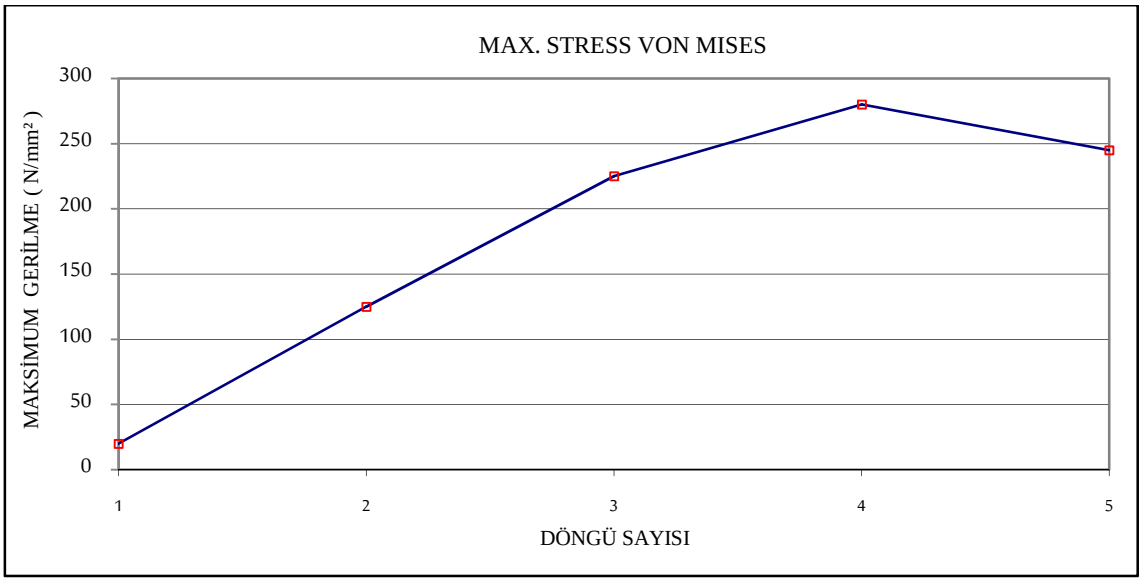
Şekil 30. Ara tabla-01 mesnet yüzeylerinin ve uygulanan kuvvetin seçimi



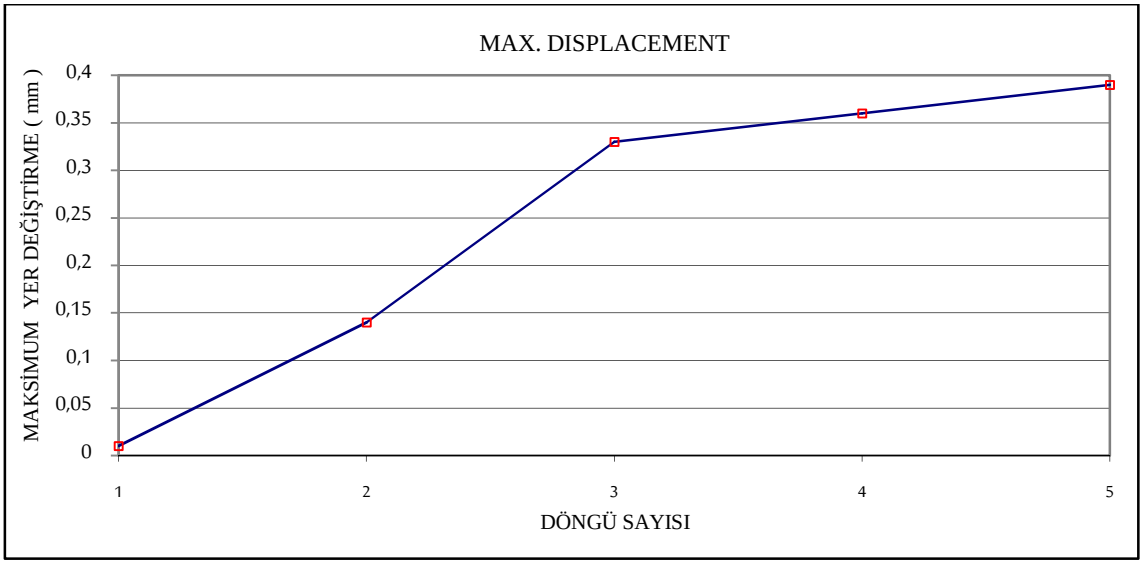
Şekil 31. Ara tabla-01'in birinci Stress von Mises analizi (birinci analiz)



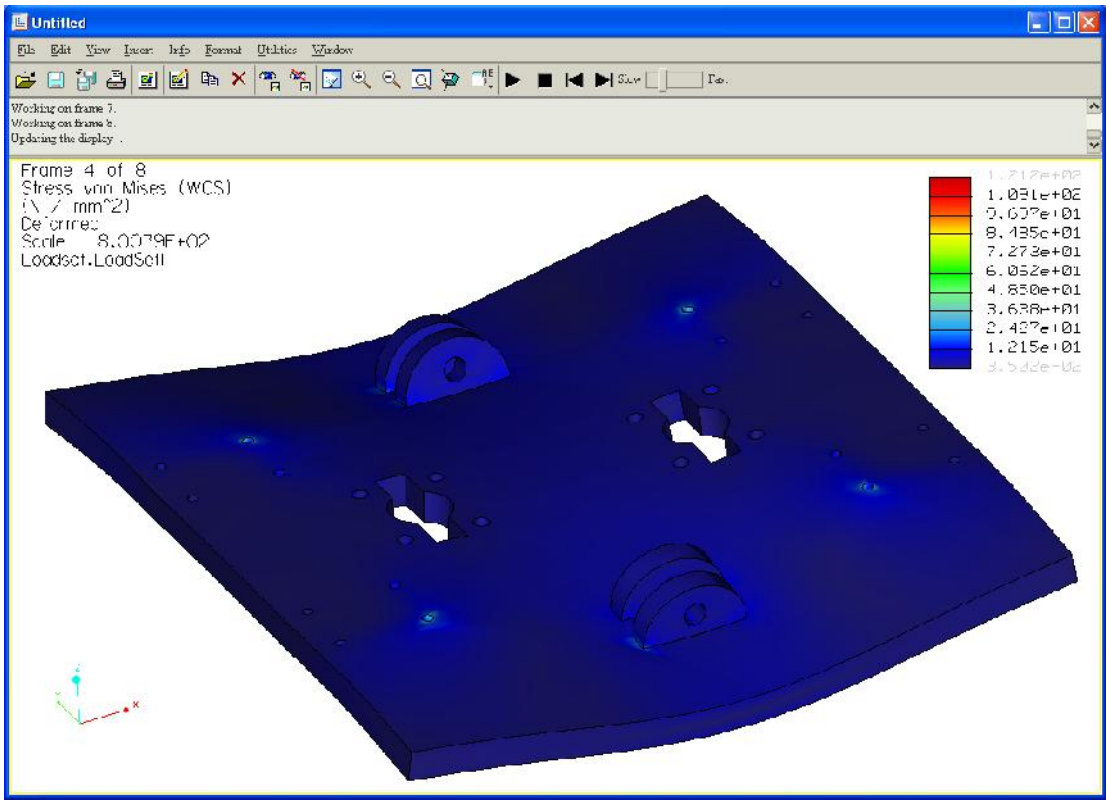
Şekil 32. Ara tabla-01'in birinci Displacement Mag analizi (birinci analiz)



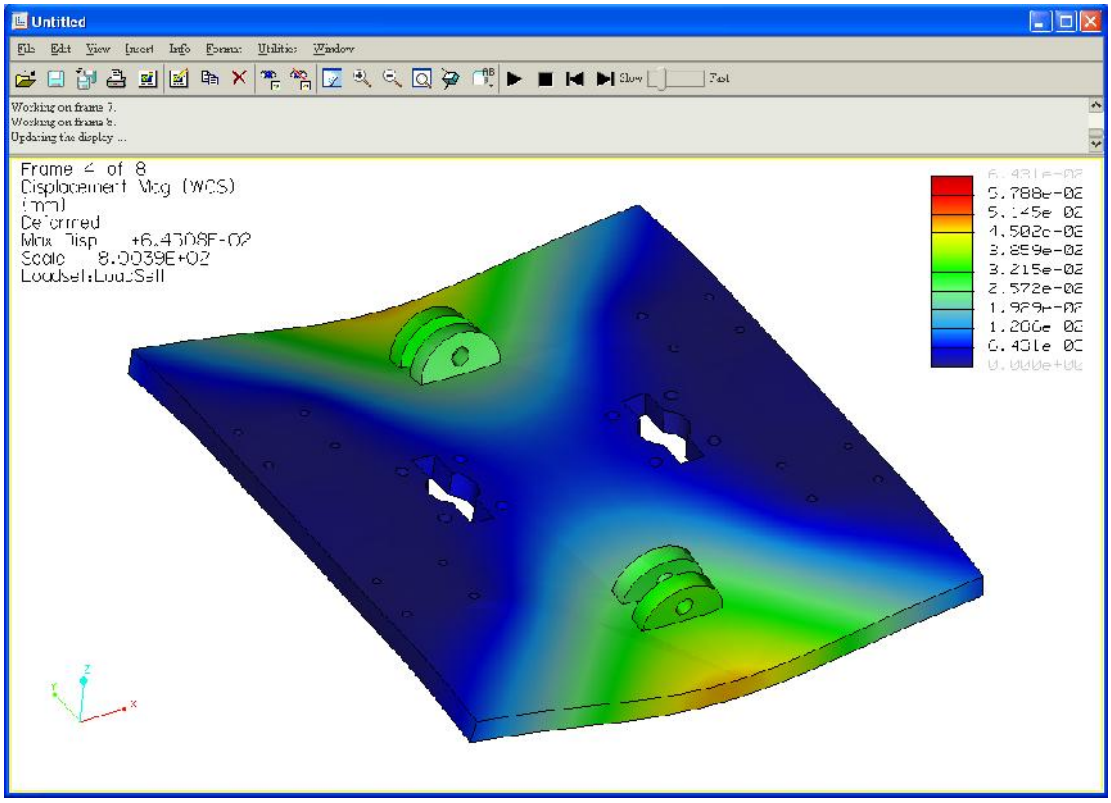
Şekil 33. Ara tabla-01'in birinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



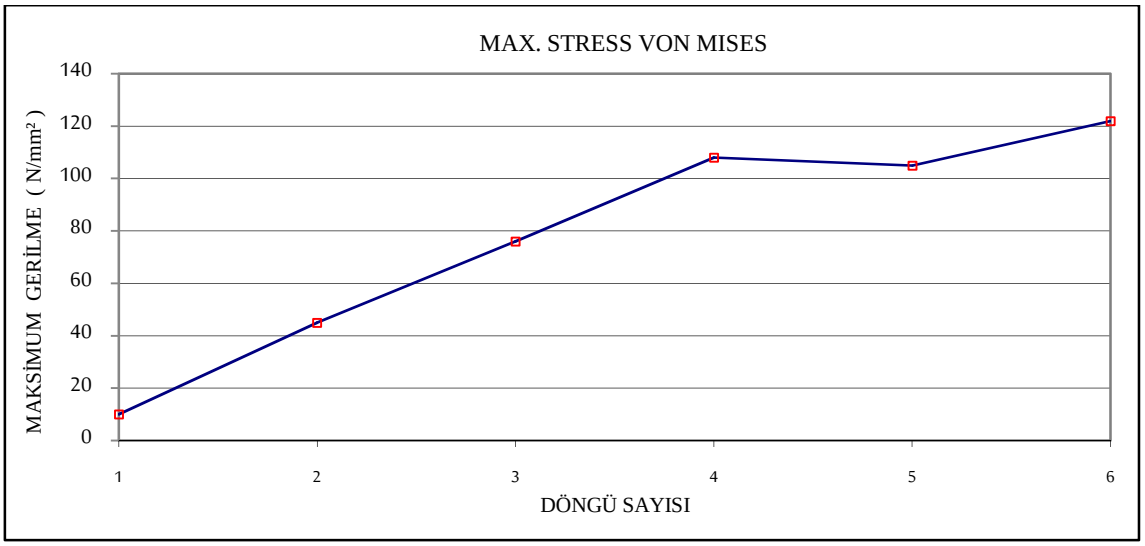
Şekil 34. Ara tabla-01'in birinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



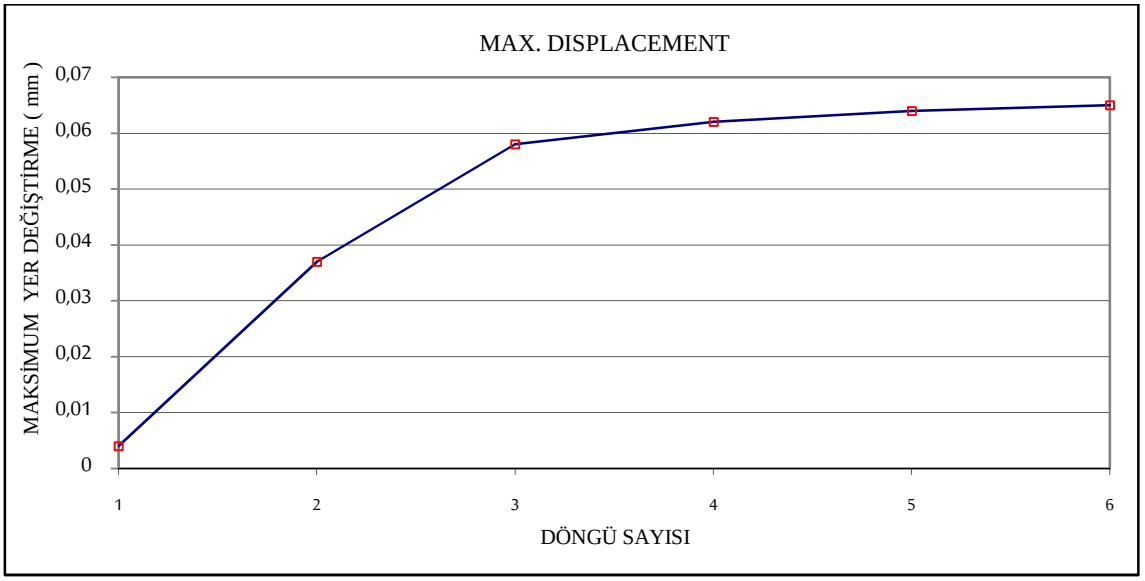
Şekil 35. Ara tabla-01'in ikinci Stress von Mises analizi (ikinci analiz)



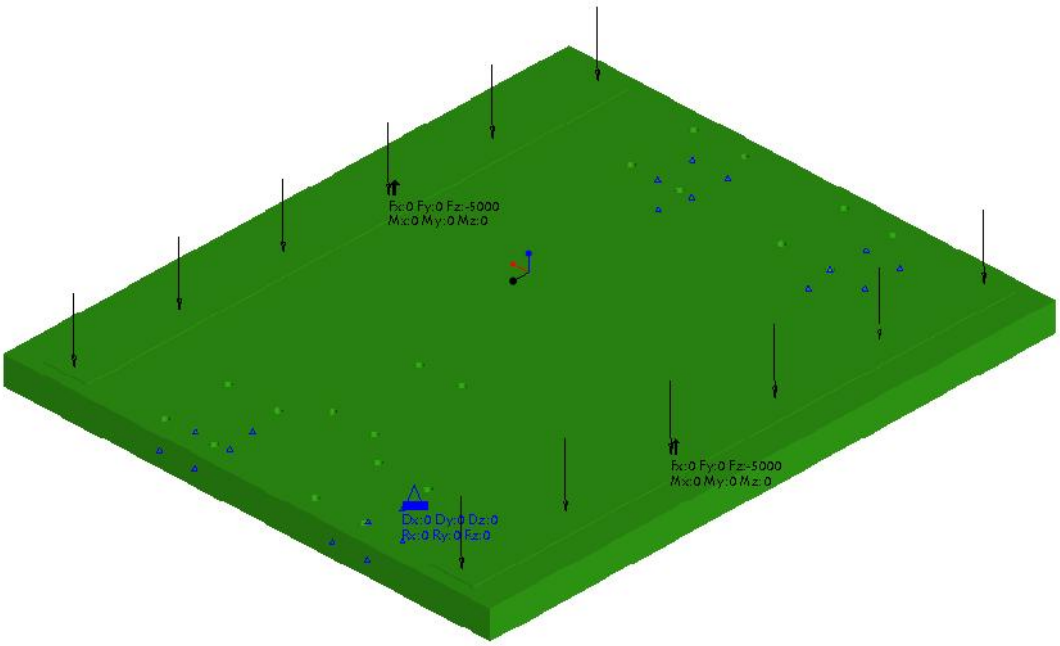
Şekil 36. Ara tabla-01'in ikinci Displacement Mag analizi (ikinci analiz)



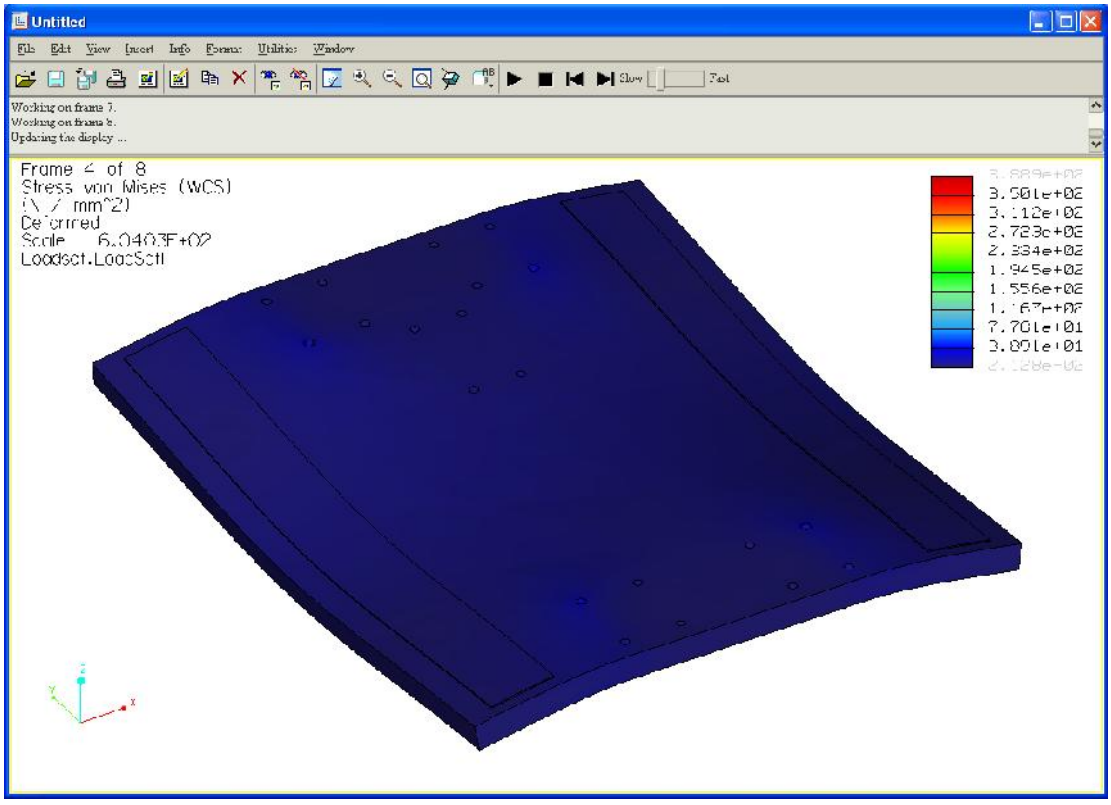
Şekil 37. Ara tabla-01'in ikinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



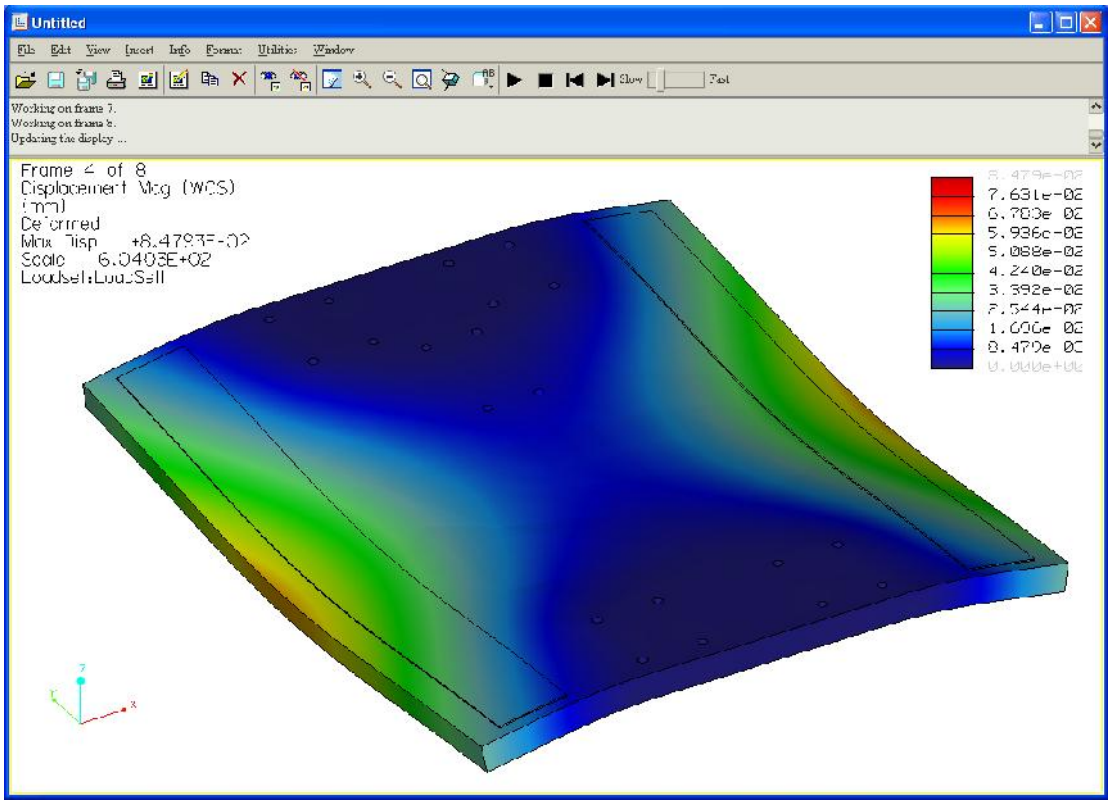
Şekil 38. Ara tabla-01'in ikinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



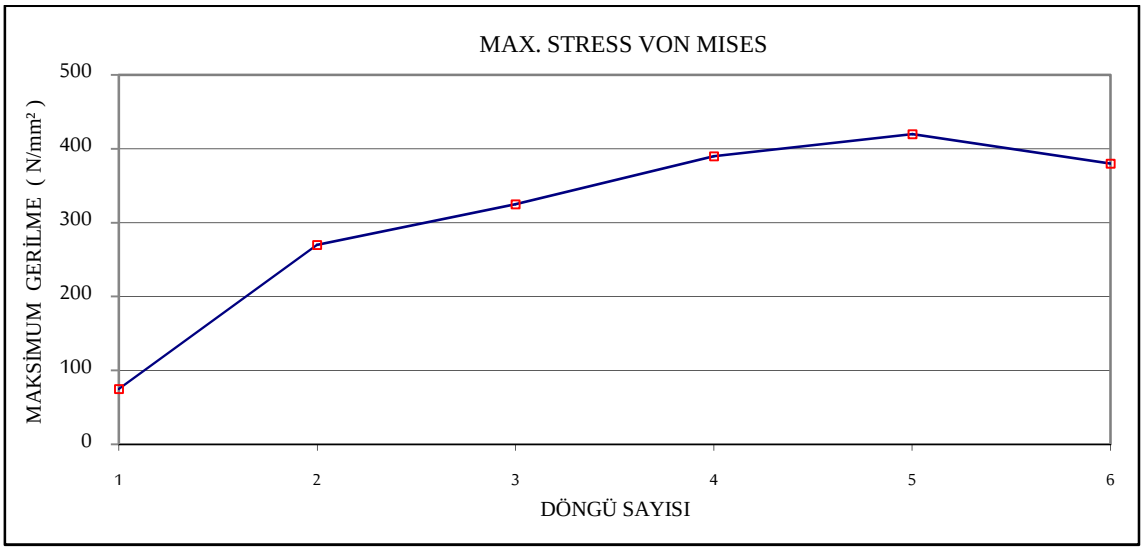
Şekil 39. Ara tabla-02 mesnet yüzeylerinin ve uygulanan kuvvetin seçimi



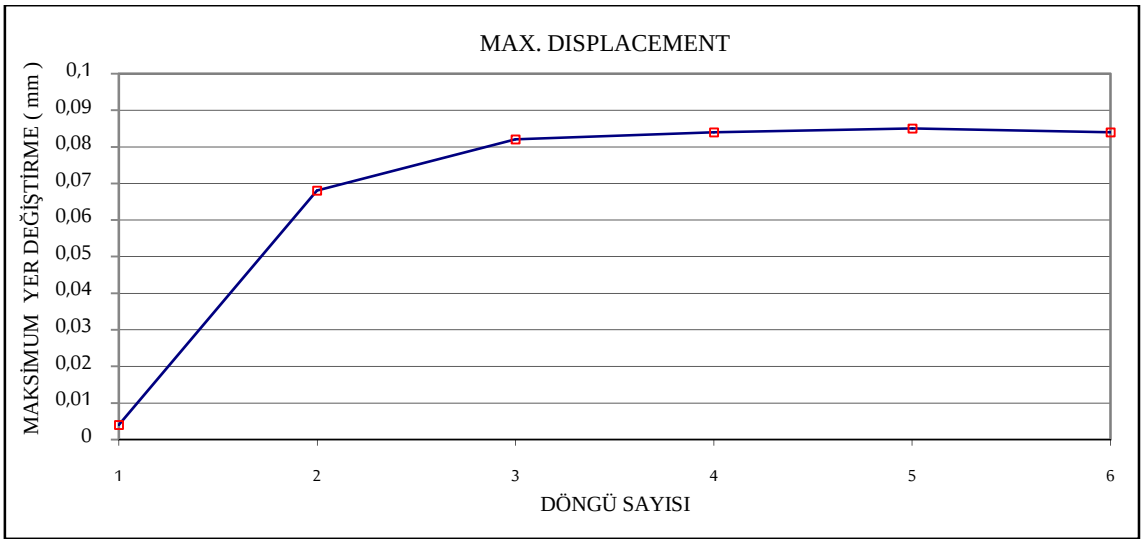
Şekil 40. Ara tabla-02'nin birinci Stress von Mises analizi (birinci analiz)



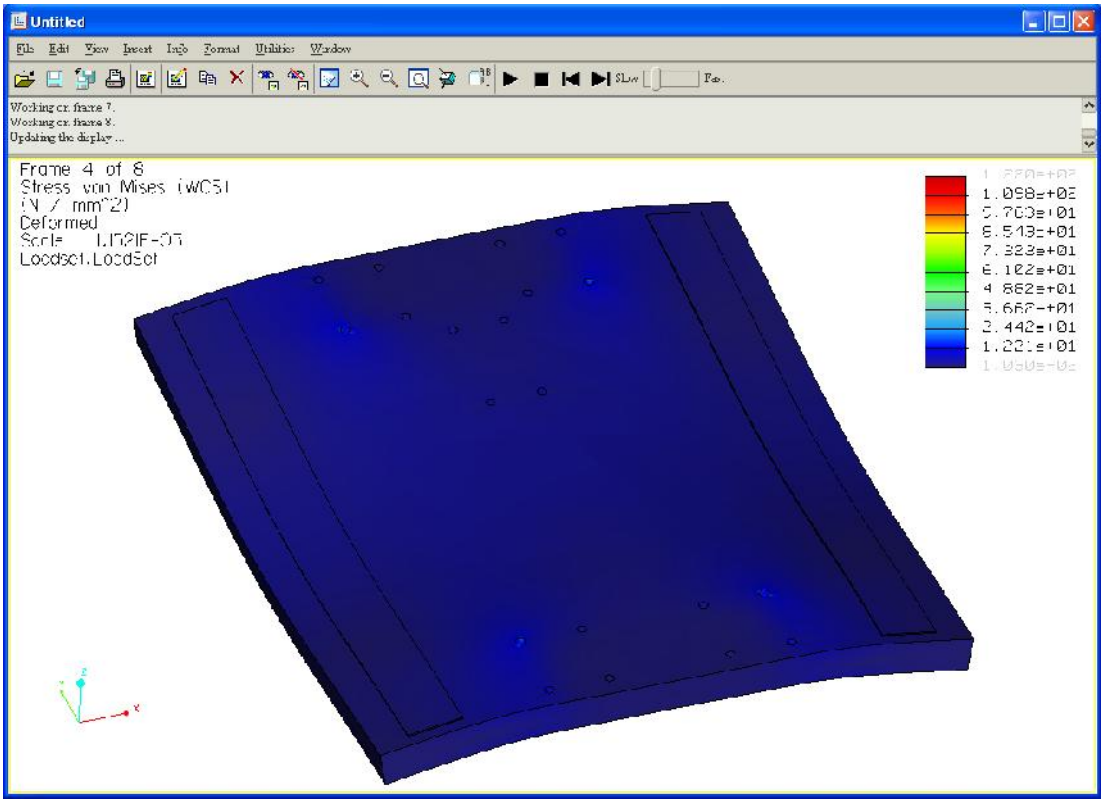
Şekil 41. Ara tabla-02'nin birinci Displacement Mag analizi (birinci analiz)



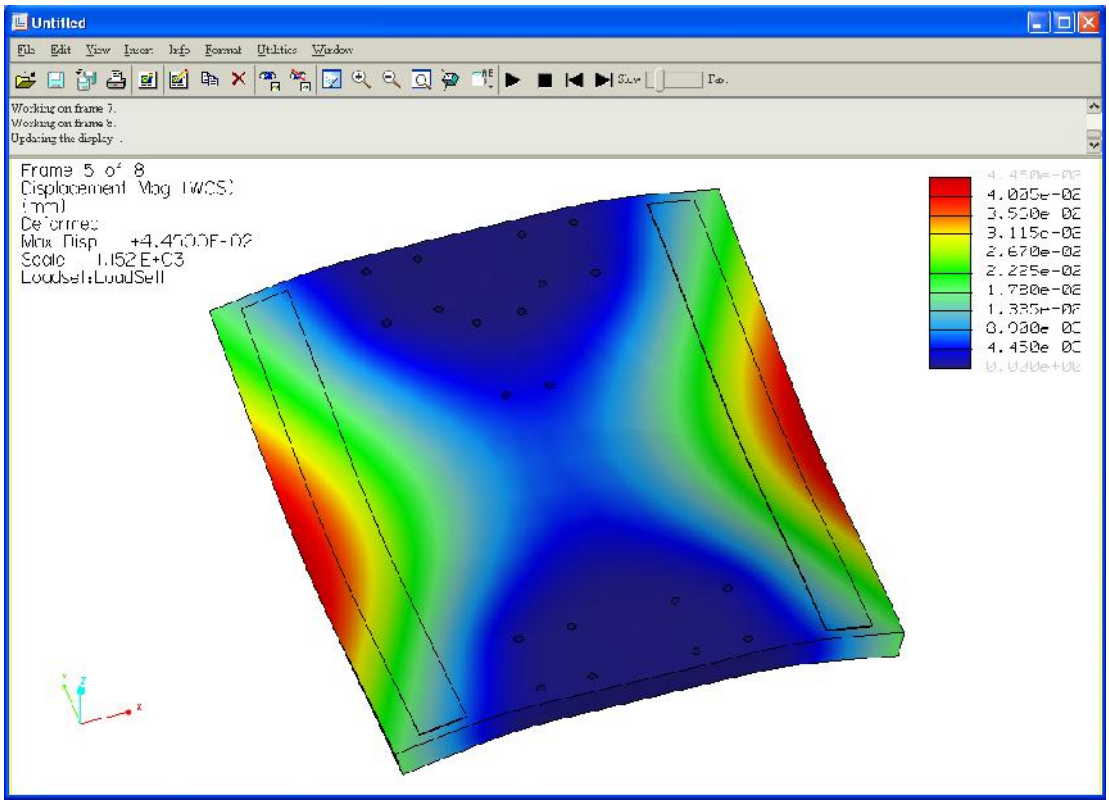
Şekil 42. Ara tabla-02'nin birinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



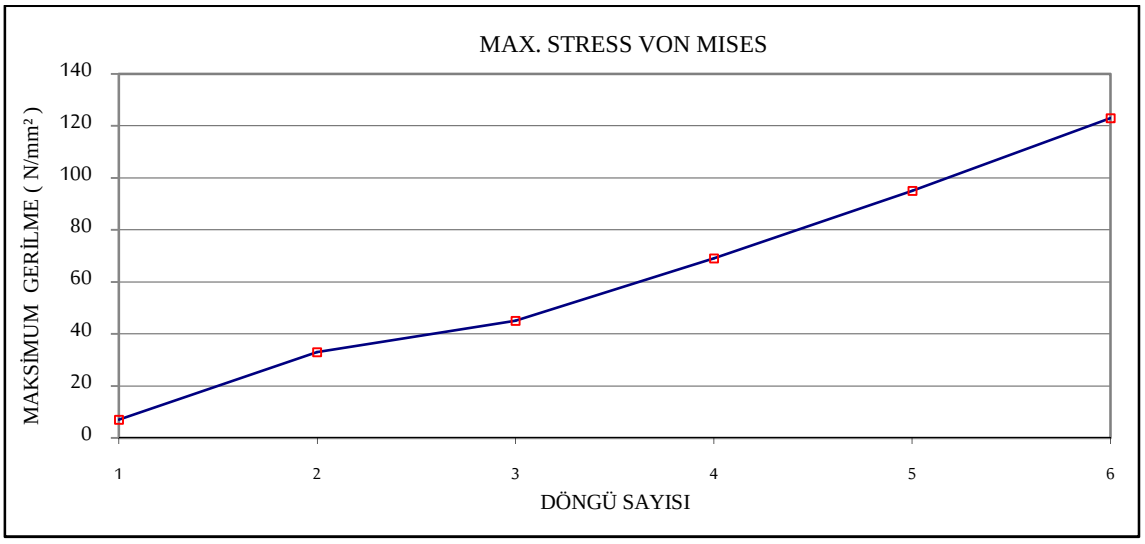
Şekil 43. Ara tabla-02'nin birinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



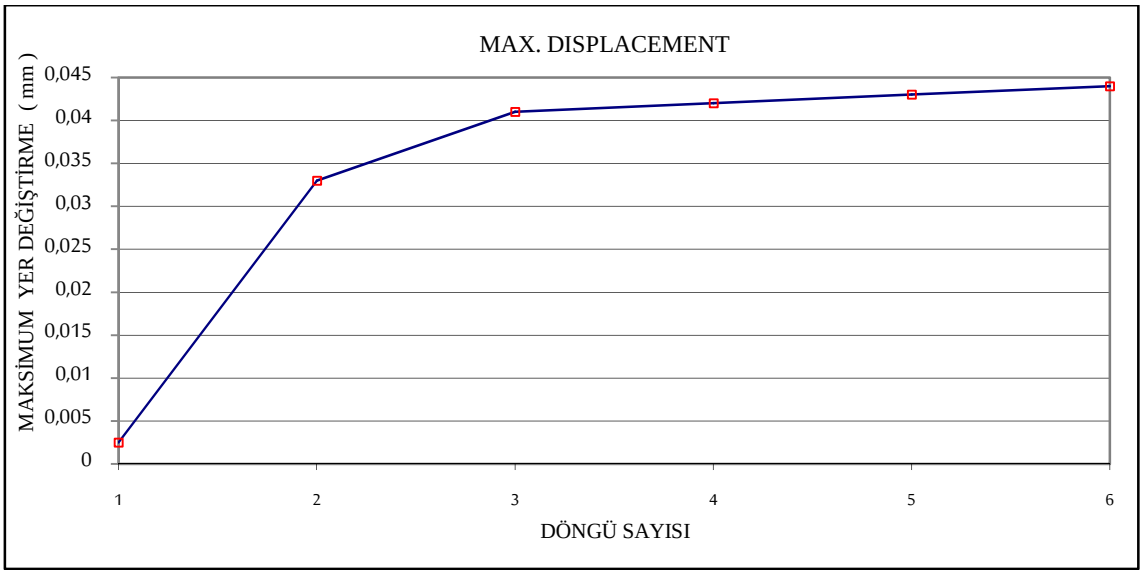
Şekil 44. Ara tabla-02'nin ikinci Stress von Mises analizi (ikinci analiz)



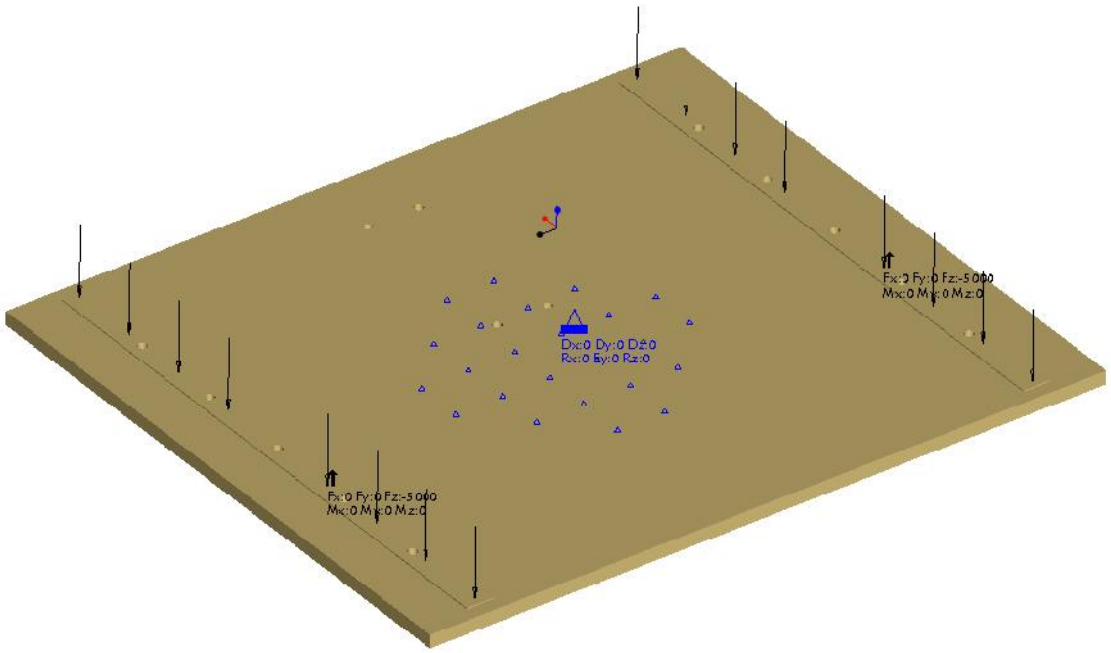
Şekil 45. Ara tabla-02'nin ikinci Displacement Mag analizi (ikinci analiz)



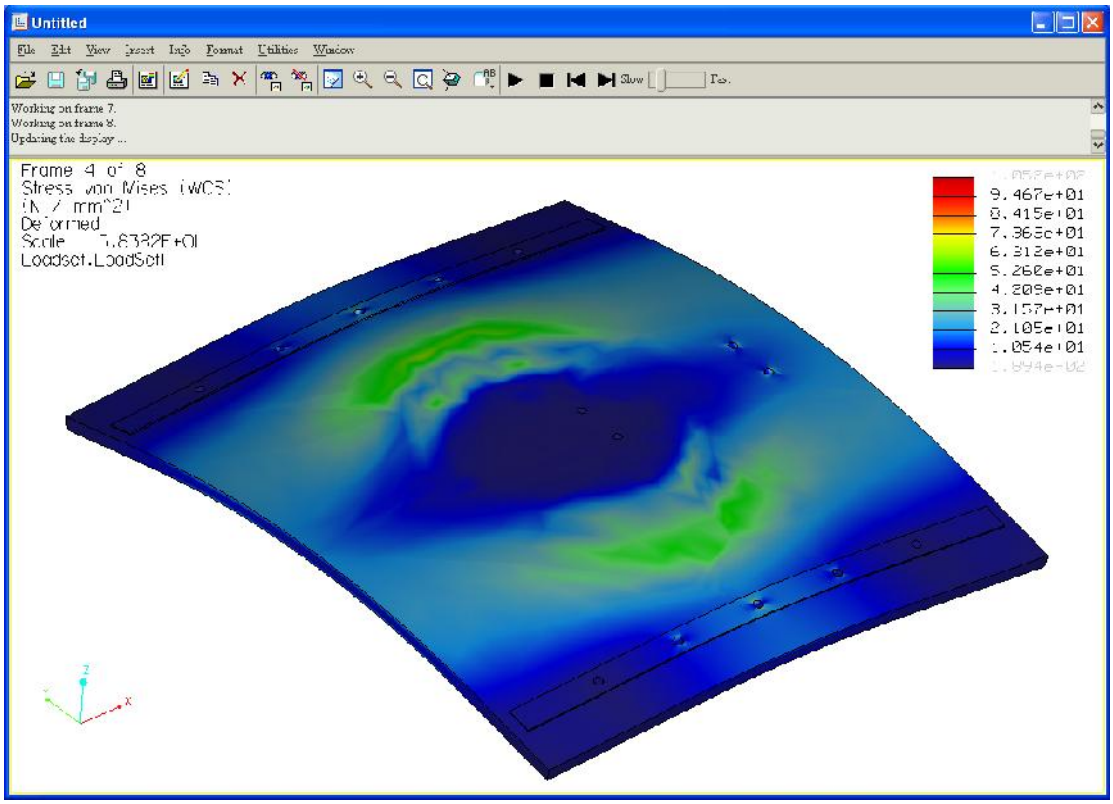
Şekil 46. Ara tabla-02'nin ikinci analiz sonucu Stress von Mises grafiği



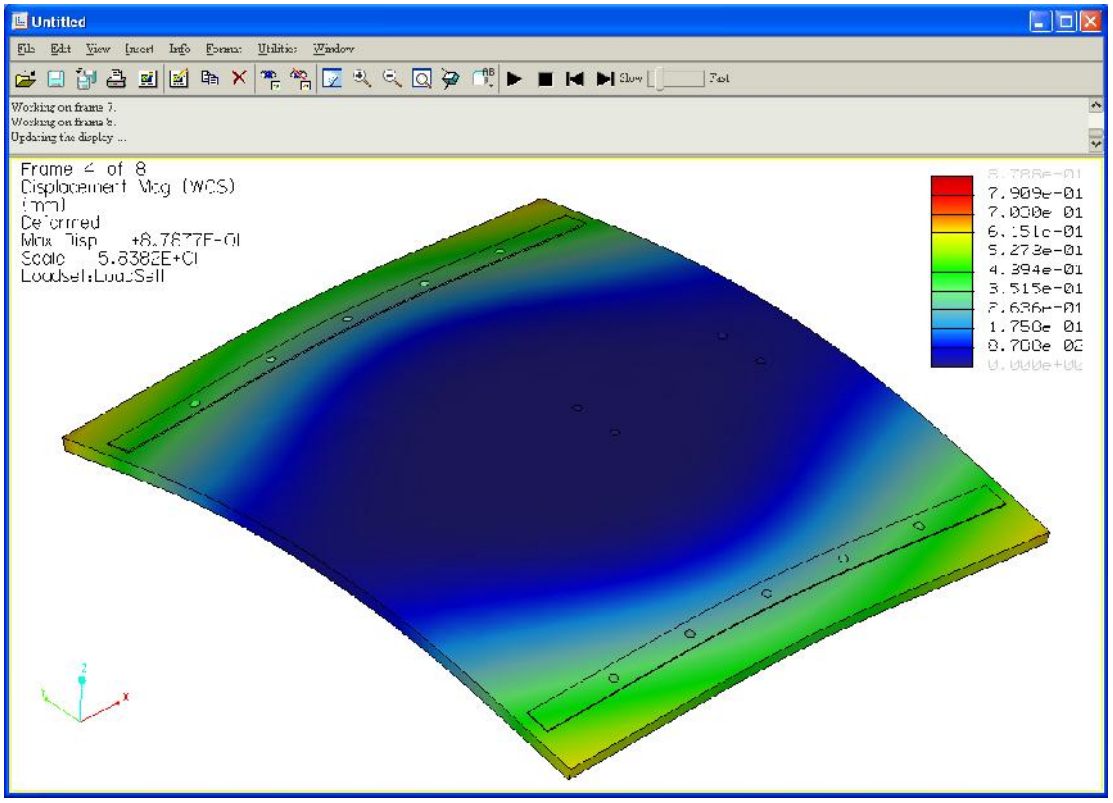
Şekil 47. Ara tabla-02'nin ikinci analiz sonucu Displacement Mag grafiği



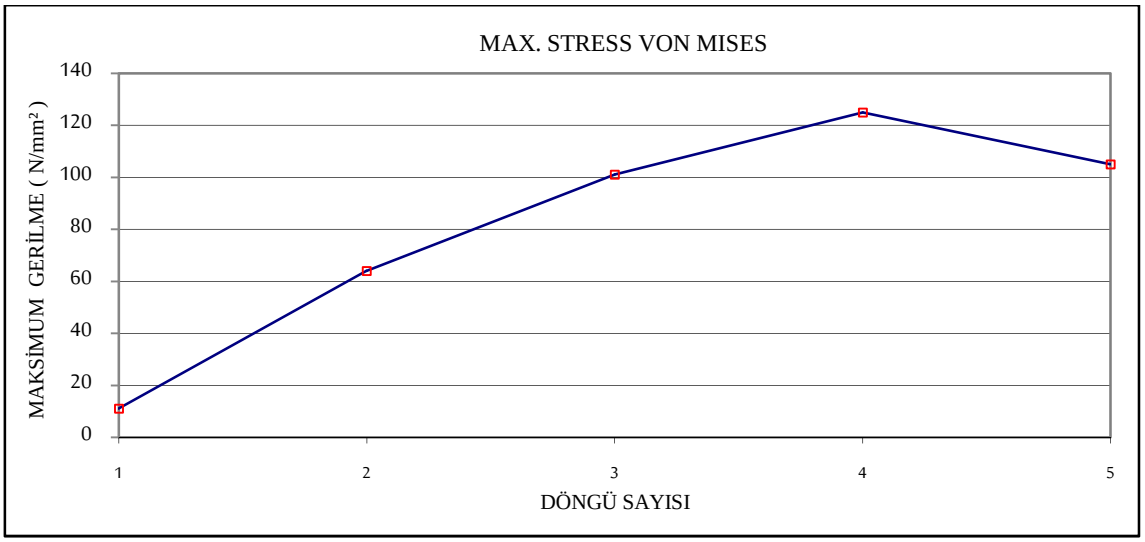
Şekil 48. Ara tabla-03 mesnet yüzeylerinin ve uygulanan kuvvetin seçimi



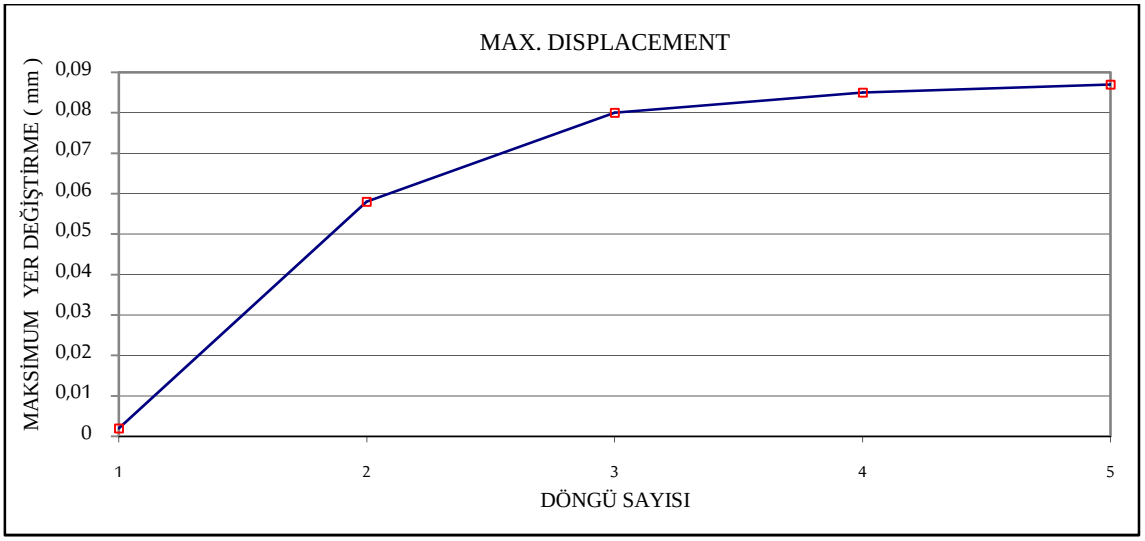
Şekil 49. Ara tabla-03'ün Stress von Mises analizi



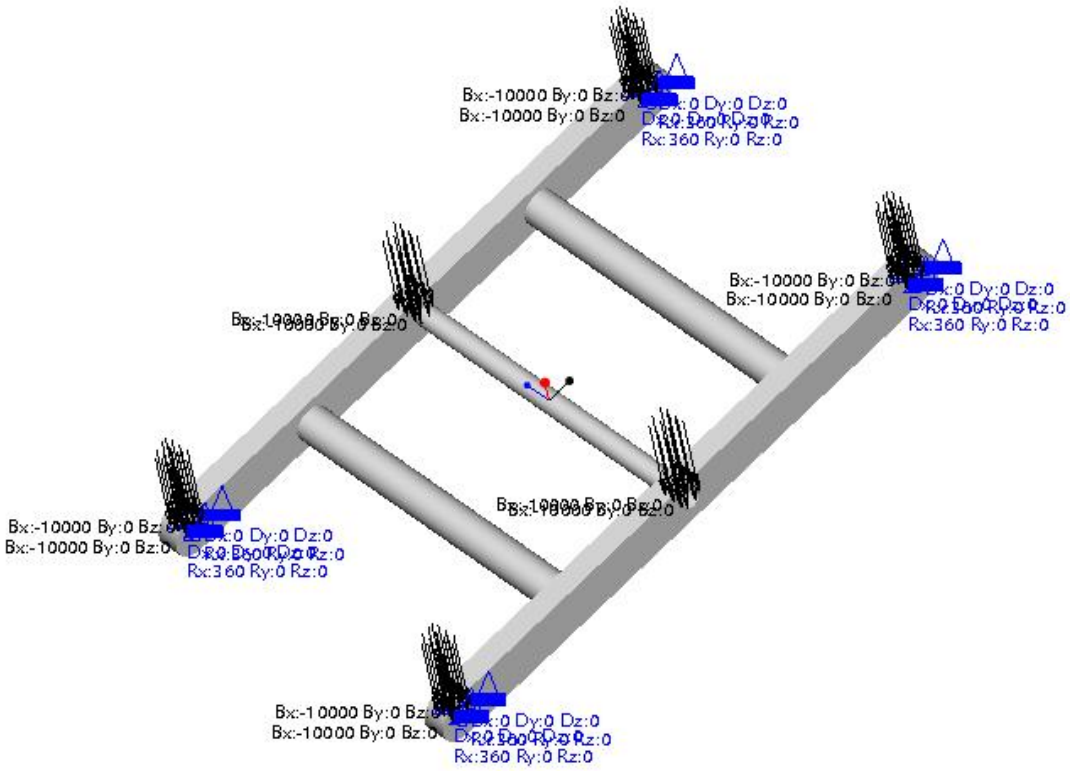
Şekil 50. Ara tabla-03'ün Displacement Mag analizi



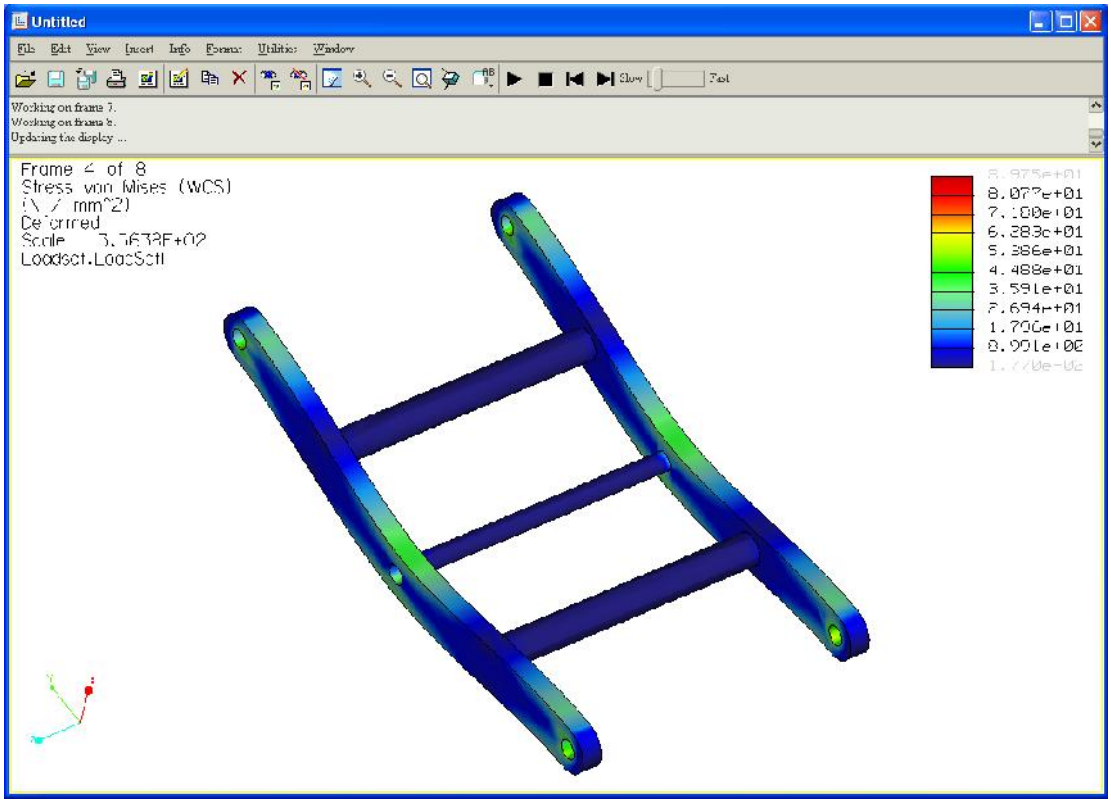
Şekil 51. Ara tabla-03'ün analiz sonucu Stress von Mises grafiği



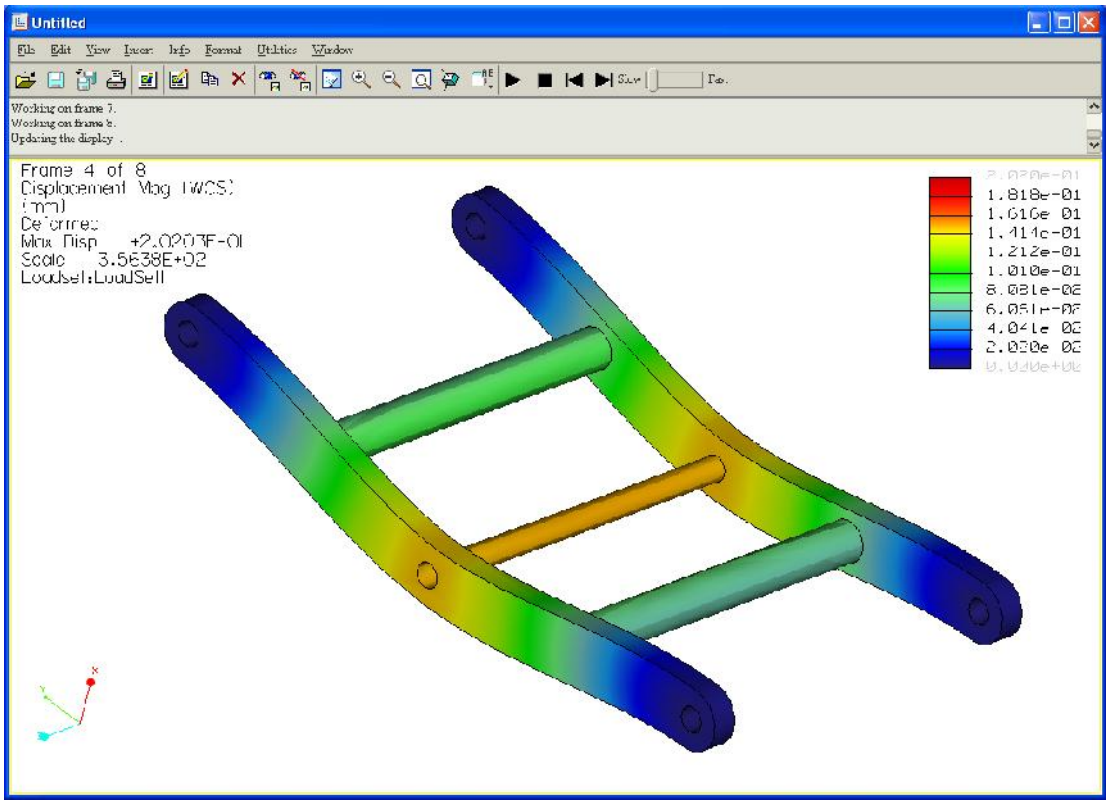
Şekil 52. Ara tabla-03'ün analiz sonucu Displacement Mag grafiği



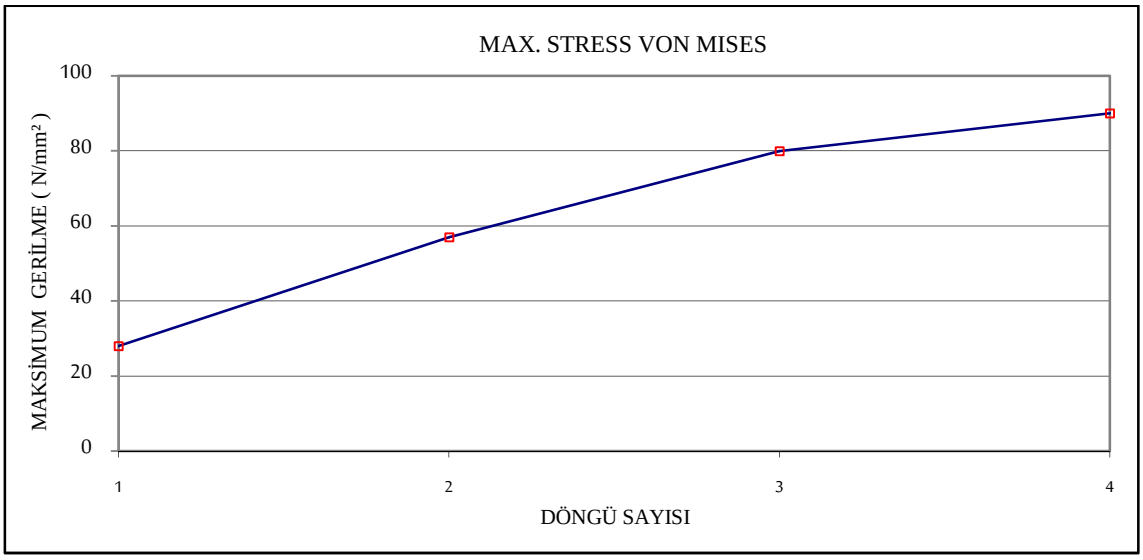
Şekil 53. Lift kaldırma kolu mesnet yüzeylerinin ve uygulanan kuvvetin seçimi



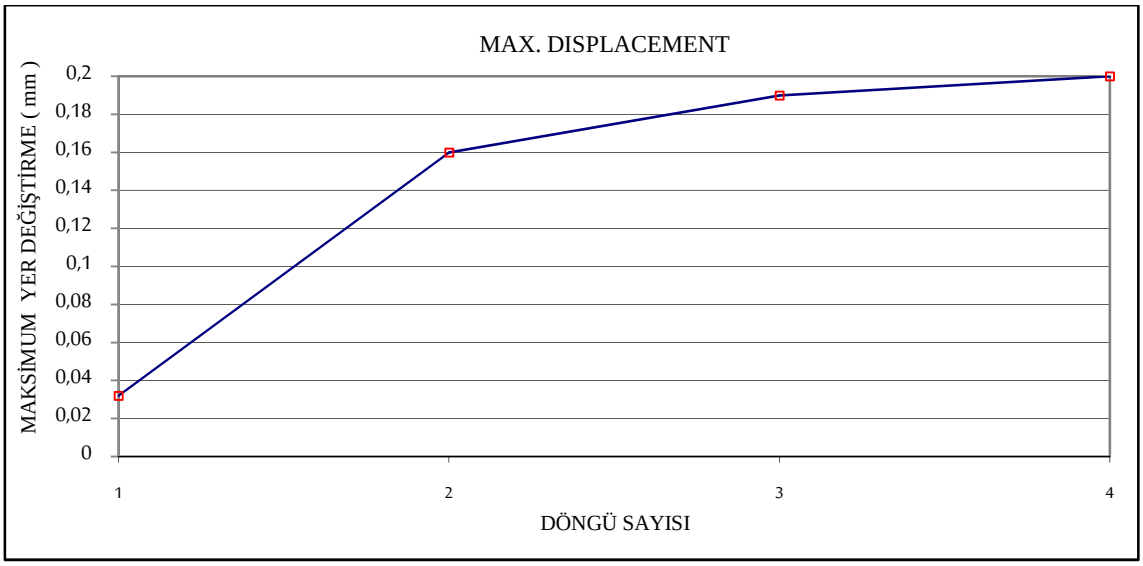
Şekil 54. Lift kaldırma kolunun Stress von Mises analizi



Şekil 55. Lift kaldırma kolunun Displacement Mag analizi

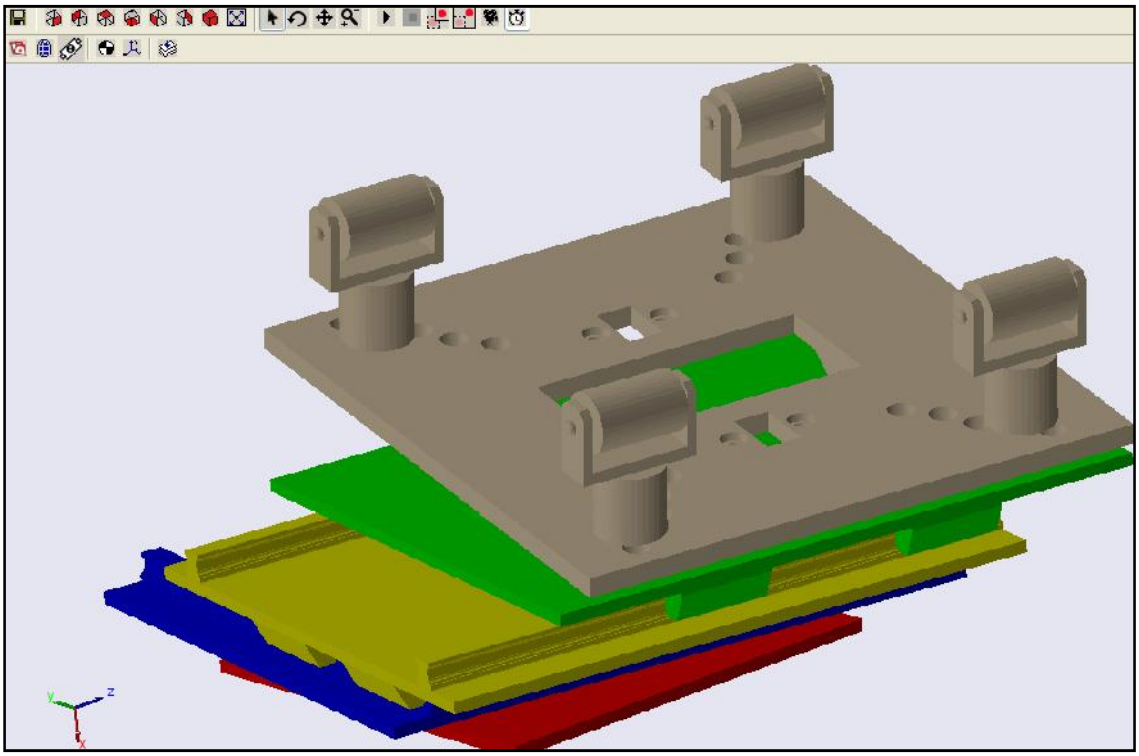


Şekil 56. Lift kaldırma kolunun analiz sonucu Stress von Mises grafiği

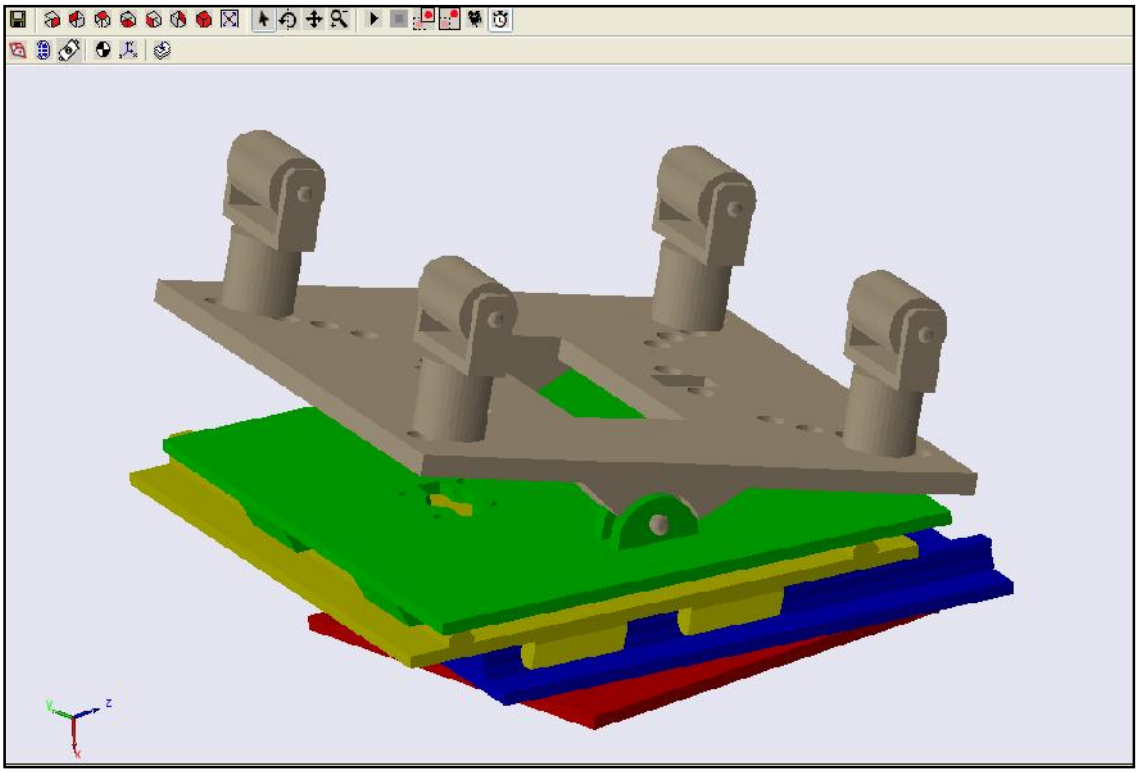


Şekil 57. Lift kaldırma kolunun analiz sonucu Displacement Mag grafiği

EK-9 Üç Boyutlu Çizimlere Ait Elde Edilen Görüntüler

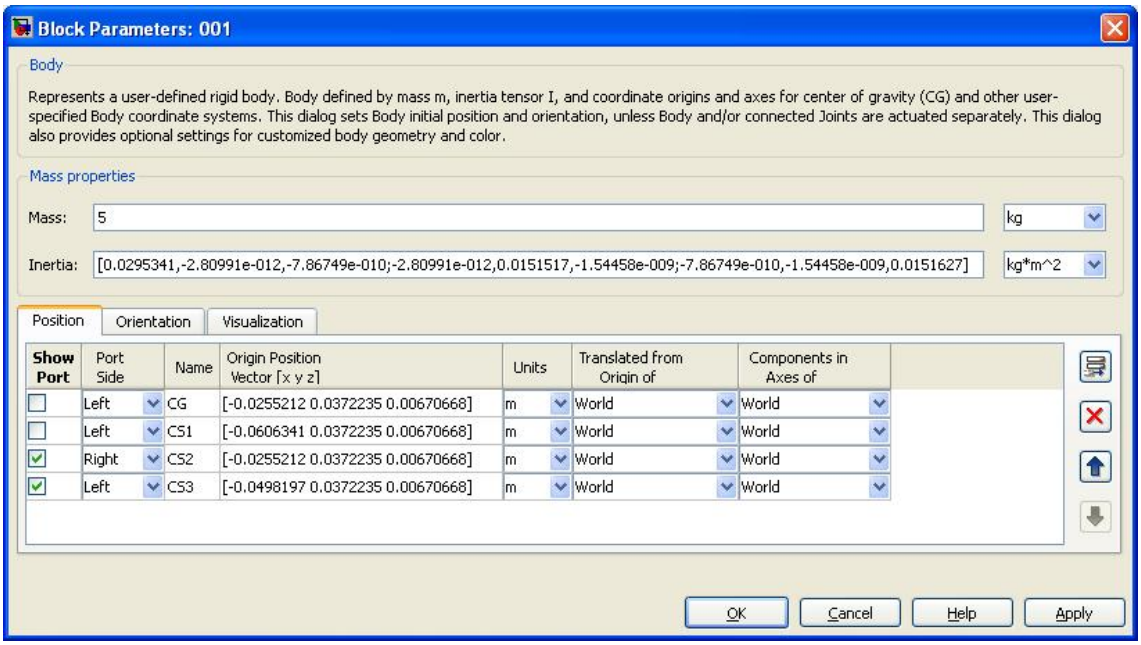


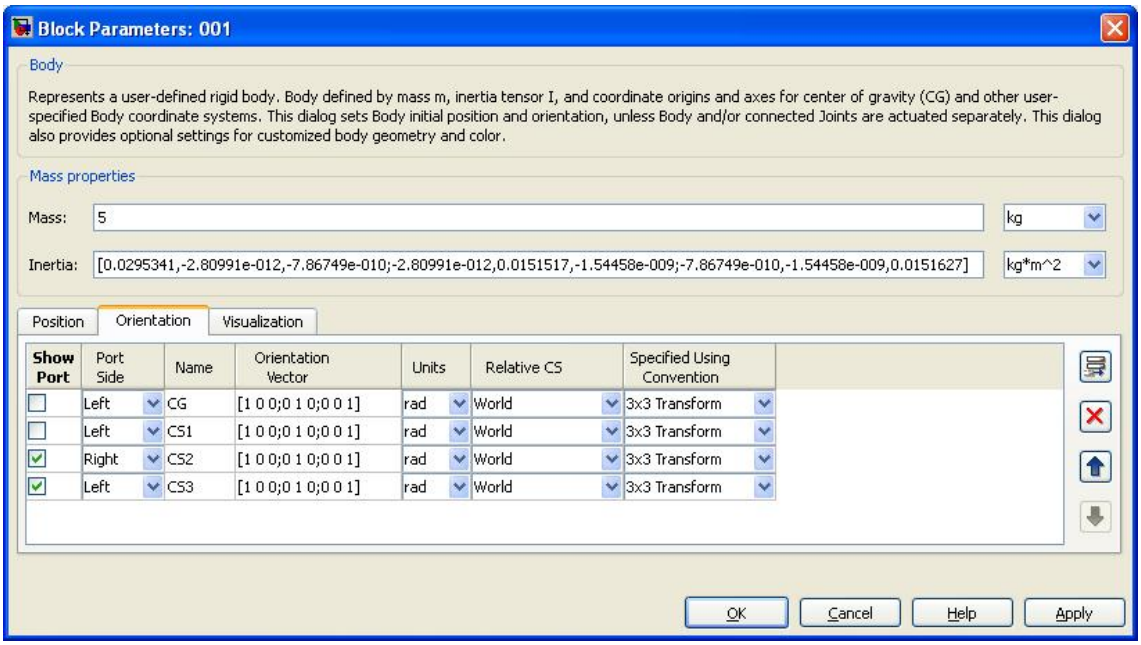
Şekil 58. Üç boyutlu görüntü-01



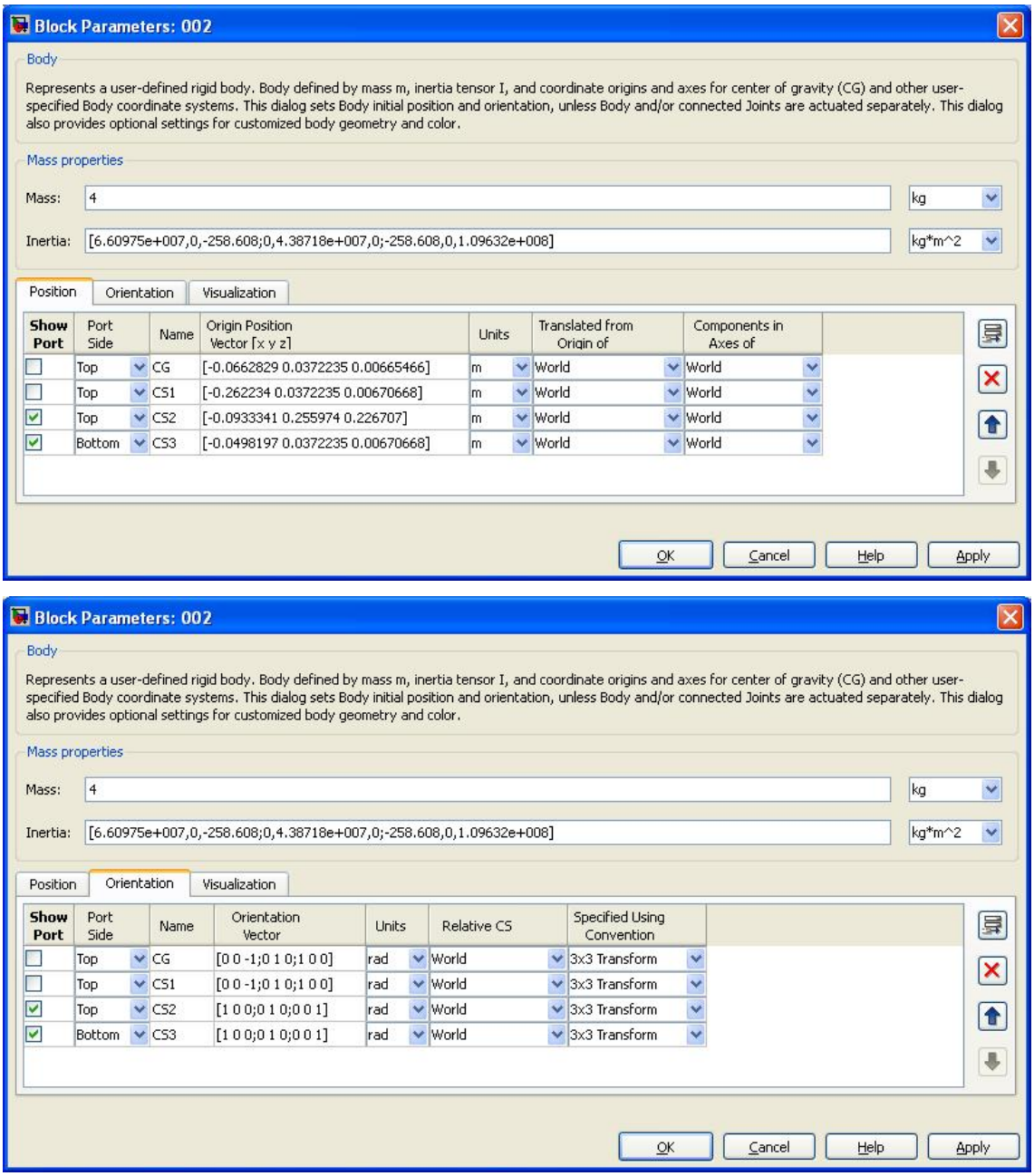
Şekil 59. Üç boyutlu görüntü-02

EK-10 Kütle, Atalet, Konum ve Yönlendirme Özellikleri

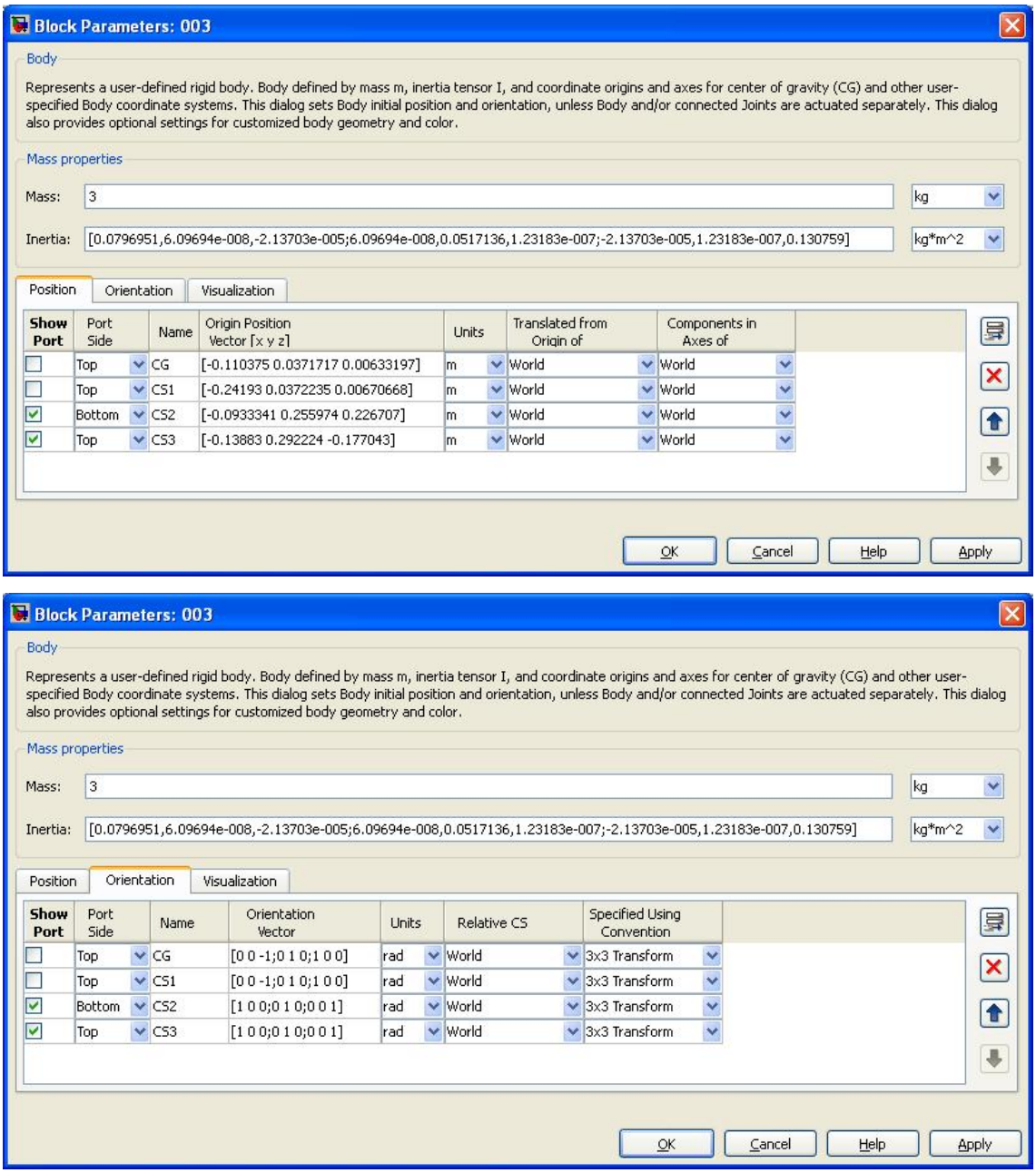




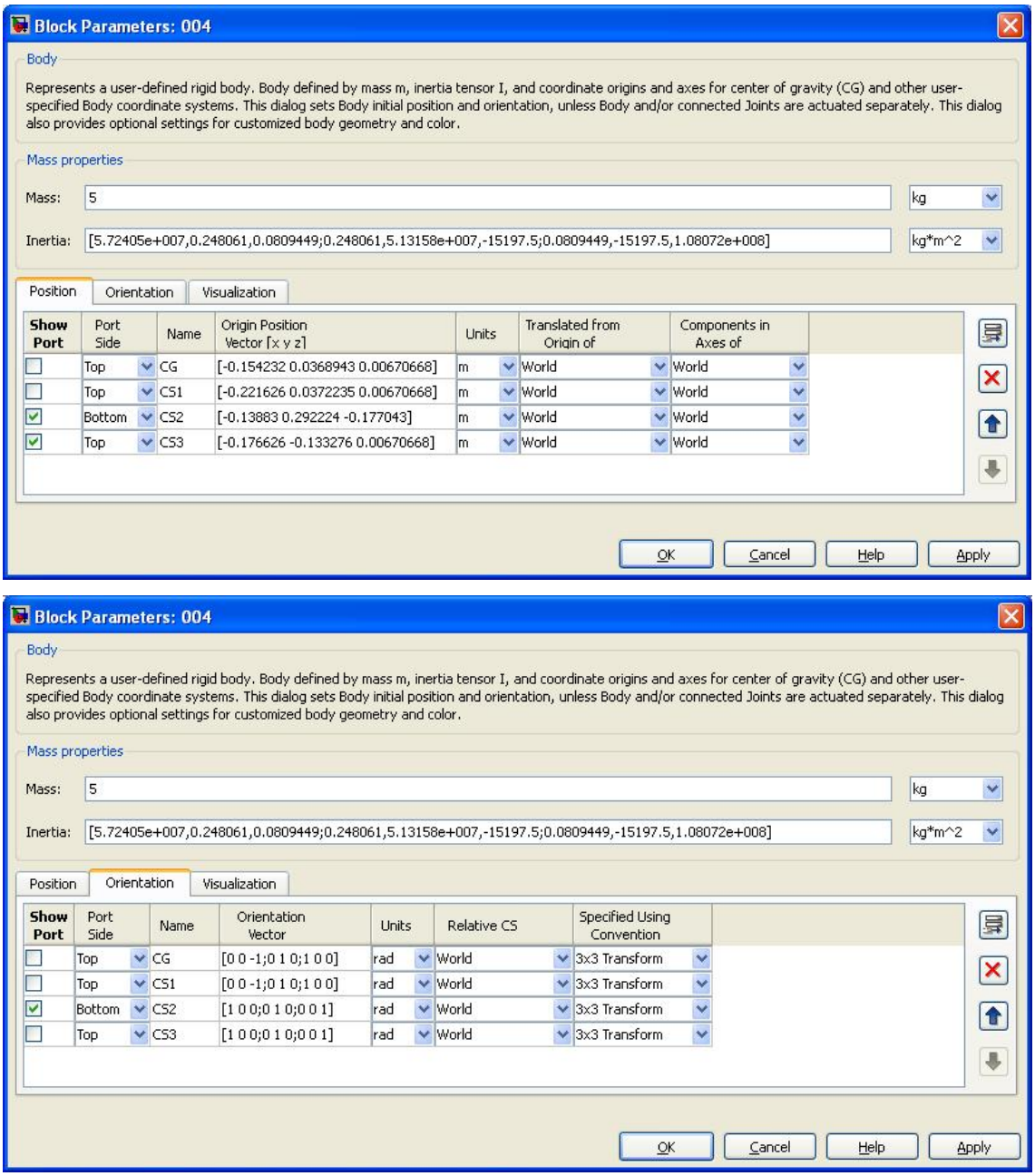
Şekil 60. Block Parameters-001



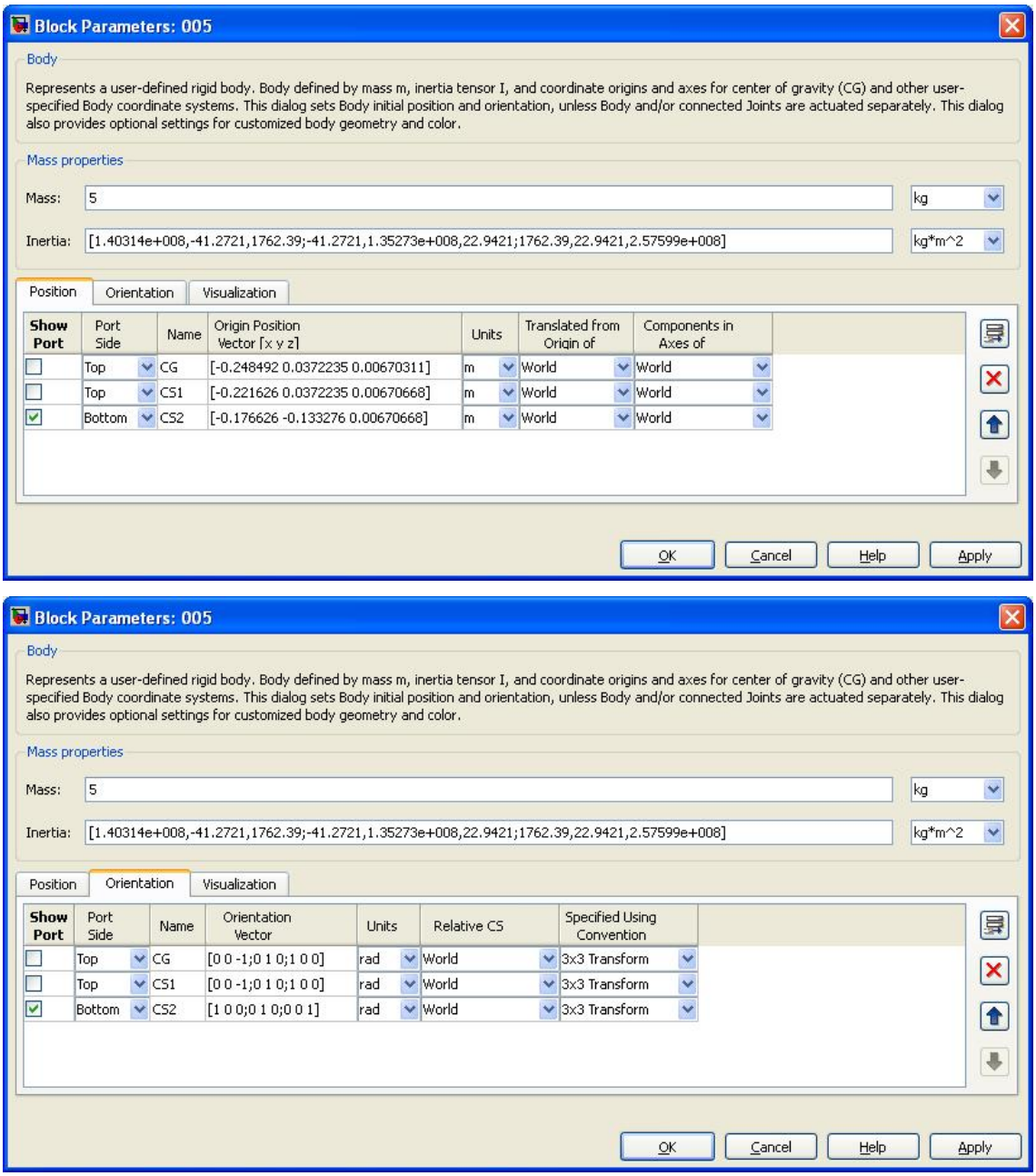
Şekil 61. Block Parameters-002



Şekil 62. Block Parameters-003



Şekil 63. Block Parameters-004



Şekil 64. Block Parameters-005

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ümit KOÇER
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Adana / 28.05.1982
Telefon : 0 553 508 81 52
e-mail : ukocer@tekok.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Avcılar Lisesi, Avcılar, İSTANBUL	1999
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2003
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003-2005	Pro-Engineer Programı Konya Bayiliği, KONYA	Proje ve Destek Müh.
2005-2006	Hv.Tek.Okl.K.lığı / Uçak Bakım Okul Komutanlığı, İZMİR	Uçak Bakım Eğitimi
2006-2011	8'inci Ana Jet Üs Komutanlığı / Uçak Bakım Komutanlığı, DİYARBAKIR	Uçak Bakım Subayı
2011-Devam	Hv.Tek.Okl.K.lığı / Hv.Astsb. MYO K.lığı, Uçak Teknolojileri Programı, İZMİR	Öğretim Elemanı

UZMANLIK ALANI

Uçak Teknolojileri ve Uçak Bakım Yönetimi.
Üç Boyutlu Tasarım ve İmalat.

YABANCI DİL

İngilizce.