

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ROTBAŞI YATAKLAMASINDA**  
**ÇELİK/POLİTETRAFLOROETİLEN BİLEŞİK MALZEME**  
**UYGULAMASININ YATAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**TOLGAHAN BURAK PARİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ (Tez Danışmanı)**  
**Prof. Dr. Ali ORAL**  
**Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN**

**BALIKESİR, OCAK - 2024**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan **“Rotbaşı Yataklamasında Çelik/Politetrafloroetilen Bileşik Malzeme Uygulamasının Yatak Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Tolgahan Burak PARİK**

**Bu tez çalışması NSK Otomotiv Sanayi Tic. A.Ş. firması tarafından tasarım merkezi kapsamında P21-01 Teflon Yataklı Rot Başı Projesi kapsamında desteklenmiştir.**

## ÖZET

**ROTBAŞI YATAKLAMASINDA ÇELİK/POLİTETRAFLOROETİLEN BİLEŞİK  
MALZEME UYGULAMASININ YATAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TOLGAHAN BURAK PARIK  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALAADDİN TOKTAŞ)**

**BALIKESİR, OCAK - 2024**

Bu çalışmada; rot başlarında kullanılan çelik/çelik malzeme çiftli yataklama tipine alternatif olarak rot başı gövde ve küresi ile birlikte çelik/politetrafloroetilen (PTFE) malzeme yapılı yeni bir yataklama tipi üretilmiştir ve bu yeni yataklamalı rot başı tipinin ömür testi ve mekanik dayanımları araştırılmıştır. Yeni tip yataklamanın rot başı imalat ve montajına katkısını tespit edebilmek adına ömür-aşınma testi, mafsal çekme testi, mafsal kapaktan çıkma testi, dönme torku testi ve çökme (boşluk) testleri yapılmıştır. Elde edilen değerler çelik-çelik yataklamalı rot başı parçalarının ömür-aşınma ve dayanım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Her iki rot başları, ham madde malzeme özellikleri ve boyutsal ölçüler açısından da incelenmiştir. Çelik/politetrafloroetilen yeni yataklama tipi kullanılan rot başlarının, çelik-çelik yataklamalı rot başlarına göre test sonuçları açısından daha uzun ömürlü ve daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Rot başı, çelik-çelik yataklama, çelik/politetrafloroetilen malzeme.

## **ABSTRACT**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF  
STEEL/POLYTETRAFLUOROETHYLENE COMPOSITE MATERIAL  
APPLICATION ON BEARING PROPERTIES IN TIE ROD END BEARING  
MSC THESIS  
TOLGAHAN BURAK PARİK  
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR DR. ALAADDİN TOKTAŞ )**

**BALIKESİR, JANUARY - 2024**

This study examines as an alternative to the steel/steel material double bearing type used in tie rod ends, a new bearing type with steel/polytetrafluoroethylene (PTFE) material structure with tie rod end body and sphere was produced and the life test and mechanical strength of this new bearing type were investigated. In order to determine the contribution of the new type of bearing to tie rod end manufacturing and assembly, life-wear test, knuckle pull-out test, knuckle cap pull-out test, rotational torque test and collapse (clearance) tests were performed. The values obtained were compared with the life-wear and strength values of the steel-steel bearing tie rod ends. Both tie rod ends were also analyzed in terms of raw material properties and dimensional dimensions. It was observed that the tie rod ends using the new steel/polytetrafluoroethylene bearing type had longer life and higher strength than the steel-steel bearing tie rod ends in terms of test results.

**KEYWORDS:** Tie rod end, steel-steel bearing, steel/polytetrafluoroethylene material.

Science Code / Codes : 91421

Page Number : 40

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ROT BAŞLARINDA ÇELİK/POLİTETRAFLOROETİLEN MALZEME YAPILI YATAKLAMA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Politetrafloroetilen (Teflon, PTFE) Malzeme .....	4
2.2 Çelik/Politetrafloroetilen Malzeme Yapılı Yataklama.....	5
2.3 Çelik/Politetrafloroetilen Malzeme Yapılı Yataklamının Avantaj ve Dezavantajları. 6	
<b>3. ROT BAŞINI OLUŞTURAN ANA MALZEMELER VE YARDIMCI BİLEŞENLER</b> .....	<b>7</b>
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>10</b>
4.1 Çelik-PTFE Yataklamalı Rot Baş İmalatı .....	10
4.1.1 Rot Baş Gövde .....	10
4.1.2 Rot Baş Küre.....	14
4.1.3 Rot Baş Konik Yatak .....	18
4.1.4 Rot Baş Çelik-Politetrafloroetilen Yatak.....	20
4.1.5 Rot Baş Çanak Yay .....	22
4.1.6 Rot Baş Kapak .....	23
4.2 Rot Baş Montajı .....	24
4.3 Deneyler .....	26
4.3.1 Dönme Torku (Rotation Torque) Testi .....	26
4.3.2 Çökme (Backlash) Testi.....	27
4.3.3 Küre Kapaktan Çıkma (Push Out) Testi .....	28
4.3.4 Küre Yuvadan Çıkma (Pull Out) Testi .....	29
4.3.5 Ömür - Aşınma (Life - Wear) Testi .....	30
<b>5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>32</b>
5.1 Dönme Torku (Rotation Torque) Test Sonuçları.....	32
5.2 Çökme (Backlash) Testi Sonuçları .....	32
5.3 Kapaktan Çıkma (Push Out) Test Sonuçları .....	33
5.4 Yuvadan Çıkma (Pull Out) Test Sonuçları .....	33
5.5 Ömür - Aşınma (Life - Wear) Test Sonuçları .....	34
<b>6. GENEL SONUÇLAR</b> .....	<b>37</b>
<b>7. KAYNAKLAR (IEEE)</b> .....	<b>38</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>40</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Çelik/Politetrafloroetilen malzemeden elemanlar (parçalar).....	5
Şekil 3.1: McPherson süspansiyon sistemi. ....	7
Şekil 3.2: Rot başı montajı katı modeli.....	9
Şekil 4.1: a) Proses anı pres dış görünüş. b) Dövme proses yakın görünüş.....	11
Şekil 4.2: Rot başı gövde bileşenine ait dövme hammadde teknik resmi. ....	11
Şekil 4.3: Rot başı gövde bileşenine ait teknik resim .....	12
Şekil 4.4: a) Talaşlı imalat öncesi proses. b) Talaşlı imalat sonrası proses. ....	13
Şekil 4.5: Rot başı gövde a) dövme sonrası. b) talaşlı imalat sonrası.....	13
Şekil 4.6: a) Proses anı dış görünüş. b) Proses sonrası dövme hammadde.....	14
Şekil 4.7: Rot başı küre bileşenine ait dövme hammadde teknik resmi .....	14
Şekil 4.8: Rot başı küre parçaya ait talaşlı imalat a) öncesi ve b) sonrası görüntüleri.....	15
Şekil 4.9: Talaşlı imalat sonrası rot başı küre parçasının teknik resmi.....	16
Şekil 4.10: Rot başı kürenin a) dövme sonrası ve b) talaşlı imalat sonrası katı modeli.....	16
Şekil 4.11: İndüksiyon yüzey sertleştirme işlemi a) İndüksiyonla ısıtma b) Soğutma .....	18
Şekil 4.12: Konik yatak a) kesit ve b) 3D görüntüsü. ....	19
Şekil 4.13: Rot başı konik yatak teknik resmi .....	19
Şekil 4.14: Çelik/Politetrafloroetilen bileşik malzeme a)alt ve b)üst yatak.....	20
Şekil 4.15: Çelik/Politetrafloroetilen bileşik malzeme katmanları .....	21
Şekil 4.16: Rot başı çelik-PTFE a) alt ve b) üst yatak teknik resmi .....	21
Şekil 4.17: Çanak yay a) katı modeli ve b) teknik resmi .....	22
Şekil 4.18: Kapak a) kesit ve b) 3D görüntüsü. ....	23
Şekil 4.19: Rot başı kapak bileşenine ait teknik resim .....	24
Şekil 4.20: Rot başı gövde sıvama prosesi.....	25
Şekil 4.21: Montaj kesit resmi .....	25
Şekil 4.22: Rot başı montaj halı. ....	26
Şekil 4.23: Dönme torku (rotation torque) test istasyonu. ....	27
Şekil 4.24: Çökme (backlash) test istasyonu.....	28
Şekil 4.25: Kapaktan çıkma (push out) test istasyonu. ....	29
Şekil 4.26: Yuvadandan çıkma (pull out) test istasyonu. ....	29
Şekil 4.27: Ömür - Aşınma (Life - Wear) test istasyonu. ....	31
Şekil 4.28: Rot başı ömür - aşınma (life - wear) deney düzeni.....	31
Şekil 5.1: Rot başı gövde alt çıkış çapı gösterimi için görsel. ....	34
Şekil 5.2: PTFE yatak a) alt yatak ve b) üst yatak. ....	35

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Politetrafloroetilen (Teflon, PTFE) malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri. ....	5
<b>Tablo 4.1:</b> Rot başı gövdesine ait dövme hammadde malzeme analizi (% ağırlık). ....	10
<b>Tablo 4.2:</b> Rot başı gövde malzemesinin mekanik özellikleri.....	10
<b>Tablo 4.3:</b> Rot başı gövdesine ait dövme hammadde kalite ölçümü(mm) .....	11
<b>Tablo 4.4:</b> Rot başı gövde talaşlı imalat proses verileri.....	12
<b>Tablo 4.5:</b> Rot başı gövde bileşenine ait kalite ölçümü(mm).....	13
<b>Tablo 4.6:</b> Rot başı küre malzemesine ait kimyasal bileşim (% ağırlık) .....	14
<b>Tablo 4.7:</b> Rot başı küre bileşenine ait dövme hammadde kalite ölçümü(mm) .....	15
<b>Tablo 4.8:</b> Rot başı küre talaşlı imalat proses verileri .....	15
<b>Tablo 4.9:</b> Rot başı küre parçasına ait kalite ölçümü (mm).....	16
<b>Tablo 4.10:</b> Rot başı küresinin ıslah ısıtma işlem ve indüksiyon yüzey sertleştirme sonrası sertlikleri. ....	18
<b>Tablo 4.11:</b> Rot başı konik yatak kimyasal bileşimi (% ağırlık) .....	19
<b>Tablo 4.12:</b> Rot başı konik yatak talaşlı imalat proses verileri.....	19
<b>Tablo 4.13:</b> Rot başı konik yatak bileşenine ait kalite ölçümü(mm).....	20
<b>Tablo 4.14:</b> Çelik/Politetrafloroetilen yatak kimyasal bileşimi (% ağırlık) . ....	20
<b>Tablo 4.15:</b> Çelik/Politetrafloroetilen yatak malzeme yapısı katmanları ve kalınlıkları (mm) .....	21
<b>Tablo 4.16:</b> Rot başı çelik-PTFE alt ve üst yatak bileşenine ait kalite ölçümü(mm) .....	22
<b>Tablo 4.17:</b> Rot başı çanak yay kimyasal bileşimi (% ağırlık) .....	22
<b>Tablo 4.18:</b> Rot başı çanak yay deplasman(mm) – yay kuvveti(kN) değişimi . ....	22
<b>Tablo 4.19:</b> Rot başı çanak yay bileşenine ait kalite ölçümü(mm) . ....	23
<b>Tablo 4.20:</b> Rot başı kapak kimyasal bileşimi (% ağırlık). ....	23
<b>Tablo 4.21:</b> Rot başı kapak talaşlı imalat proses verileri.....	23
<b>Tablo 4.22:</b> Rot başı kapak bileşenine ait kalite ölçümü(mm) . ....	24
<b>Tablo 4.23:</b> Rot başı sıvama prosesi proses verileri. ....	24
<b>Tablo 4.24:</b> Mobil grease endüstriyel gres yağ teknik verileri . ....	24
<b>Tablo 4.25:</b> Dönme torku testi proses verileri .....	27
<b>Tablo 4.26:</b> Çökme testi proses verileri .....	28
<b>Tablo 5.1:</b> Rot başı dönme torku (rotation torque) testi sonuçları .....	32
<b>Tablo 5.2:</b> Rot başı çökme (backlash) testi sonuçları .....	33
<b>Tablo 5.3:</b> Rot başı kapaktan çıkma (push out) test sonuçları .....	33
<b>Tablo 5.4:</b> Rot başı yuvadan çıkma (pull out) test sonuçları. ....	34
<b>Tablo 5.5:</b> İki tip yataklama için rot başı Ömür - Aşınma / Life - Wear test sonuçları.....	36



## SEMBOL LİSTESİ

<b>kV</b>	: Kilovolt
<b>EN</b>	: Avrupa Standardı
<b>SAE</b>	: Otomobil Mühendisleri Derneği Standardı
<b>DIN</b>	: Alman Standartlar Enstitüsü
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>Sn</b>	: Saniye
<b>Kg</b>	: Kilogram
<b>Nm</b>	: Newton-metre
<b>kN</b>	: KiloNewton
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>°C</b>	: Santigrat Derece
<b>C</b>	: Karbon
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>P</b>	: Fosfor
<b>S</b>	: Kükürt
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Sn</b>	: Kalay
<b>Zn</b>	: Çinko
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>HRC</b>	: Rockwell Sertlik Değeri
<b>HB</b>	: Brinell Sertlik Değeri

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ ve Sayın Doç. Dr. Gülcan TOKTAŞ' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu tezin içeriğinde ve oluşumunda gerekli olan imalat aşamaları ve test süreçleri konusunda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen başta departman müdürüm Sayın Mustafa UÇAR' a, Ar-Ge bölüm şefi Sayın Kayhan ALTINEL' e, Ar-Ge sorumlusu Sayın Zülfikar GENÇ' e ve tüm NSK Otomotiv Sanayi Tic. A.Ş. çalışanlarına da en içten teşekkürlerimi sunarım.

**Balıkesir, 2024**

**Tolgahan Burak PARİK**

# 1. GİRİŞ

Rot başı, sürüş güvenliği açısından doğrudan ve hayati öneme sahip bir direksiyon mekanizmasının en temel parçalarından biridir. Rot ucu, tekerleklerin hizalanmasını sağlamak için kullanılır. Tekerleğin hizalanmasını sağlar ve lastiklerin iç ve dış kenarlarda aşınmasını önler. Bu nedenle, rot kolunun çalışması, aracın süspansiyon performansının yanı sıra direksiyon için de çok önemlidir [1].

Ayrıca araç süspansiyonu, bir arabanın eksenlerini veya tek tek tekerleklerini bir çerçeveye veya doğrudan bir araç gövdesine bağlayan bir grup elastik eleman ve çubuk olarak tanımlanır. Süspansiyonun amacı, yoldaki engebelerden kaynaklanan darbeleri azaltmak, maksimum konfor sağlamak ve taşınan nesnelerin darbelere ve zararlı titreşimlere karşı korunmasını sağlamaktır. Aracın çok güçlü darbelere karşı korunmasının çeşitli mekanizmaların dayanıklılığı üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Araç süspansiyonunun ana bileşenlerinden biri de rot başıdır [2].

Mondragon-Parra ve ark. [3] aktarma organları ve şasi bileşenlerinin binek araçlardaki toplam mekanik kayıpların yaklaşık %2'sini oluşturduğunu ileri sürmüştür.

Chavan ve Patnaik [4] sürüş sırasında değişen kuvvetler ve aracın çarpması durumunda rot kolunun arızalanabileceğini belirtmişlerdir. Direksiyondan gelen kuvvetlerin de aracın statik durumu sırasında çok önemli olduğunu ve bağlantı çubuğunun aşırı titreşimi ve burkulmasının yapısal arızaya yol açabileceğini ifade etmişlerdir. Yazarlar burkulma mukavemetini değerlendirmişler ve farklı malzemeler için bağlantı çubuklarının burkulma performansını karşılaştırmışlardır. Rot kolunun sonlu eleman modellerini kullanarak, rot kolunun her bir bileşenindeki sertlik ve gerilim dağılımlarını elde etmişlerdir.

Falah ve ark. [5], araç uzun süreli koşullarda çalıştığında süspansiyon sistemine etki eden dikey, yanal ve yatay kuvvetler nedeniyle araç rot kolunu teğetsel yüklenmiş olarak tanımlamışlardır. Rot malzemesinin elastiklik sınırı aşmaması ve bu değişen yükleme etkilerinin, rot kolları gibi araba bağlantılarının performansını doğrudan etkilediğini bildirmişlerdir. Birçok geleneksel aracın rot kolları içeren, kremayer ve pinyon olarak

bilinen bir direksiyon sistemiyle çalıştığını vurgulamışlardır.

Guiggiani [6] bağlantı çubuklarının bağlantı taşıyıcı çekme yükleri olarak kullanılabilir ince yapısal elemanlar olduğunu belirtmiştir. Bağlantı çubukları hem çekme hem de basınç gerilimi altında çalışan direksiyon mekanizmasının bir parçasıdır. Tipik bir rot uzunluğunun kesitteki oranının çok büyük olduğunu ve basınç yükünün etkisi altında bükülebileceğini bildirmiştir.

Manik ve ark. [7], bir rot kolunun çalışma mukavemetinin, izin verilen çalışma gerilimi ile minimum kesit alanının etkilendiği sonucuna varmışlardır. Direksiyon kremayerinin her bir ucu rot koluna bağlanmıştır. Pinyon oluklu kremayerin üzerinde döner. İşlevi, direksiyon aracın sol veya sağ tarafına döndüğünde ön tekerlekleri itmek ve çekmektir. Sunulan sonuçlar, deformasyon ve gerilim dağılımının akma dayanımı değerini aşmadığını ve rot kolunda herhangi bir hasar veya arızanın olmadığını göstermiştir. Ancak hesaplama sonuçlarının doğruluğunun ve seçilen modelleme parametrelerine bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Aravindaraj ve ark. [8] aşırı yük uygulanması halinde traktör bağlantı rotunun arızalandığını bildirmişlerdir. Natrayan ve ark. [9] eski rot tasarımını ve tarımda uygulanan malzemeleri incelemişler ve ardından ANSYS yazılımını kullanarak kritik yükleme koşulları altında çeşitli gerilim ve deformasyon özelliklerine sahip değiştirilmiş bir tasarımı analiz etmişlerdir.

Ayrıca Özsoy ve Pehlivan [10] van tipi bir araç için rotbaşı parçasının yapısal analizini gövde, bağlantı ve yatağın sonlu elemanlar modelini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bağlantı montajına yönelik analizler çeşitli bağlantı ucu yönelimleri için gerçekleştirilmiştir. Çeşitli operasyonel yükleme koşulları için her bir bileşenin gerilim değişimlerini ve deformasyon özelliklerini incelemişlerdir.

Patil ve ark. [11] belirli bir araç için rotbaşı ve rot kolunun doğal frekansını ve statik gerilimini sayısal olarak belirlemişlerdir. Mekanizmanın tamamını tek parça olarak modellemişler ve güvenli bir şekilde çalışabileceğini bulmuşlardır.

Senniappan ve ark. [12] ağır ticari bir aracın direksiyon rot kolunu inceleyerek bilgisayar

destekli mühendislik (CAE) analizi yoluyla direksiyon rot kolunun ilk tasarım teklifinin ömrünü tahmin etmişler ve bu sonucu gerçek bileşen test ömrüyle karşılaştırmışlardır.

Değişen kuvvetler ve direksiyon sırasında aracın çarpması nedeniyle rot kolu bozulabilir. Direksiyondan gelen kuvvetler de arabanın statik durumu sırasında dikkate alınır. Rot başının yorulması ve burkulması, ortaya çıkan titreşim ve gerilimler istenmeyen ve aşırı ise yapısal bozulmaya yol açar [13].

Buna bağlı olarak üreticiler kalitelerini artırmak amacı ile kullanılan bileşenlerin, daha mukavim ve daha uzun ömürlü olmasının yanında bir o kadar da ekonomik olması üzerinde çalışmalarına yön vermişlerdir.

Araçlarda kullanılan rot başları plastik yataklamalı, çelik-çelik yataklamalı, çelik burç yataklamalı olmak üzere üç farklı şekilde üretilebilmektedir. Mevcut rotbaşı yataklama tiplerinin birbirlerine göre üstünlükleri bulunmasına karşın sanayide teknik ve dayanım özellikleri üstünlüğü nedeni ile çelik-çelik yataklama tipi yoğun olarak kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak özellikle rot başı imalatında müşterileri tarafından birçok sınırlayıcı spektin belirtilmesine karşın uygun yataklama tipinin seçimini gerçekleştirmek ve/veya farklı spektlere uygun yataklama tasarımı yapmak büyük önem arz etmektedir.

Bu tezde; geleneksel çelik-çelik yataklamalı rot başı imalatına alternatif çift malzemeli (çelik-PTFE) yeni bir rot başı dizaynının yapılması amaçlanmıştır. Tasarım ve imalat çalışmalarına ek olarak, direksiyon sisteminde kullanılacak olan bu yeni rot başının servis ömrünü ve dayanım değerlerini ortaya çıkarmak için bir dizi deneylerin yapılması amaçlanmıştır. Aynı deneyler geleneksel çelik-çelik yataklamalı rot başı için de uygulanarak, yeni çift malzemeli rot başı özelliklerinin karşılaştırmalı olarak ortaya konulması hedeflenmiştir.

## 2. ROT BAŞLARINDA ÇELİK/POLİTETRAFLOROETİLEN MALZEME YAPILI YATAKLAMA

### 2.1 Politetrafloroetilen (Teflon, PTFE) Malzeme

Politetrafloroetilen (Teflon, PTFE), 1938'de Du Pont firmasından Roy J. Plunkett tarafından bulunmuş ve 1946'da ticari olarak piyasaya sürülmüştür. Bir termoplastik floropolimerdir. Flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz bir karbon zincirinden meydana gelmiş moleküler yapı, atomlar arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle oldukça inert özelliklere sahiptir. Isıya, kimyevî maddelere, neme, elektrik atlamasına (dielektrik), sürtünmeye dayanıklı olan Teflon hiçbir maddeye yapışmaz, sürtünme katsayısı bütün katı cisimlerinkinden küçüktür. Teflon 260 °C üzerindeki sıcaklıklarda bozulmaya başlar; 350 °C civarında tamamen yapısı bozulur.

Kimyasal yapısı; Tetrafluoroetilen eldesinde, heksaklor etandan başlayarak, 1,2 diklor, 1-1, 2-2 tetrafluor etan elde edilir. Bu da çinko ile reaksiyona sokulursa tetrafluoretilen elde edilir. Tetrafluoretileni kloroformdan başlayarak da elde etmek mümkündür. Elde edilen tetrafluoretilen, yüksek sıcaklıkta peroksidin katalitik etkisiyle polimerize edilir.

Politetrafluoroetileni imal eden 2 firmadan Du Pont bu maddeye "teflon"; Allied Chemical ise "halon" ticari isimlerini vermişlerdir. Elde edilen polimer yapışkan olmadığı, ısıya ve mekanik baskılara dayanıklı olduğu için kullanma maksadına göre özel kalıplarda yüksek basınç altında 300-400 °C sıcaklık altında sentezlenmek suretiyle kütükler hâline sokulur.

Erimiş veya çözülmüş hâldeki saf sodyum, saf potasyum gibi alkali metaller, flor gazı, yüksek sıcaklık ve basınç altında teflona etki eder. Bunun dışında ultraviyole ışınlarına, ozon, nem, sıcaklık, tuz ve benzeri maddelere dayanıklılığıyla metal, plastik, ağaç, seramik gibi maddeleri kaplamak için uygundur.

En çok kullanıldığı yerler; yüksek ısıya dayanıklı conta, keçe, bant, vana seti, salmastra, taşıyıcı band ve merdaneler, kimyevî maddelere dayanıklı boru, karıştırıcı, laboratuvar cihazları, filtre, diyafram, elektrik gerilimlerine dayanıklı kablo yalıtkanı, ızalotör, elektrikli âletlere gerekli muhtelif yalıtkan parçalar ve makine sanâyinde sürtünmeye dayanıklı yağsız yataklar ve burçlar, köprü ve binalar için kayar yataklar, segmanlar ve

yağ sıyırma siğilleri, pnömatik ve hidrolik parçalar yapımı, mouse altları sayılabilir [14].

PTFE malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir [15].

**Tablo 2.1:** Politetrafloroetilen (Teflon, PTFE) malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Eğilme Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Sürtünme Katsayısı (dinamik)	Isı İletkenliği (cal/cm °C)	Dielektrik Değeri (KV)	Hacmi Direnç (ohm-cm)
2.1-2.2	140-380	40-50	3500-6300	0.06	$5.5-6.6 \times 10^{-4}$	40-80 (0.1mm)	1018

## 2.2 Çelik/Politetrafloroetilen Malzeme Yapılı Yataklama

Kendinden yağlamalı olup yüksek performans vermesi ve maliyetinin de düşük olması sebebiyle en çok tercih edilen burç çeşididir. Katmanın kalınlığını, direncini, çalışma ömrünü ayarlayabilir, asidik veya bazik ortamlarda bile çalışabilmesi sağlanabilir [16].

Kullanım Yerleri: Otomotiv sektöründe bağlantı parçaları, hidrolik pompalar, forklift ve kaldırma makinaları, tekstil makinaları, tarım ekipmanları, pnömatik ekipmanlar [16].

Şekil 2.1 de makine imalatında kullanılan çelik/politetrafloroetilen malzemedan üretilmiş çeşitli makine elemanları (yatak, burç, conta, vs..) görülmektedir.



**Şekil 2.1:** Çelik/Politetrafloroetilen malzemedan elemanlar (parçalar).

## **2.3 Çelik/Politetrafloroetilen Malzeme Yapılı Yataklamının Avantaj ve Dezavantajları**

### **Avantajları;**

- Çelik/Politetrafloroetilen malzeme yapılı yataklama kullanılan ürünlerde aşınma zafiyeti azalır,
- Kullanım sonrası dayanım testleri bakımından dönme torqu testinde stabil değerler alınmasını sağlar,
- Çökme testinde çelik-çelik yataklamaya ithafen daha iyi ve daha küçük değerler sağlanır,
- Çelik-çelik yataklama içerisinde kullanılan çelik yay bu tip yataklamada bulunmadığından yataklamının daha uzun ömürlü olmasını sağlar,
- Sürtünme katsayısı değeri azdır,
- Sıcaklık limitleri oldukça geniştir,
- Kullanımı ve montajı kolaydır.

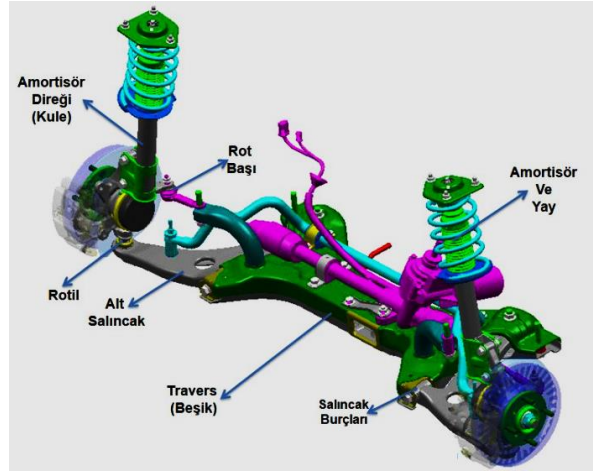
### **Dezavantajları;**

- Malzeme maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda çelik-PTFE yataklama dayanım yönünden iyi olmasına karşın ürün fiyatını arttırabilir.



### 3. ROT BAŞINI OLUŞTURAN ANA MALZEMELER VE YARDIMCI BİLEŞENLER

Direksiyon sisteminin rot kolu, orta bağlantıyı konvansiyonel süspansiyon sistemindeki direksiyon mafsalına ve Şekil 3.1 de gösterilen McPherson süspansiyon sistemindeki direksiyon mafsalını da krameyer dişlisine bağlar. Rot genellikle raftan kuvvet alır ve tekerlekleri döndürmek için bu kuvveti mafsala aktarır. Rot, dişli kısmı, dış ucu ve iç ucu olan silindirik bir çubuktur. Rot çoğunlukla alaşımlı çelikten yapılır [17]. Rot başının ucu küresel mafsal şeklinde dizayn edilmiştir. Küresel şekilde olmasının sebebi tekerleğin bulunduğu pozisyonun açısı ne olursa olsun direksiyon kutusundan gelen hareketi rahatlıkla aktarabilmesi içindir.



Şekil 3.1: McPherson süspansiyon sistemi.

Rot başı montajında kullanılan elamanlar ve işlevleri aşağıda verilmiştir. Verilen elemanların montajı ile elde edilen rot başı katı modeli Şekil 3.2’de verilmiştir [18].

- Rot başı gövdesi
- Rot başı küresi
- Çelik/politetrafloroetilen yataklama
- Çanak yay
- Kapak
- Boğaz lastiği

- Toz lastiği
- Yüzük
- Muhafaza kapađı
- Somun

- **Rot başı gövdesi;**

Gövde üzerinde bulunan vida diş yardımıyla rot koluna bağlanmaya yarayan ve içerisinde bulunan talaşlı imalat sebebiyle yataklama sağlayan parçadır.

- **Rot başı küresi;**

Küre üzerinde bulunan küresel talaşlı imalat yüzeyi ile yataklamaya montaj yapılan, küresel hareketler yapabilen ve üzerinde bulunan konik yüzey sebebi ile karşıt parçaya montaj yapılarak üzerine gelen kuvvetleri karşıt parçaya ileten, direk hareketini sağlayan parçadır.

- **Çelik/politetrafloroetilen yataklama;**

Gövde ve küre arasında kullanılan yataklama elemanıdır. İç yüzeyi sebebi ile küresel montajı yapılan rotbaşı küresi ile arasında bir dönme torku meydana getiren parçadır.

- **Çanak yay;**

Kapak ile konik yatak arasında baskıyı sağlayan parçadır.

- **Kapak;**

Rot başı çelik/politetrafloroetilen yataklama üzerine rot başı montajı sonrası kapama görevi gören ve dışarıdan gelecek toz vb. yabancı malzemelerin girişini önleyen, çelik/politetrafloroetilen yataklama üzerinde belirli bir kuvvet uygulayarak dönme torku meydana getiren parçadır.

- **Boğaz lastiği;**

Küre ile gövdenin rot başının yapacağı maksimum açıda çelik-çelik teması önleyen ve toz lastiğinin konik yüzeyden boşluğa düşmemesini sağlayan parçadır.

- **Toz lastiği;**

Kürenin konik yüzeyi üzerine montaj edilerek üzerine montaj yapılan yüzük bileşeni yardımıyla rot başı içerisine su, toz vb. yabancı maddelerin girmesini önleyen parçadır.

- **Yüzük;**

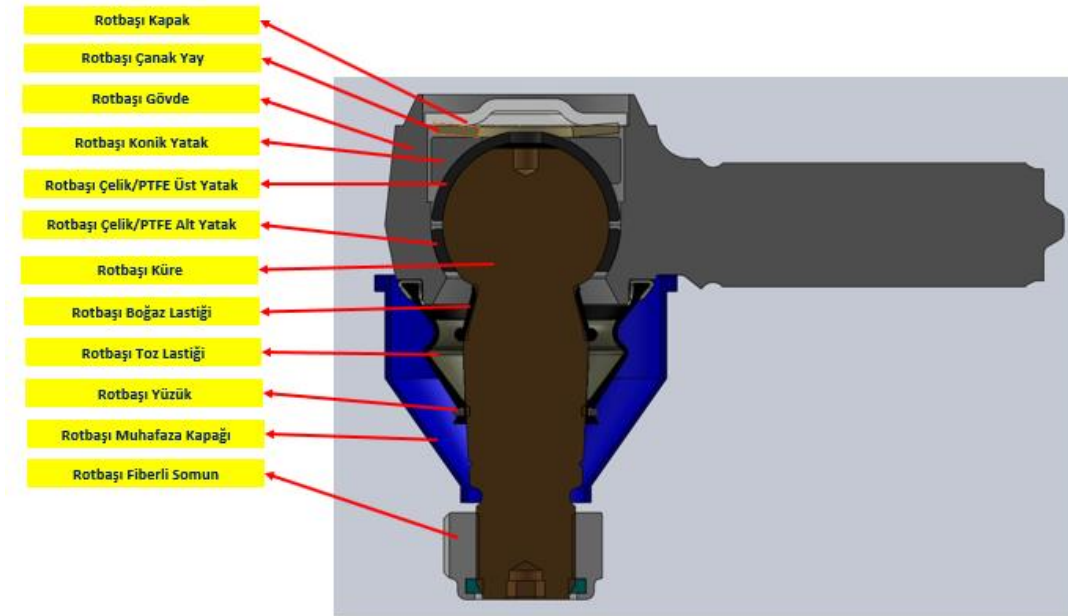
Toz lastiği ile küre montajı sonrası iki parçanın yapışma yüzeyleri arasından su, toz vb. yabancı maddelerin girmesini önleyen toz lastiğini destekleyen parçadır.

- **Muhafaza kapađı;**

Montajı tamamlanmış ve sevk edilecek rot başı ürününün toz lastiği, küre bileşenin dış ve konik bölgelerini korumayı sağlayan parçadır.

- **Somun;**

Rot başı küresinin vida dişli kısmına montaj yapılarak rot başının karşıt parçaya montajını sağlayan parçadır.



Şekil 3.2: Rot başı montajı katı modeli.

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu kısımda yapılan çalışmalar iki ana başlık altında incelenecektir. İlk olarak çift yataklamalı (çelik-PTFE) rot başı imalat yöntemi detaylı olarak açıklanacaktır. Daha sonra bu tip yataklama ve çelik-çelik yataklamalı rot başlarının mekanik özelliklerini karşılaştırmak için uygulanan deneyler anlatılacaktır.

### 4.1 Çelik-PTFE Yataklamalı Rot Başı İmalatı

Rot başı imalatında kullanılan parçalar ve bu parçalara uygulanan imalat yöntemleri ayrı alt başlıklarda aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

#### 4.1.1 Rot Başı Gövde

Rot başı gövde imalatında kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 4.1 ve 4.2’de verilen EN C40 / SAE 1040 / DIN 1.0511 sıcak hadde çeliği kullanılmıştır.

**Tablo 4.1:** Rot başı gövdesine ait dövme hammadde malzeme analizi (% ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe
0.43	0.24	0.60	0.014	0.018	0.13	0.026	0.090	0.26	98.192

**Tablo 4.2:** Rot başı gövdesi malzemesinin mekanik özellikleri.

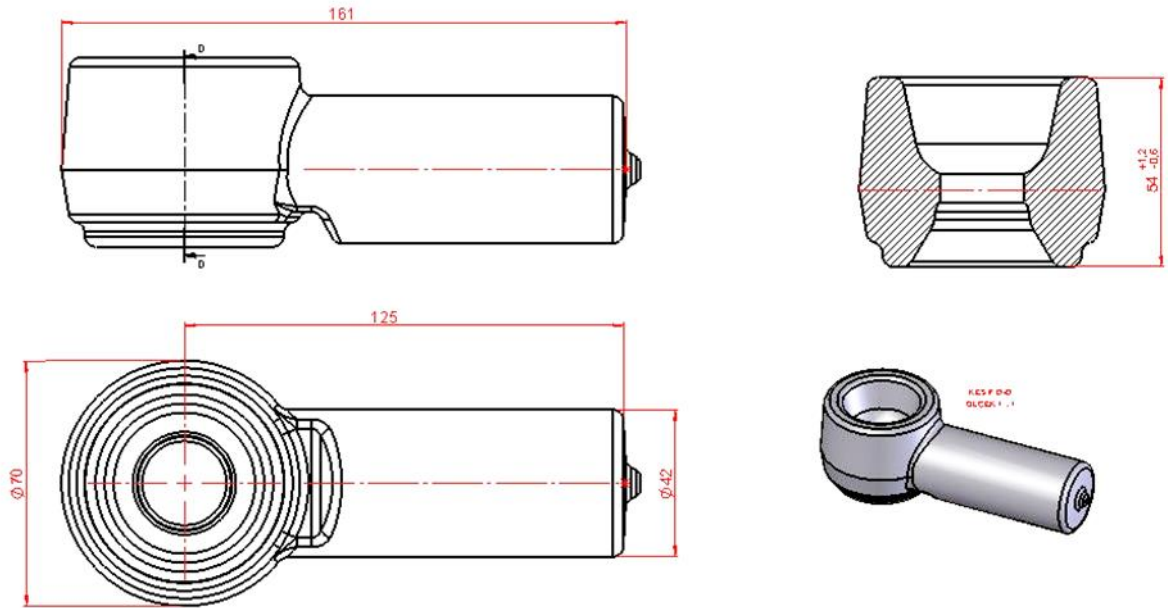
Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Sertlik (HB)
420	623	24.0	197

SAE 1040 sıcak hadde çelik parçalar kapalı kalıpta sıcak dövme (çapaklı) yöntemi ile pres yardımıyla şekillendirilmiştir. Sıcak şekillendirme işlemi 600 ton kapasiteli friksiyon pres yardımıyla 1000-1400 °C sıcaklığında tek vuruş pres basma sayısında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1:** a) Proses anı pres dış görünüş. b) Dövme proses yakın görünüş.

Dövme işlemi için rot başı gövdeye ait teknik resim solidworks programı ile çizilmiş ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Sıcak şekillendirilen rot başı gövdenin boyut ölçümleri yapılmıştır ve bu ölçümler Tablo 4.3’te verilmiştir.



**Şekil 4.2:** Rot başı gövde bileşenine ait dövme hammadde teknik resmi.

**Tablo 4.3:** Rot başı gövdesine ait dövme hammadde kalite ölçümü (mm).

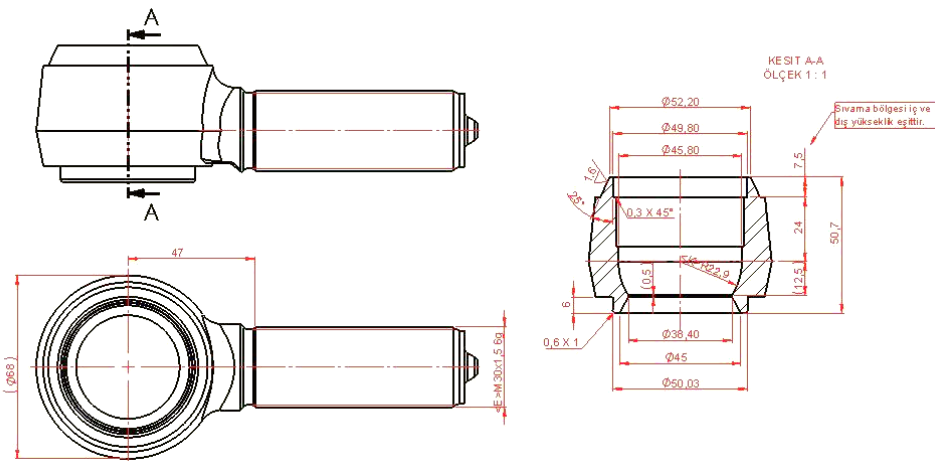
Merkez Boy	Tam Boy	Kafa Yüksekliği	Kafa Çapı	Sap Çapı
125.85-126.1	160.9-161.2	54.4-54.97	70.1-70.2	41.84-42.77

Dövme işleminden sonra gövde parçasına Tablo 4.4'te bilgileri verilen CNC tezgahı ile talaşlı imalat uygulanmıştır. Talaşlı imalat için gövde teknik resmi Şekil 4.3'te verilmiştir. Talaşlı imalatta gövdenin tezgaha bağlanması işlem öncesi ve sonrası olarak Şekil 4.4'te verilmiştir. Talaşlı imalat sırasında i) gövde parçasının iç ön yüzeyi, ii) iç arka yüzeyi ve iii) gövde sapı şeklinde yapılmıştır. Talaşlı imalat işleminden sonra gövde parçasının sap kısmına ovalama prosesi ile parça teknik resmine uygun olarak dış açılmıştır. Ovalama prosesi bu prosese özel yatay şekilde bağlı silindirik diş topları sayesinde ürünün silindirik sap kısmını ezerek (soğuk deforme ederek) dış çekilmesidir.

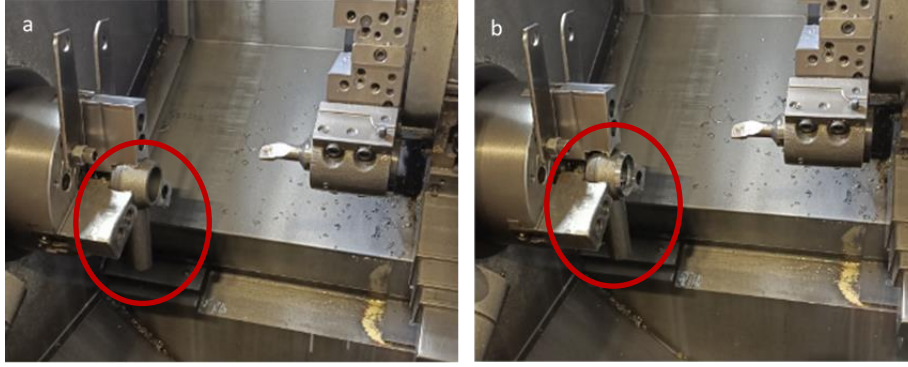
Geleneksel çelik-çelik yataklama tipinde rot başı gövdesine yüzey sertliği sağlamak amacıyla uygulanan indüksiyon işlemi, çelik-PTFE yataklama tipinde indüksiyon ile yüzeyi sertleştirilmiş küre ile gövde iç yüzeyi birebir temas halinde olmadığından dolayı uygulanmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Çelik-çelik yataklamada küre bileşenin küresel kısmı ve gövde bileşenin yataklama kısmı birebir temas halinde olması gövde bileşenin de indüksiyon işlemi yapılmasını gerektirmektedir.

**Tablo 4.4:** Rot başı gövde talaşlı imalat proses verileri.

Devir (dev/dak)	Hassasiyet (mm)	Makine	Ekipman
1500-2000	0.02	Victor CNC	Ayna bağlama ayakları



**Şekil 4.3:** Rot başı gövde bileşenine ait teknik resim.

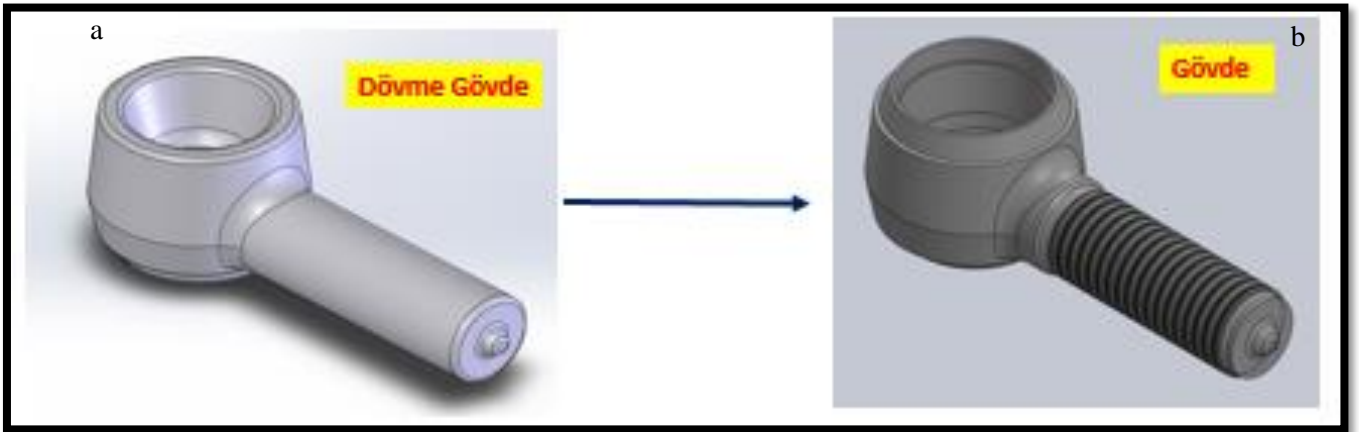


**Şekil 4.4:** a) Talaşlı imalat öncesi proses. b) Talaşlı imalat sonrası proses.

Talaşlı imalat işlemlerinden sonra rot başı gövdesine kalite ölçümü yapılmış ve bu ölçümler Tablo 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'te dövme işlemi ve talaşlı imalat sonrası gövde katı modeli verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Rot başı gövde bileşenine ait kalite ölçümü (mm).

Küre Oturma Çapı	Kapak Çapı	Kafa Yükseklik	Kapak Derinlik	Küre Çıkış Çapı
45.829-45.848	49.93-49.97	50.73-50.78	21.92-21.97	38.42-38.44



**Şekil 4.5:** Rot başı gövde a) dövme sonrası. b) talaşlı imalat sonrası.

#### 4.1.2 Rot Başı Küre

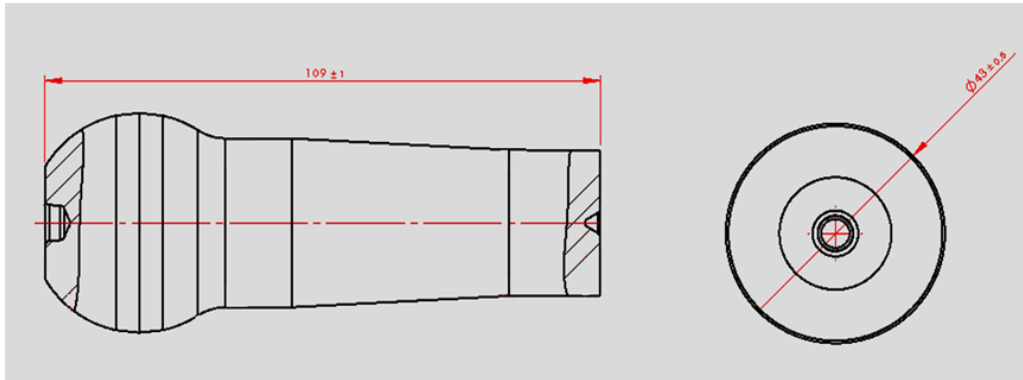
Rot başı küre imalatında kimyasal bileşimi Tablo 4.6’da verilen EN 41Cr4 / SAE 5140 / DIN 1.7035 sıcak haddelenmiş çelik kullanılmıştır. Dövme işlemi şahmerdanla kapalı kalıpta (çapaklı) 750 °C – 950 °C sıcaklıkta sıcak şekillendirme ile yapılmıştır. Dövme işlemi sırasında ve sonrasındaki küre parçası görüntüleri Şekil 4.6’da, dövme sonrası kürenin teknik resmi Şekil 4.7’de verilmiştir. Tablo 4.7’de dövme sonrası rot başı küre parçası için kalite ölçümleri verilmiştir.

**Tablo 4.6:** Rot başı küre malzemesine ait kimyasal bileşim (% ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Fe
0.39	0.17	0.67	0.014	0.005	0.93	0.03	0.14	0.24	0.03	97.381



**Şekil 4.6:** a) Proses anı dış görünüş. b) Proses sonrası dövme hammadde.



**Şekil 4.7:** Rot başı küre bileşenine ait dövme hammadde teknik resmi.



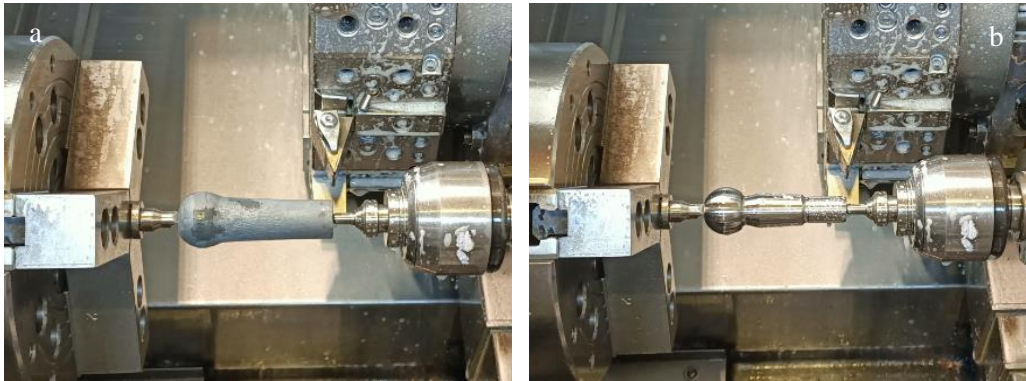
**Tablo 4.7:** Rot başı küre bileşenine ait dövme hammadde kalite ölçümü (mm).

Tam Boy	Kafa Çapı
109.75-109.86	43.47-43.55

Rot başı küre parçanın talaşlı imalatı için Tablo 4.8’de verilen talaşlı imalat proses verileri kullanılmıştır. Talaşlı imalat prosesi CNC üzerinde çift punta arası parça sabitlenerek uygulanmıştır. Parçanın çift puntanın bastığı dövme yüzeyleri hariç tüm yüzeylerine talaşlı işlem uygulanmıştır. Tezgahta talaşlı işlem öncesi ve sonrası parça Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

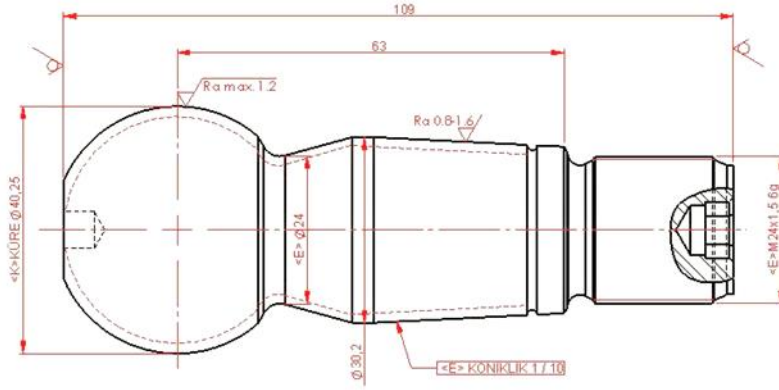
**Tablo 4.8:** Rot başı küre talaşlı imalat proses verileri.

Devir (dev/dak)	Hassasiyet (mm)	Makine	Ekipman
2000-2400	0.01	GNC CNC	Ayna bağlama ayakları



**Şekil 4.8:** Rot başı küre parçaya ait talaşlı imalat a) öncesi ve b) sonrası görüntüleri.

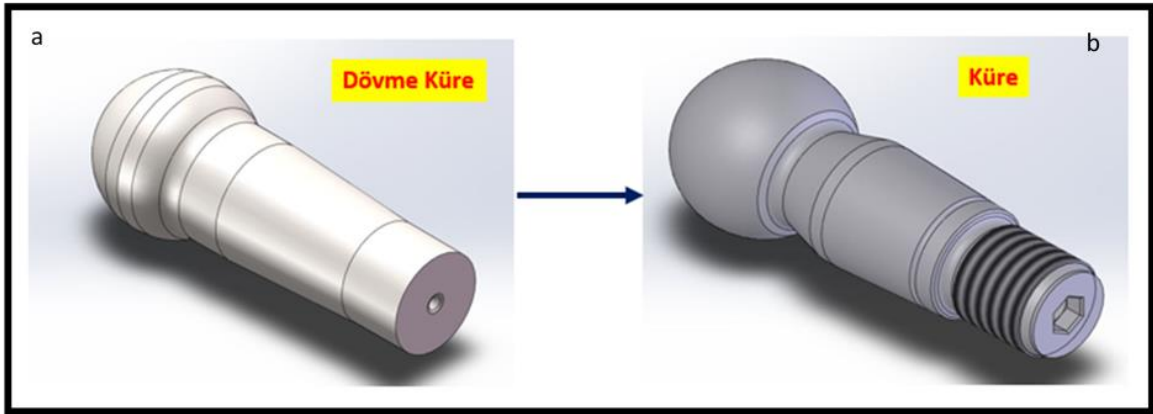
Talaşlı imalat sonrası rot başı küre parçaya ait teknik resim Şekil 4.9’da ve kalite ölçüm değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir. Küre parçanın dövme ve talaşlı imalat sonrası katı modelleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Talaşlı imalat sonrası rot başı küre parçasının teknik resmi.

**Tablo 4.9:** Rot başı küre parçasına ait kalite ölçümü (mm).

Kafa Çapı	Merkez Boy	Boğaz Çapı	Tam Boy	Büyük Konik Çapı	Koniklik
40.24-	63.29-	24.06-	108.10-	30.17-	1:10
40.25	63.41	24.10	108.92	30.18	



**Şekil 4.10:** Rot başı kürenin a) dövme sonrası ve b) talaşlı imalat sonrası katı modeli.

Küre yüzeyin talaşlı imalatından sonra parçaya ıslah (sertleştirme + menevişleme) işlemi uygulanmıştır. Küre demir karbon denge diyagramı göz önüne alınarak, küre parça 850°C'ye ısıtılarak bu sıcaklıkta 1 saat bekletilmiş ve iç yapının tamamen östenite dönüşümü sağlanmıştır. Östenitleme işlemi sertleştirme fırını içerisinde koruyucu gaz altında yapılmıştır. Böylece yüksek sıcaklıkta malzemede oluşacak, istenmeyen

dekarbürizasyon ve oksidasyonun önüne geçilmiştir.

Kafes yapısı değişmiş parçada bu adımdan sonra ikinci adım olan soğutma aşamasına geçilmiştir. Çelik özelliklerine ve istenen sertlik değerine göre zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramlarına uygun bir şekilde soğutma yağına daldırılarak kritik hız üzerindeki hızda ~~hızla~~ soğutulmuştur. Bu soğutma işlemi sonucunda parçanın yapısı östenitten yoğun martenzite dönüşmüştür. Bu işlem sonucunda malzeme alabileceği maksimum sertliği almış ancak malzeme yapısı yoğun gerilimlere maruz kalmıştır.

Soğutma işlemi ardından küre parçaya menevişleme işlemi uygulanmıştır. Bu son adımda malzeme tekrar ısıtılmıştır. Burada işlemdeki sıcaklık ve süre parametreleri, malzeme cinsine, istenen sertliğe ve malzeme kesitine göre değişmektedir. Menevişleme işlemi 550°C de 2 saatlik bir süre fırında tutularak yapılmıştır. Bu işlem sonucunda malzeme iç yapısında sertleştirme işlemi ile oluşan hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıdaki gerilimli martenzit yapısı temperlenerek hacim merkezli kübik (HMK) yapıya dönüşerek kırılmanın azalması ve malzeme içindeki gerilmelerin giderilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu işlem ile malzeme tokluğunun artması beklenmektedir [19].

Islah işleminden sonra parçanın aşınmaya karşı direncini iyileştirmek amacıyla yüzey sertliğini arttırmak için Şekil 4.11’de görüntüsü verilen indüksiyon işlemi 1300 °C de 10 saniye sürede uygulanmıştır. İndüksiyon işlemi küre parçanın daha sonra dış açılacak kısmına uygulanmamıştır. Küre dış yüzeyinin sertliğini arttırmak amacıyla uygulanan indüksiyon prosesinde indüktörler kullanılmıştır. Kullanılan indüktörler parçaya yaklaştırılmıştır. İndüktörler sayesinde manyetik alan oluşumu gerçekleşir ve malzeme yüzeyinde belirli derinlik hızlı bir şekilde dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkartılmıştır. Akabinde parça ısıtmanın hemen ardından ani bir şekilde özel bir kimyasal ile soğutularak soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece malzemedeki belirli kalınlıkta martenzit dönüşümü sağlanmıştır. İndüksiyon yüzey sertleştirme işleminde önemli nokta malzemenin çekirdek yapısının (mikroyapısı) bozulmamış olmasıdır. Parçanın istenilen bölgesi talep edildiği derinliğe kadar sertleştirilebilir. Islah işlemi ve indüksiyonla sertleştirme işlemlerinden sonra elde edilen sertlik değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.



**Şekil 4.11:** İndüksiyon yüzey sertleştirme işlemi a) İndüksiyonla ısıtma b) Soğutma.

**Tablo 4.10:** Rot başı küresinin ıslah ısıl işlem ve indüksiyon yüzey sertleştirme sonrası sertlikleri.

Islah Sertliği (HRC)	İndüksiyon Sertlik (HRC)	Sertleşme Derinliği (mm)
28.3-30.7	55.5-56.5	1.80-1.85

Isıl işlemlerden sonra küre parçaya yüzey pürüzlülük değerinin sağlanabilmesi için yüzey vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Bunun için küre, içerisinde vibrasyon seramik taşlarının bulunduğu küresel tambur şeklinde bir makine içerisine koyularak tamburun belirli devirde belirli süre dönmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından küre parçasının indüksiyonla sertleştirme yapılmayan kısmına diş ovalama işlemi yapılmıştır. Diş ovalama işlemi her iki tarafta da silindirik aparatların bulunduğu ve bu silindirik aparatların üzerinde uygulanacak diş ölçüsü ve adımına uygun dişlerin bulunduğu ve bu aparatlar ile uygulanan bir soğuk işlemdir.

#### 4.1.3 Rot Başı Konik Yatak

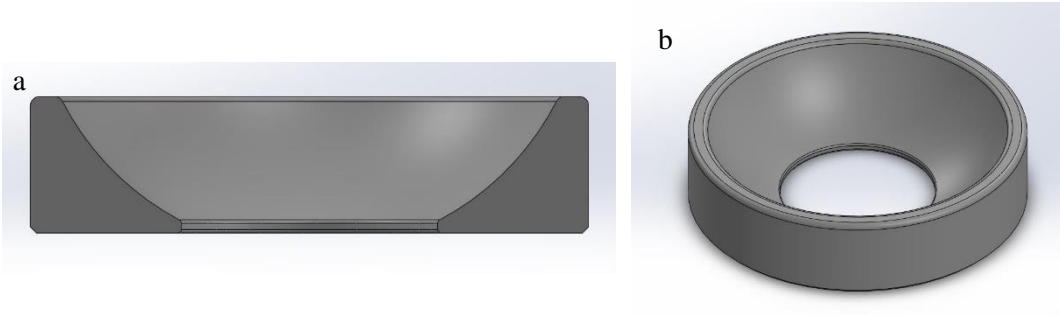
Rot başı konik yatak parçası 50 mm. çapındaki kimyasal bileşimi Tablo 4.11’de verilen EN C40 / SAE 1040 / DIN 1.0511 sıcak hadde dolu çelik milden talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Parçanın malzeme sertliği 200 HB’ dir. Bu parçanın talaşlı imalatı CNC tezgahında Tablo 4.12’de verilen parametrelerde uygulanmıştır. Talaşlı imalatta önce parçanın ön yüzeyine işlem uygulanmış olup ardından arka yüzeye dik işlem uygulanmıştır. Talaşlı imalat sonrası konik yatak kesit ve üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.12’de, teknik resmi Şekil 4.13’te ve kalite ölçüm değerleri Tablo 4.13’te verilmiştir.

**Tablo 4.11:** Rot başı konik yatak kimyasal bileşimi (% ağırlık).

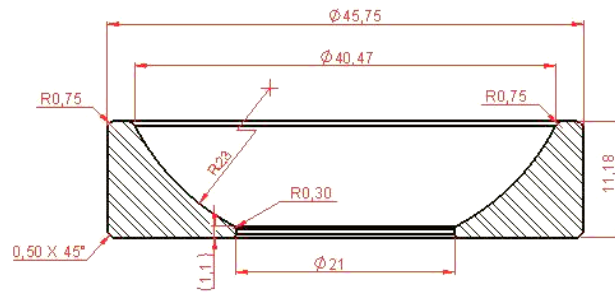
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
0.40	0.19	0.65	0.02	0.02	0.04	0.03	0.08	98.57

**Tablo 4.12:** Rot başı konik yatak talaşlı imalat proses verileri.

Devir (dev/dak)	Hassasiyet (mm)	Makine	Ekipman
1800-2000	0.02-0.05	Feeler CNC	Ayna bağlama ayakları



**Şekil 4.12:** Konik yatak a) kesit ve b) 3D görüntüsü.



**Şekil 4.13:** Rot başı konik yatak teknik resmi.

**Tablo 4.13:** Rot başı konik yatak bileşenine ait kalite ölçümü (mm).

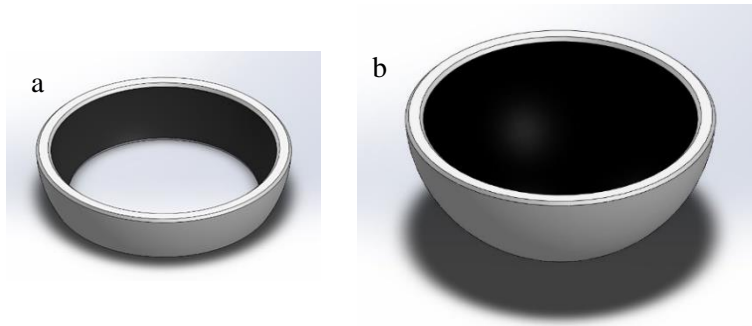
Yükseklik	Dış Çap	Yarı Çap
11.10-11.23	45.67-45.70	22.940-22.983

#### 4.1.4 Rot Başı Çelik-Politetrafloroetilen Yatak

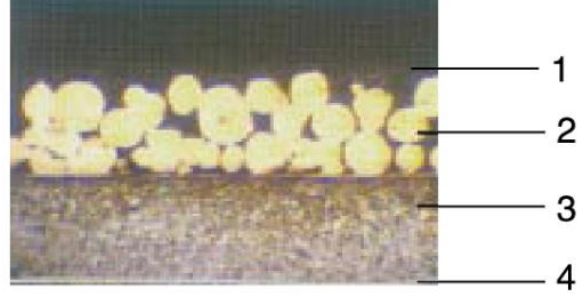
Montajda kullanılan çelik-PTFE çift malzemeli yatak satın alma olarak dış temin yoluyla alınmıştır. Alt ve üst olarak iki parçadan meydana gelen bu parçanın malzeme sertliği 220 HB olup kimyasal bileşimi Tablo 4.14’te verilmiştir. Katı modeli Şekil 4.14’te, malzeme yapısına dair katmanların gösterimi Şekil 4.15 ve Tablo 4.15’te, teknik resmi Şekil 4.16’da verilmiştir. Alt ve üst yatak kalite ölçümleri Tablo 4.16’da verilmiştir.

**Tablo 4.14:** Çelik/Politetrafloroetilen yatak kimyasal bileşimi (% ağırlık).

Bronz			Çelik				
Sn	Zn	Cu	C	Mn	P	S	Fe
7.3- 8.7	2.3- 3.7	87.6- 90.4	0.05- 0.15	0.15- 0.60	≤0.035	≤0.025	99.19-99.8



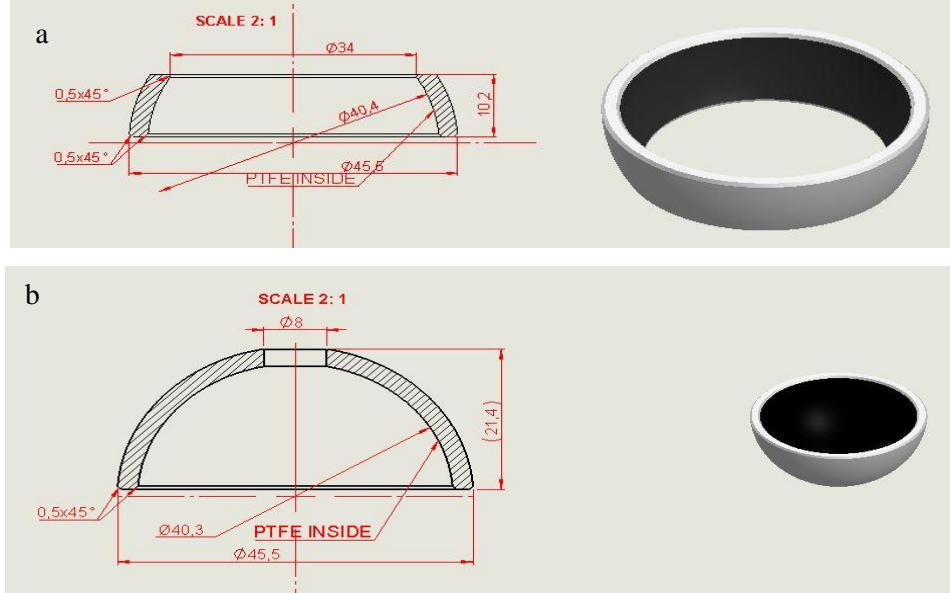
**Şekil 4.14:** Çelik/Politetrafloroetilen bileşik malzeme a)alt ve b)üst yatak.



**Şekil 4.15:** Çelik/Politetrafloroetilen bileşik malzeme katmanları.

**Tablo 4.15:** Çelik/Politetrafloroetilen yatak malzeme yapısı katmanları ve kalınlıkları (mm).

1	2	3	4
PTFE Katmanı	Gözenekli Bronz Katmanı	Çelik Katmanı	Elektro Kaplama Katmanı - Bakır
0.01-0.03	0.2-0.3	0.7-2.3	0.008



**Şekil 4.16:** Rot başı çelik-PTFE a) alt ve b) üst yatak teknik resmi.

**Tablo 4.16:** Rot başı çelik-PTFE alt ve üst yatak bileşenine ait kalite ölçümü (mm).

	Yükseklik	Üst Dış Çap	Alt İç Çap	İç Çap
Alt	10.10-10.28	45.42-45.65	34.02-34.40	40.37-40.43
Üst	21.28-21.42	45.45-45.68	8.02-8.15	40.29-40.36

#### 4.1.5 Rot Başı Çanak Yay

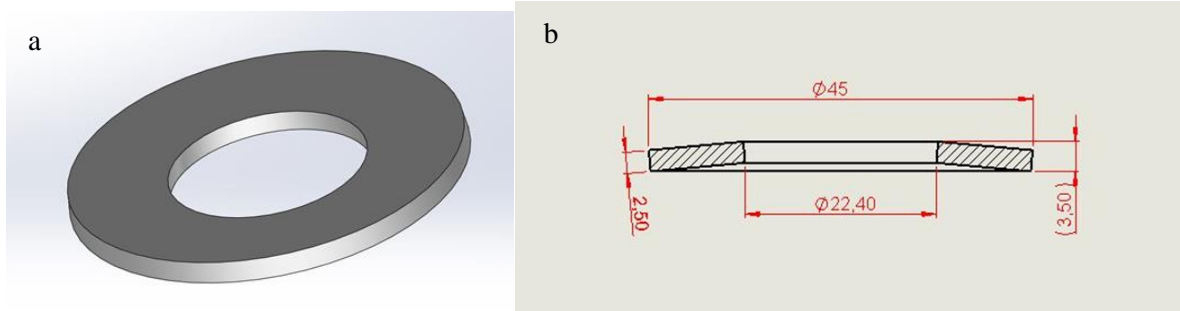
Yataklama destek bileşeni olarak montajda kullanılan çanak yay satın alma olarak dış temin edilmiştir. EN C50 / SAE 1050 / DIN 1.0540 malzemedен üretilmiş çanak yayın ıslah sertliği 43.0-45.3 HRC aralığında olup kimyasal bileşimi Tablo 4.17’de verilmiştir. Yaya ait kuvvet (kN) - deplasman (mm) değişimine ait ölçümler Tablo 4.18’de verilmiştir. Çanak yayın katı modeli ve teknik resmi Şekil 4.17’de kalite ölçüm değerleri de Tablo 4.19’da verilmiştir.

**Tablo 4.17:** Rot başı çanak yay kimyasal bileşimi (% ağırlık).

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	Fe
0.48	0.21	0.90	0.02	0.01	<0.003	0.07	0.005	98.302

**Tablo 4.18:** Rot başı çanak yay deplasman(mm) – yay kuvveti(kN) değişimi.

0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
0.43- 0.50	1.09- 1.47	2.02- 2.50	3.02- 3.67	4.08- 5.03	5.13- 5.98	6.28- 7.79	7.59- 9.47	9.24- 11.36	11.02- 13.19



**Şekil 4.17:** Çanak yay a) katı modeli ve b) teknik resmi



**Tablo 4.19:** Rot başı çanak yay bileşenine ait kalite ölçümü (mm).

Yükseklik	Dış Çap	İç Çap	Kalınlık
3.45-3.52	44.88-44.80	22.42-22.55	2.40-2.51

#### 4.1.6 Rot Başı Kapak

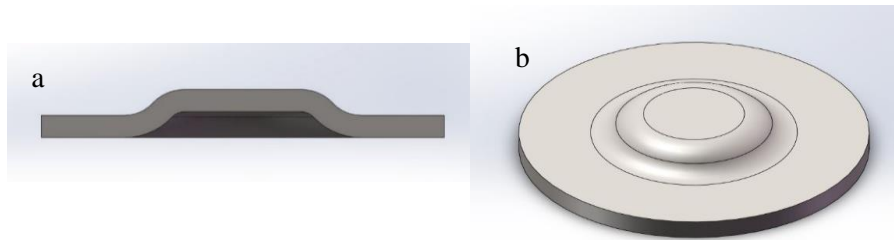
Rot başı kapak parçası 50 mm. çapındaki kimyasal bileşimi Tablo 4.20’de verilen EN C40 / SAE 1040 / DIN 1.0511 sıcak hadde dolu çelik milden talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu parçanın talaşlı imalatı CNC tezgahında Tablo 4.21’de verilen parametrelerde uygulanmıştır. Parçanın malzeme sertliği 200-210 HB aralığındadır. Önce ön yüzeye talaşlı imalat sonra arka yüzeye dik işlem prosesi uygulanmıştır. Kapak katı modeli ve teknik resmi sırasıyla Şekil 4.18 ve 4.19’da verilmiştir. Bu parçaya ait kalite ölçüm değerleri Tablo 4.22’de verilmiştir.

**Tablo 4.20:** Rot başı kapak kimyasal bileşimi (% ağırlık).

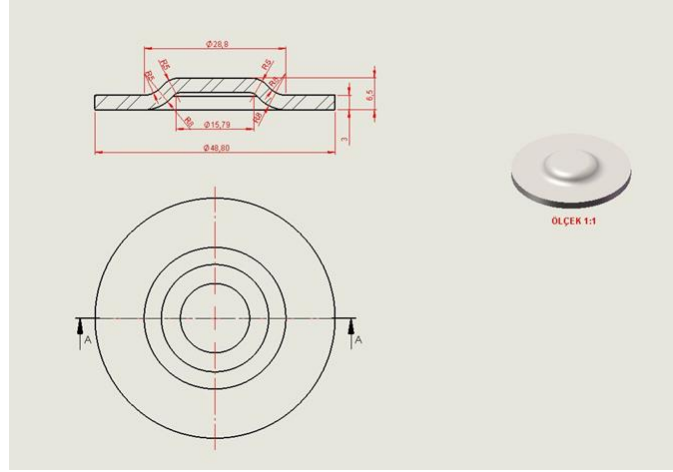
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
0.40	0.19	0.65	0.02	0.02	0.04	0.03	0.08	98.57

**Tablo 4.21:** Rot başı kapak talaşlı imalat proses verileri.

Devir (dev/dak)	Hassasiyet (mm)	Makine	Ekipman
1800- 2000	0.02-0.05	Feeler CNC	Ayna bağlama ayakları



**Şekil 4.18:** Kapak a) kesit ve b) 3D görüntüsü.



**Şekil 4.19:** Rot başı kapak bileşenine ait teknik resim.

**Tablo 4.22:** Rot başı kapak bileşenine ait kalite ölçümü (mm).

Yükseklik	Dış Çap	İç Alt Çap	Kalınlık
6.63-6.58	48.70-48.84	15.74-15.85	2.90-2.92

## 4.2 Rot Başı Montajı

Üretimleri yapılan ve satın alınan parçaların montajı özel üretim rot başı kapak sıvama tezgahı ile yapılmıştır. Kullanılan sıvama işlemi parametreleri Tablo 4.23’de verilmiştir.

**Tablo 4.23:** Rot başı sıvama prosesi proses verileri.

Devir (dev/dak)	Hassasiyet (mm)	Makine	Ekipman
1800-2000	0.02-0.05	Feeler CNC	Ayna bağlama ayakları

Montaj süreci içerisindeki aşamalar aşağıda sıralanmış olup sıvama prosesi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Montaj esnasında kullanılan yağ Mobil grease endüstriyel gres yağıdır. Mobil grease endüstriyel yağa ait teknik veriler Tablo 4.24’de verilmiştir.

**Tablo 4.24:** Mobil grease endüstriyel gres yağ teknik verileri

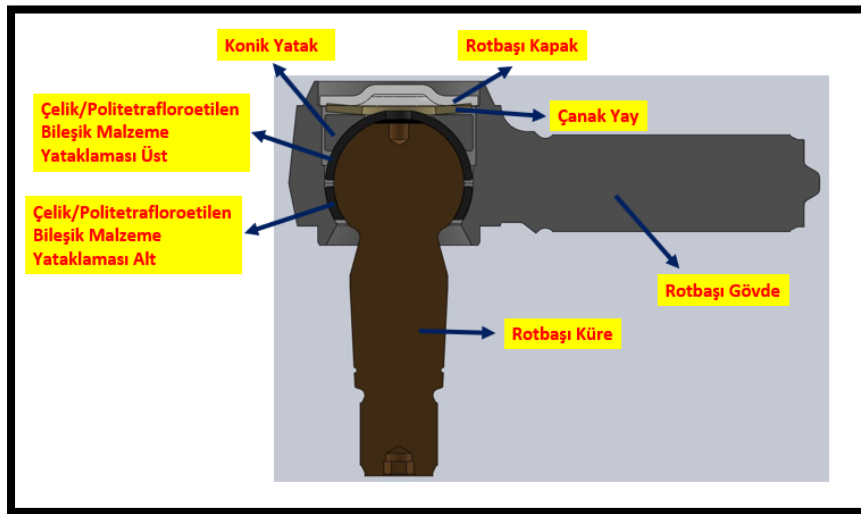
Renk	Damlama Noktası (°C)	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Siyah	190	-20 / +130

- 1.Rotbaşı gövde içerisine çelik/politetrafloroetilen yataklama montajı
- 2.Rotbaşı küre kafa kısmı yağlama prosesi [20]
- 3.Çelik/Politetrafloroetilen yataklama içerisine rotbaşı küresi montajı
- 4.Rotbaşı küresi üzerine çelik/politetrafloroetilen yataklama montajı
- 5.Çelik/Politetrafloroetilen yataklama üzerine kapak montajı
- 6.Rotbaşı gövde sıvama prosesi
- 7.Rotbaşı küre alt kısım yağlama prosesi [20]
- 8.Boğaz lastiği montaj prosesi
- 9.Toz lastiği yüzük montaj prosesi
- 10.Rotbaşı toz lastiği montaj prosesi
- 11.Toz lastiği segman montaj prosesi
- 12.Somun montaj prosesi

Yukarıda verilen sırayla montajı yapılan rot başına ait görüntüler Şekil 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.20: Rot başı gövde sıvama prosesi.



Şekil 4.21: Montaj kesit resmi.



**Şekil 4.22:** Rot başı montaj hali.

### 4.3 Deneyler

Çelik –PTFE yataklamalı rot başının performansını belirlemek için tüm deneylerde iki adet çelik-PTFE yataklı rot başı kullanılmıştır. Elde edilen performansların standart çelik-çelik yataklı rot başı ile karşılaştırması için de bir adet çelik-çelik yataklı rot başı kullanılmıştır.

#### 4.3.1 Dönme Torku (Rotation Torque) Testi

Bu deneysel çalışma, çelik/politetrafloroetilen malzeme yapılı yataklama tipinin dönme torkuna olan etkisi araştırmak ve çelik-çelik malzemeli yataklama tipinin aynı özelliği ile karşılaştırma yapmak amacıyla yapılmıştır. Dönme torku testi TS 9444 ve TS 5476 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde kullanılan dönme torku test istasyonu özel üretim olup Şekil 4.23'te verilmiştir.

Deneye başlamadan önce rot başı cihaza bağlanmıştır. Rot başı içerisinde bulunan küre yatak içerisinde en az beş tur yapacak şekilde hareket ettirilerek yağ tutukluğu giderilir. Kürenin, moment ölçme aleti ile dönme torku (salınım momenti) ölçülmüştür [21]. Ölçüm esnasında üründeki küre bileşenin dış ölçülerin uygun aparatlar kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Dönme torku testi proses verileri Tablo 4.25'te verilmiştir.

Dönme torku ölçümünde rot başı küre dış bölgesine uygun özel aparatlar ile gövde eksenine 90° dik açıda pozisyonda sabitlenmiştir. Ardından gövde sap kısmından da sabitlenerek, küre kendi ekseninde 360° açı ile dönerek ölçüm yapılmıştır. Her bir 360° dönüşü bir tur denmektedir. Küre ölçüm başlamadan önce 5 tur dönmekte olup, iç

yağlamanın küre kafa kısmındaki küresel yüzey ile yataklama arasına yayılması sağlanmıştır. Ardından son 5 tur içerisinde ölçüm alınmıştır. Makine ölçümü, ölçüm esnasında maksimum ve minimum dönme torku değerlerini okuyup ortalama değeri vermiştir.



**Şekil 4.23:** Dönme torku (rotation torque) test istasyonu.

**Tablo 4.25:** Dönme torku testi proses verileri.

Toplam Tur Sayısı	Ölçüm Başlangıç Turu	Devir (dev/dak)	Makine	Ekipman
10	5	5	Özel	Özel Aparat

#### 4.3.2 Çökme (Backlash) Testi

Çelik-PTFE ve çelik-çelik yataklamalı rot başı parçalar TS 9444 ve TS 5476 standartlarına uygun olarak Şekil 4.24'te verilen özel üretim çökme test istasyonunda Tablo 4.26'da verilen proses verileri kullanılarak test edilmiştir. Bu deneyde rot başı cihaza bağlanmıştır. Kol kuvveti ile boşluk kontrolü yapılmıştır. Daha sonra rot başı içerisinde bulunan küre üzerine önce ön yük, daha sonra ana yük uygulanmıştır. Yük altında deney cihazına düşey olarak bağlı bir komparatörden çökme miktarı okunmuştur [21].

Uygulanan ana yük, çelik-çelik yataklamalı ürün için uygulanan standart yük olan 108 kg'dır. Öncesinde ön yükleme 12 kg uygulanmakta, sonrasında toplamda 108 kg' a tamamlanmaktadır.



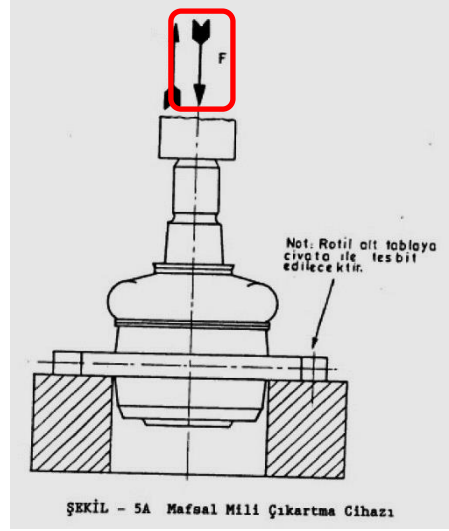
Şekil 4.24: Çökme (backlash) test istasyonu.

Tablo 4.26: Çökme testi proses verileri.

Ön Yük (kg)	Ana Yük (kg)	Makine	Ekipman
12	108	Özel	Aparat

### 4.3.3 Küre Kapaktan Çıkma (Push Out) Testi

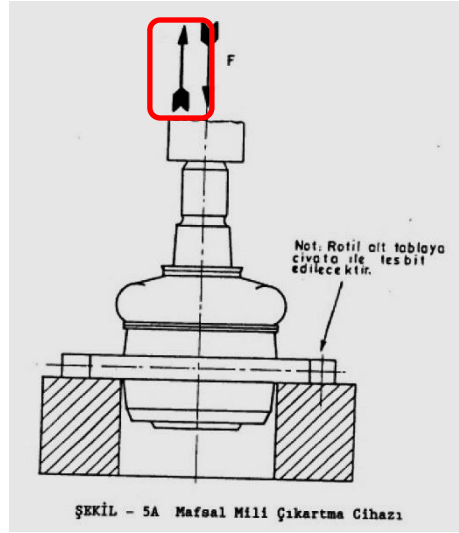
İki farklı yataklamalı rot başları için kapaktan çıkma testi TS 9444 ve TS 5476 standartlarına uygun olarak Şekil 4.25'te verilen test istasyonunda yapılmıştır. Bu test yönteminde rot başı aparatlar yardımıyla test cihazına bağlanmıştır. Eksen yönünde basma kuvveti 0.1 mm/sn hız ile uygulanmıştır [21]. Eksen yönünde basma kuvveti kürenin kapaktan çıkmasına kadar uygulanmış ve bu değer kapaktan çıkma kuvveti olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.25: Kapaktan çıkma (push out) test istasyonu.

#### 4.3.4 Küre Yuvadandan Çıkma (Pull Out) Testi

Çelik-PTFE ve çelik-çelik yataklamalı rot başları için yuvadan çıkma testi TS 9444 ve TS 5476 standartlarına uygun olarak Şekil 4.26’da verilen test istasyonunda yapılmıştır. Rot başı aparatlar yardımıyla test cihazına bağlanmıştır. Eksen yönünde çekme kuvveti 0.1 mm/sn hız ile uygulanmıştır [21]. Eksen yönünde çekme kuvveti kürenin yuvadan çıkmasına kadar uygulanmıştır. Kürenin yuvadan çıktığı çekme kuvveti belirlenmiştir.



Şekil 4.26: Yuvadandan çıkma (pull out) test istasyonu.

#### 4.3.5 Ömür - Aşınma (Life - Wear) Testi

Bu deney, çelik/politetrafloroetilen malzeme yapılı yataklama tipinin ömür - aşınma testine etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Aynı zamanda standart çelik/çelik yataklamalı rot başının aynı özellikleri açısından karşılaştırmasını yapmak maksadıyla yapılmıştır. Testler TS 9444 ve TS 5476 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Söz konusu test istasyonu Şekil 4.27’de, TS 9444 ve TS 5476 test standartlarında gösterilen örnek test gösterimi Şekil 4.28’ de verilmiştir [21,22]-

Testin yapılışı :

- Rot başı, toz lastiği takılmış olarak deney cihazına bağlanmıştır.
- Rot başı gövdesine, bağlantı ucu eksenine paralel bir düzlemde, 0.5 Hz frekans ile nötr durumuna göre, önceden belirlenen açısız değerlerde, salınım yaptırılmıştır.
- Rot başı küresine, nötr durumuna göre  $\pm 40$  derecelik açıyla kendi ekseninde 0.4 Hz’ de ve  $\pm 20$  derecelik açıyla salınım yaparak (oyunma açısı yönünde) 0.5 Hz’ de, hareket yaptırılmıştır.
- Önceden belirlenen çekme ve basma yükleri yukarıdaki açısız oynamalar ile birlikte frekans değerleri boyunca uygulanmıştır.

Buraya kadar anlatılan deneyler arka arkaya birer dakika yapılması durumunda bir çevrim olarak kabul edilir.

Deney sırasında rot başının aşırı ısınmaması için gerekli soğutma işlemi iklimik ortam ve lokal hava soğutma sistemi ile yapılabilir.

Deney 15kN yükte 250.000 çevrimde 1 Hz frekansta yaptırılarak uygulanmıştır [22]. Ömür-Aşınma deneyleri sonrasında rot başlarına yeniden çökme ve dönme torku testleri uygulanarak, elde edilen çökme ve dönme torku değerleri ömür-aşınma testi öncesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu deneylerden sonra rot başı montajı ayrılarak (patlatılarak) küre ve yatak çaplarındaki değişim ile bu parçaların yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.

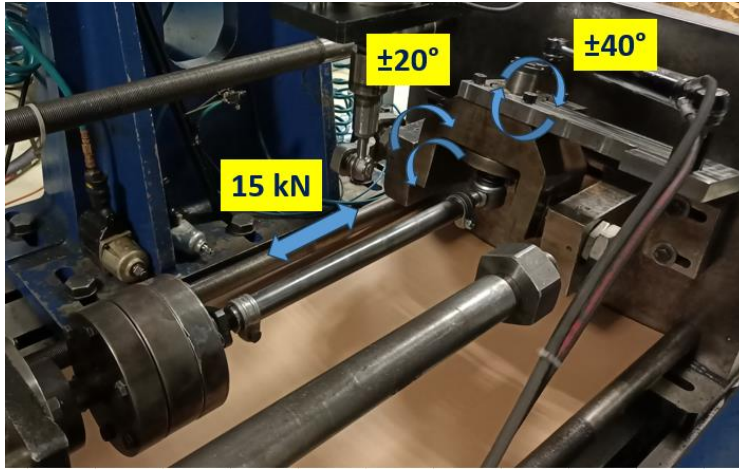
Deney sonucunda rot başı parçalarının aşağıdaki özelliklere göre uygun olup olmadığı kararı verilir.

- Rot başlarının sürtünen parçalarında yapılan deney sonucunda deformasyon, aşınma, çatlama, karıncalanma vb. hatalar meydana gelmemelidir [22].





Şekil 4.27: Ömür - Aşınma (Life - Wear) test istasyonu.



Şekil 4.28: Rot başı ömür - aşınma (life - wear) deney düzeni.

## 5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, rot başlarında çelik/politetrafloroetilen bileşik malzeme yataklama tipinin ömür ve performans değerlerine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda yeni tip yataklamaya sahip rot başlarına dönme torku (rotation torque) testi, çökme (backlash) testi, küre kapaktan çıkma (push out) testi, küre yuvadan çıkma (pull out) testi, ömür ve aşınma (life and wear) testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kategoriler halinde aşağıda verilmiştir.

### 5.1 Dönme Torku (Rotation Torque) Test Sonuçları

Dönme torku testine tabi tutulan çelik-PTFE ve çelik-çelik yataklamalı rot başlarına ait test sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Söz konusu sonuçlara göre çelik-PTFE yataklamalı parça için çıkan tork değerleri çelik/çelik yataklamaya sahip olan ürünlerinkine benzer sonuçlar vermiştir.

İlave olarak çelik-PTFE yataklamalı rot başında küresel mafsal mili oynaması çelik/çelik yataklamaya göre daha kararlı olup, araç üzerindeki görevi itibariyle bu yönden de avantaj sağlayacağı görülmüştür.

**Tablo 5.1:** Rot başı dönme torku (rotation torque) testi sonuçları.

Çelik/PTFE -1	Çelik/PTFE-2	Çelik/Çelik
11.3 Nm	11.1 Nm	10.9 Nm

### 5.2 Çökme (Backlash) Test Sonuçları

Çökme testine tabi tutulan çelik-PTFE ve çelik-çelik yataklamalı rot başlarına ait test sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir. Söz konusu sonuçlara göre çelik-PTFE yataklamalı parça için elde edilen çökme değerleri çelik/çelik yataklamaya sahip olan ürünlerinkine göre çok daha az elde edilmiştir. Bu sebeple rot başı küresel mafsal mili çökme değeri çelik/çelik yataklamaya göre çok daha az olduğundan dolayı araç üzerindeki görevi itibariyle daha uzun ömürlü olacağından dolayı avantaj sağlayacağı görülmüştür.

**Tablo 5.2:** Rot başı çökme (backlash) testi sonuçları.

Çelik/PTFE -1	Çelik/PTFE-2	Çelik/Çelik
0.006 mm	0.005 mm	0.13 mm

### 5.3 Kapaktan Çıkma (Push Out) Test Sonuçları

Push out testine tabi tutulan rot başlarına ait test sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir. Söz konusu sonuçlara göre elde edilen kuvvet değerleri çelik/çelik yataklamaya sahip olan ürünlerden çok daha yüksek (yaklaşık üç kat) sonuçlar vermektedir. Bunun neticesinde çelik-PTFE tipi yataklamamanın kapaktan çıkma dayanımı olarak Tablo 5.3'teki değerler üzerinden araç üzerindeki görevi itibariyle eksenel gelebilecek kuvvetler bakımından emsali olan çelik/çelik yataklamalı standart ürünlere göre çok daha yüksek bası kuvvetlerine dayanması söz konusudur. Bu da araç üzeri ömür ve performans bakımından yüksek güvenlik sağlayacaktır.

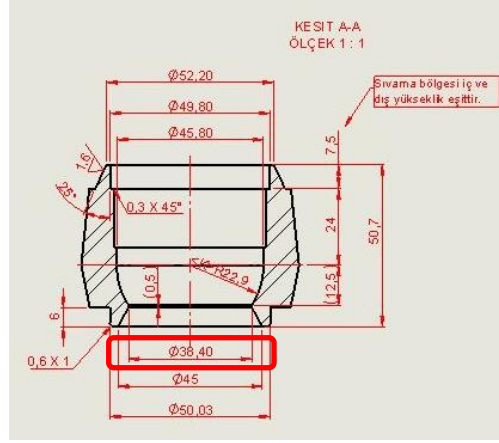
**Tablo 5.3:** Rot başı kapaktan çıkma (push out) test sonuçları.

Çelik/PTFE-1	Çelik/PTFE-2	Çelik/Çelik
118.57 kN	114.27 kN	40 kN

### 5.4 Yuvalardan Çıkma (Pull Out) Test Sonuçları

Pull out testine tabi tutulan rot başlarına ait test sonuçları Tablo 5.4'te verilmiştir. Söz konusu sonuçlara göre çift yataklamalı rot başında yuvadan çıkma için gerekli kuvvet değerleri çelik/çelik yataklamaya sahip olan örnek ürüne ait değerden daha az (yaklaşık yarısı kadar) elde edilmiştir. Bu sonuç Şekil 5.1'deki rot başı gövde alt çıkış çap ( $\varnothing 38,40$  mm.) değerine bağlı olduğundan yeni yataklama tipinin dayanıksız olduğu anlamına gelmemektedir.

Test sonucundan bağımsız bir şekilde gövde alt çıkış çapının azaltılarak mevcut pull out test sonucunun artırılacağı teknik olarak mümkündür. Sonuç olarak pull out testinin yataklamadan bağımsız dizayn değişiklikleri ile çelik/çelik yataklamalara ait sonuçlara benzer sonuçlar verebileceği öngörülmektedir.



**Şekil 5.1:** Rot başı gövde alt çıkış çapı gösterimi için görsel.

**Tablo 5.4:** Rot başı yuvadan çıkma (pull out) test sonuçları.

Çelik/PTFE-1	Çelik/PTFE-2	Çelik/Çelik
66.87 kN	67.84 kN	150 kN

### 5.5 Ömür - Aşınma (Life - Wear) Test Sonuçları

Ömür - aşınma (life - wear) testine tabi tutulan çelik-PTFE-1, çelik-PTFE-2 ve çelik-çelik rot başlarına ait test sonuçları Tablo 5.5' de verilmiştir.

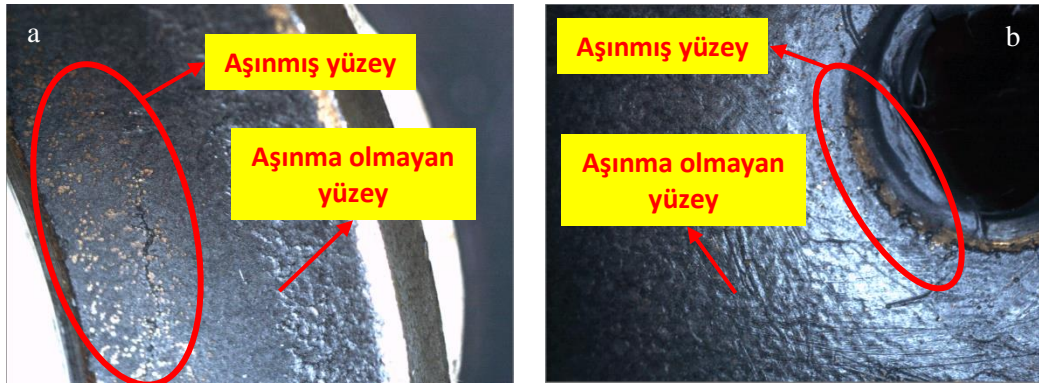
Tork (torque) değerleri bakımından ömür-aşınma testi sonrasında her iki yatak tipi için elde edilen tork değerleri (3.9-5.2 Nm) test öncesi değerlerine (10.9-11.3 Nm) göre önemli düşüşler göstermiştir. Ancak her iki yataklama tipi ömür-aşınma testi öncesi ve sonrası durumlarda birbirine yakın değerler göstermiştir. Bu da araç montajı esnasında montaj için aynı şartları sağlaması ve sürüş sırasında aynı koşulları göstereceğine işaret etmektedir.

Çelik-PTFE yataklama tipinde ömür-aşınma testi sonrası çökme değerleri (0.05-0.07 mm) test öncesi değerlerine (0.005-0.006 mm) göre artış göstermiş ama yine de çelik-çelik yataklama tipinin aynı değerlerinden (ömür-aşınma testi öncesi ve sonrası sırasıyla 0.13 mm ve 0.35 mm) çok düşük elde edilmiştir. Bu sonuca göre Çelik-PTFE yataklama ürünlerin deformasyonunun daha az ve daha uzun ömürlü olacağı görülmüştür.

Ömür-aşınma testi sonrasında her iki yataklama tipi için de kürelerin yüzey pürüzlülüklerinin 0.369-0.570 Ra değerlerinden 0.733-0.815 Ra değerlerine arttığı görülmüştür. Yatak pürüzlülük değerleri incelendiğinde, çelik-PTFE yatak tipinde ömür-aşınma testi sonucunda pürüzlülük değerlerinin azaldığı, çelik-çelik yatak tipinde ise arttığı görülmüştür.

Ömür-aşınma testi ile iki tip yataklamada küre çaplarının 250000 çevrim sonucunda aşınma etkisiyle azaldığı, yatak çaplarının ise aynı etkiyle arttığı gözlenmiştir. Küre çapındaki 0.024 mm'lik düşüş ile çelik-çelik yataklama tipinde çelik-PTFE yataklama tipine göre daha fazla aşınma olduğu görülmüştür.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ömür-aşınma testleri sonucunda çelik-PTFE yataklama tipinin geleneksel çelik-çelik yataklama tipine göre benzer tork değerleri, düşük çökme değerleri ve küre parçada daha az aşınma ile daha uzun ömürlü olacağı bulunmuştur.



**Şekil 5.2:** PTFE yatak a) alt yatak ve b) üst yatak.

Şekil 5.2' de görüleceği üzere çelik-PTFE yataklama parçaları için küre parçasının küresel yüzeyi ile bire bir temas halinde çalıştığı için ömür – aşınma testi sonrası incelemesinde PTFE katmanının yerini yer yer bronz katmanına bıraktığı görülmüştür. Bu da yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır.

**Tablo 5.5:** İki tip yataklama için rot başı Ömür - Aşınma / Life - Wear test sonuçları.

Test Verileri	Çelik-PTFE-1	Çelik-PTFE-2	Çelik-Çelik
Test Öncesi Çökme @1.1 kN (mm)	0.006	0.005	0.13
Test Sonrası Çökme @1.1 kN (mm)	0.07	0.05	0.35
Test Öncesi Tork (Nm)	11.3	11.1	10.9
Test Sonrası Tork (Nm)	4.7	5.2	3.9
Test Öncesi Küre Çapı (mm)	40.234	40.231	39.984
Test Sonrası Küre Çapı (mm)	40.215	40.225	39.960
Test Öncesi PTFE veya Çelik Yataklama Çapı (mm)	40.32 40.39	40.35 40.44	40,02
Test Sonrası PTFE veya Çelik Yataklama Çapı (mm)	40.45 40.48	40.42 40.50	40,03
Test Öncesi Küre Pürüzlülüğü (Ra)	0.474	0.579	0.369
Test Sonrası Küre Pürüzlülüğü (Ra)	0.815	0.778	0.733
Test Öncesi PTFE veya Çelik Yataklama Pürüzlülüğü (Ra)	3.610 4.900	3.840 2.880	1.167
Test Sonrası PTFE veya Çelik Yataklama Pürüzlülüğü (Ra)	2.360 3.520	2.680 1.530	2.203

## 6. GENEL SONUÇLAR

- Yeni tip çelik-PTFE yataklamalı rot başı ile geleneksel çelik yataklamanın dönme torku değerleri birbirine yakın elde edilirken; yeni tip yataklamada oldukça düşük çökme miktarları (0.005-0.006 mm) ve yaklaşık üç kat daha yüksek kapaktan çıkma kuvvetleri (118.57-114.27 kN) elde edilmiştir. Bu da rot ömrünün daha uzun olacağı anlamına gelmektedir.
- Çelik-PTFE yataklama tipinde bulunan düşük yuvadan çıkma kuvvetleri (66.87-67.84 kN) rot başı gövde alt çıkış çapı azaltılarak ile artırılabilir.
- Ömür-aşınma testi sonucunda çelik-PTFE yatak tipinde çökme değerleri (0.05-0.07 mm) çelik-çelik yatak tipine ait aynı değerden (0.35 mm) çok düşük elde edilmiştir.
- Her iki yatak tipinde ömür-aşınma deneyleri sonrası çökme değerleri artmış, tork değerleri azalmıştır.
- Ömür-aşınma testi ile her iki yataklama tipinde kürelerin yüzey pürüzlülükleri artmış olup yatak pürüzlülükleri ise çelik-PTFE yatak tipinde azalmış, çelik-çelik yatak tipinde ise artmıştır.
- Çelik-PTFE yatak tipinde gövde bileşeninde indüksiyon ısıl işlemine gerek olmayışı işçilik, enerji, zaman ve maliyet kazancı sağlayacaktır. Araç üreticisi tarafından rot üzerinde oluşacak bir maliyet kazancı pozitif etki yaratacaktır.
- Çelik-PTFE yatak tipinde çökme değerinin çok az olması çanak yay bileşeninin kararlı yapıya sahip olmasını ve kullanım alanı bakımından çelik-çelik yataklamaya sahip gövde bileşenine göre ağırlık yönünden yaklaşık %8 daha hafif ve bunun sonucunda da daha az talaşlı imalat yapılmasını sağlayacaktır. Montajı yapılmış rot başı ağırlık karşılaştırması bakımından benzerlik göstermektedir.
- Çelik-PTFE yatak tipine 1.000.000 cycle sonsuz ömür testi yapılarak sonrasında ürünün Tablo 5.5' de ki gibi sonuçları ölçülmesi ile birlikte sonsuz ömür döngüsü sonrası durumu da görülmüş olacaktır.
- Çelik-PTFE yatak tipinde küre bileşeninin küresel kafa kısmı üzerine indüksiyon uygulaması yapılarak testler yapılmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda küresel kısımda indüksiyon yüzey sertleştirme yerine arcor (siyah nitrasyon) yüzey sertleştirme işlemi yapılarak aynı testler ile incelenebilir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Natrayan L.- Santhosh M.S- Aravindaraj Ezhumalai- Senthil Kumar Marikkannan, “Design and Analysis of Connecting Tie Rod Assembly for Automotive Application”, *Journal of Engineering Sciences*, Volume 5, Issue 2, 2018 , DOI: 10.21272/jes.2018.5(2).d3.
- [2] Marek Wozniak - Adam Rylski- Krzysztof Siczek, “The Measurement of the Wear of Tie Rod End Components”, *Journal of Mechanical Engineering* 68, 101-113, 2022, DOI:10.5545/sv-jme.2021.7389.
- [3] Mondragon-Parra, E., Ambrose, G., “Influence of Grease in Mechanical Efficiency of Constant Velocity Joints”, *SAE Technical Paper*, 2016-01-1132, 2016, DOI:10.4271/2016-01-1132.
- [4] Chavan, P.M., Patnaik, M.M.M., “Performance evaluation of passenger car tie rod using numerical and theoretical approach with different materials.” *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, p. 92-100, 2014, DOI:10.15623/ijret.2014.0308015.
- [5] Falah, A.H., Alfares, M.A., Elkholy, A.H., “Failure investigation of a tie rod end of an automobile steering System.”, *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, p. 895-902, 2007, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2006.11.045.
- [6] Guiggiani, M., *The Science of Vehicle Dynamics*. 2nd ed. Springer, Netherlands, 2014, DOI:10.1007/978-94-017-8533-4.
- [7] Manik, A.P., Chavan, D.S., Kavade, M.V., Umesh, S.G., “FEA of tie rod of steering system of car.” *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, vol. 2, no. 5, p. 222-227, 2013.
- [8] Aravindaraj, E., Natrayan, L., Santhosh, M.S., Kumar, M.S., “Design and analysis of connecting tie rod assembly for automotive application.” *Journal of Engineering Sciences*, vol. 5, p. D15-D20, 2018, DOI:10.21272/jes.2018.5(2). d3.
- [9] Natrayan, L., Aravindaraj, E., Santhosh, M.S., Kumar, S., “Analysis and optimization of connecting tie rod assembly in Agriculture application.” *Acta Mechanica Malaysia*, vol. 2, no. 1, p. 6-10, 2019, DOI:10.26480/amm.01.2019.06.10.
- [10] Ozsoy, M., Pehlivan M. K., “Computer aided structural analysis of a tie rod end.” *Acta Physica Polonica A*, vol. 128, no. 2B, p. B488-B490, 2015, DOI:10.12693/APhysPolA.128.B-488.



- [11] Patil, M.A., Chavan, D.S., Kavade, M.V., Ghorpade, U.S., (2013). FEA of tie rod of steering system of car. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, vol. 2, no. 5, p. 222-227.
- [12] Senniappan, M., More, R., Bhide, S., Gowda, S., “Optimization of commercial vehicle’s steering tie rod arm design based on strain life approach.” SAE Technical Paper, 2016-01-0381, 2016, DOI:10.4271/2016-01-0381.
- [13] Mohammed Aamir Shareef and Dr. Ravindra N. Dehankar, “A Literature Review and Study on Design, Fabrication and Analysis of Tie Rods for Steering Mechanism”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 10, Issue V, May 2022, doi.org/ 10.22214/ijraset.2022.41911
- [14] Teflon, Online Eriřim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Teflon>.
- [15] PTFE Nedir? Online Eriřim adresi: <https://www.martanplastik.com/ptfe-nedir/>
- [16] Teflon Burçlar, Online Eriřim adresi: <https://basarimakina.com.tr/zob.asp#:~:text=Teflon%20Bur%C3%A7lar%3B%20SF%20bur%C3%A7lar%3B>.
- [17] Manik A. Patil and Prof. D.S.Chavan and Prof.M.V.Kavade and Umesh S. Ghorpade , “FEA of Tie Rod of Steering System of Car”, *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (I JAI EM )* , Volume 2, Issue 5, May 2013, Online Eriřim adresi : [www.ijaiem.org](http://www.ijaiem.org).
- [18] Muscoplat, R. (2018). Tie rod - What is a tie rod? Rick’s Free Auto Repair Advice, from <https://ricksfreeautorepairadvice.com/tie-rod-tie-rod/>, accessed on 22-12-31.
- [19] Islah İşlemi Nedir, Online Eriřim adresi: <https://www.onerler.net/islah>.
- [20] Wozniak, M., Siczek, K., Kubiak, P., Jozwiak, P., Siczek, K. (2018). Researches on tie rod ends lubricated by grease with TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1033, no. 1, 012006, DOI:10.1088/1742-6596/1033/1/012006.
- [21] Karayolu taşıtları- Taşıyıcı sistemler – Rotil, TS 9444/T1, 27.04.1993.
- [22] Karayolu taşıtları – Direksiyon Sistemi-Rot Başı, TS 5476, Şubat 1991.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Tolgahan Burak PARİK

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2020-2024
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2007-2011
Lise	Karacabey Yabancı Dil Ağırlık Lisesi	2003-2007