**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emre BİNGÜLLÜ**

# TREN AKS TEKERLEK GRUBU SÖKME TAKMA EKİPMANI YAPISAL TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA-2022**

# ÖZ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TREN AKS TEKERLEK GRUBU SÖKME TAKMA EKİPMANI YAPISAL TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI**

**Emre BİNGÜLLÜ**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Doç. Dr. Kerimcan ÇELEBİ
Yıl: 2022, sayfa 76
Jüri : Prof. Dr. Ali KESKİN
: Doç. Dr. Kerimcan ÇELEBİ
: Doç. Dr. Erinç ULUDAMAR

Bu çalışmada raylı taşıma sistemlerinde kullanılan metro, hafif raylı ve tramvay araçlarının bakım, arıza durumlarında tekerlek bandajı değişim işleminin daha kısa sürede gerçekleştirilebilmesi, çalışanların iş güvenliğini iyileştirirken, sağlık risklerinin en aza indirilmesi hedeflenerek hidrolik tahrikli bir tren aks grubu sökme ekipmanı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Tasarımını ve imalatı yapılan ekipman; ikisi hareketli üç koldan oluşan tekerlek kavraması, hareketli iki koldan oluşan aks kutusu kavrayıcı, aks tepesine basacak bir metal kafa, pres ile sökme işlemini sağlayacak bir hidrolik piston, bu pistonu çalıştıracak bir hidrolik motor ve bütün sistemi taşıyan tekerlekli bir şasiden oluşmuştur.

Ekipman, sökülmesi düşünülen tekerlek grubu bileşenlerinin dikey hareketi elektrikli yükseklik ayarlı aks mengenesi ile yapılacağından, sabit yükseklikte ve insan gücü ile hareket ettirilen tekerlekli bir şasi üzerine monte edilmiştir. Sistem hareket kabiliyeti sunabilen elektrikli kumanda panelinden kontrol edilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde, aparatın planlanan fonksiyonel hareketleri gerçekleştirebildiği, aks kutusu ve tekerlek bandajı söküm işlemlerini sorunsuz yerine getirebildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tren Tekerleği, Tren Aksı, Tekerlek Seti, İş ve İşçi Güvenliği.

## ABSTRACT

## MSc THESIS

**STRUCTURAL DESIGN AND PROTOTYPE MANUFACTURING OF TRAIN AXLE WHEEL GROUP DISASSEMBLY ASSEMBLY EQUIPMENT**

**Emre BİNGÜLLÜ**

**CUKUROVA UNIVERSITY**
**INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**
**DEPARTMENT OF AUTOMOTİVE ENGINEERING**

Supervisor : Assoc Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ
Year: 2022, pages 76
Jury : Prof. Dr. Ali KESKİN
: Assoc Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ
: Assoc. Prof. Erinç ULUDAMAR

In this study, a hydraulically driven train axle assembly disassembly equipment was designed and manufactured with the aim of minimizing the health risks while improving the occupational safety of the employees and performing the maintenance of the metro, light rail and tram vehicles used in the rail transport systems in a shorter time.

The equipment which designed and manufactured consists of a wheel clutch consisting of three movable arms, two movable arms with a metal head to press on the top of the axle, a hydraulic piston to provide the disassembly process with a press, a hydraulic motor to operate this piston and a wheeled chassis carrying the whole system.

The equipment is mounted on a wheeled chassis with fixed height which moved with manpower, the vertical movement of the wheel group components that are intended to be disassembled will be made with an electrical height adjustable axle vise. The system is controlled by an electrical control panel that can provide mobility.As a result of the analyzes made, it has been seen that the apparatus can perform the planned functional movements and the removal of the axle box and wheel bandage without any problems.



**Key Words:** Train Wheel, Train Axle, Wheel Set, Design, Work and Safety.

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Raylı taşıma sistemlerine (metro, hafif raylı sistem, tramvay) ait araçlarda tekerlekler üretici tercihi ve kullanım alanlarına göre blok tekerlek gövdesi veya tekerlek bandajı şeklinde olabilmektedir. Tekerleklerin ray mantarına, kurb bölgelerine, makaslara ve atölye tabanındaki lift döndürücü vs ekipmanlara sürtünmesi sonucunda tekerlek profilinde aşınmalar meydana gelmektedir. Bu durum seyahat konforunu etkilediği gibi güvenliğini de tehlikeye atmaktadır. Bu tarz aşınmalarda izlenebilecek iki yol bulunmaktadır. Birinci durum; aracın ya da bojinin tekerlek tornasına alınması, tekerleklerin tornalanması ve sistem tasarımına uygun profile getirilmesidir. İkinci durum ise tekerleklerin değiştirilmesidir. Tekerlek değişimi esnasında işi yapan personelin iş güvenliğinin sağlanması önemlidir. Değişimi yapılan malzemelerin montaj veya de montajı sırasında kontrollü bir şekilde taşınması önemli bir konudur. Uygun teknik ve donanım ile yapılmaz ise personelin iş güvenliği tehlikeye atılabilir.

Uygulamada tekerlek değişimi için kullanılan farklı çalışma prensiplerine ve tasarımlara sahip sistemler bulunmaktadır. Yerleşik uygulamada ise bu işlemler bir adet elektrikli aks mengenesi, bir adet aks kutusu-rulman sökme ekipmanı ve bir adet tavan vinci kullanılarak yapılmaktadır.

Personel öncelikle rulman kutusunu sökmek için aks kutusu-rulman sökme ekipmanını kullanıma uygun duruma getirmek zorundadır. Sonrasında mengeneye sabitlenen aksa bu ekipmanı yaklaştırıp su terazisi ile eğim ayarını yapıp, dört adet saplama vidası ile sabitleyip hidrolik pres ile aks kutusunu sökmektedir. Bu ekipman aks kutusu ile rulman dış bileziğini birlikte çıkartabilir, bu da rulmanın kullanılamaz hale gelmesine sebebiyet vermektedir. Ayrıca tekerlek bandajı sökümü esnasında, bandaj ağırlığı sapan kullanılarak tavan vinci yardımı ile alınmaktadır. Tüm somunlar sökülüp tekerlek bandajı göbekten ayrılmak istenildiğinde sapan ile taşınan tekere kalas ile vurularak veya kastırılarak göbekten ayrılmasına çalışılmaktadır. Yeni tekerlek yine sapanla taşınarak tekerlek göbeğine

yerleştirilmektedir. Bu yöntem ile zaman kaybı ve iş gücü kaybı oluşmakta ve daha da önemlisi iş ve işçi güvenliğini tehlikeye atılmaktadır. Tüm bu işlemeler yapılırken sapanın kopması, söküm işlemi yapılırken darbe alan tekerleğin sapandan kurtulması, personelin sapanı tekerlek çevresine nizami sabitlemeyi başaramaması, vinç operatörünün hatası vb. olaylar sonucunda tekerleğin beklenmedik şekilde serbest kalıp düşmesi sonucu iş kazaları meydana gelmektedir.

Bu çalışmada değişim işleminin daha kısa sürede ve daha güvenli şekilde gerçekleştirilebilmesi, iş yükünün hafifletilebilmesi, iş güvenliği risklerinin en aza indirilebilmesi için hidrolik pistonlu bir tekerlek grubu sökme/takma ekipmanı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilecektir.

Tasarımını ve imalatı yapılan ekipman; ikisi hareketli üç koldan oluşan tekerlek kavraması, hareketli iki koldan oluşan aks kutusu kavrayıcı, aks tepesine basacak bir metal kafa, pres ile sökme takma işlemini sağlayacak bir hidrolik piston, bu pistonu çalıştıracak bir hidrolik güç ünitesi ve bütün sistemi taşıyan tekerlekli bir şasiden oluşacaktır.

**TEŞEKKÜR**

Bu çalışmanın her aşamasında bilgilerini benimle paylaşan ve çalışmamı yönlendiren danışman hocam Sayın Doç.Dr.Kerimcan ÇELEBİ'ye teşekkür ederim. Ayrıca desteklerinden dolayı, Sayın Prof.Dr.Abdulkadir YAŞAR'a, Sayın Prof.Dr.Mustafa ÖZCANLI'ya, her zaman yanımda olduğunu düşündüğüm yardımlarını esirgemeyen Yüksek Ziraat Mühendisi Hüseyin GÜCÜM'e katkıları ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER** **SAYFA**

ÖZ ..... I
ABSTRACT ..... II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET ..... III
TEŞEKKÜR ..... V
İÇİNDEKİLER ..... VI
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... X
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... XII
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... XIV
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Raylı Taşıtlar Hakkında Genel Bilgi ..... 2
1.1.1. Metro ..... 2
1.1.2. Hafif Raylı Sistem ..... 3
1.1.3. Cadde Tramvayı ..... 4
1.1.4. Monoray ..... 5
1.2. Raylı Sistemlerde Kaza Sebepleri ..... 6
1.2.1. Tekerlek Flanşının Tırmanması ..... 7
1.2.2. Ekartman Genişlemesi ..... 7
1.2.3. Rayın Devrilmesi ..... 8
1.2.4. Yol Altyapısının Kayması ..... 9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 11
3. TEKERLEK SETLERİ ve BAKIM ADIMLARI ..... 15
3.1. Tekerlek Setleri ..... 15
3.2. Raylı Sistem İşletmeciliğinde İstenmeyen Tekerlek Aşınmaları ..... 16
3.2.1. Apleti ..... 16
3.2.2. Form Bozukluğu ..... 17
3.2.3. Tekerlek Aşınması ..... 17
3.3. Tekerlek Profilinin Korunması ..... 18

3.3.1. Tekerlek Tornalama ..... 19
3.3.1.1. Ana Gövde ..... 19
3.3.1.2. Sütun ..... 20
3.3.1.3. Sürücü Kafaları ..... 20
3.3.1.4. Aks Kutusu Desteği ..... 20
3.3.1.5. Sabitleme Kolları ..... 20
3.3.2. Tekerlek Değişimi ..... 21
3.3.2.1. Tekerlek Değişim Adımları ..... 22
3.3.2.2. Boji Sökme ..... 22
3.3.2.3. Tekerlek Takımının Sökülmesi ..... 26
3.3.2.4. Tekerlek Takımının Mengeneye sabitlenmesi ..... 27
4. TASARIM ..... 29
4.1. Mekanizmanın Seçimi ..... 29
4.1.1. Taşıyıcı Kaide ..... 31
4.1.2. Aks Kutusu Kavrama Kolları ..... 31
4.1.3. Tekerlek kavrama kolları ..... 32
4.1.4. Hidrolik Piston ..... 33
4.1.5. Değişken Debili Hidrolik Güç Ünitesi ..... 34
4.2. Kuvvetlerin Analizi ..... 34
4.2.1. Kuvvet Hesabı ..... 35
4.2.1.1. Aks Kutusu Sökme Güç Hesaplamaları ..... 36
4.2.1.2.. Hidrolik Piston Güç Hesaplamaları ..... 42
4.2.1.3. Piston Hesaplamaları ..... 44
4.3. Elemanların Tasarımı ..... 45
4.3.1. Sonlu Elemanlar Analiz (SEA) ..... 45
4.3.2. Uygulanacak Analiz Türünün Belirlenmesi ..... 46
4.3.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması ..... 46
4.3.4. Geometrinin Oluşturulması ..... 47
4.3.5. Parçalar Arasındaki Temas/Kontak Durumları ..... 49

4.3.6. Mesh Detayları ..... 50
4.3.7. Sınır Şartların, Başlangıç Şartların ve Yüklerin Uygulanması ..... 53
4.3.8. Problemin ANSYS Workbench ile Çözümü ve Sonuçları ..... 53
4.4. Çizimin Hazırlanması ..... 56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 59
KAYNAKLAR ..... 61
ÖZGEÇMİŞ ..... 65
EKLER ..... 67

**ÇİZELGELER DİZİNİ** **SAYFA**

Çizelge 4.1. Radyal rulmanların yataklarla geçme toleransları ..... 36
Çizelge 4.2. Radyal rulmanların şaftlarla geçme tolerasnları ..... 37
Çizelge 4.3. Radyal bilyeli rulmanlarda önerilen mil toleransları ..... 37
Çizelge 4.4. Mid Delik çaplarına göre tolerans değerleri ..... 38
Çizelge 4.5. Yük şekline göre eksenel yatakların montajı için toleranslar ..... 39
Çizelge 4.6. EKÖ EBÖ hesaplama ..... 39
Çizelge 4.7. Hidrolik sistem özellikleri ..... 43
Çizelge 4.8. Hidrolik pompa valf çalışma prensibi ..... 43
Çizelge 4.9. PE17 hidrolik sistem basınç yağ debisi grafiği ..... 44

**ŞEKİLLER DİZİNİ** **SAYFA**

Şekil 1.1. Metro treni ..... 3
Şekil 1.2. Hafif Raylı Sistem Aracı ..... 4
Şekil 1.3. Cadde Tramvayı ..... 5
Şekil 1.4. Monoray ..... 6
Şekil 1.5. Ekartman genişlemesi senaryosunda tekerlek-ray geometrisi ..... 8
Şekil 1.6. Ray devrilmesi veya ekartman genişlemesi sonucu raydan çıkma ..... 8
Şekil 3.1. Tekerlek seti ..... 15
Şekil 3.2. Tekerlek profili bölgesel görünümü. ..... 16
Şekil 3.3. Apleti örneği (a) ..... 17
Şekil 3.4. Tekerlek profili aşınması ..... 18
Şekil 3.5. Zemin altı tekerlek torna ön görünüş ..... 19
Şekil 3.6. Zemin altı tekerlek torna izometrik görünüş ..... 21
Şekil 3.7. Tekerlek Takımları ..... 22
Şekil 3.8. Hat frenlerinin yerlerine sabitlenmesi ..... 23
Şekil 3.9. Hat freni (ray freni) mesnedinin sökülmesi ..... 24
Şekil 3.10. Topraklama kablolarının çıkarılması ..... 24
Şekil 3.11. Aks kutusu hız sensörünün çıkarılması ..... 25
Şekil 3.12. (1) Fren serbest bırakma ..... 25
Şekil 3.13. Dişli kutusu ..... 26
Şekil 3.14. Karşılama çubuğu ve emniyet levhasının sökülmesi ..... 26
Şekil 3.15. Gergi çubuğunun sökülmesi ..... 27
Şekil 3.16. Bojinin yana yatmasının engellenmesi ..... 27
Şekil 3.17. Tekerlek grubu aks mengenesi üzerine taşınması. ..... 28
Şekil 3.18. Aksın havalı somun sıkma ile mengeneye sabitlenmesi. ..... 28
Şekil 3.19. Söküme hazır bandaj ve aks kutusu. ..... 28
Şekil 4.1. Aks Tekerlek Grubu sökme ekipmanı izometrik görünüm. ..... 30
Şekil 4.2. Aks kutusu ve tekerlek bandajı sökme aparatı taşıyıcı kaide. ..... 31

Şekil 4.3. Aks kutusu sökme aparatı tasarım görünümü. ..... 32
Şekil 4.4. Tekerlek bandajı sökme aparatı tasarım görünüm. ..... 33
Şekil 4.7. Sadeleştirilmiş Aks Kutusu Sökme Ekipmanı ..... 48
Şekil 4.8. Kontakların oluşturulması ..... 50
Şekil 4.9. Aks Kutusu Sökme Ekipmanı için Mesh Görüntüsü ..... 51
Şekil 4.10. Uygulanan kuvvetler ve sınır şartları. ..... 53
Şekil 4.11. Von Mises Gerilmeleri..... 54
Şekil 4.12. Toplam Deformasyon 1 ..... 55
Şekil 4.13. Güvenlik Katsayısı..... 55
Şekil 5.1. İmalatı yapılan ekipman prototipi..... 60

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| | | |
|---|---|---|
| Z | : | Yüzey pürüzlülükleriin ezilmesi sonucu kaybolan sıkılık (µm) |
| $R_m$ | : | Pürüz yüksekliği mil (µm) |
| $R_{zg}$ | : | Ortalama pürüz yüksekliği göbek (µm) |
| $R_{tm}$ | : | Maksimum pürüzlükük derecesi mil (µm) |
| $R_{am}$ | : | Pürüzlülük aritmetik ortalama mil (µm) |
| $R_{ag}$ | : | Pürüzlülük aritmetik ortalama göbek (µm) |
| Δd* | : | Gerçek sıkılık değeri (µm) |
| Δd | : | Teorik sıkılık değeri (µm) |
| Δdmax | : | Teorik maksimum sıkılık değeri (µm) |
| Pmax | : | Maksimum yüzey basıncı ($N/mm^2$) |
| E | : | Elastisite modülü ($N/mm^2$) |
| Qg | : | Gerilme genliği |
| rgi | : | Göbek iç çap (mm) |
| rgd | : | Göbek dış çap (mm) |
| Famax | : | Maksimum eksenel yük |
| µ | : | Sürtünme katsayısı |
| d | : | Yatak çapı |
| L | : | Yatak genişliği |
| $S_{max}$ | : | Maksimum sıkılık |
| $F_i$ | : | İtme Kuvveti (kg) |
| P | : | Pompa basıncı (Bar) |
| $A_i$ | : | Piston boru alanı ($cm^2$) |
| $D_p$ | : | Piston Boru Çapı (cm) |
| FEA | : | Finite Element Analysis (Sonlu Eleman Analizi) |
| Derayman | : | Raylı sistem aracının işletim esnasında raydan çıkması. |

| | | |
|---|---|---|
| Katener | : | Elektrikli cer temas hava hatları. Taşıta enerji aktarılmasını sağlayan temas hattı. |
| Boji | : | Cer aracı yürüyüş takımı. |
| Tekerlek Flanşı | : | Raylı sistemler taşıtını ray klavuzlaması ile yönlendirmeye yarayan teker çıkıtısı. |
| Ekartman | : | Ray açıklığı. |
| Ray profili | : | Rayın baş kısmından bakıldığındaki şekil. |
| Tekerlek Profili | : | Tekerlek kesitine kesit alanından bakıldığındaki şekil. |
| Kurb | : | Rayın eğri şeklinde döşenmiş dönüş kısmı. |
| Vatman | : | Tren sürücülerine verilen isim. |
| Boden | : | Ray yüzeyine basan tekerlek profili. |
| Torna Sürücü Kafaları | : | Torna sırasında tekerleği çeviren aksamlar. |
| Odometre | : | Tren tekerleği kilometre sayacı. |
| Treyler Boji | : | Cer motor tahriki bulunmayan boji. |
| ATP Takometresi | : | Tren sürüş kontrol sistemi hız ölçeri. |
| Motorlı Boji | : | Cer motor tahriki bulunan boji. |
| Tekerlek Bandajı | : | Monoblok olmayan tren tekerleklerinde tekerlek göbeğine montajı yapılan çember şeklindeki tekerlek. |
| Aparat | : | Tren tekerlek grubu aks ve tekerlek bandajı söküm işlemi için kullanılan makine. |
| Ankraj | : | Birşeyi kendisinin ardındaki daha sağlam ve stabil bir yere gömme, sabitleme işlemi. |

# 1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında yolcu ve yük taşımacılığının önemi her geçen gün artmakta, bu artış büyük bir rekabet ortamını beraberinde getirmektedir.

Bu rekabeti etkileyen unsurlar hız ve konfor ile sınırlı kalmamakta, ekonomik, emniyetli, yüksek kapasiteli ve çevreci ulaşım tercihleri de devreye girmektedir. Demiryolu ulaşımı bu noktada diğer ulaşım yöntemlerinden bir adım öne çıkmaktadır.

Demiryolları çalışanları bakımından operatör iş güvenliği ve sağlığı riski, teknik sistem güvenilirliği, çevresel riskler ile üçüncü şahısların can ve mal güvenliğinin sağlanması için iş ve işçi güvenliği konularında ciddi çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Demiryolu kazaları genel olarak tren çarpışması, hemzemin geçit kazaları, derayman, trenden düşme ve trenin şahsa çarpması, trende yangın şeklinde sınıflandırılmıştır (Eurostat, 2012). Ancak sektör bir bütün olarak değerlendirildiğinde iş sağlığı ve güvenliği sisteminin bakım ve onarım işlerini, acil durum prosedürlerini, temizlik işlerini, işyeri denetimini ve düzenli kontrollerini, tesisin muayene ve test aşamalarını, çalışma ortamı gözetimini de kapsaması gerekir (Hutter, 2001).

Hollis, E. J., çalışmasında İngiltere'nin farklı şehirlerinde bulunan demiryolu işletmelerinde kullanılan tekerlek ve ray profilleri incelemiştir. Bu çalışmalarda tekerlek aşınması, hattın karakteristik özellikleri ve raydan çıkma etkenleri gözden geçirilerek ray profil karşılaştırmaları yapılmıştır (Hollis, E. J., 2006). İhtiyaç duyulan tekerlek profili iyileştirmeleri için öncelikle tekerlek ve ray profili ölçülmüştür. Temas eden tekerlek ve ray yüzeylerinde gerilme azaltılınca viraj (kurb) bölgelerinde zorlanmanın azaldığı görülmüştür. Kurbtan dönüş yapılırken tekerlekler arasında gerekli çap farkının sağlanması için ihtiyaç duyulan yanal hareketin hesaplamaları üzerine çalışmalar yapılmıştır (Wolf, G**.,** 2011).

Emniyetli ulaşım hizmeti için bakım ve onarımın önemi demiryollarında da öne çıkmaktadır ve bu alanda birçok sağlık ve güvenlik riski bulunmaktadır. Eurostat-ESAW (Avrupa İş Kazası İstatistikleri) verilerine göre tüm kazaların yaklaşık % 15-20'si ve tüm ölümlü kazaların % 10-15'inin (ülkeye bağlı olarak) bakım faaliyetleri ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir (Osha, 2014).

Bu çalışmada özellikle taşımacılığın konforlu, güvenli ve kesintisiz yapılabilmesinde büyük katkısı olan raylı sistem araçlarının bakım ve onarımını gerçekleştiren çalışanların iş sağlığı ve güvenliği risklerini azaltmak, proseslerin daha kısa sürede daha az iş gücü ile daha güvenli tamamlanmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaca yardımcı olması için Tren Aks Grubu Sökme Takma Ekipmanı tasarlanmıştır.

## 1.1. Raylı Taşıtlar Hakkında Genel Bilgi

Kent içi raylı sistemler sınıflandırılırken en önemli kriter sistemin yolcu kapasitesidir. Ticari hız, bir dizindeki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi, karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatinde dizin çalıştırma sıklığı gibi parametreler kapasite ile ilişkili olan faktörlerdir.

Kent içi raylı sistemleri; yolcu taşıma kapasitesi, topografik yapı, yatırım maliyeti vb unsurlar göz önüne alındığında dört ana başlıkta sınıflandırabiliriz.

### 1.1.1. Metro

Yolcu taşıma kapasitesi 60.000 - 70.000 yolcu/yön olan kent içi raylı toplu taşıma sistemidir. Ray açıklığı çoğunlukla 1435 mm'dir. Değişken araçlı diziler halinde yolcu taşımacılığı yapabilen, sinyalizasyon sistemi kontrolünde işletilen, enerjisi katener veya üçüncü ray hattından sağlanabilen ve 70-90 km/h ortalama hız ile işletilen kent için raylı sistemlerdir Büyük şehirlerde yüksek yolculuk taleplerinin olduğu bölgelerde tercih edilirler. Diğer demiryolu araçlarına göre altyapı yatırım

maliyeti daha yüksektir. Özellikle kalabalık şehirlerde yüzeyde demiryolu için ayrılacak alanlar bulunamadığı durumlarda tercih edilirler (Şekil 1.1.).




Şekil 1.1. Metro treni

### 1.1.2. Hafif Raylı Sistem

Yolcu taşıma kapasitesi 30.000-35.000 yolcu/yön civarında olan kent içi raylı toplu taşıma sistemleridir. Ray açıklığı çoğunlukla 1435 mm dir. Enerji 750 V DC veya 1500 V AC olarak katener veya üçüncü ray hattından sağlanır, sinyalizasyon sistemi ile koordineli şekilde vatman tarafından kumanda edilir, aracın tamamen sinyalizasyon sistemi ile kontrol edildiği uygulamalarda mevcuttur, ortalama hızı 60-80 km/h olan sistem kendine ait hat üzerinde işletilir. Bu hatlar çevre koşullarına göre hemzemin, viyadük, yarma ve tünellerden geçebilmektedir (Şekil 1.2.).




Şekil 1.2. Hafif Raylı Sistem Aracı

### 1.1.3. Cadde Tramvayı

Yolcu taşıma kapasitesi 10.000-15.000 yolcu/yön civarında olan kent içi raylı toplu taşıma sistemleridir. Ray açıklığı çoğunlukla 1435 mm dir. Enerji 750 V DC olarak katener hattından sağlanır. Diğer sistemlerden farklı olarak şehir içi karayolu trafiği ile aynı alanda, trafik ve çevre şartlarına göre vatman kontrolünde işletilen raylı toplu taşıma sistemidir. Cadde tramvaylarında daha sık iniş biniş olduğundan metro ve hafif metroya göre istasyon arası mesafeler daha kısadır. Karayolu ile aynı seviyede döşenen raylar üzerinde hareket ettiğinden, mevcut karayolu trafik düzenine uymak zorunda olup tramvaylara geçit ve kavşaklarda karayolu araçlarına göre geçiş üstünlüğü sağlanmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Cadde Tramvayı

### 1.1.4. Monoray

Orta kapasiteli taşımacılıkta genellikle üniversite kampüsü ve havalimanı gibi alanlarda yolcu transferi için kullanılır. Genellikle zeminden yükseltilmiş tek bir ray üzerinde hareket eder. Kara yolu trafiğinden ayrışmış bir güzergâhta hareket ettiğinden kaza riski oldukça düşüktür. Diğer raylı sistemlerin aksine kauçuk tekerlekler ile raya tutunma sağlar. Kauçuk tekerlekler trenin daha dar kurblardan dönebilmesine ve daha dik eğimlere tırmanabilmesine olanak sağlar (Şekil 1.4.).




Şekil 1.4. Monoray

## 1.2. Raylı Sistemlerde Kaza Sebepleri

Demiryolu işletmeciliğinde karşılaşılan en ölümcül kazalar trenin raydan çıkması halinde yaşanmaktadır. Bu yüzden raydan çıkma durumu demiryolu işletmeciliğinin ilk gününden günümüze kadar en önemli endişesi olmuştur. Tren kazaları ana sebepleri şu şekilde sıralanabilir (Iwnicki, S., 2006).

- Ray, bağlantı elemanı, ankraj
- Yol geometri hatası
- Genel manevra kuralları
- Tekerlekler
- Akslar ve rulmanlar
- Makaslar
- Makas elemanları
- Boji bileşenleri
- Araç yapısı

- Hemzemin geçit

Raydan çıkma, yanal kılavuzlamanın kaybolduğu durumdur ve 4 gruba ayrılır (Iwnicki, S., 2006).

- Tekerlek flanşının tırmanması
- Ekartman (ray açıklığı) genişlemesi
- Rayın devrilmesi
- Yol altyapısının kayması

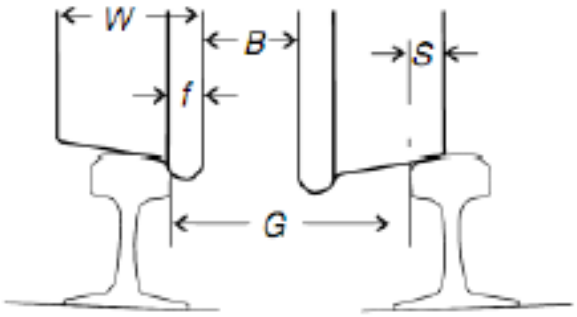
### 1.2.1. Tekerlek Flanşının Tırmanması

Genellikle yanal sınırlandırma kuvvetlerinin maksimum olduğu kurb (dönüş) bölgelerinde görülmektedir, tekerleğin dış raya çarpması ve kılavuzlamayı kaybetmesi sonucu oluşur. Bu durumda tekerlekteki yanal kuvvetin dikey kuvvete oranı (L/V) kurb yarıçapına, tekerlek-ray profiline, süspansiyon karakteristiğine ve araç hızına bağlıdır. Yüksek yanal kuvvetler trenin dönüş aldığı kurb bölgeleri, makas ayrımı gibi atak açısının fazla olduğu durumlarda oluşur. Düşük dikey kuvvetler ise, yük dağılımının eşit olmadığı, çeşitli yol düzensizliği altında veya yuvarlanma rezonansı gibi durumlarda meydana gelir. Bu koşullar altında L/V oranı artar. Ayrıca raydan çıkma durumu, gezinme veya agresif frenleme gibi durumlarda düz yolda da gerçekleşebilir. Tekerlek setlerinin düzenli bakım ve onarımları bahsi geçen riskleri ortadan kaldırır ve güvenli bir taşıma hizmeti sunulmasına imkân tanır.

### 1.2.2. Ekartman Genişlemesi

Tekerleğin flanş bölgesinde kalınlığın azalması, rayı sabitleyen bağlantı elemanlarının zayıflaması, tekerlek yada rayda müsaade edilen toleransların üzerinde aşınma görülmesi gibi durumlar ekartman genişlemesine sebep olur.

Ekartman genişlemesi tekerlek ve ray geometrisi ve bunların birbirine göre durumu ile ilgilidir. Tekerlek düşmesi senaryosunu (Şekil 1.5) ifade eden eşitlik şu şekildedir:

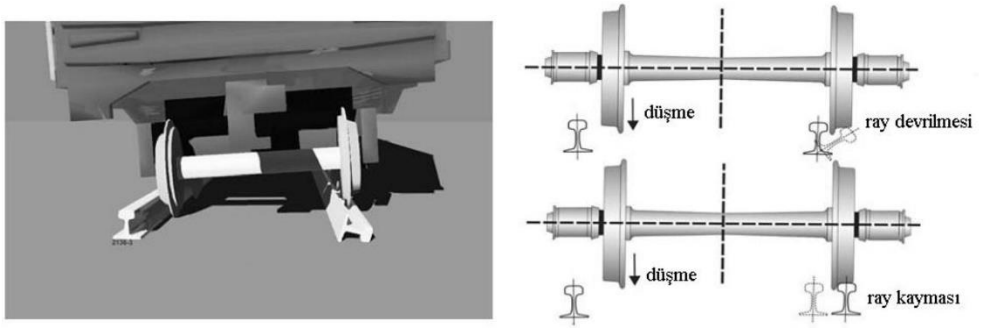



Şekil 1.5. Ekartman genişlemesi senaryosunda tekerlek-ray geometrisi (Özer, A., 2012)

$$( B + W + f ) – G > S \quad (1.1)$$

### 1.2.3. Rayın Devrilmesi

Ray devrilmesi ve ray ekseninin kayması raydan çıkmaya sebep olur. Yanal kuvvetlerin yüksek olması ekartman genişlemesine veya rayın devrilmesine sebep olur. Bu durumda flanşlama yapamayan tekerlek raydan düşer (Şekil 1.6).




Şekil 1.6. Ray devrilmesi veya ekartman genişlemesi sonucu raydan çıkma (Özer, A., 2012)

### 1.2.4. Yol Altyapısının Kayması

Raylar yeni döşenmiş ise, bakımı yeni yapılmış ise veya zayıf döşenmiş ise rayların yanal kuvvetlere direnci azdır ve genellikle balast ve aynı zamanda ray ve traversten oluşan ray panelinin birbirinden ayrıldığı gözlenir. Yol panelinin yanal kuvvete direnci, yol yanal dayanımına bakılarak ölçülür. Dolayısı ile eğer altyapı yumuşak ise ray panelinin serbestçe kayması kaçınılmaz olacaktır. Özellikle hızın artması, dengesiz yük dağılımı ve ani ivmelenme-frenleme gibi durumlarda dengelenemeyen kuvvetlerin artmasına ve ray panel kaymasına sebep olur.

# 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Raylı sistem taşımacılığı çok uzun süredir bir çok ülkede kullanıldığından tekerlek ray profil ilişkisi, ray ve tekerlek aşınması, bu aşınmaların raylı sistem işletmecilerine getirdiği riskler ve alınabilecek önlemler ile ilgili birçok araştırma yayınlanmıştır. Aşağıda konu ile ilgili araştırmaların bazıları sıralanmıştır.

Özsaraç, Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçalarının Aşınma ve Yorulma Davranışlarının incelemiştir. Tekerlek bandajının ray üzerinde gerçekleştirdiği hareketi yuvarlanmalı-kaymalı hareket olarak tarif etmiştir. Tekerlek bandajının ve rayların sürtünme ve aşınma miktarları, çalışma sırasında maruz kalacağı temas gerilmeleri ile hesaplanmıştır (Özsaraç, U., 2005).

Ertekin, Tekerlek ve Ray Etkileşiminin Modellenmesi ve Analizi çalışmasında tekerlek ray arasındaki temas problemi, bu alandaki temasın analizi ve sabit yuvarlanmalı temaslarda gerilim dağılımı konuları ayrıntılı olarak incelenmiştir (Ertekin, E., 2021).

Di Zhang ve ark., Railway Train Wheel Maintenance Model and Its Application yayınında tekerlek bakımının işlemlerinin optimizasyonu, bu bakımın güvenli demiryolu işletimine etkileri, bakım modellemeleri ve tekerlek geometrisi ayrıntılı şekilde incelenmiştir (Zhang, D., ve ark, 2014).

Eroğlu, Raylı Sistemlerde Ray ve Teker Arasındaki Temas Analizinin ANSYS Workbench Ortamında İncelenmesini çalışmış, tekerlek üretim aşamaları, malzemeleri, tekerlek ile ray arasındaki temas analizi ve gerilim dağılımı incelemiştir (Eroğlu, M., 2014).

Özdemir, Ray Tekerlek Temas Parametrelerinin İncelenmesinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak ray tekerlek teması, temas alanında oluşan yüzey gerilmeleri ve ray üzerinde oluşan geometrik şekil değişimleri konuları üzerinde durmuştur (Özdemir, Y.,2020).

Özer, Tekerlek Profillerinin Raylı Taşıt Dinamiğine etkisini tekerlek setleri, raylar, temas ve sürtünme bölgeleri, saydan çıkma durumu ve raydan çıkma başlıklarında ele almış, etki faktörlerini incelemiştir (Özer, A., 2012).

Kabo çalışmasında demiryolu işletme gereksinimleri, tren tekerleklerinde kritik ve güvenli seviyeler, tekerlek aşınma ve hasarları, tekerleğe yeniden profil kazandırılması konuları araştırmıştır (Kabo, E. ).

Göçener, tren kazalarının sınıflandırılması ve alınabilecek önlemler, trenin raydan çıkması ve demiryolu güvenliği konularını irdelemiştir (Eurostat, 2012).

Atamert S. ve Stekly J.J., tekerlek aşınmalarını gidermek için dolgu kaynağı ile onarım için takip edilmesi gereken adımları sunmuştur (Atamert S., Stekly J.J., 1995).

Krause H. ve Pool G., tekerlek ile ray arasında sürtünme kaynaklı plastik deformasyonlar ve etkilerini ayrıntılı olarak ortaya koymuştur (Krause H., 1986).

Komanduri R., tren işletiminde tekerlek ve ray yüzeyinde oluşan aşınmaların azaltılmasına yönelik malzeme çalışmaları yapmıştır (Komanduri R., 1997).

Hollis, çalışmasında hat karakteristiğinin tekerlek aşınmasına ve raydan çıkmasına etkilerini incelemiştir (Hollis, E. J., 2006).

Wolf, G., tekerlek profili iyileştirmelerinin kurb bölgelerindeki gerilime etkilerini ve yanal kuvvetlerin hesabı üzerine sonuçlar vermiştir (Wolf, G**.,** 2011).

Hiensch ve ark., asimetrik ray profili kullanılarak kurb bölgelerinde sürtünmenin ve çınlamanın azaltılması üzerine çalışmalarını yayınlamıştır (Hiensch, M. ve ark, 2006).

Enblom, R., tekerlek temas profilinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapmıştır (Enblom, R**.,** 2004).

Prahl F. ve ark., aşınma sonucunda tekerlek bandajının tornalama işlemi ile profil kazandırılarak yeniden işletilmesi konularını incelemiştir (Prahl F., 2021).

Tyfour W.R. ve ark., sürtünme ve gerilmelerin malzeme yüzeyinde yarattığı deformasyonu, deformasyonun etkilerini sunmuştur (Tyfour W.R., 1995).

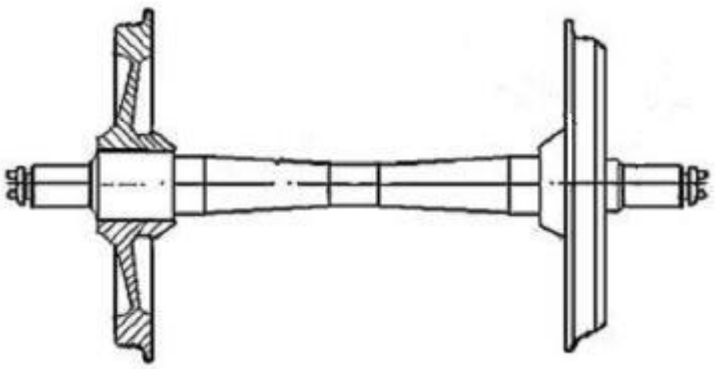
Kapoor A., tekerlek yüzeyine uygulanan gerilmeler sonucunda oluşan plastik deformasyonları araştırmış ve sonuçlarını tartışmaya sunmuştur (Kapoor A., 1997).

# 3. TEKERLEK SETLERİ ve BAKIM ADIMLARI

## 3.1. Tekerlek Setleri

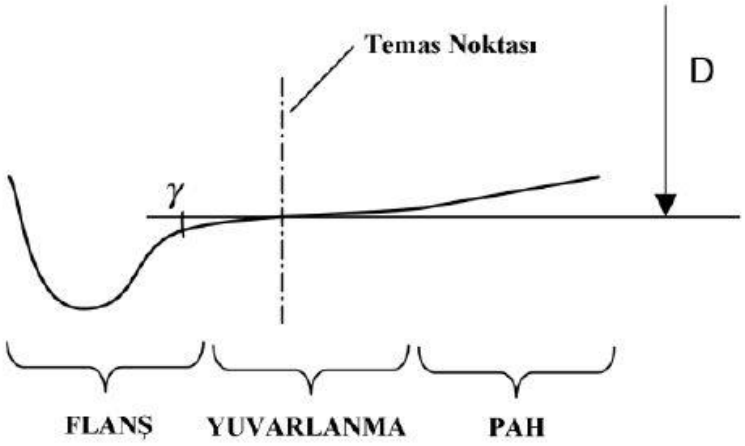
Zaman içerisinde, tren tekerleği ve ray profilinin aşınması, tekerlek formlarının bozulması olası bir durumdur. Aynı trende bulunan tekerleklerin aşınma oranı birbirlerinden farklı olabilir. Bu farklılık ağırlık dağılımı, tekerleklerin konumu ve seyahat yönü vb. çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Örneğin peron uzunluğundan dolayı yolcular orta vagonu ya da ortadaki aracı tercih etme eğilimindedirler.

Tekerlek seti taşıyıcı aksa iki adet tekerlek göbeğinin rijit montajı ile elde edilir. Aracın ivme ve fren ihtiyacı raya tekerlek seti ile iletilir aynı zamanda ray açıklığı içindeki hareket sınırlamasını (kılavuzlama) sağlar (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tekerlek seti (Iwnicki, S., 2006)

Hareket sınırlamasını belirleyen ana unsur tekerlek profilidir. Bu profil aracın ağırlığına, işletme hızına, işletme hattının ray profiline, minimum kurb yarıçapına göre belirlenir (Şekil 3.2.).




Şekil 3.2. Tekerlek profili bölgesel görünümü. (Iwnicki, S., 2006)

Tekerlek profili şekil 3.2'de gösterildiği gibi flanş, yuvarlanma ve pah bölgelerinden oluşmaktadır. Yuvarlanma bölgesinden flanş bölgesine geçişte görülen eğim, koniklik ( γ ) olarak adlandırılır. Bu eğim kurb bölgelerinde iki teker arasında çap farkı oluşturur ve diferansiyel olmaksızın rahatça dönüş yapılmasına olanak sağlar. Flanş ise tekerlekleri ray içerisinde tutarak kılavuz görevi görür. İşletme şartlarına bağlı olarak istenmeyen bir takım tekerlek aşınmaları yaşanabilir.

Kurb bölgelerinde dönüş alırken artan sürtünmeden kaynaklı kurb çınlaması olarak tabir edilen bir ses çıkmaktadır. Kurb çınlamasını azaltmak adına asimetrik ray profili ile çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların amacı yanal sürtünmeleri mümkün olduğunca azaltmak temas noktasını flanş tarafına kaydırmaktır (Hiensch, M. ve ark, 2006). Ayrıca tekerlek temas profilini iyileştirerek bakım periyodlarının uzatılması yönünde çalışmalar yapılmıştır (Enblom, R**.,** 2004).

## 3.2. Raylı Sistem İşletmeciliğinde İstenmeyen Tekerlek Aşınmaları

### 3.2.1. Apleti

Ray üzerinde bulunan yabancı bir maddenin tekerlek yüzeyine yapışarak ezilmesi ve zamanla yüzeyden parça kopartması şeklinde oluşur. Hareket halinde trende istenmeyen ses ve sarsıntılara yol açar (Şekil 3.3).



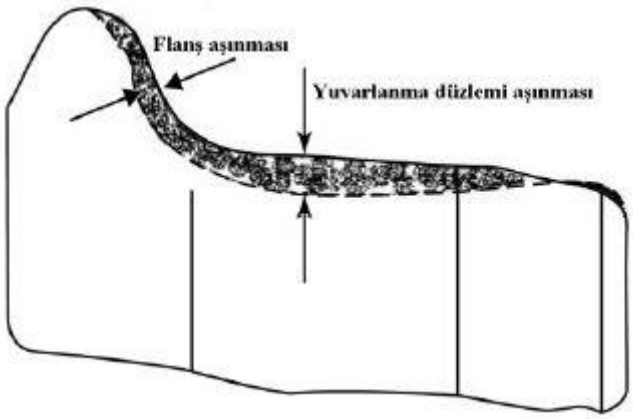
Şekil 3.3. Apleti örneği (a)

### 3.2.2. Form Bozukluğu

Kurb bölgelerinde ekartman açıklıklarının orantısızlığı, kurb eğiminin bozulması ve makaslarda meydana gelen aşınmalar sürücünün bu bölgelere aşırı hızlı veya ani fren ile girmesi sonucu zamanla tekerleğin yuvarlak formunda bozulmalara neden olur. Sonuç olarak tren hareket halinde iken rahatsız edici aynı zamanda tehlike arz eden zıplamalar meydana gelir. Bu problemin kesin tespiti zemin altı tren tekerlek tornasında ölçüm yapılarak sağlanır.

### 3.2.3. Tekerlek Aşınması

Tekerleğin yuvarlanma yüzeyi olarak belirtilen bölgesinde oluşan aşınma flanş yüksekliğini arttırır. Bu aşınma ile tekerlek yüzeyinin ray üzerinde hareket alanı genişler ve flanş aşınması ile flanşın kalınlığında azalma görülür (Şekil 3.4.). Birbirini tetikleyen bu durum risk teşkil eder. Periyodik ölçümlerle kritik seviyeler takip edilir.




Şekil 3.4. Tekerlek profili aşınması (Iwnicki, S., 2006)

Tüm bu problemlerin tespitinden sonra tekerlek çapları tornalama (kesme) işlemine müsaade edecek ölçülerde değil ise tekerlek değişimine başvurulur.

### 3.3. Tekerlek Profilinin Korunması

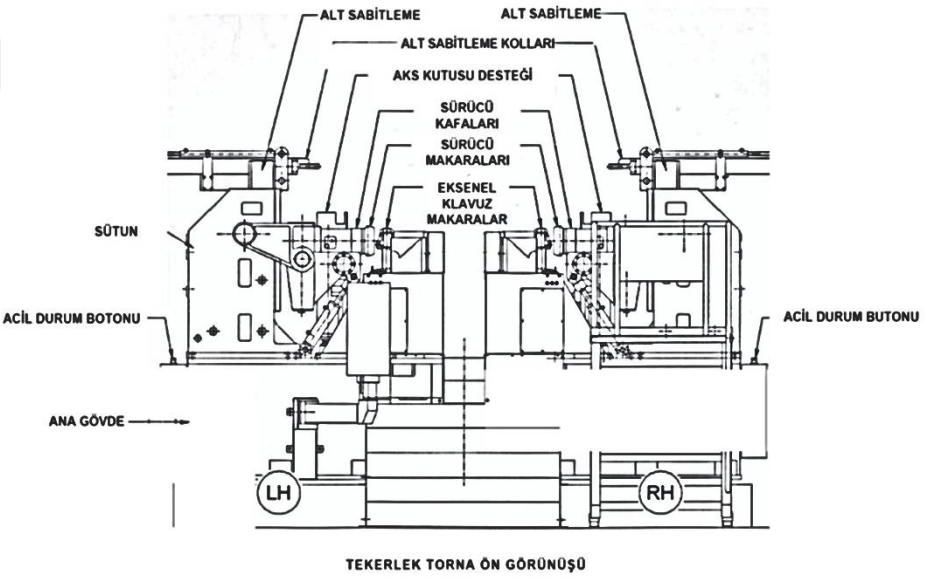
Tekerlek üreticileri güvenli sürüş sağlanabilmesi amacı ile belirli profillerde minimum-maksimum ölçüm değerleri belirlerler. İşletmeci rutin kontrollerle tekerlek ölçülerini belirlenen kritik değerler arasında olduğunu teyit etmek durumundadır.

Aşınma birden fazla hasar mekanizmasından oluşan bir durumdur. Adhezyon, abrazyon ve yorulma teker ve ray aşınmasına sebep olan unsurlardır. Temas yüzeyinde oluşan gerilmeler zamanla plastik deformasyona sebep olurlar. Zamanla artan deformasyon malzemenin sünekliğini kaybetmesine neden olur ve aşınma sonucu yüzeyden partiküller kopmaya başlar (Kabo, E. ).

Ölçümler sonucunda tekerlek ölçüleri kritik değerlerde ise izlenebilecek iki yol vardır;

### 3.3.1. Tekerlek Tornalama

Yeraltı tekerlek tornası tekerlekleri bojiden ayırmadan aşınan tekerlek profilini yeniden sağlamak için kullanılır. Talaş kaldırma yöntemi ile tekerlek dış çapını aşındırarak boden ve flanş profilinin yeniden tasarım sınırları içerisine sokulması hedeflenmektedir. Çalışmaya konu olan zemin altı tekerlek tornası "Siemens Sinumerik 840D" sistem ile kumanda edilmektedir (Şekil 3.5.– 3.6.).




Şekil 3.5. Zemin altı tekerlek torna ön görünüş (Backe, L., 2003)

#### 3.3.1.1. Ana Gövde

Zemine sabitlenmiştir ve gövde tüm yeraltı tekerlek torna bileşenlerini taşır. Bakım ve arıza durumunda rahatlıkla müdahale edilebilmesi için sökülebilir bölümler şeklinde tasarlanmıştır.

#### 3.3.1.2. Sütun

Sütunlar ana gövdenin sağına ve soluna yerleştirilmiştir. Torna sürücü kafalarını hareket ettirmek ve aracı sabitleme kolları ile tutmak için hidrolik basınç ile çalışır.

#### 3.3.1.3. Sürücü Kafaları

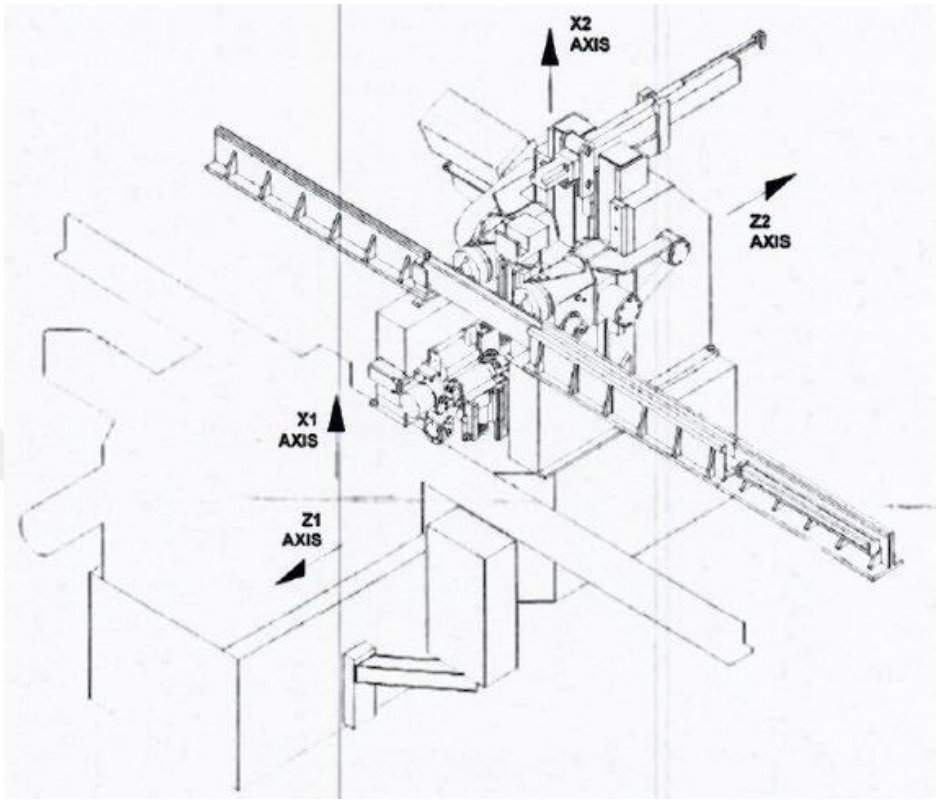
Sürücü kafaları ana sürücü motoru, sürücü şanzımanı, sürücü makaralarından oluşur. Tekerlek setini raydan yukarı kaldırıp sonrasında tornalama için aşağı indirebilir. Tornalama işlemi sırasında tekerlekteki form bozukluğunun yarattığı yanal ve dikey kuvvetleri absorbe eder. Ayrıca tekerlekte uygulanacak kesim (torna ile yüzey kaldırma) işlemi için gerekli döndürme kuvvetini sağlar. Tekerleğin çevrilebilmesi için ihtiyaç duyulan sürtünme kuvveti trenin ağırlığından, aynı zamanda sabitleme kollarının uyguladığı basınçtan sağlanır.

#### 3.3.1.4. Aks Kutusu Desteği

Sağ ve sol taraflarda bulunan aks kutusu destekleri aks rulman kutularını dıştan destekleyerek aracın ağırlığını taşır böylece operatöre tekerlekleri istediği referans bölgesine çekme imkânı sağlar.

#### 3.3.1.5. Sabitleme Kolları

Sabitleme kolları tornalama işlemi esnasında ihtiyaç duyulan ekstra ağırlığı akslara sağlamak üzere tasarlanmıştır. Böylece sürücü makaralarına ekstra sürtünme sağlanarak kesme işlemi esnasında tekerleklerin döndürülmesi sağlanır.




Şekil 3.6. Zemin altı tekerlek torna izometrik görünüş (Backe, L., 2003)

Tekerlek yüzeyinde veya profilinde istenmeyen aşınmalar meydana geldiğinde tornalama işlemi ile tekerleğe yeniden uygun profili kazandırmak hedeflenir. Tekerleklerin dış çapları tornalama işlemi sonrasında imalatçının belirlediği kabul edilebilir ölçüler içerisinde kalıyorsa tornalama yapılır. Tornalamaya müsaade edilmeyen çap ölçülerinde tekerlek bandajının değişimi gerekmektedir.

### 3.3.2. Tekerlek Değişimi

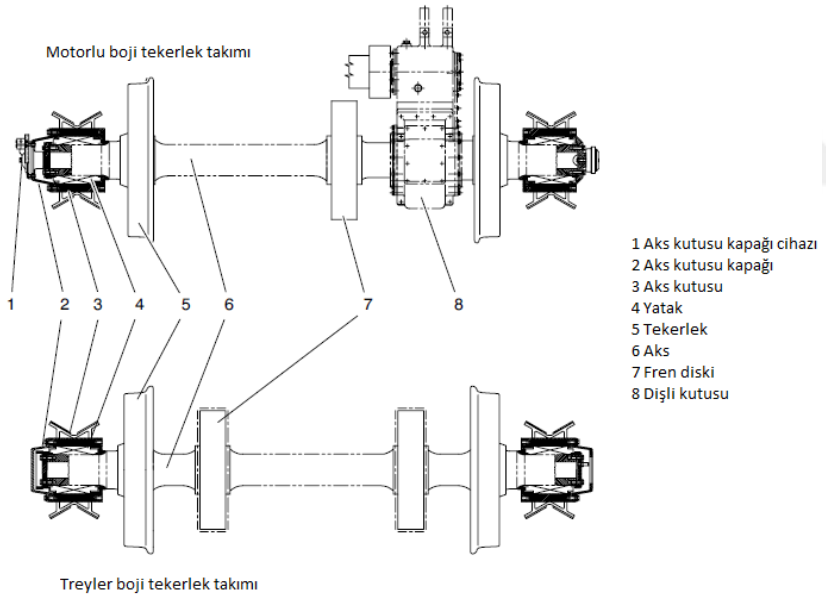
Mevcut tekerlek dış çapı tornalama işlemi sonrasında üreticinin belirlediği minimum çapı sağlayamıyorsa tekerlek değişimi tercih edilir.

### 3.3.2.1. Tekerlek Değişim Adımları

Tekerlek grubu ve boji ekipmanları Şekil 3.7'de verilmiştir. Tekerlek takımları, göbeğe monteli iki esnek tekerlekle (2) birlikte tek parça bir akstan ve göbeğe monteli bir fren diskinden (7) meydana gelir (Şekil 2.8). Motorlu bojinin tekerlek takımlarında ayrıca aksa ısı yolu ile sıkıca geçmiş dişli çark ile birlikte bir dişli kutusu (8) bulunmaktadır.

Motorlu bojideki dört aks kutusu kapağından (2) üçünde, topraklama cihazları (1) vardır. Geri kalan aks kutusu, bir tekerlek göbeği odometresi ile donatılmıştır.

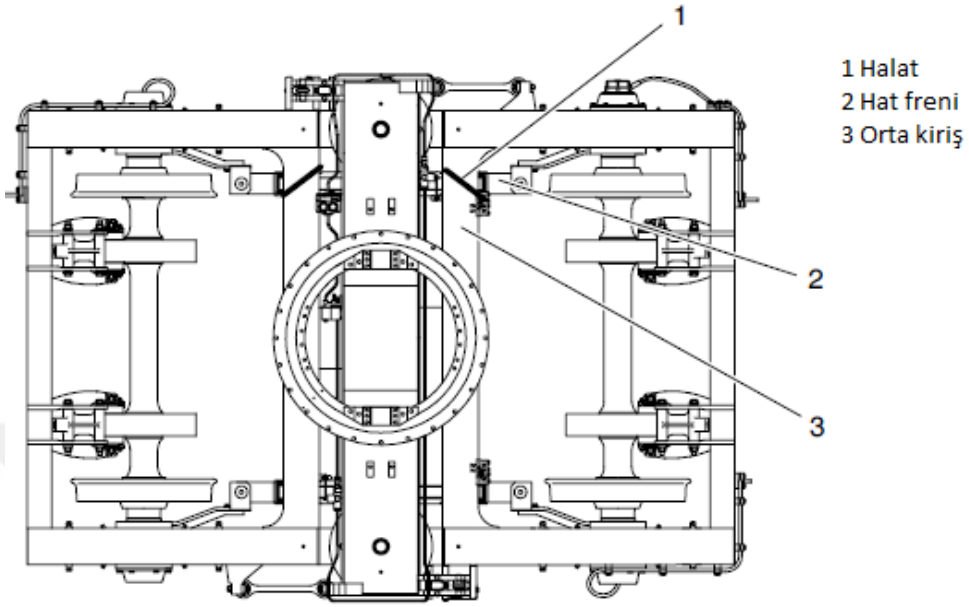
Treyler bojideki aksların her birinde, hız bilgisinin araç bilgisayarına iletilmesi için bir hız sensörü bulunur. Akslardan biri, ayrıca bir ATP takometresi ile donatılmıştır. Geri kalan kapaklarda hiçbir cihaz yoktur.




Şekil 3.7. Tekerlek Takımları (Backe, L., 2003)

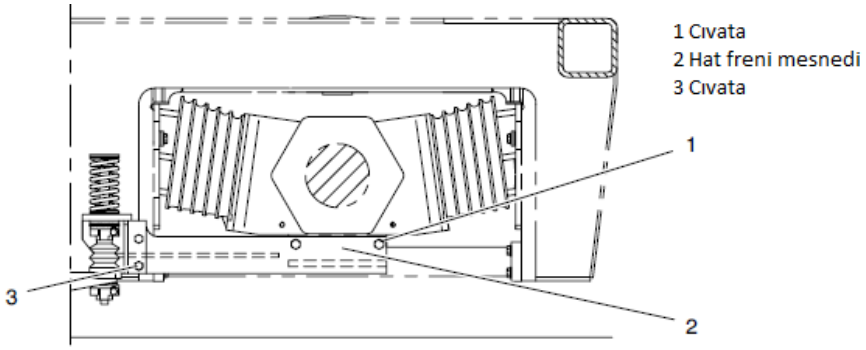
### 3.3.2.2. Boji Sökme

Motorlu veya treyler bojideki tekerlek takımlarını sökmek için, aşağıdaki adımlar uygulanır.



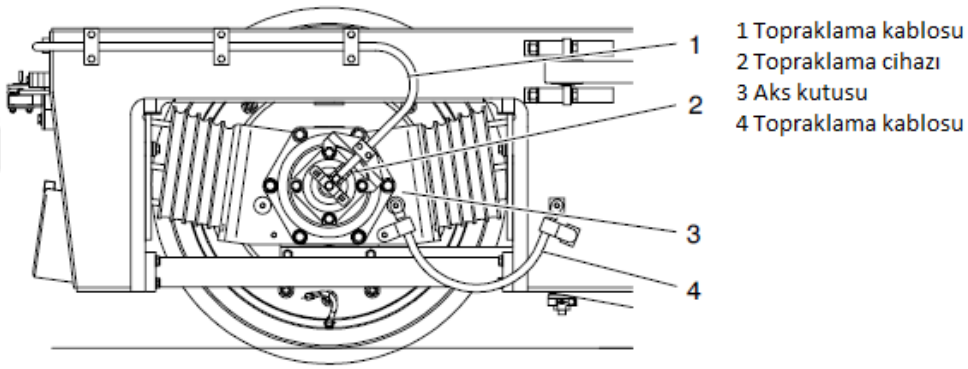

Şekil 3.8. Hat frenlerinin yerlerine sabitlenmesi (Backe, L., 2003)

1. Şekil 3.8'de (1) ile gösterilen naylon halat, şerit veya benzeri ile hat freni yerine sabitlenir. Halatı Şekil 3.8'de (3) ile gösterilen orta kirişin ve (2) ile gösterilen hat freninin çevresinden geçirilir.
2. Şekil 3.9'da (3) ile gösterilen Rondelalı iki adet lama cıvatası sökülür.
3. Şekil 3.9'da (2) ile gösterilen Mesnedi aks kutusuna sabitleyen, (1) ile gösterilen rondelalı dört adet cıvata sökülür.
4. Şekil 3.9'da (2) ile gösterilen Hat freni mesnedi sökülür.
5. Geri kalan hat freni mesnetleri için 1 ila 4. adımları tekrarlanır.



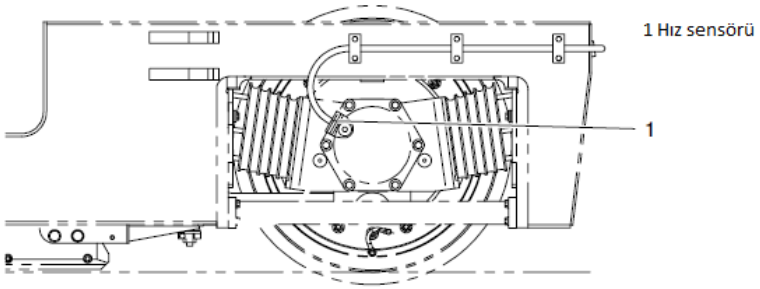

Şekil 3.9. Hat freni (ray freni) mesnedinin sökülmesi (Backe, L., 2003)

6. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.10'da (1) ve (4) ile gösterilen topraklama kabloları, (2) ile gösterilen topraklama fırçalarından ve (3) ile gösterilen aks kutularından ayrılır.



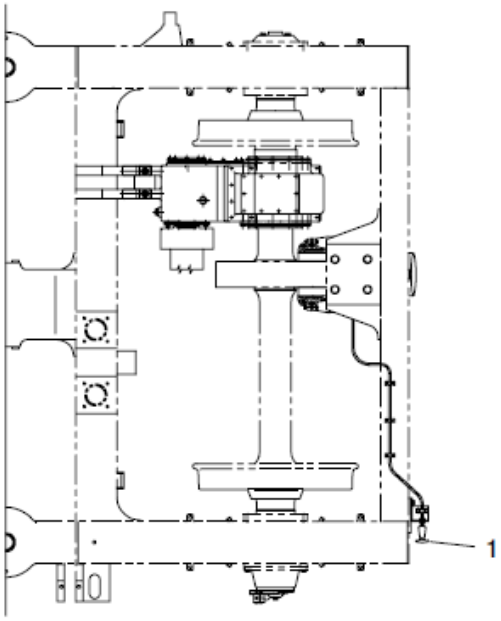

Şekil 3.10. Topraklama kablolarının çıkarılması (Backe, L., 2003)

7. Yalnızca treyler (motorsuz) bojilerde: Şekil 3.11'de (1) ile gösterilen aks kutusu hız sensörleri çıkarılır.




Şekil 3.11. Aks kutusu hız sensörünün çıkarılması (Backe, L., 2003)

8. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.12'de (1) ile gösterilen fren salma kolunu çekerek, park freni yay kuvveti serbest bırakılır.

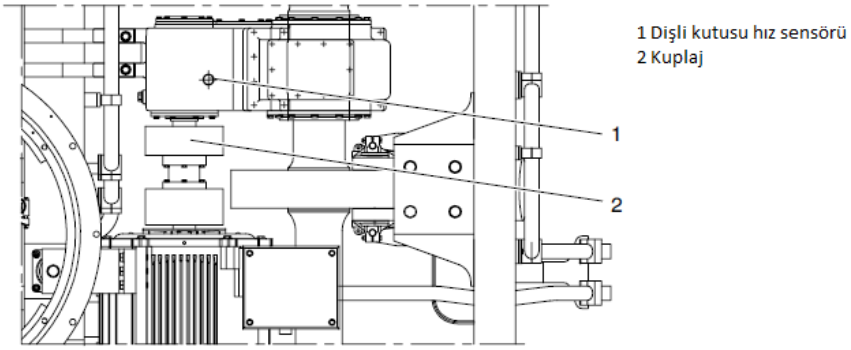



Şekil 3.12. (1) Fren serbest bırakma (Backe, L., 2003)

9. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.13'de (1) ile gösterilen aks kutusu hız sensörleri çıkarılır.

10. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.13'de (2) ile gösterilen motor şanzıman kutusu kaplini ayrılır.

11. Yalnızca motorlu bojilerde: yağ dişli biriminden boşaltılır.

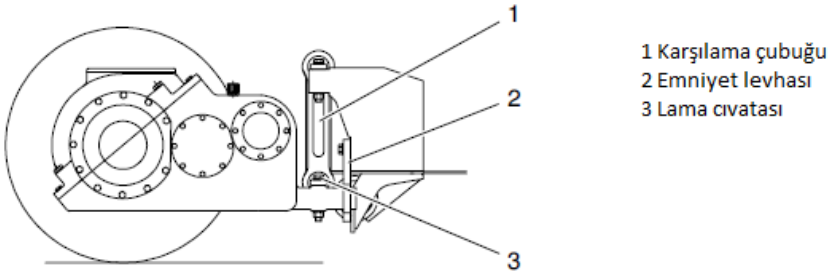



Şekil 3.13. Dişli kutusu (Backe, L., 2003)

12. Yalnızca motorlu bojilerde: Dişli birimini desteklemek için bir kaldırma tablası veya benzeri bir düzenek yerleştirilir.

13. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.14'de (2) ile gösterilen Emniyet levhasını sabitleyen rondelalı cıvata sökülür.

14. Yalnızca motorlu bojilerde: Şekil 3.14'de (1) ile gösterilen Karşılama çubuğunu dişli kutusunun çıkıntılı burnuna sabitleyen iki adet lama civatası sökülür.

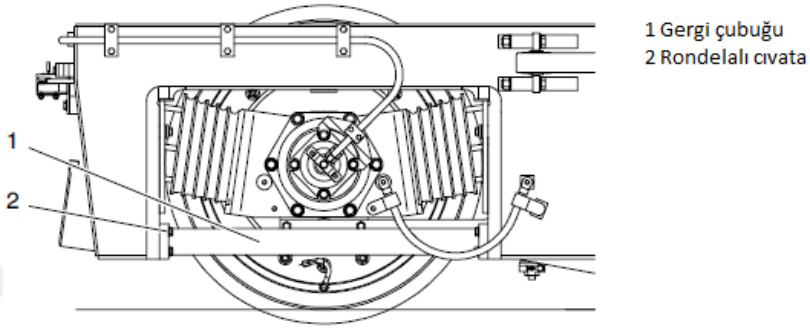



Şekil 3.14. Karşılama çubuğu ve emniyet levhasının sökülmesi (Backe, L., 2003)

### 3.3.2.3. Tekerlek Takımının Sökülmesi

1. Aks kutuları neredeyse Şekil 3.15'de (1) ile gösterilen gergi çubuklarına temas edinceye dek araç gövdesini kaldırmak suretiyle, boji şasisi yüksüz hale getirilir.

2. Şekil 3.15'de (2) ile gösterilen rondelalı civatalar sökülür ve (1) ile gösterilen gergi çubukları çıkarılır.

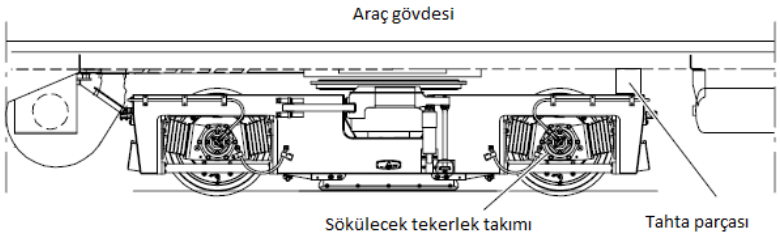



Şekil 3.15. Gergi çubuğunun sökülmesi (Backe, L., 2003)

3. Tren liftine ait kaldırma çubukları, kendilerine ait durduruculara temas edinceye kadar araç gövdesi yukarı kaldırılır.

4. Uç kiriş ile alt şasi arasına uygun bir tahta parçası yerleştirilir (Şekil 3.16.). Bu işlem kaldırma sırasında bojinin eğilmesini engeller.

5. Tekerlek takımını hat üzerinde bırakarak araç gövdesi boji ile birlikte yukarı kaldırılır.




Şekil 3.16. Bojinin yana yatmasının engellenmesi (Backe, L., 2003)

### 3.3.2.4. Tekerlek Takımının Mengeneye sabitlenmesi

Sökülen tekerlek takımı vinç yardımı ile taşınarak aks gövdesinden mengeneye sabitlenir (Şekil 3.17.-3.19.).



Şekil 3.17. Tekerlek grubu aks mengenesi üzerine taşınması



Şekil 3.18. Aksın havalı somun sıkma ile mengeneye sabitlenmesi



Şekil 3.19. Söküme hazır bandaj ve aks kutusu

# 4. TASARIM

Bu çalışmada raylı sistem araçlarının bakım ve onarımını gerçekleştiren çalışanların iş sağlığı ve güvenliği risklerini azaltmak, proseslerin daha kısa sürede daha az iş gücü ile daha güvenli tamamlanmasını amacına yardımcı olması için Tren Aks Tekerlek Grubu Sökme Takma Ekipmanı tasarlanacaktır. Sırası ile tasarıma ait kuvvet analizi, tasarım çizimleri ve tasarıma ait statik analizler ayrıntılı bir şekilde incelenecektir. Tasarım sürecinin adımları aşağıdaki gibidir;

1- Uygun Mekanizmanın Seçimi: Çeşitli olası mekanizmalar arasından amaca uygun olan seçilir.
2- Kuvvetlerin Analizi: Makinede yer alan elemanların tanımlanması yapılır ve bunlara etki eden reaksiyon kuvvetleri hesaplanır.
3- Elemanların Tasarımı: Makine elemanlarının taşıması gereken gerilmeler hesaplanır bu sayede elemanların boyutları belirlenir. Makine elemanlarına ait boyut ve enine kesit alanı seçilir.
4- Çizimin Hazırlanması: Makine elemanlarına ait boyut ve kesit alanları belirlendikten sonra teknik resimler ve montaj resimleri oluşturulur.

## 4.1. Mekanizmanın Seçimi

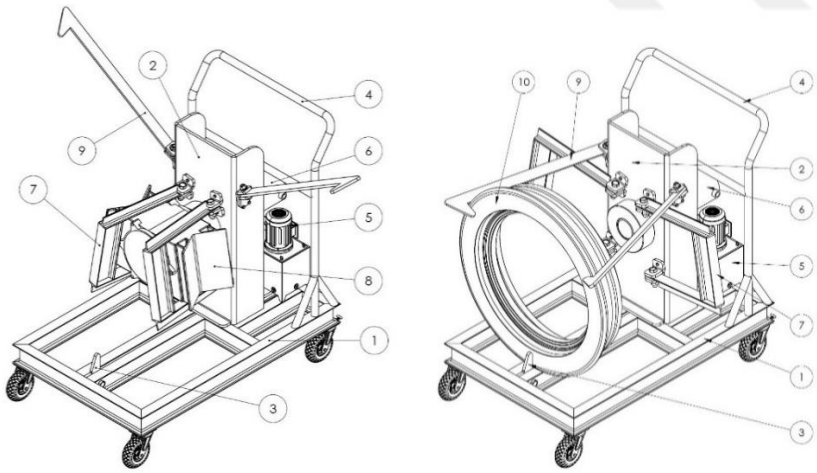
Tasarımını ve imalatı yapılan ekipman; ikisi hareketli üç koldan oluşan tekerlek kavraması, hareketli iki koldan oluşan aks kutusu kavrayıcı, aks tepesine basacak bir metal kafa, pres ile sökme takma işlemini sağlayacak bir hidrolik piston, bu pistonu çalıştıracak bir hidrolik motor ve bütün sistemi taşıyan tekerlekli bir şasiden oluşmuştur (Şekil 4.1.-4.3.).

Ekipman, sökülmesi – takılması düşünülen tekerlek grubu bileşenlerinin dikey ve eksenel hareketi elektrikli yükseklik ayarlı aks mengenesi ile yapılacağından, sabit yükseklikte ve insan gücü ile hareket ettirilen tekerlekli bir şasi

üzerine monte edilmiştir. Sistem hareket kabiliyeti sunabilen elektrikli kumanda panelinden kontrol edilmektedir.

Tren Aks Tekerlek Grubu Sökme Takma Ekipmanı mekanizması aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır;

1- Taşıyıcı Kaide
2- Çekme Gövde
3- Tekerlek Alt Tutucu
4- Aks&Bandaj Sökme Aparatı Taşıma Kolu
5- Hidrolik Power Pack
6- Hidrolik Piston
7- Aks Kutusu Kavrama Kolu
8- Aks Kutusu
9- Tekerlek Bandajı Kavrama Kolu
10- Tekerlek Bandajı




Şekil 4.1. Aks Tekerlek Grubu sökme ekipmanı izometrik görünüm

Ekipman aks kutusu kavrama kolları kapatılarak hidrolik sistem yardımı ile aks kutusunun söküldüğü şekilde kullanılabilir. Aks kutusu sökme işleminin

haricinde tekerlek bandajı kavrama kolları kapatılarak bandajın tekerlek göbeğinden çıkarılmasına da imkân sağlar (Şekil 4.1.)

### 4.1.1. Taşıyıcı Kaide

Tasarımı gerçekleştirilen aparat mengeneye sabitlenen aksa insan gücü marifeti ile konumlandırılacağından taşıyıcı kaidenin tekerlekli olması düşünülmüştür. Ortalama ağırlığa sahip aks kutusunu tekerlek bandajını taşıyabilecek şekilde H profiller ile oluşturulacaktır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Aks kutusu ve tekerlek bandajı sökme aparatı taşıyıcı kaide

### 4.1.2. Aks Kutusu Kavrama Kolları

Aks kutusu söküm işlemi sırasında iki yandan aks kutusu tutucu kollar ile kavranır ve söküm işleminden sonra aks kutusu bu kollar tarafından taşınır. Kavrama kolları aks kutusunu kavradıktan sonra hidrolik piston yardımı ile itme kuvveti uygulanarak aks kutusu aks rulmanından ayrılır ve kavrayıcı kollar üzerinde kalır.

Aks kutusu kavrama kolları söküm işlemi esnasında ihtiyaç duyulan çekme kuvvetine direnebilmesi için T profil ve H profilden imal edilecektir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Aks kutusu sökme aparatı tasarım görünümü

### 4.1.3. Tekerlek kavrama kolları

Tekerlek bandajı söküm işlemi sırasında mobil sökme aparatı, tekerlek aksına dik olacak şekilde konumlandırılır. Gerekli hizalamalar yapıldıktan sonra ikisi hareketli olmak üzere 120º aralıklarla yerleştirilmiş iki kol ve bir adet sökme dayanağı ile kavranır. Dengeli bir söküm işlemi için kavrama kolları ve sökme dayanağı 120° açı ile yerleştirilmiştir. Söküm işleminden sonra ağırlığı 127 kg olan tekerlek bandajı aparat gövdesine taşıtılır. Eskiyen tekerlek bandajı tavan vinci yardımı ile alınarak yenisi yine tavan vinci yardımı ile aparat üzerine konulur ve montaja geçilir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Tekerlek bandajı sökme aparatı tasarım görünüm

### 4.1.4. Hidrolik Piston

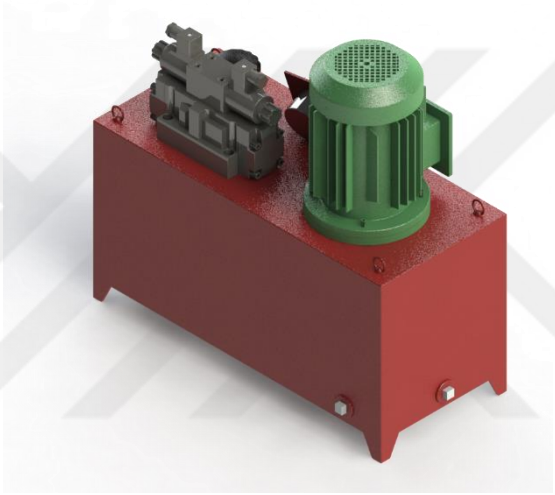
Aks kutusu ve tekerlek bandajı kavrama kolları ile sabitlenince sökme işlemi için ihtiyaç duyulan itme kuvveti hidrolik motoru tarafından beslenen hidrolik piston ile sağlanır (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Hidrolik piston

### 4.1.5. Değişken Debili Hidrolik Güç Ünitesi

Sökme işlemi için ihtiyaç duyulan itme kuvvetini sağlayacak olan pistona gerekli basıncı sağlayan değişken debili hidrolik motor sistemi. Aparat mobil olarak kullanılacağından özellikle hafif, taşınabilir çift hızlı değişken debili bir sistem tercih edilmiştir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Değişken debili hidrolik güç ünitesi

## 4.2. Kuvvetlerin Analizi

Bu kısımda tasarım kriterlerinin temelini oluşturacak hesaplamalar yapılarak sökme işlemleri için ihtiyaç duyulacak maksimum kuvvet, tolerans ve sıkı geçme değerleri hesaplanıp bu gücü sağlayacak hidrolik sistemin hesap ve tasarımı yapılacaktır.

Kuvvet analizi aşamasına geçilmeden önce şu kabuller yapılmıştır;

1- Aparat tekerlek bandajı ve aks kutusunu kavrayabilmesi için ayrı ölçü ve dayanımlarda kollara sahip olmalıdır.

2- Aks kutusu veya tekerlek bandajı kollarının herhangi birisi kullanılırken diğer kol grubu katlanmalı, söküm işlemlerine engel olmamalıdır.

3- Aks tekerlek grubu yükseklik ayarlı mengeneye sabitleneceğinden aparat tekerlekli ve kolayca hareket ettirilip konumlandırılabilir olmalıdır.

4- Sistem hidrolik olarak hareketlendirilmelidir.

### 4.2.1. Kuvvet Hesabı

Tasarımda aks kutusu sökme işlemi için ihtiyaç duyulan kuvvetler aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır;

**Ezilme Miktarı ve Gerçek Sıkılık**

Aks kutusu sökme işlemi sırasında göbek ve mil çaplarına bağlı olarak ezilme miktarı ve gerçek sıkılık aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (Şekercioğlu, T. 2021).

$$Z = 0.8(Rm + Rzg) = 1{,}2(Rm + Rtg) = 6(Ram + Rag) \quad (4.1)$$

$\Delta d^* = \Delta d + Z$ olur. (4.2)

**Maksimum sıkılık değeri ve Gerilme Genliği**

$$\Delta dmax = \frac{2 \cdot Pmax \cdot d}{E\,(1 - Qg^2)} \quad (4.3)$$

$$Qg = \frac{rgi}{rgd} \quad (4.4)$$

**Maksimum Eksenel Yük**

$$Famax = \mu \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot D_{max} \quad (4.5)$$

#### 4.2.1.1 Aks Kutusu Sökme Güç Hesaplamaları

Tasarımı yapılan aparatta maksimum kuvvet sıkı geçme ile montajı yapılan aks kutusunun söküm işlemi sırasında uygulanacaktır. Tekerlek bandajının söküm işleminde saplama cıvatalarının somunları söküldüğünden bandaj lastiği ve tekerlek göbeği arasındaki yüzey yapışmasının uygulayacağı yük önemsiz kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1. Radyal rulmanların yataklarla geçme toleransları (NSK)

| Yük koşulları | | | Örnekler | Yatak deliklerinin toleransları | Dış bileziğin eksenel yer değişimi | Açıklamalar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Yataklarda radyal rulmanlar | | | | | | |
| Katı yataklar | Döner dış halka yükü | Yüksek şok yüklü ince duvarlı yuvalarda rulman üzerinde ağır yükler | Otomobil tekerlek göbeği (Makaralı rulmanlar) Vinç hareketli çarkları | P7 | Mümkün değil | – |
| | | Normal veya ağır yükler | Otomobil tekerlek poyrası (Bilyalı rulmanlar) Titreşimli elekler | N7 | | |
| | | Hafif veya değişken yükler | Konveyör makaraları ip kasnakları Gergi makaraları | M7 | | |
| Katı veya ayrılabilir yataklar | Yük yönü belirsiz | Ağır şok yükleri | Cer motorları | | | |
| | | Normal veya ağır yükler | Pompalar ana mil Ana rulmanlar Orta ve büyük boy motorlar | K7 | Mümkün değil | Dış bileziğin eksenel yer değişimi gerekli değil ise |
| | | Normal veya hafif yükler | | JS7 (J7) | Mümkün | Dış bileziğin eksenel yer değişimi gerekli |
| | Döner iç bilezik yükü | Tüm yük tipleri | Genel rulman uygulamaları, Demiryolu dingil kutuları | H7 | Kolaylıkla mümkün | – |
| | | Normal veya hafif yükler | Plummer blokları | H8 | | |
| | | Şaft içinden iç bilezik sıcaklığının yükselmesi | Kağıt kurutucular | G7 | | |
| Katı yataklar | | Normal veya hafif yüklerde hassas çalışma tercih edilir | Taşlama mil arka bilyalı rulmanlar | JS6 (J6) | Mümkün | |
| | | | Yüksek hızlı santrifüj kompresör serbest rulmanlar | | | |
| | Yük yönü belirsiz | | Taşlama mil ön bilyalı rulmanlar | K6 | Mümkün değil | Ağır yükler için K'dan daha sıkı Geçme toleransı kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyet gerektiğinde, oldukça sıkı toleranslar kullanılmalıdır. |
| | | | Yüksek hızlı santrifüj kompresör sabit rulmanlar | | | |
| | Döner Dış bilezik yükü | Değişken yüklerde hassas çalışma ve yüksek rijidite tercih edilir | Takım tezgahı ana mili için silindirik makaralı rulmanlar | M6 veya N6 | Sabit | |
| | | Minimum gürültü gerekli | Elektrikli ev aletleri | H6 | Kolaylıkla mümkün | - |

Aks rulmanı ve aks kutusu arasındaki geçme toleransları dikkate alındığında şaft toleransı r6, yatak toleransı H7 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2.-4.5.).

Çizelge 4.2. Radyal rulmanların şaftlarla geçme toleransları (NSK)

| Yük koşulları | | Örnekler | Şaft Çapı (mm) | | | Şaft toleransı | Açıklamalar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Bilyalı rulmanlar | Silindirik makaralı ve konik makaralı rulmanlar | Oynak makaralı rulmanlar | | |
| **Silindirik delikli radyal rulmanlar** | | | | | | | |
| Döner dış bilezik yükü | İç bileziğin şaft üzerinde kolay eksenel yer değişimi tercih edilir | Sabit akslarda tekerlekler | Tüm şaft çapları | | | g6 | Hassasiyet gerektiğinde g5 ve h5 kullanın. Büyük rulmanlarda kolay eksenel hareket için f6 kullanılabilir. |
| | İç bileziğin şaft üzerinde kolay eksenel yer değişimi gereksiz | Germe makarası ipli kasnaklar | | | | h6 | |
| Döner iç yük veya yük yönü belirsiz | Hafif yükler veya değişken yükler (≤ 0.06 Cr[1]) | Elektrikli ev aletleri, pompalar körükler, taşıma araçları, hassas makine, takım tezgahları | ≤ 18 | – | – | js5 | – |
| | | | 18~100 | ≤ 40 | – | js6 (j6) | |
| | | | 100~200 | 40~140 | – | k6 | |
| | | | – | 140~200 | – | m6 | |
| | Normal yükler (0.06 to 0.13 Cr[1]) | Genel rulman uygulamaları, orta ve büyük boy motorlar, türbinler, pompalar, motor ana rulmanları, dişliler, ağaç işleme makinesi | ≤ 18 | – | – | js5~6 (j5~6) | tek sıralı konik makaralı rulmanlar ve tek sıralı eğik bilyalı rulmanlarda k5 ve m5 yerine k6 ve m6 kullanılabilir. |
| | | | 18~100 | ≤ 40 | ≤40 | k5~6 | |
| | | | 100~140 | 40~100 | 40~65 | m5~6 | |
| | | | 140~200 | 100~140 | 65~100 | m6 | |
| | | | 200~280 | 140~200 | 100~140 | n6 | |
| | | | – | 200~400 | 140~280 | p6 | |
| | | | – | – | 280~500 | r6 | |
| | | | – | – | >500 | r7 | |
| | Ağır yükler veya şok yükleri (> 0.13 Cr[1]) | Demiryolu dingil kutuları, endüstriyel taşıtlar, cer motoru, inşaat ekipmanları, kırıcılar | – | 50~140 | 50~100 | n6 | CN rulman iç boşluğundan fazlası gereklidir. |
| | | | – | 140~200 | 100~140 | p6 | |
| | | | – | >200 | 140~200 | r6 | |
| | | | – | – | 200~500 | r7 | |
| **Yalnız Eksenel Yükler** | | | **Tüm Şaft Çapları** | | | **js6 (j6)** | – |

Çizelge 4.3. Radyal bilyeli rulmanlarda önerilen mil toleransları (Şekercioğlu, T. 2021)

| Yükün Cinsi | Mil Çapı | Yük Büyüklüğü | Geçme Tipi | Tolerans | Açıklama | Uygulama |
|---|---|---|---|---|---|---|
| İç bilezikte nokta yükü | Tüm ölçüler için | --- | Boşluklu geçme | g5<br>g6<br>h6 | Yüksek hassasiyet gerektiren yerlerde g6, h6, j6 yerine g5, h5, j5 kullanılması daha uygundur. | Elektrikli cihazlar, takım tezgahları, pompalar, vantilatörler |
| İç bilezikte çevre yükü veya belirsiz yük yönü | d<50 | Normal yük F/C < 0,1 | Ara geçme | j5<br>j6 | | |
| | 50<d<100 | Küçük yük F/C < 0,08 | | j6 | | |
| | | Normal ve büyük yük F/C > 0,08 | | k5<br>k6 | --- | Elektrik motorları, türbinler, içten yanmalı motorlar, ağaç işleme makineleri |
| | 100<d<200 | Küçük yük F/C < 0,1 | | k6<br>m6 | | |
| | | Normal ve büyük yük | Sıkı geçme | p6 | | |
| Konik delikli rulmanlar | | | | | | |
| Bütün yük durumlarında | --- | --- | --- | h9<br>IT5 | Transmisyon milleri için h9 yerine h10, geometrik tolerans IT7 kalitesinde olmalıdır. | |

Çizelge 4.4. Mid Delik çaplarına göre tolerans değerleri (Şekercioğlu, T. 2021)

| Sınır Ölçüleri µm (1 µm=0,001 mm) | | | | | | | | | | | | | | | | BİRİM DELİK SİSTEMİ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anma Ölçüsü, mm | | Delik | Miller | | | | | Delik | Miller | | | | | | | |
| Hariç | Dahil | H6 | h5 | j6 | k6 | n5 | p5 | H7 | f7 | g6 | h6 | j6 | k6 | m6 | n6 | r6 | s6 |
| ≤ 3 | | +6 | 0 | +4 | +6 | +8 | +10 | +10 | -6 | -2 | 0 | +4 | +6 | +8 | +10 | 16 | 20 |
| | | 0 | -4 | -2 | 0 | +4 | +6 | 0 | -16 | -8 | -6 | -2 | 0 | +2 | +4 | 10 | 14 |
| 3 | 6 | +8 | 0 | +6 | +9 | +13 | +17 | +12 | -10 | -4 | 0 | +6 | +9 | +12 | +16 | 23 | 27 |
| | | 0 | -5 | -2 | +1 | +8 | +12 | 0 | -22 | -12 | -8 | -2 | +1 | +4 | +8 | 15 | 19 |
| 6 | 10 | +9 | 0 | +7 | +10 | +16 | +21 | +15 | -13 | -5 | 0 | +7 | +10 | +15 | +19 | +28 | +32 |
| | | 0 | -6 | -2 | +1 | +10 | +15 | 0 | -28 | -14 | -9 | -2 | +1 | +6 | +10 | +19 | +23 |
| 10 | 14 | +11 | 0 | +8 | +12 | +20 | +26 | +18 | -16 | -6 | 0 | +8 | +12 | +18 | +23 | +34 | +39 |
| 14 | 18 | 0 | -8 | -3 | +1 | +12 | +18 | 0 | -34 | -17 | -11 | -3 | +1 | +7 | +12 | +23 | +28 |
| 18 | 24 | +13 | 0 | +9 | +15 | +24 | +31 | +21 | -20 | -7 | 0 | +9 | +15 | +21 | +28 | +41 | +48 |
| 24 | 30 | 0 | -9 | -4 | +2 | +15 | +22 | 0 | -41 | -20 | -13 | -4 | +2 | +8 | +15 | +28 | +35 |
| 30 | 40 | +16 | 0 | +11 | +18 | +28 | +37 | +25 | -25 | -9 | 0 | +11 | +18 | +25 | +33 | +50 | +59 |
| 40 | 50 | 0 | -11 | -5 | +2 | +17 | +26 | 0 | -50 | -25 | -16 | -5 | +2 | +9 | +17 | +34 | +43 |
| 50 | 65 | +19 | 0 | +12 | +21 | +33 | +45 | +30 | -30 | -10 | 0 | +12 | +21 | +30 | +39 | +60 | +72 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +41 | +53 |
| 65 | 80 | 0 | -13 | -7 | +2 | +20 | +32 | 0 | -60 | -29 | -19 | -7 | +2 | +11 | +20 | +62 | +78 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +43 | +59 |
| 80 | 100 | +22 | 0 | +13 | +25 | +38 | +52 | +35 | -36 | -12 | 0 | +13 | +25 | +35 | +45 | +73 | +93 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +51 | +71 |
| 100 | 120 | 0 | -15 | -9 | +3 | +23 | +37 | 0 | -71 | -34 | -22 | -9 | +3 | +13 | +23 | +76 | +101 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +54 | +79 |
| 120 | 140 | +25 | 0 | +14 | +28 | +45 | +61 | +40 | -43 | -14 | 0 | +14 | +28 | +40 | +52 | +88 | +117 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +63 | +92 |
| 140 | 160 | 0 | -18 | -11 | +3 | +27 | +43 | 0 | -83 | -39 | -25 | -11 | +3 | +15 | +27 | +90 | +125 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +65 | +100 |
| 160 | 180 | | | | | | | | | | | | | | | +93 | +103 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +68 | +108 |
| 180 | 200 | +29 | 0 | +16 | +33 | +51 | +70 | +46 | -50 | -15 | 0 | +16 | +33 | +46 | +60 | +106 | +151 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +77 | +122 |
| 200 | 225 | 0 | -20 | -13 | +4 | +31 | +50 | 0 | -96 | -44 | -29 | -13 | +4 | +17 | +31 | +109 | +159 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +80 | +130 |
| 225 | 250 | | | | | | | | | | | | | | | +113 | +169 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +84 | +140 |
| 250 | 280 | +32 | 0 | +16 | +36 | +57 | +79 | +52 | -56 | -17 | 0 | +16 | +36 | +52 | +66 | +126 | +190 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +94 | +158 |
| 280 | 315 | 0 | -23 | -16 | +4 | +34 | +56 | 0 | -108 | -49 | -32 | -16 | +4 | +20 | +34 | +130 | +202 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +98 | +170 |
| 315 | 355 | +36 | 0 | +18 | +40 | +62 | +87 | +57 | -62 | -18 | 0 | +18 | +40 | +57 | +73 | +144 | +190 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +108 | +226 |
| 355 | 400 | 0 | -25 | -18 | +4 | +37 | +62 | 0 | -119 | -54 | -36 | -18 | +4 | +21 | +37 | +150 | +244 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +114 | +208 |
| 400 | 450 | +40 | 0 | +20 | +45 | +67 | +95 | +63 | -68 | -20 | 0 | +20 | +45 | +63 | +80 | +166 | +272 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +126 | +232 |
| 400 | 500 | 0 | -27 | -20 | +5 | +40 | +67 | 0 | -131 | -60 | -40 | -20 | +5 | +23 | +40 | +171 | +292 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | +132 | +252 |

Genel makine tasarımında en çok kullanılan bazı tolerans değerleri, birim delik ve birim mil sistemine göre Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yük şekline göre eksenel yatakların montajı için toleranslar (Şekercioğlu, T. 2021)

| Yük Şekli | Yatak Tipi | İç Bilezik / Mil | | | Dış Bilezik / Gövde | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Yük Tipi | Geçme | Mil Toleransı | Yük Tipi | Geçme | Gövde Toleransı |
| Kombine Yük | Eğik bilyeli, oynak makaralı, konik makaralı | Çevre | Ara geçme | j, k, m | Nokta | Boşluklu, ara geçme | H, J |
| | | Nokta | | j | Çevre | | K, M |
| Eksenel Yük | Bilyeli, makaralı | --- | | h, j, k | --- | | H, G, E |

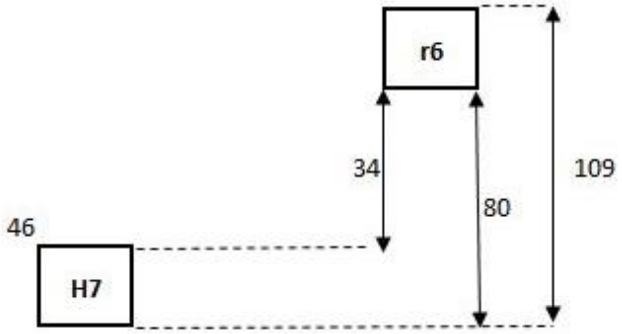
Çizelge 4.4.'e göre Anma ölçüsü d = 207,963 mm olduğundan;

H7 (+46, +0) r6 (+109, +80)

H7 için EKÖ = 207,963 EBÖ= 208,009 T=46µm

r6 için EKÖ= 208,043 EBÖ= 208,072 T=29 µm

Çizelge 4.6. EKÖ EBÖ hesaplama (Şekercioğlu, T. 2021)




Smin = 34 µm

Smax = 109 µm

Montaj öncesi var olan yüzey pürüzlülükleri, montaj sonrası sıkılıktan dolayı ezilmektedir. Ezilme miktarı, $R_t$ pürüzlülük değerinin yaklaşık olarak %60'ı

kadardır. Bunun sonucu olarak da sıkılık değeri ezilen pürüzlülük miktarı kadar azalmaktadır. Bu azalma miktarı sıkılık değerine ilave edilerek gerçek sıkılık miktarı bulunur.

Ezilme miktarı: $Z = 0.8 ( R_m + R_{zg} ) = 1,2 ( R_{tm} + R_{tg} ) = 6 ( R_{am} + R_{ag})$ (4.6)

Geçek sıkılık: $\Delta d^* = \Delta d + Z$ olur. (4.7)

Bu sıkılık değeri, imalat resimlerinde mil ve delik için verilecek olan toleranslarla sağlanır. Önceden bulunan pmin ve pmax değerleri ile ayrı ayrı $\Delta d^*min$ ve $\Delta d^*max$ değerleri hesaplanır. Çizelge 5.6.'dan bu değerlere uygun minimum sıkılık (Smin) ve maksimum sıkılık (Smax) değerleri alınarak sıkı geçme belirlenmiş olur.

$Smin > \Delta d^*min$ ve $Smax < \Delta d^*max$ şartları sağlanmalıdır.

$Z = 0,8 (R_{zm} + R_{zg} )$ (4.8)

Bir yüzey için seçilen tolerans ve yüzey kalitesi arasında uyum olmalıdır. Uygulamada genel makine imalatı için ;

$R_z \leq 0,5$ T ve $R_a \leq (0,06 – 1)$ . T eşitlikleri önerilmektedir. ( T = EBÖ – EKÖ )

H7 için EKÖ = 207,963 EBÖ= 208,009 T=46µm

r6 için EKÖ= 208,043 EBÖ= 208,072 T=29 µm

$R_z \leq 0,5$ T

$R_a \leq (0,06 – 1)$ . T

$R_{zm} \leq 0,5T$ ➡ 0,5 x 29mm = 14,5mm = $R_{zm}$

$R_{zg} \leq 0,5T$ ➡ 0,5 x 46mm = 23mm = $R_{zg}$

d = 207,963 mm ( H7, r6 )

$S_{max}$ = 109mm ( Çizelge 4.6.'dan)

$Q_m = 0$

$Q_g = r_{gi} / r_{gd}$

$$\Delta x\ dmax = \Delta dmax + Z \quad (4.9)$$

$$Z = 0{,}8\ (\ Rzm + Rzg) = 0{,}8\ (14{,}5mm + 23mm) = 30\ \mu m \quad (4.10)$$

$$109mm = \Delta dmax + 30mm \rightarrow \Delta dmax = 79mm \quad (4.11)$$

$$\Delta dmax = \frac{2\ .\ Pmax\ .\ d}{E\ (1 - Qg2\ )} \quad (4.12)$$

$$Qg = \frac{rgi}{rgd} = \frac{207{,}934}{227{,}934} = 0{,}9122 \quad (4.13)$$

$$79.10^{-3} = \frac{2\ .\ Pmax\ .\ 207{,}963}{2.10^5\ (1 - 0{,}91224^2)}$$

Pmax = 6,374 N/mm2

$$Famax = \mu\ .\ \pi\ .\ d\ .\ L\ .\ P_{max} \quad (\ \mu = 0{,}15 \text{ kabul edildi }) \quad (4.14)$$

Famax = 0,15 . π . 207,963 . 152,4 . 6,374

Famax = 95197,21 N = 9,7 ton

#### 4.2.1.2 Hidrolik Piston Güç Hesaplamaları

Aks kutusu sökme için ihtiyaç duyulan maksimum kuvveti sağlayacak hidrolik sistem ve piston hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$F_i = P \cdot A_i \tag{4.15}$$

$$Ai = \pi \cdot (D_p / 2)^2 \tag{4.16}$$

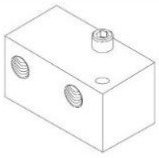
Yapılan hesaplamalarda (Famax) aks kutusu sökme işlemi için ihtiyaç duyulan kuvvet 9.7 ton olarak hesaplanmış olup kullanılacak hidrolik sistemin bu gücü sağlaması gerekmektedir. Aynı zamanda mobil bir sistem olan aks kutusu sökme aparatında taşınması kolay mümkün olduğunca az yer kaplayan bir hidrolik sistem kullanılması hedeflenmiştir (Çizelge 4.7).

PE17 serisi SPX FLOW Power Team markasının taşınabilir elektrik motorlu hidrolik güç üniteleri grubunu oluşturur. Bu grupta çalışma basıncı maksimum 700 bardır. PE17 serisi hidrolik güç ünitelerinin en önemli özelliği küçük hacimde, hafif ve taşınabilir olmalarıdır. Kullanılabilir yağ kapasiteleri 5-6 litre arasında değişen bu üniteler yüksek performanslı elektrik motorları sayesinde ara verilen işlerde yük altında iken motorları boğulmadan kalkış yapabilmektedir. PE172AM-E220∞ model hidrolik güç ünitesi, kablo sıkma, sac delme, hidrolik pres gibi uygulamalar için üretilmiştir. Bu modelde basınç/yük tutma özelliği yoktur. Pompa çalıştığı sürece yağ pompalar. Motor kapatıldığında yağ otomatik olarak geri döner (Şekil 4.8-Şekil 4.9).

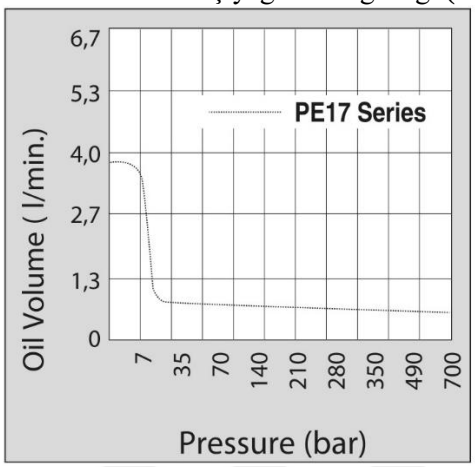
Çizelge 4.7. Hidrolik sistem özellikleri (Power Team)

| Teknik Bilgiler | | PE172AM-E220∞ |
|---|---|---|
| Çalışma Basıncı | bar | 700 |
| Pompa Tipi | ** | Çift Hızlı |
| Debi 0 Bar / 700 Bar | ltr/d | 3.9 / 0.2 |
| Valf Kodu | ** | 4554 |
| Valf Tipi | ** | 2 Yollu |
| Valf Çalışma Şekli | ** | Otomatik Geri Dönüş |
| Yük/Basınç Tutma Özelliği | ** | Yok |
| Kumanda | ** | |
| Motor Gücü | kW | 0.37 |
| Gerilim | V | |
| Tank Tipi | ** | Metal |
| Kullanılabilir Yağ Kapasitesi | ltr | 4.7 |
| Cihaz Kompe Ağırlık | kg | 20.4 |

Çizelge 4.8. Hidrolik pompa valf çalışma prensibi (Power Team)

| | Valf Fonksiyonu | Kullanılan Valf Tipi | Valf Numarası |
|---|---|---|---|
| PE172A PE172AM | AKTİF POMPA "AÇIK" Pompadan Giriş / GERİ DÖNÜŞ POMPA "KAPALI" Tanka Dönüş | Tek Hareket | 45554 Otomatik Geri Dönüşlü Valf |
| | | Diyagram | |
| | |  | |

Çizelge 4.9. PE17 hidrolik sistem basınç yağ debisi grafiği (Power Team)




#### 4.2.1.3 Piston Hesaplamaları

Aks kutusu sökme işlemi için tasarımda kullanılan pistonun boru çapı 115 mm, mil çapı 80 mm'dir. Sistem basıncı maksimum 700 bar olarak belirlenmiştir.

$$F_i = P \cdot A_i \tag{4.17}$$

$$Ai = \pi \cdot (D_p / 2)^2 \tag{4.18}$$

$F_i = 700$ bar $\cdot \pi \cdot (11.5$ cm $/ 2)^2 = 72708{,}2$ kg $= 72.7$ ton

Piston itme kuvvetine (Fi) bağlı olarak piston çapı eşitlik (4.17) den, maksimum itme kuvveti 72.7 ton olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sonucunda hidrolik ünitenin pistona yeterli basınç ve piston hareket mesafesini sağlayacağı görülmüş, kullanılması planlanan ekipmanların çap, boy, basınç ve sağladığı kuvvet değerlerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

### 4.3. Elemanların Tasarımı

Aparatın tasarım çizimleri Solid Works 3D CAD katı modelleme programı ile yapılmıştır.–Tasarım çizimleri Solid Works 3D CAD ile tamamlanan aparatın statik kuvvet analizleri ve elemanlar üzerinde ortaya çıkan gerilimler sonlu elemanlar tabanlı bir ticari analiz programı olan ANSYS Workbench yazılımı ile gerçekleştirilecektir. Bu analizler, önerilen çalışma gereği birçok defa tekrarlanacak ve aparat elemanları üzerinde oluşan gerilmeler hakkında çeşitli değerlendirmeler elde edilecektir. Elde edilen sonuçlara göre elemanlara ait nihai boyut ve kesit alanları belirlenecektir.

#### 4.3.1. Sonlu Elemanlar Analiz (SEA)

Analitik bir çözüm elde etmenin çok zor olduğu karmaşık geometrik problemlerin çözümünde Sonlu elemanlar metodu (SEA) gibi sayısal yöntemlerin kullanımı benimsenmiştir. Sonlu elemanlar metodu sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahip olan sistemi, düğüm noktalarında birbirleri ile bağlantılı olan sonlu sayıda basit sonlu elemanlara bölünmesi yöntemidir. Tüm alanı küçük öğelere bölmek için SEA'da bir ağ gereklidir. Ağ, elemanlar, ilgili düğümler oluşturma ve sınır koşullarını tanımlama süreci, problem alanının ayrıklaştırılması olarak adlandırılır. Düğüm noktalarındaki kuvvetler ile düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler arasındaki ilişkinin (rijitlik veya esneklik matrisinin) kurulması, sistemlerin analizinde sonlu elemanlar metodunun uygulanması analizin esas bölümlerinden biridir (Kasımzade, 2018).

Sonlu elemanlar analizi (SEA) yapılacak olan sistemin modelleme ve çözümlemeler için izlenilecek temel işlem adımlar sırasıyla:

1- Uygulanacak Analiz Türünün Belirlenmesi
2- Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması
3- Geometrinin Oluşturulması
4- Parçalar Arasındaki Temas/Kontak Durumları

5- Mesh Detayları
6- Sınır Şartların, Başlangıç Şartların ve Yüklerin Uygulanması
7- Çözümü ve Sonuçlar

Aparatı oluşturan tüm elemanların 3D çizimi yapılacak ve montaj katı modeli oluşturulduktan sonra, elde edilen şekil, Sonlu Elemanlar Analiz yazılımı, ANSYS Workbench aktarılacaktır ve böylece mesh'leme (sonlu elemanlar ağı) işleminde kullanılacak olan hacim, yüzey ve çizgi geometrileri elde edilecektir. Elde edilen model ANSYS Workbench Solid45 küp biçimli 8 nod'lu sonlu elemanı ile arzu edilen analizlerin icra edilebilmesi için mesh'lenecek. Elde edilen sonlu elemanlar modeli, sınır şartları, malzeme modelleri ve yükleme şartlarının tanımlanması ile analize hazır hale getirilecektir.

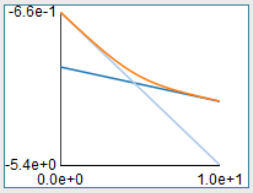
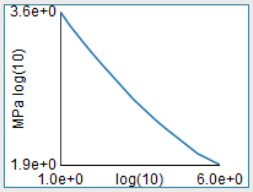
### 4.3.2. Uygulanacak Analiz Türünün Belirlenmesi

Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) mühendislik dalındaki hemen hemen her problem türünün modellerinin tasarımında ve analizinde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. ANSYS Workbench ara yüzünde, herhangi bir analize başlanmadan önce analiz türünün belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda "Statik Analiz" seçilerek ilerlenmiştir.

### 4.3.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Sonlu elemanlar analizinin ilk adımı olan malzeme özelliklerinin tanımlandığı bölümdür. ANSYS Workbench programının malzeme kütüphanesinde en çok kullanılan mühendislik malzemeleri tanımlanmış haldedir. Tasarlanan modelde gerek duyulan malzeme özelliklerinin seçimi yapıldıktan sonra kullanılacak olan malzemenin tüm özelliklerinin programa tanınması gerekmektedir.

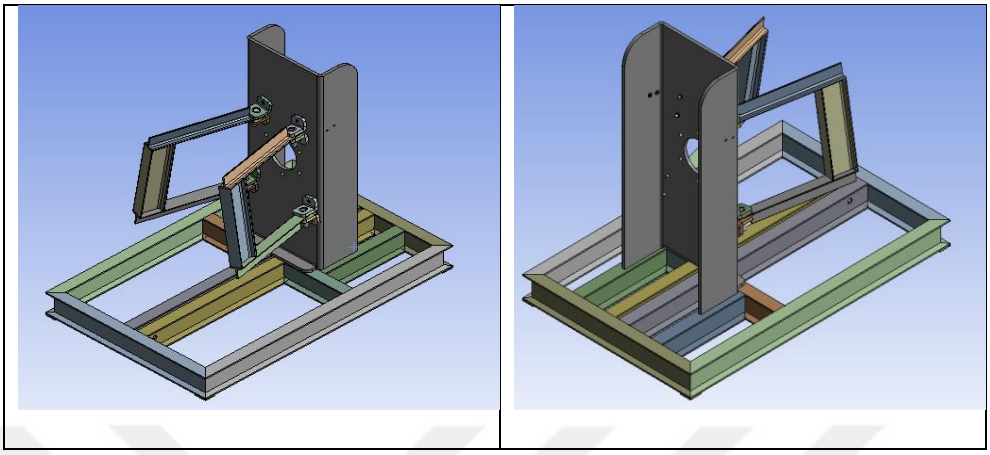
Çizelge 4.10. İzotropik Elastisite

| Structural | |
|---|---|
| Isotropic Elasticity | |
| Derive from | Young's Modulus and Poisson's Ratio |
| Young's Modulus | 2,1e+05 MPa |
| Poisson's Ratio | 0,28000 |
| Bulk Modulus | 1,5909e+05 MPa |
| Shear Modulus | 82031 MPa |
| Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | 1,2e-05 1/°C |
| Compressive Ultimate Strength | 0 MPa |
| Compressive Yield Strength | 235,00 MPa |
| Strain-Life Parameters |   |
| S-N Curve |   |
| Tensile Ultimate Strength | 360,00 MPa |
| Tensile Yield Strength | 235,00 MPa |

### 4.3.4. Geometrinin Oluşturulması

Bu çalışmada tasarlanacak model ANSYS Workbench ile uyumlu çalışan diğer paket programlarında tasarlanıp model ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. Analiz için tasarlanacak modellerin geometrileri oluşturulurken temel yaklaşım analiz sonuçlarında çok fazla değişikliğe sebep olmayacak şekilde basitleştirmeler yaparak çözüm süresinin kısaltılmasıdır. Modeli olabildiğince sade, basit ve sınırlı olarak modellemek analiz süresinin kısalmasında önemli ölçüde etki eder.

Çözüm suresini kısaltmak için ‘’Geometry Clean-Up’’ dediğimiz model sadeleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Analiz için fazla olan parçalar suppress edilmiştir. Sadece yük taşıyan elemanlar analize dâhil edilmiştir.



Şekil 4.7. Sadeleştirilmiş Aks Kutusu Sökme Ekipmanı

Kuvvet analizi çözümleme sürecini daha hızlı gerçekleştirebilmek için modelde sadeleştirmeler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına etki etmeyecek fakat mesh oluşturma ve analiz sürecini kısaltacak parçalar tasarımdan çıkartılmıştır.

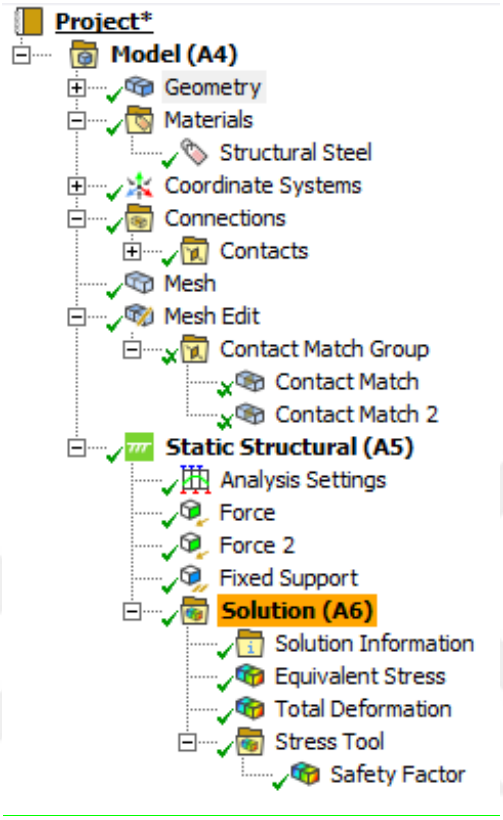
Çizelge 4.11. Tasarım Geometrisi Detayları

Details of "Geometry"

| | |
|---|---|
| **Definition** | |
| Source | C:\Users\user\OneDrive\Masaüstü\emrebingullu\Emr... |
| Type | SpaceClaim |
| Length Unit | Meters |
| Element Control | Program Controlled |
| Display Style | Body Color |
| **Bounding Box** | |
| **Properties** | |
| Volume | 1,0062e+007 mm³ |
| Mass | 78,984 kg |
| Scale Factor Va... | 1, |
| **Statistics** | |
| Bodies | 71 |
| Active Bodies | 53 |
| Nodes | 447659 |
| Elements | 200199 |
| Mesh Metric | None |
| **Update Options** | |
| **Basic Geometry Options** | |
| **Advanced Geometry Options** | |

### 4.3.5. Parçalar Arasındaki Temas/Kontak Durumları

Tasarlanan aparatı oluşturan elemanlar arasında birleşimlerin doğru şekilde çalışması için temas durumları belirlenmelidir. Bunun için elemanlar arasına ilave olarak temas elemanları tanımlanmaktadır. Parçalar arasına temas durumları tanımlanarak birbiri ile etkileşim içinde olan elemanlar arasında ve sonlu elemanlar düğüm noktaları arasında bir ilişki oluşturulabilir. Birbiri ile etkileşim içinde olan parçalardan biri "Temas (Contact)" parçası diğeri ise "Hedef (Target)" parçası olarak adlandırılmaktadır. Parça temas durumunu anlatan şematik gösterimi Şekil 4.8.'de gösterilmektedir.



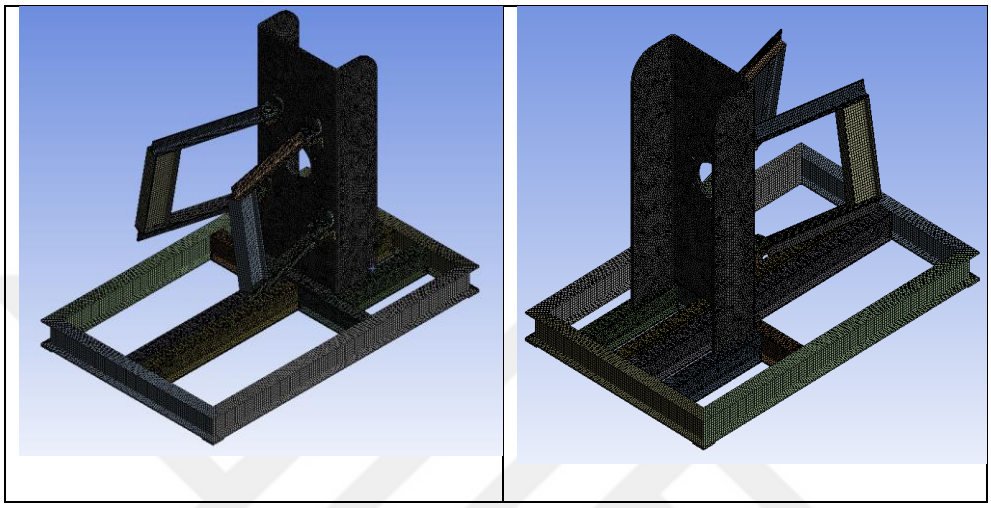

Şekil 4.8. Kontakların oluşturulması

### 4.3.6. Mesh Detayları

Mesh atma ile modelleme de boyutları/alanları belirlenmiş elamanları çok küçük elemanlara (boyutlara/alanlara) bölme işlemi yapılabilir.

"Optimum mesh atma işleminin gerçekleştirilmesi için automatic ve Hex Dominant mesh ayarları seçilmiştir. Elemanlar üzerinde eşit aralıklı meshler oluşturmak için face meshing uygulaması yapılmıştır. Çözüm süresi de düşünülerek optimum mesh boyutlarına belirlenmiştir. Çalışmamızda kullanılacak olan elemanların Şekil 4.9.'da verilen mesh atma ile küçük alt birimlere bölündüğü gösterilmiştir. Burada amaç birim alana düşen gerilimi belirleyebilmek için toplam

alanı, elementler ile daha küçük alanlara bölmektir. Tüm elementlerde oluşan gerilimler çeşitli fonksiyonlar ile birleştirilip toplam gerilme belirlenmektedir.



Şekil 4.9. Aks Kutusu Sökme Ekipmanı için Mesh Görüntüsü

Bilgisayar için işlem hızı da dikkate alındığında 200199 eleman yeterli görülmüştür.

Çizelge 4.12. a- Malzeme Kalitesi b- Çarpıklık c- Dikey Kalite d- En Boy Oranı

| Mesh Metric | Element Quality |
|---|---|
| Min | 3,6542e-002 |
| Max | 0,99996 |
| Average | 0,77464 |
| Standard Deviation | 0,13176 |

| Mesh Metric | Skewness |
|---|---|
| Min | 1,3057e-010 |
| Max | 1, |
| Average | 0,31222 |
| Standard Deviation | 0,16208 |

| Mesh Metric | Orthogonal Quality |
|---|---|
| Min | 2,9748e-006 |
| Max | 1, |
| Average | 0,69784 |
| Standard Deviation | 0,16234 |

| Mesh Metric | Aspect Ratio |
|---|---|
| Min | 1,167 |
| Max | 89,433 |

Çizelge 4.13. Mesh Detayları

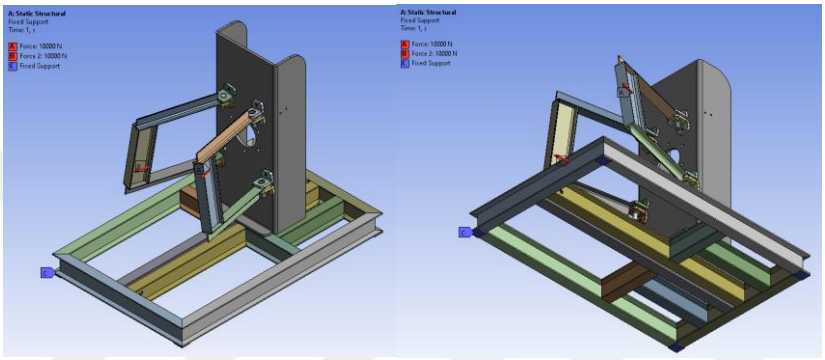
Details of "Mesh"

| | |
|---|---|
| **Display** | |
| Display Style | Use Geometry Setting |
| **Defaults** | |
| Physics Preference | Mechanical |
| Element Order | Program Controlled |
| Element Size | 7, mm |
| **Sizing** | |
| Use Adaptive Sizing | No |
| Growth Rate | 1,5 |
| Max Size | 15, mm |
| Mesh Defeaturing | Yes |
| Defeature Size | Default (3,5e-002 mm) |
| Capture Curvature | No |
| Capture Proximity | No |
| Bounding Box Diagonal | 2022,1 mm |
| Average Surface Area | 4045,4 mm² |
| Minimum Edge Length | 6,8915e-002 mm |
| **Quality** | |
| Check Mesh Quality | Yes, Errors |
| Error Limits | Aggressive Mechanical |
| Target Quality | Default (0.050000) |
| Smoothing | Medium |
| Mesh Metric | None |
| **Inflation** | |
| **Advanced** | |
| **Statistics** | |
| Nodes | 447659 |
| Elements | 200199 |

### 4.3.7. Sınır Şartların, Başlangıç Şartların ve Yüklerin Uygulanması

Sonlu elemanlar analiz modellerinin doğru modelleme yapılması ve sonuç alınması için sınır şartlarının ve yüklerin uygulanması doğru olarak yapılmalıdır. Modelde bilinmeyen sayısının azaltılması ve bu sayede analiz süresinin azaltılması için sınır şartlarının tam ve doğru olarak tanımlanması önemlidir.

Ekipmana uygulanan yükler ve sınır şartları Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Uygulanan kuvvetler ve sınır şartları

Şekil 4.10.'a göre tasarımı yapılan ekipmanda aks kutusu kavrama kollarının aks kutusu gövdesine temas eden yüzeylerine uygulanan kuvvetler görülmektedir. Hidrolik tahrikli piston sağlanan itme kuvveti aks tepesine uygulanan basınç ile aks kutusunu rulman dış bileziğinden ayırmak için kullanılır. Analizin çözümlenebilmesi için uzayda sabitlenmesi gereken nokta taşıyıcı kaide olarak seçilmiştir.

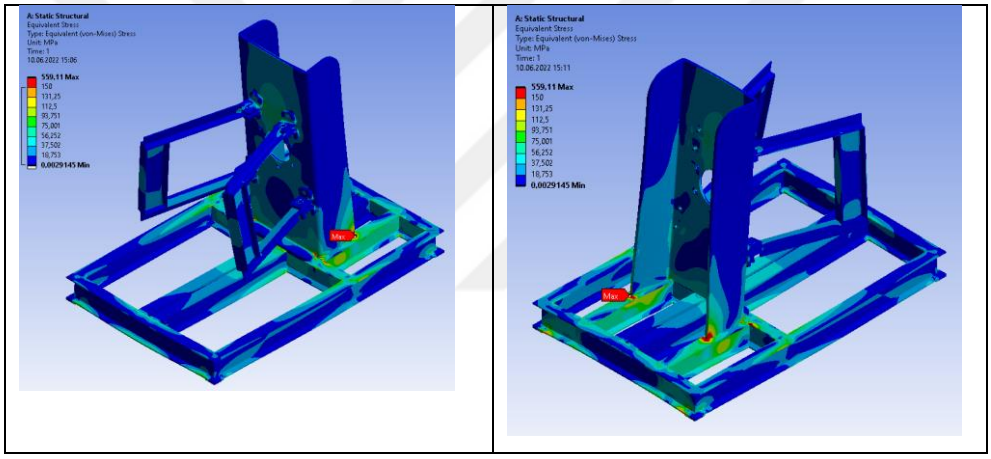
### 4.3.8. Problemin ANSYS Workbench ile Çözümü ve Sonuçları

Yükleme ve sınır şartları girilen modelin düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler veya bir elemanındaki asal gerilemelerin çözüm değerlerini elde etmek için lineer veya lineer olmayan analizler program yardımıyla yaptırılarak sonuç değerler yorumlanır. Çözümün yapılmasından sonra elde edilen sonuçlar

doğrultusunda gerilme, kesit yeterliliği, et kalınlığının yeterliliği, emniyet katsayısı gibi birçok verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması gerekmektedir.

Sökme aparatı kollarına etki eden 9.2 ton'luk yük için düşünülen statik yük senaryosu ANSYS Workbench programı "Static Analysis" modülü ile gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 saat süren bir çözümün ardından sonuçlar elde edilmiştir.

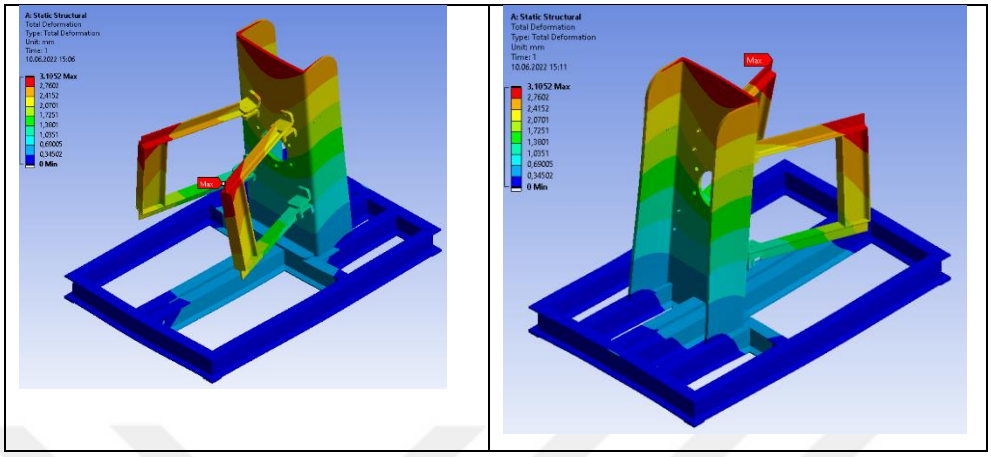
Aks kutusu sökme işlemi için ihtiyaç duyulan maksimum kuvvet 9,7 ton olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar doğrultusunda tasarımı yapılan ekipmanın 9,7 ton yük altında stres dağılımları aşağıdaki gibidir (Şekil 4.11.).




Şekil 4.11. Von Mises Gerilmeleri

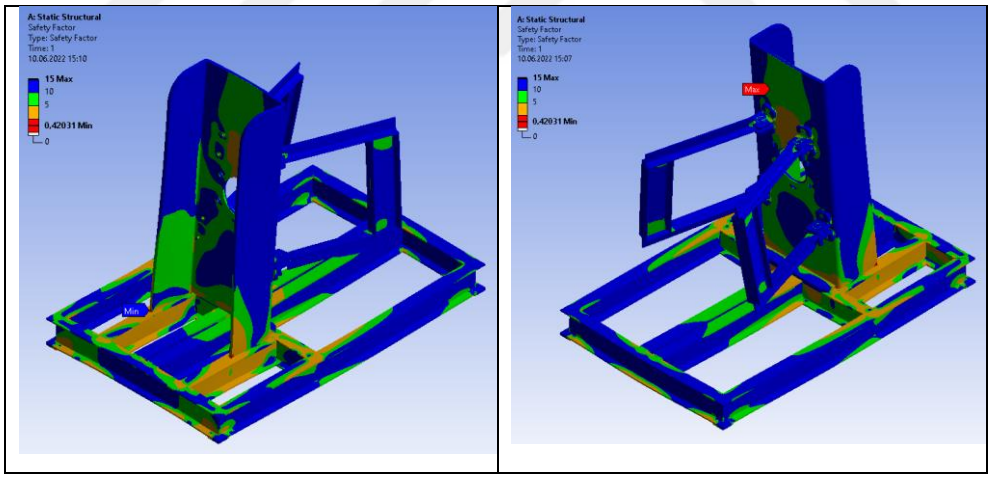
Aks kutusu kavrama kollarının statik kuvvet analizi ANSYS Workbench programında yapılmıştır. Sonuçları Çizelge 4.12.-4.13. ve Şekil 4.11.-4.13.'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre risk teşkil eden bir kesit görülmemiştir.

Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, maksimum stresin aks kutusu kavrama kollarının bağlı bulunduğu çekme gövdesi ve taşıyıcı kaidenin kaynak ile birleştirildiği bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Bu gerilmelerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.11.).




Şekil 4.12. Toplam Deformasyon 1

Aks kutusu sökmek için uygulanabilecek maksimum kuvvet sonucu oluşan toplam deformasyon incelendiğinde (Şekil 4.12.), kavrama kollarının uygulanan karşı kuvvetten dolayı maksimum deformasyona maruz kaldığı görülmüştür.




Şekil 4.13. Güvenlik Katsayısı

Sonlu elemanlar programı tarafından akma dayanımı ve parça üzerinde oluşan gerilme kıyaslanarak güvenlik katsayısı hesaplanmış Şekil 4.13.'te

gösterilmiştir. Şekle göre emniyet katsayısının 1 değerinin altında olduğu noktalarda iyileştirmeler yapılmıştır.

### 4.4 Çizimin Hazırlanması

**CAD** programları ile; iki boyutlu (2D) uzayda eğriler ve şekiller üzerinde, üç boyutlu (3D) uzayda ise eğriler, yüzeyler ve katı modeller üzerinde çalışılabilir.

Grafik ara yüzler genellikle geometrik nesnelerin oluşturulmasına ve işlenmesine yardımcı olmak için kullanılır. Çok sayıda Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılım paketleri, tasarlanan mühendislik sisteminin geometrisini içeren dosyalar üretebilen mühendislik tasarımı için kullanılır. Bu dosyalar genellikle modelleme yazılımı paketleri ile okunabilir, bu da modellerin geometrisini oluştururken önemli ölçüde zaman kazandırabilir. Bununla birlikte, çoğu durumda, doğrudan bir CAD dosyasından okunan karmaşık nesnelerin, ağ oluşturma veya ayrıştırma gerçekleştirmeden önce değiştirilmesi ve basitleştirilmesi gerekebilir. CAD paketleri, modelleme ve simülasyon paketlerini içerir ve bunlar yeni ürünlerin hızlı prototiplenmesi için faydalıdır (Lıu, G. R. and Quek, 2003).

Katı modelleme sistemleri genellikle bir veya daha fazla Sonlu Eleman Analizi (FEA) programına bir ara yüz sağlar ve model geometrisinin gerilme, titreşim ve ısı transferi analizi için FEA paketine doğrudan aktarılmasına izin verir. Bazı CAD sistemleri, verileri FEA yazılımına göndermeden önce FEA ağını otomatik olarak oluşturan bir ağ oluşturma özelliği içerir. Bu araç kombinasyonu, geometri karmaşık olduğunda geleneksel analiz teknikleriyle mümkün olandan daha doğru gerilme analizleri ile üstün tasarımlar elde etmek için son derece güçlü bir araç sağlar (Norton, R. L., 2006).

Tasarımı yapılan ekipmanın çizimi Solidworks ile yapılmış, analizleri ise ANSYS Workbench ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, önerilen çalışma gereği birçok sefer tekrarlanmış ve aparat elemanları üzerinde oluşan gerilmeler hakkında

çeşitli değerlendirmeler elde edilerek elemanlara ait nihai boyut ve kesit alanları belirlenmiştir. Belirlenen boyut ve kesit alanları dikkate alınarak teknik resim kurallarına göre oluşturulan çizimler Ek'te verilmiştir.

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada demiryolları çalışanlarının iş güvenliği ve sağlık risklerini minimuma indirmek, üçüncü şahıslara ve çevreye verilebilecek zararların önüne geçebilmek adına tren tekerlek setlerinde aks kutusu ve tekerlek bandajı sökme aparatı tasarımı yapılmıştır. Sökülen parçalar aparat platformu üzerinde güvenle taşınabildiğinden birçok iş kazası olasılığını ortadan kaldırmaktadır.

Mobil kullanım hedeflendiğinden aparat tasarımı mümkün olduğunca hafif ve kontrolü kolay bir platform üzerine yerleştirilmiştir. Aks kutusu sökme işlemi için gerekli kuvveti sağlayacak olan hidrolik güç ünitesi de yine aynı amaçla az yer kaplayan hafif bir sistem olarak düşünülmüştür.

Aks rulmanı ve aks kutusu ölçü toleranslarına göre yapılan hesaplamalarda ihtiyaç duyulacak basınç ve kuvvetler hesaplanmış bu sonuçlara göre yapılan stres analizi simülasyonlarında aparat tasarımının bahse konu sökme işlemini yapabilecek kapasite ve dayanımda olduğu kanıtlanmıştır.

Yine yapılan hesaplamalarda sorunsuz şekilde sökme işlemini gerçekleştirebilen aparat tasarımının sökülen malzemeleri aparat platformu üzerinde taşıyabildiğinden iş güvenliğine fayda sağlamanın yanı sıra bakım proseslerinide hızlandırarak iş gücü verimliliği de sağlamaktadır. İmalatı tamamlanan ekipmanın son hali aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1. İmalatı yapılan ekipman prototipi

## KAYNAKLAR


Anonymous, 2011b. http://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks (Access Date: 28 April 2011)

Atamert S., Stekly J.J., "Wear characteristics and Repair Welding of Rail Tracks, Wheels, Points and Crossing", Cambridge Pres, 1995, pp.226- 237

Backe, L., Adtranz Adana Light Rail Vehicle Technical Documents, 2003.

Canann, S. A., LIU, Y. C. and Mobley, A. V., 1997. Automatic 3D surface meshing to address today's industrial needs. Finite Elements in Analysis and Design, 25: 185-198.

Enblom, R**.,** 2004. Simulationof Wheel and Rail Profile Evolution Wear Modelling and Validaiton, Licentiate Thesis.

Eroğlu, M., Raylı Sistemlerde Ray ve Teker Arasındaki Temas Analizinin Ansys Ortamında İncelenmesi, Lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2014.

Ertekin, E., Tekerlek ve Ray Etkileşiminin Modellenmesi ve Analizi, Lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2021.

Eurostat, 2012; Göçener, 2014: 148-152

Geng, J., Yan, W., XU, W., Tan, K. B. C., Huang, H. M., Lee, S. Y., Xu, H., Huang, L. and Chen, J., 2008. Finite Element Modelling in Implant Dentistry (J. GENG, W. YAN and W. XU, edts), Zhejiang University Press, Hangzhou, pp. 81- 91.

Hiensch, M., Weeda, G. J. ve Dirks B., 2006. Measuring design IPG „Sustainable solution Curve squeal", AEAT/06/50279/004.

Hollis, E. J., 2006. A survey of UK tram and light railway systems relating to the wheel/rail interface, FE/04/14.

Hutter, 2001: 383-385

Iwnicki, S., 2006: Handbook Railway Vehicle Dynamics, Taylor and Francis Group, London.

Kabo, E., Image Analysis of Defects of Railway Wheels, Anonymous.

Kapoor A., "Wear by Plastic Ratcheting", Wear(212), 1997, pp. 119-130

Kasımzade A., Sonlu Elemanlar Metodu, 2018

Koçak, D., Demiryolu Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenliği Vagon Bakım Onarım Atölyesi Risk Değerlendirmesi Örneği, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 2014.

Komandurı R., "Machining of Fiber-Reinforced Composites", Machining Science Technology( 1 ), l 997. pp.1 l 3-152

Kondo, O., Yamazaki, Y., Simulation Technology for Railway Vehicle Dynamics, Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report No:105, 2013.

Krause H., Pool G., " Plastic Deformations of Wheel-Rail Surfaces", Wear(113), 1986, pp.123-130

Lıu, G. R. and Quek, S. S., 2003. Computational Modelling (G. R. LIU and S. S. Quek, edts). Finite Element Method: A Practical Course, Butterworth-Heinemanni, Oxford, UK, pp. 1-11

Norton, R. L., 2006. Machine Design: an integrated approach, 3rd edition , Prentice Hall, USA, pp. 12.

Nsk, Rulmanlar için kullanma talimatı.

Osha, 2014

Özdemir, Y., Ray Tekerlek Temasında Temas Parametrelerinin İncelenmesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, 2020.

Özer, A., Tekerlek Profillerinin Raylı Taşıt Dinamiğine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.

Özsaraç, U., Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçalarının Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora

tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2005.

Power Team, User manual for PE17 series two stage hydrolic pump.

Prahl F., et al., "Practical Rail Grinding", lnterface Joumal, April 2005

Şekercioğlu, T. (2021). Makine Elemanları Hesap Şekillendirme. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Tyfour W.R. et. al., "The Steady-state wear behaviour of pearlitic rail steel under dry rolling-sliding contact conditions", Wear ( 180), 1995, 79-89

Uludamar, E., Development of A Special Sidelifter For Transferring Containers Between Railroad Freight Cars and Trailers, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana: 2012.

Wolf, G**.,** 2011. Tools and Techniques for Optimizing the Wheel/Rail Interface, President, Rail Sciences, Inc., 411 Clarendon Avenue, Scottsdale, GA 30079.

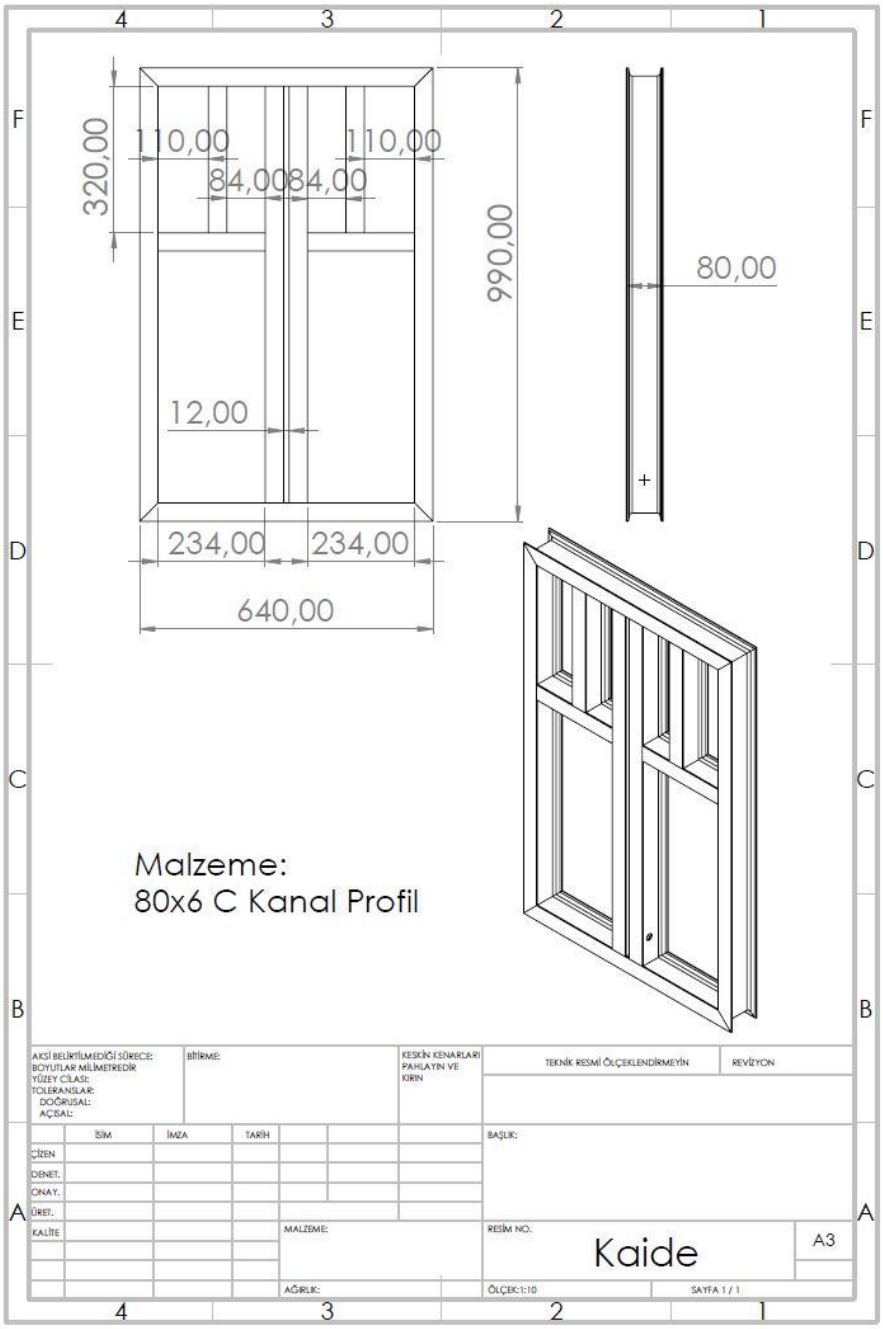
Zahavı, E. and Barlam, D., 2001. Nonlinear Problems in Machine Design. CRC Press LLC, USA, pp. 406.

Zhang, D., Hu, H., Liu, Y., Dai, L., Railway Train Wheel Maintenance Model and Its Application, Shanghai Jiao Tong Üniversitesi, Şangay, 2014.

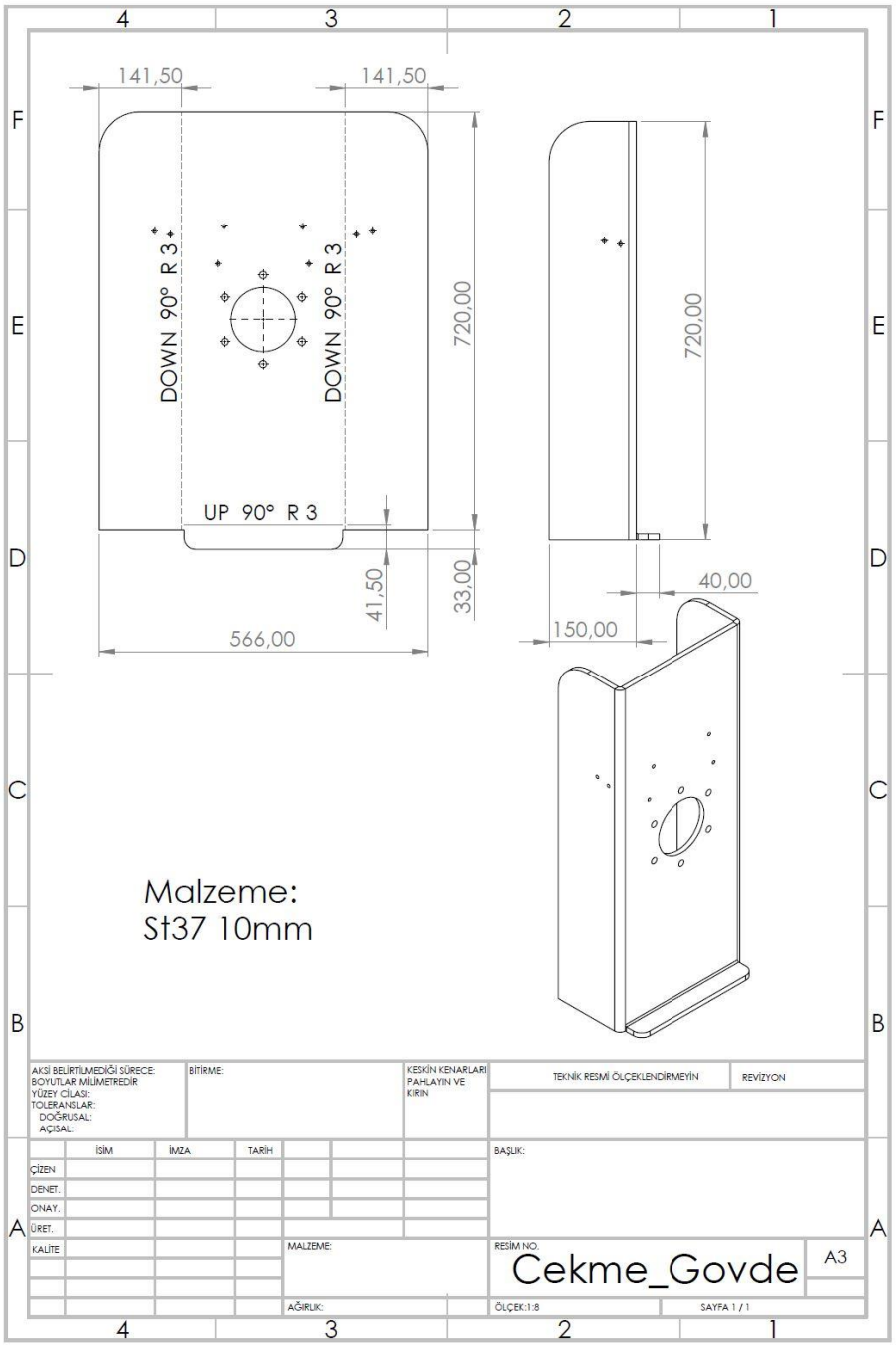
## ÖZGEÇMİŞ

Emre BİNGÜLLÜ. İlk-Ortaöğrenimini Ceyhan Remzi Oğuz Arık İlkokulu ve Yaltırkardeşler Orta Okulunda tamamladı. Lise eğitimini Halil Çifçi Anadolu Lisesinde tamamladı. 2013 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013-2015 yılları arası F&F Steel Fabrikasında Kalite Kontrol Şefi olarak görev aldı. 2015 yılında Adana Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Raylı Sistem Şube Müdürlüğünde Mekanik Bakım Şefi olarak görev aldı. Halen aynı kurum ve pozisyonda çalışma hayatına devam etmektedir.

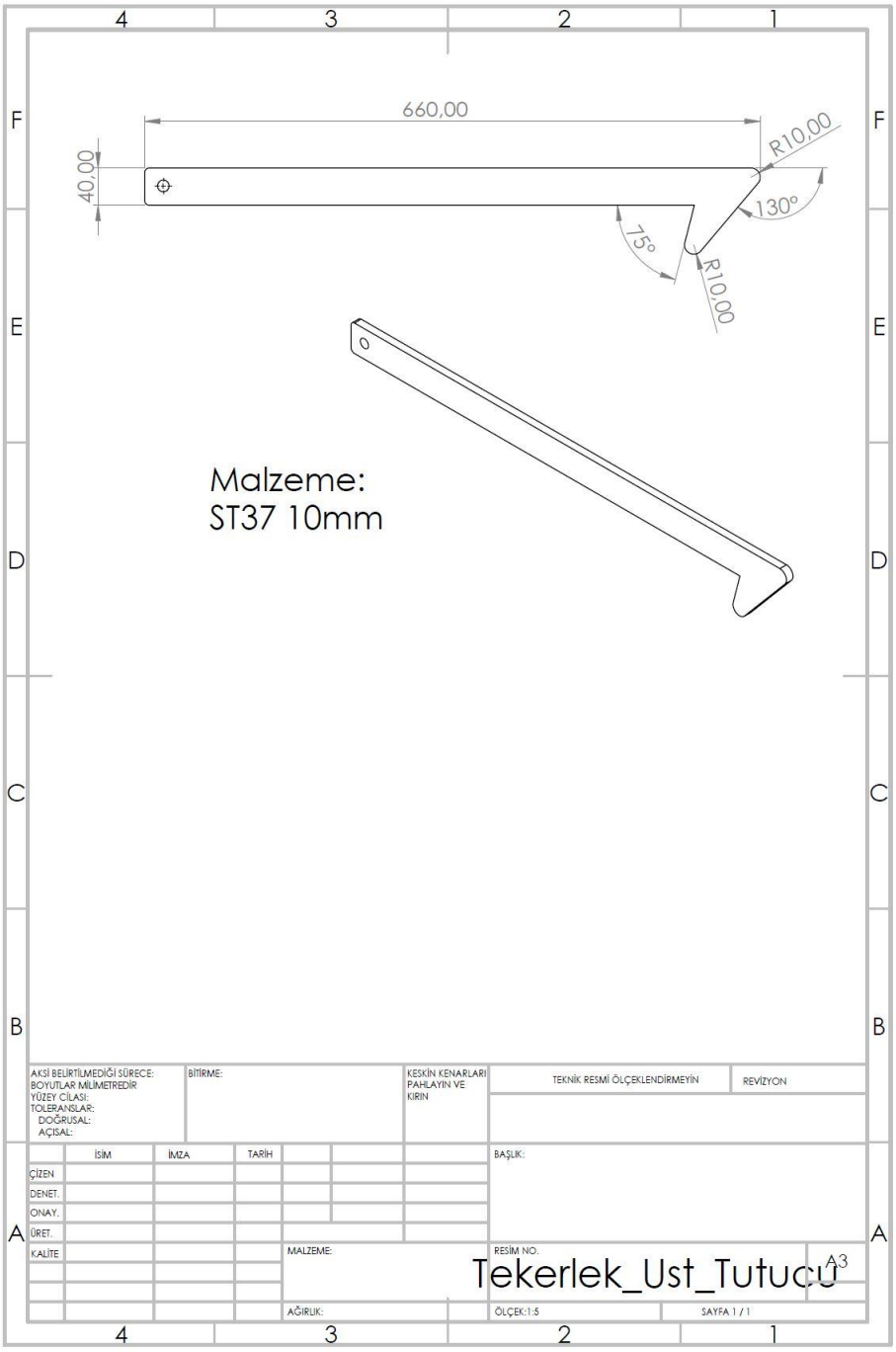
# EKLER



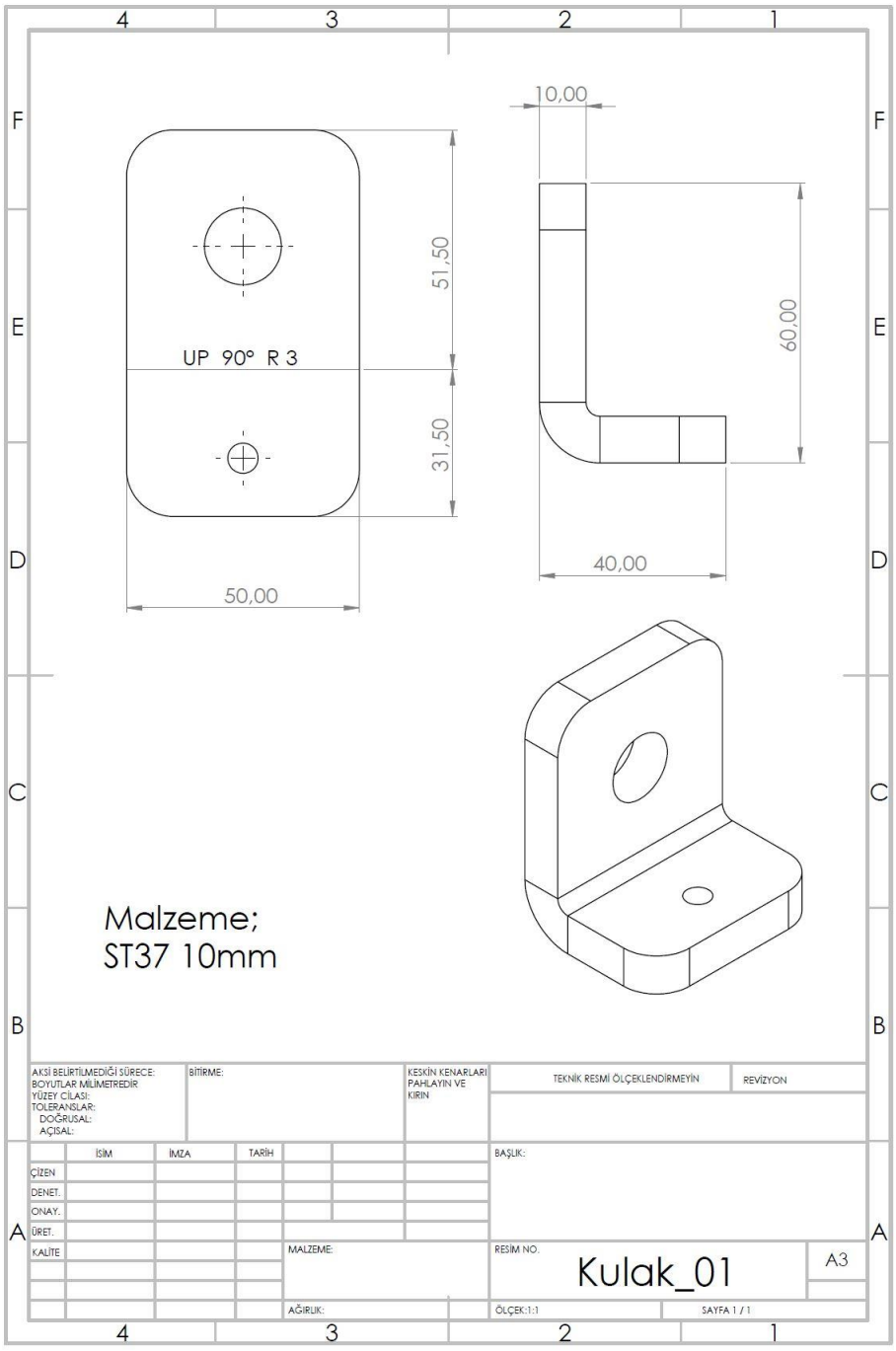

*Ek 1. Taşıyıcı Kaide*



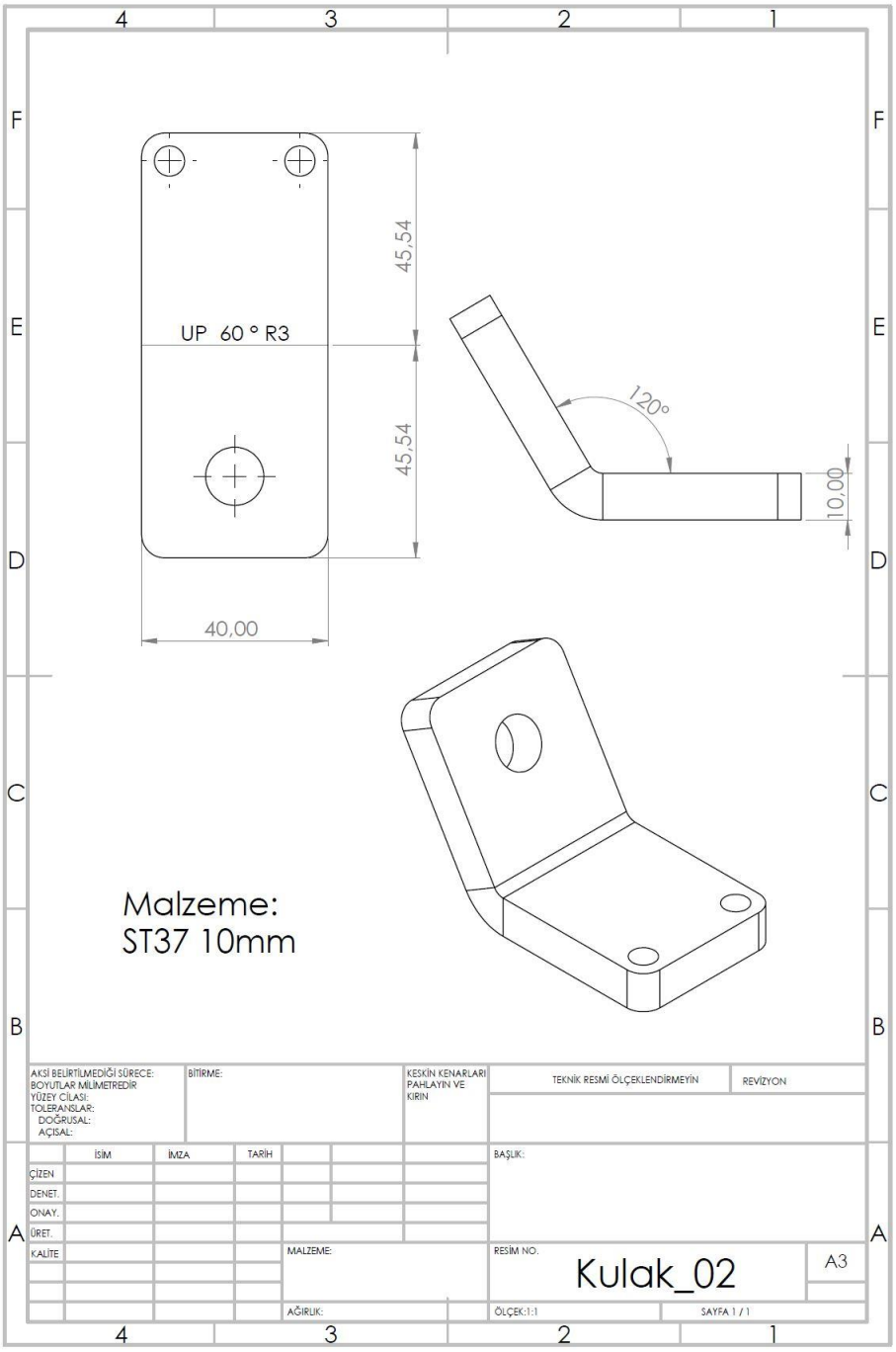

Ek 2. Çekme Gövde



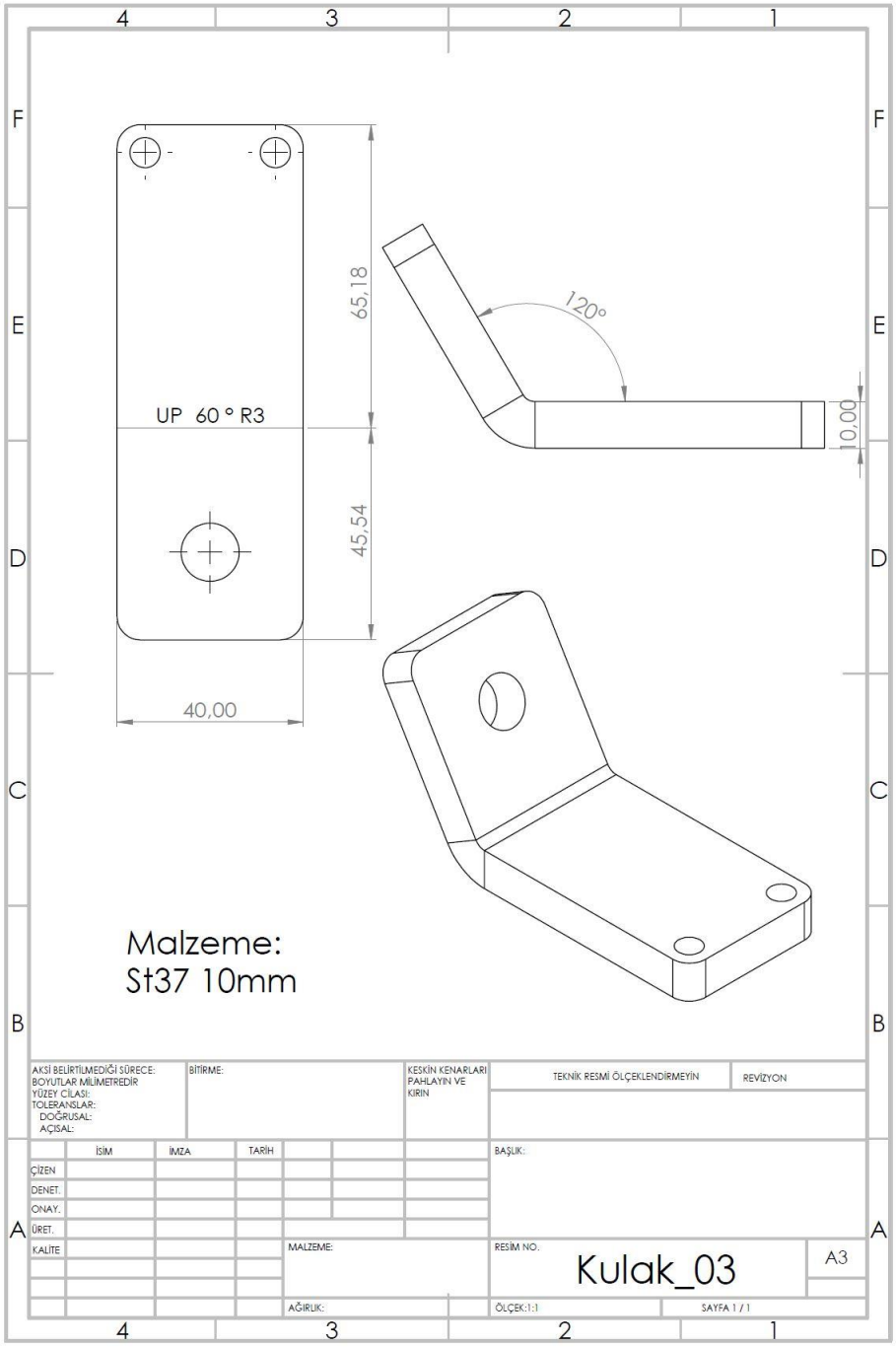

Ek 3. Tekerlek Üst Tutucu


10,00
51,50
UP 90° R 3
31,50
60,00
40,00
50,00
Malzeme;
ST37 10mm
AKSİ BELİRTİLMEDİĞİ SÜRECE:
BOYUTLAR MİLİMETREDİR
YÜZEY CİLASI:
TOLERANSLAR:
DOĞRUSAL:
AÇISAL:
BİTİRME:
KESKİN KENARLARI PAHLAYIN VE KIRIN
TEKNİK RESMİ ÖLÇEKLENDİRMEYİN
REVİZYON
İSİM
İMZA
TARİH
ÇİZEN
DENET.
ONAY.
ÜRET.
KALİTE
BAŞLIK:
MALZEME:
AĞIRLIK:
RESİM NO.
Kulak_01
A3
ÖLÇEK:1:1
SAYFA 1 / 1

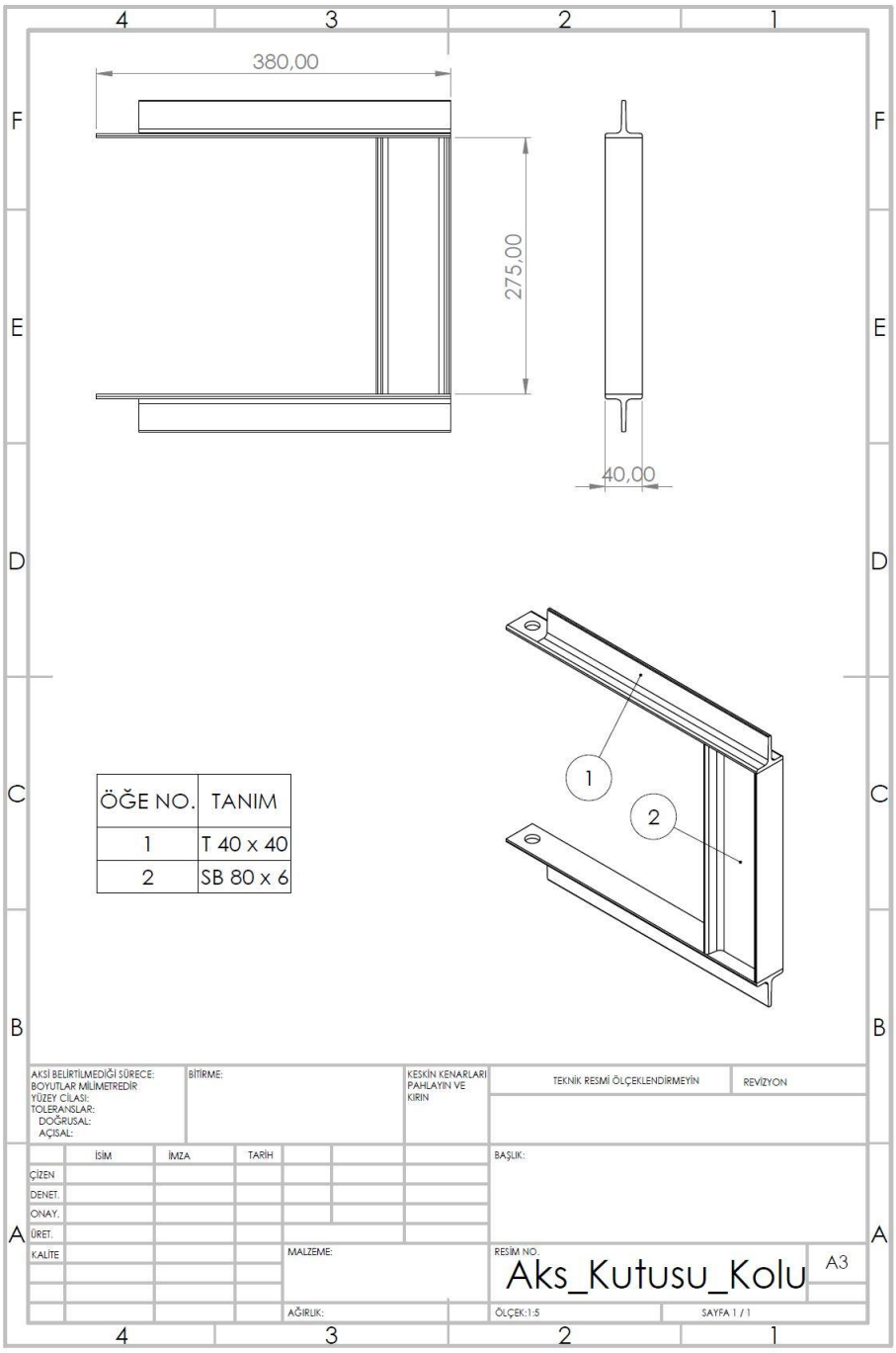
Ek 4. Kulak 01


4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
UP 60 ° R3
45,54
45,54
40,00
120°
10,00
Malzeme:
ST37 10mm
AKSİ BELİRTİLMEDİĞİ SÜRECE:
BOYUTLAR MİLİMETREDİR
YÜZEY CİLASI:
TOLERANSLAR:
DOĞRUSAL:
AÇISAL:
BİTİRME:
KESKİN KENARLARI PAHLAYIN VE KIRIN
TEKNİK RESMİ ÖLÇEKLENDİRMEYİN
REVİZYON
İSİM
İMZA
TARİH
ÇİZEN
DENET.
ONAY.
ÜRET.
KALİTE
BAŞLIK:
MALZEME:
AĞIRLIK:
RESİM NO.
Kulak_02
A3
ÖLÇEK:1:1
SAYFA 1 / 1

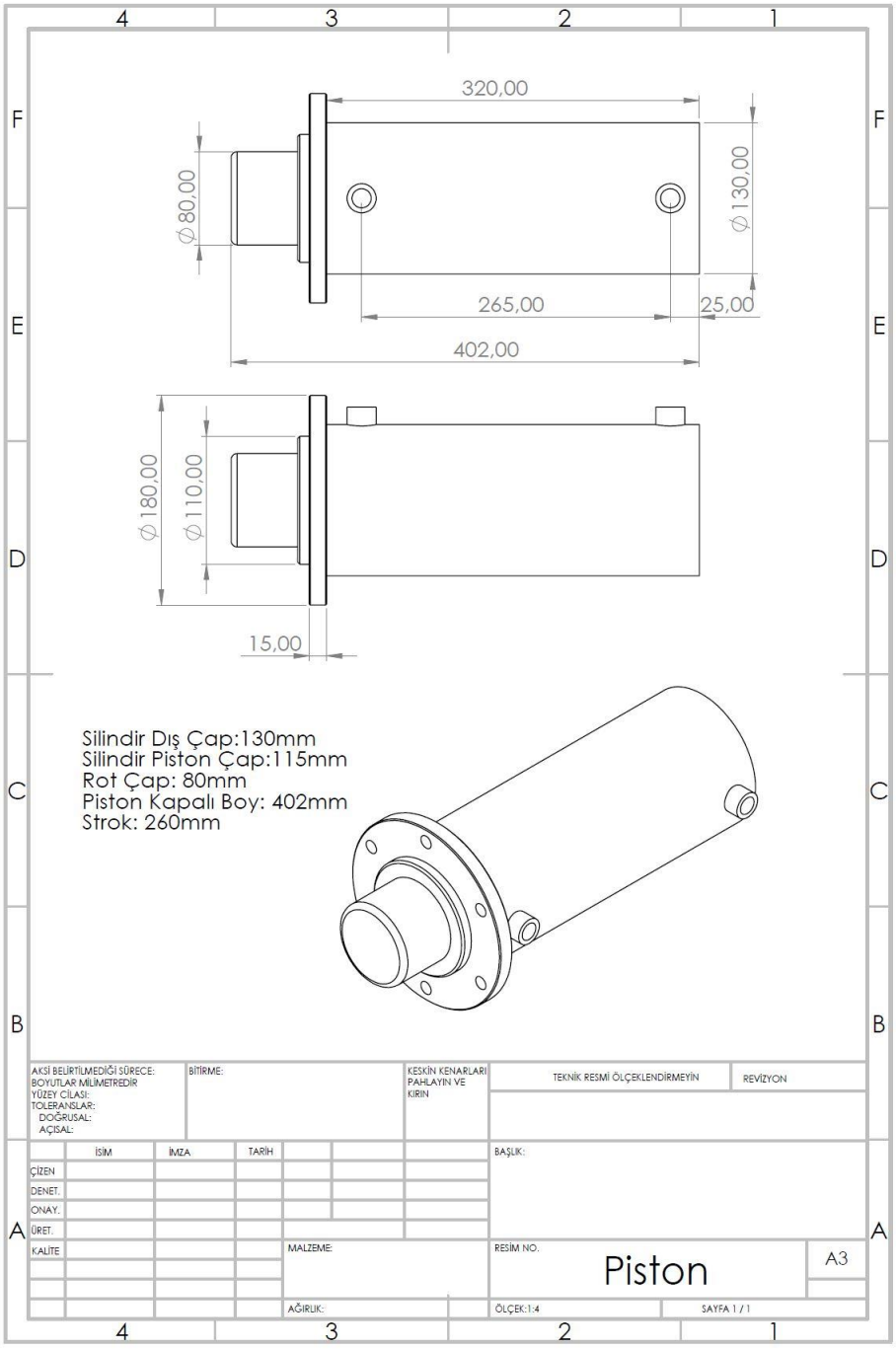
Ek 5. Kulak 2


65,18
UP 60 ° R3
45,54
40,00
120°
10,00
Malzeme:
St37 10mm
AKSİ BELİRTİLMEDİĞİ SÜRECE:
BOYUTLAR MİLİMETREDİR
YÜZEY CİLASI:
TOLERANSLAR:
DOĞRUSAL:
AÇISAL:
BİTİRME:
KESKİN KENARLARI PAHLAYIN VE KIRIN
TEKNİK RESMİ ÖLÇEKLENDİRMEYİN
REVİZYON
İSİM
İMZA
TARİH
ÇİZEN
DENET.
ONAY.
ÜRET.
KALİTE
BAŞLIK:
MALZEME:
AĞIRLIK:
RESİM NO.
Kulak_03
A3
ÖLÇEK:1:1
SAYFA 1 / 1

Ek 6. Kulak 3




Ek 7. Aks Kutusu Kavrama Kolu




Ek 8 Hidrolik Piston