

# HİDROLİK POMPA VE ELEKTRİK MOTORU MEKANİK BAĞLANTISINDA BAKIM GEREKTİRMİYEN ŞAFTLARIN ÖNEMİ

İsmail TUNCA

## ÖZET

Günümüz endüstriyel ve mobil hidrolik uygulamalarında bakım gerektirmeyen komponentler, bakım maliyetlerini azaltarak verimliliği artırmakta ve sistem güvenilirliğini yükseltmektedir. Ayrıca, çalışma esnasında daha az kesinti süresi ile sistem güvenilirliğini artırırken, çevresel etkileri de minimize eder. Bu bağlamda, elektrik motoru üzerinde bulunacak bakım gerektirmeyen şaft tasarımı, dayanıklılığı ve uzun ömrü sayesinde işletmelere önemli avantajlar sunmaktadır.

Bakım gerektirmeyen elektrik motoru ve hidrolik pompa bağlantısı tasarımında, aşınma ve yıpranmayı en aza indirmek için gelişmiş malzemeler ve mühendislik teknikleri kullanılmaktadır. Yeni geliştirilmekte olan tasarımlar, doğrudan bağlantı sağlamakta ve ek bileşenlere olan ihtiyacı azaltmaktadır. Böylece, sistemin boyutları, ağırlığı ve maliyeti düşürülmektedir. Şaftların dönmesiyle oluşan santrifüj kuvvetleri, yağ akışını sağlamakta ve spline bağlantısını aktif bir şekilde yağlamaktadır. Yağ, şaft boyunca çekilerek sürekli bir yağlama akışı oluşturur. Bu pozitif akış çözümü, montaj yönelimine bakılmaksızın, dişlilerin her zaman taze yağ ile yağlanmasını sağlar ve böylece güvenilirliği optimize eder. Bakım gerektirmeyen bu tasarımlar, aşınma korozyonu riskini en aza indirerek, dayanıklılığı artırmaktadır.

Sonuç olarak, bakım gerektirmeyen şaft tasarımı, endüstriyel ve mobil hidrolik sistemlerde verimliliği artırmakta ve işletmelerin rekabet gücünü yükseltmektedir. Bu yenilikçi çözümler, daha güvenilir, dayanıklı ve çevre dostu sistemlerin geliştirilmesine olanak tanıırken, toplam sahip olma maliyetlerini de düşürmektedir. Gelecekte, bu tarz mekanik geliştirme teknolojilerinin daha fazla benimsenmesi, hidrolik-pnömatik uygulamalarında önemli bir gelişim alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolik Pompa, Elektrik Motoru, Bakım Gerektirmeyen Şaftlar.

## ABSTRACT

Maintenance-free components in modern industrial and mobile hydraulic applications reduce maintenance costs, improve operational efficiency, and enhance system reliability. By decreasing downtime during operation, they also minimize environmental impact. In this context, maintenance-free shaft designs for electric motors provide significant benefits to operators through improved durability and extended service life.

Designs for maintenance-free motor-to-pump couplings employ advanced materials and engineering techniques to minimize wear and degradation. Emerging concepts favor direct coupling and reduce the need for auxiliary components, which decreases overall system size, weight, and cost. During rotation, centrifugal forces aid lubricant flow and actively lubricate the spline interface: oil is drawn along the shaft to provide a continuous lubrication film. This positive-flow approach ensures that the splines are always supplied with fresh lubricant regardless of mounting orientation, thereby optimizing reliability and reducing the risk of wear-related corrosion.

In summary, maintenance-free shaft designs improve efficiency and strengthen the competitive position of operators in industrial and mobile hydraulic systems. These innovative solutions enable the development of more reliable, durable, and environmentally friendly systems while lowering total cost of ownership. Going forward, broader adoption of such mechanical innovations is expected to be an important area of advancement in hydraulic-pneumatic applications.

**Key Words:** Hydraulic Pump, Electric Motor, Maintenance-Free Shaft.

## 1. GİRİŞ

Elektrikli motorların hidrolik pompalarla entegrasyonu, özellikle modern mobil makine platformlarında (ör. ekskavatörler, yükleyiciler, gövde şasi powerpack'leri) giderek artmaktadır. Bu birleşimlerde şaft bağlantıları; tork aktarımı, eksenel/yatay yükler, hizalama, titreşim ve yağlama gereksinimlerini aynı anda karşılamak zorundadır. Geleneksel spline/şaft ara yüzleri, saha şartlarında titreşimli aşınma, korozyon ve periyodik yağlama ihtiyacı nedeniyle sınırlamalar gösterir. Mobil uygulamalarda saha bakımı zor ve maliyetlidir; bu nedenle bakım gerektirmeyen (maintenance free) bağlantı konseptleri önem kazanmaktadır. Aktif spline yağlama yaklaşımı, spline dış boşluklarına pozitif yağ akışı sağlayarak sürekli yağ filmi oluşturmayı ve böylece titreşimli aşınma ile yüzey bozunmasını en aza indirmeyi hedefler.

## 2. AKTİF SPLINE YAĞLAMA PRENSİBİ (KONSEPT)

### 2.1 Tanım ve Çalışma Mekaniği

Aktif spline yağlama, spline dış boşluklarına pozitif olarak yağ beslemesi yapacak şekilde tasarlanan geometri ve yağ kanalizasyonu ile birlikte çalışır. Şaft döndüğünde santrifüj ve basınç farkı etkileri yardımıyla yağ, spline boşluklarına yönelir; dış yüzeyleri sürekli taze yağ filmi ile korunur. Bu film, metal-metal temasını azaltır ve sürtünme kaynaklı mikro aşınmayı önler [1][2].

### 2.2 Temel Unsurlar

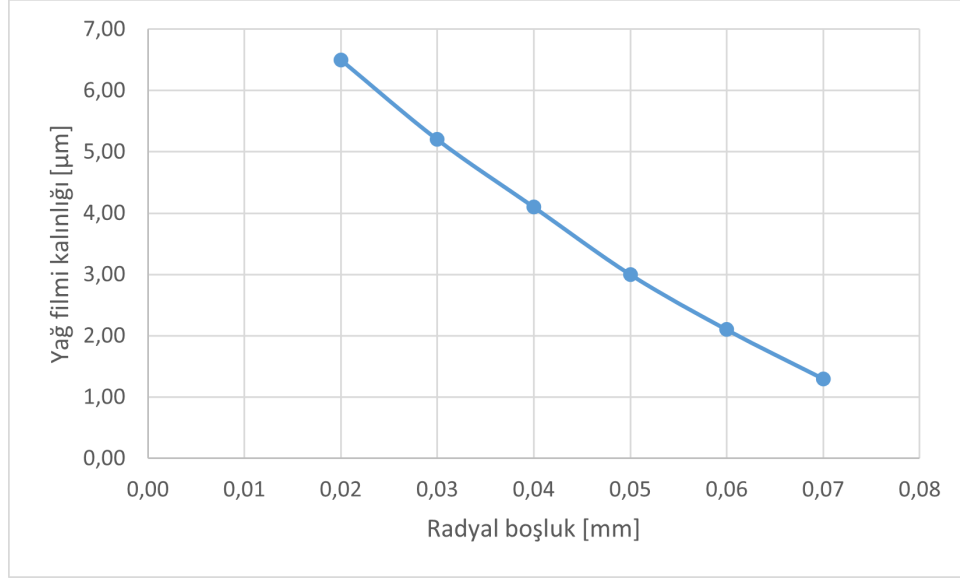
- Pozitif yağ besleme noktası(ları) ve yağ kanalları
- Spline boşluk toleranslarının yağ film oluşumuna uygun tasarımı
- Geri dönüş/kanalizasyon ile yağın sistemde dolaşımının sağlanması
- Filtrasyon ve yağ kalitesi kontrolü

## 3. TASARIM İLKELERİ

### 3.1 Spline Geometrisi ve Toleranslar

Spline profilinin seçimi, temas yüzeyinin dağılımını belirler. Tasarımda temas yüzeyi, yük taşıma kapasitesi ve yağ film kalınlığı dikkate alınarak optimize edilmelidir. Radyal boşluklar, yağ filminin oluşmasına izin verecek fakat tork aktarımını bozmayacak seviyede seçilmelidir. Yüzey pürüzlülüğü (ör. Ra değeri) yağ tabakası stabilitesi açısından önemlidir [3].

Şekil 1. Yağ Filmi Kalınlığı – Radyal Boşluk



### 3.2 Besleme Geometrisi

Besleme deliği/kanal konumlandırması, şaftın dönme yönü ve saha kullanımına göre belirlenir. Besleme açısından eşit dağılım sağlanmalı, geri dönüş yolları açık ve partikül kontrollü olmalıdır.

### 3.3 Montaj ve Hizalama

Doğrudan bağlantı tercih ediliyorsa (direct coupling), hizalama toleransları sıkı tutulmalı; aksi halde yağ filminin sürekliliği bozulur. Montaj prosedürleri; temiz çalışma ortamı, talaş ve yabancı madde kontrolü, belirlenmiş tork değerleri ve hizalama kontrol adımları içermelidir.

## 4. MALZEME SEÇİMİ VE YÜZEY İŞLEMLERİ

### 4.1 Gövde ve Mil Malzemesi

Yüksek yorulma dayanımı sağlamak için uygun alaşımlı çelikler önerilir (ör. 42CrMo gibi). Korozyon riski yüksek ortamlarda paslanmaz çelik alternatifleri değerlendirilebilir.

### 4.2 Kaplamalar ve Yüzey İşlemleri

Yüzey sertliği, aşınma direnci ve korozyona karşı dayanım artırılmalıdır. Nitrüleme, sert krom kaplama veya çinko nikel gibi kaplamalar fayda sağlayabilir. Kaplama seçimi ayrıca yağ ve çalışma sıcaklığı ile uyumlu olmalıdır.

### 4.3 Conta ve Elastomerler

Sızdırmazlık elemanları, yağ ve sıcaklık koşullarına göre (ör. FKM) seçilmelidir. Conta tasarımlarında, yağın kontrolsüz sızıntısını önleyecek ve aynı zamanda hava girişine izin vermeyecek çözümler tercih edilir.

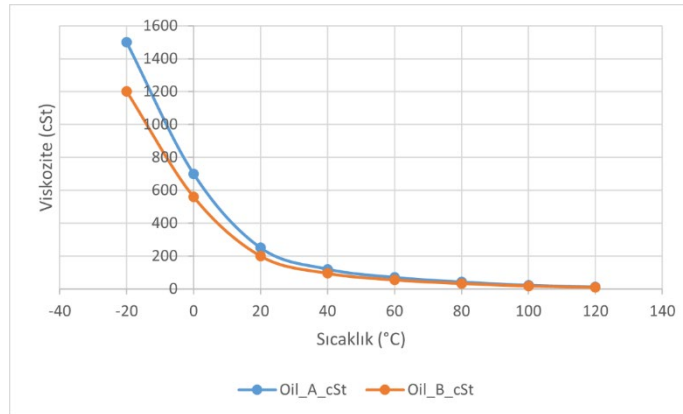
**Tablo 1.** Malzeme / Kaplama / Conta Önerileri (Spline / Şaft Uygulamaları) [1][4][5][6][7][8][9][10].

Bileşen	Önerilen Malzeme(ler)	Temel Özellikler / Neden	Önerilen Kaplama / Yüzey İşlemi	Notlar / Uygulama Unsurları
Şaft / Gövde	42CrMo (AISI 4140) veya benzeri alaşımlı çelik; 17-4PH (paslanmaz)	Yüksek yorulma dayanımı, iyi mekanik özellikler	Nitrüleme; sert krom; çinko-nikel (korozyon)	Korozyon riski yüksekse 17-4PH değerlendir
Temas yüzeyi / spline	Aynı veya uyumlu çelik alaşımları	Yüzey sertliği ve yorulma dayanımı kritik	Nitrüleme; yüzey sertleştirme; ince kaplamalar	Yüzey pürüzlülüğü (Ra) kontrolü gerekir
İç yüzey / spline kanalı	Alaşımlı çelik + uygun kaplama	Partikül toleransına uygun, yağ filmi oluşturulabilir	Electroless Ni-P (ihtiyaç halinde) veya NiCr	Kaplama-yağ uyumu test edilmeli
Conta / Sızdırmazlık	FKM (Viton) – yüksek sıcaklık/yağ direnci	Yağ ve sıcaklık dayanımı; kimyasal uyumluluk	(Kaplama ile ilişkili değil)	Düşük sıcaklık gerekiyorsa silikon gibi alternatif değerlendirin
Montaj malzemeleri / bağlantılar	Paslanmaz çelik (kritik ortamlar)	Korozyona dayanıklı, uzun ömürlü	Pasif koruyucu kaplamalar	Galvanik çiftlerden kaçının
Genel koruma (korozyon)	–	–	Çinko-nikel kaplama; pasivasyon; boya/top coat	Tuzlu/deniz etkisi için Zn-Ni tercih edilebilir

## 5. YAĞLAMA SİSTEMİ: YAĞ SEÇİMİ, FİLTREASYON, BESLEME

### 5.1 Yağ Özellikleri

Seçilecek yağın viskozite sıcaklık performansı, aşınmayı azaltıcı katkıları içermesi ve uzun süre stabil çalışması beklenir. Yağın tabaka oluşturma yeteneği ve oksidasyon dayanımı önemlidir.



**Şekil 2.** Sıcaklık - Viskozite

## 5.2 Filtrasyon

Besleme hattına partikül filtresi yerleştirilmelidir (ör.  $<10 \mu\text{m}$  hedef). Sistem içerisindeki partiküller spline yüzeylerinde erken aşınmaya neden olabilir; filtre bakımı ve izleme periyotları tanımlanmalıdır [11].

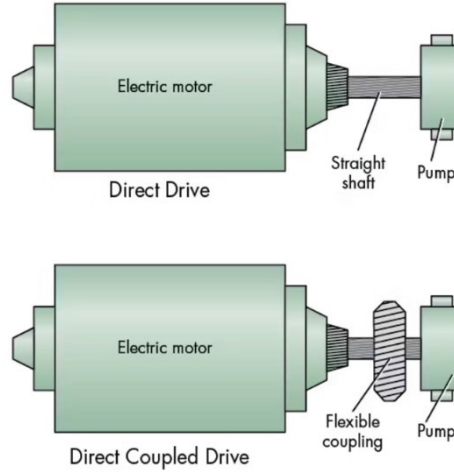
## 5.3 Pozitif Besleme Stratejisi

Yağın pozitif beslenmesi, dönme ile etkinleştirilen ve santrifüj etkisiyle desteklenen bir akış düzeni ile sağlanır. Besleme debisi, yağın taze kalmasını sağlayacak minimum değeri karşılamalıdır [9].

## 6. ENTEGRASYON: ELEKTRİK MOTORU — HİDROLİK POMPA BAĞLANTISI

### 6.1 Doğrudan Kaplin vs Elastomerik Kaplin

Doğrudan kaplin, kompaktlık ve ağırlık avantajı sağlarken hassas hizalama gerektirir. Elastomerik kaplinler daha fazla tolerans sağlasa da ek parçalar ve bakım ihtiyacı getirir [12].



Şekil 3. Doğrudan Kaplin – Elastomerik Kaplin [13]

### 6.2 Titreşim ve Torsiyonel Davranış

Elektrik motorundan gelen titreşim ve tork pulsasyonları spline tasarımına etkide bulunur. Modal analizler ve torsiyonel rijitlik analizleri tasarım aşamasında yapılmalıdır [14].

## 7. ÜRETİM VE MONTAJ UYGULAMALARI

- CNC işleme toleransları, yüzey pürüzlülüğü kontrolleri ve talaş yönetimi prosedürleri belirlenmelidir.
- Montaj sırasında spline yüzeylerinin temizliği ve talaş kalıntısına karşı özel kontroller (bürünç fırça, ultrasonik temizleme) uygulanmalıdır.
- Montaj sonrası kontrol listeleri ile hizalama, aksenal yerleşim ve tork doğrulamaları yapılmalıdır.

**Tablo 2. Üretim / Montaj önerileri [1][10][15]**

Konu	Önerilen Değer / Uygulama	Açıklama
Yüzey pürüzlülüğü (Ra) – temas bölgeleri	$\leq 0.8 \mu\text{m}$ (örn.)	Yağ filmi stabilitesi için düşük Ra hedefi (uygulamaya göre optimize edilecek).
Radyal/aksiyal tolerans (spline)	Radial clearance: 0.02-0.05 mm (örnek)	Yağ filmi oluşumunu sağlayacak, fakat tork aktarımını bozmayacak aralık.
Talaş/temizlik prosedürü	Ultrasonik temizleme + baskılı hava + fırça kontrol	Montaj öncesi talaş/partikül kalıntısını engelleyin.
Montaj torku doğrulama	Tork anahtarı ile her bağlantı doğrulanmalı	Belirlenmiş tork tablolarına uyulmalı; kayıt tutulmalı.
Hizalama kontrolü	Laser shaft alignment veya çap / end-float ölçümü	Direct coupling için sıkı hizalama gerekli.
Filtrasyon hedefi (yağ besleme)	Partikül filtresi: $<10 \mu\text{m}$ hedef	Besleme hattı temizliği spline ömrü için kritik.
Montaj kontrol listesi	Temizlik, hizalama, tork, leak check, kayıt	Her montaj için imzalayan ve tarihleyen kontrol listesi.

## 8. TEST, VALİDASYON VE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

### 8.1 Laboratuvar Testleri

1. Dinamik ömür testleri: cihaz tork/hız profillerine göre X milyon çevrim.
2. Aşınma testleri: mikro hareket, yüzey analizleri ve aşınma ölçümleri.
3. NVH (titreşim ve gürültü) testleri: titreşim ve gürültü ölçümleri, rezonans analizi.

### 8.2 Saha Deneyleri (Pilot)

1. Gerçek makine üzerinde termal döngüler, toz ve nem etkileri ile test.
2. Ölçülen KPI'lar: aşınma hızı ( $\mu\text{m}/10^6$  çevrim), yağ sıcaklığı artışı ( $^{\circ}\text{C}$ ), yağ tüketimi, sistem uptime.

### 8.3 Test Protokolü Örneği

Aşağıda örnek bir dinamik ömür test protokolü şablonu bulunmaktadır:

- Test standı: Tork kaynaklı döngü simülasyonu (tork kontrollü test tezgâhı)
- Hız aralığı: 0–3000 rpm (uygulama bazlı olarak uyarlanacaktır)
- Tork profili: Nominal tork  $\pm$  %25 pulsasyonlu döngüler (uygulamaya göre modifiye edilebilir)
- Çevrim sayısı: 1.000.000 çevrim (pilot test için önerilen hedef)
- Ölçümler ve gözlemler:
  - Yüzey görüntüleme ve görsel inceleme: Her 50.000 çevrimde bir
  - Yağ analizleri (partikül sayısı, aşınma metali, viskozite): Her 100.000 çevrimde bir
  - NVH ölçümleri: Başlangıçta, testin yarısında ve test sonunda
  - Periyodik ölçümler: sıcaklık, akış, basınç ve güç tüketimi sürekli kayıt altında tutulacak
    - Kayıt ve raporlama: Tüm ölçüm sonuçları, arıza anormallikleri ve görsel delil



- (foto/video) test raporunda kronolojik olarak belirlenecek
- Kabul/kriterler: Önceden tanımlanmış aşınma limitleri, sızıntı kriterleri ve NVH eşik değerleri sağlanmazsa test “red” kabul edilir
- Güvenlik ve temiz montaj: Test öncesi tüm numuneler temizlenmiş, talaş kontrolleri yapılmış ve test ortamı partikül kontrolü sağlanmış olacaktır.

**Tablo 2. Test Protokolü Örneği [16]**

Test Unsuru	Spesifikasyon / Prosedür	Sıklık / Ölçüm Aralığı	Kabul Kriterleri / Notlar
Test standı	Tork kontrollü döngü simülasyonu (torque-controlled test rig)	Sürekli; test boyunca	Test rig kalibrasyonu ve doğrulama raporu mevcut olmalı
Hız aralığı	0-3000 rpm (uygulama bazlı ayarlanır)	Uygulama gereksinimine göre profileme	Hız profili test planında tanımlanmalı
Tork profili	Nominal tork $\pm$ %25 pulsasyon (uygulamaya göre modifiye edilebilir)	Döngü boyunca uygulanır	Pulsasyon sınırları dışında sapma kritik hata olarak kaydedilir
Çevrim sayısı	1.000.000 çevrim (pilot hedef)	Toplam çevrim hedefi	Hedefe ulaşılmadan önce ciddi arıza olursa test “red” olabilir
Yüzey görüntüleme & görsel inceleme	Optik / mikroskopik inceleme ve fotoğraf kaydı	Her 50.000 çevrimde bir	Görsel/ölçümsel değişiklikler kronolojik olarak raporlanır
Yağ analizleri	Partikül sayımı, aşınma metali konsantrasyonu, viskozite ölçümü	Her 100.000 çevrimde bir	Partikül ve metal artışı önceden tanımlı limitleri aşarsa uyarı/stop
NVH ölçümleri	Titreşim & gürültü ölçümleri (modal/FFT analizleri)	Başlangıç / orta / son	NVH eşik değerleri aşılsa test incelemesi gerektirir
Periyodik ölçümler	Sıcaklık, akış, basınç, güç tüketimi – veri kaydı	Sürekli (kayıtlı)	Veri logları test raporunda sunulmalı
Kayıt & raporlama	Tüm ölçümler, anormallikler, foto/video delilleri kronolojik rapor	Test sonu ve periyodik ara raporlar	Rapor formatı ve sorumlu kişiler önceden tanımlı olmalı
Güvenlik & temiz montaj	Ultrasonik/kompresör temizliği, talaş kontrolü, PPE	Test öncesi ve her numune değişiminde	Partikül kontaminasyonunu önleyecek prosedürler uygulanmalı
Kabul / Red kriterleri	Önceden tanımlı aşınma limitleri, sızıntı kriterleri, NVH eşik değerleri	Test planında net tanımlanmalı	Tanımlı sınırlar aşılsa test “red” ve kök-neden araştırması başlatılır

## 9. OEM UYGULAMA ÖRNEKLERİ VE SAĞLANAN FAYDALAR

### 9.1 Uygulama Alanları

Bu teknoloji, yüksek güç yoğunluğu ve güvenilirlik gerektiren çeşitli mobil uygulamalarda kullanılabilir. Tipik örnek uygulama alanları şunlardır:

- Fan drive (soğutma fanları) – yüksek hız gereksinimli uygulamalar
- e-PTO ve güç paketleri – kompakt powerpack'ler
- Hydraulic steering direct drives – direksiyon pompaları
- Boom/implement actuation – yüksek tork uygulamaları

### 9.2 OEM'e Sağlanan Avantajlar

Bakım gerektirmeyen şaft tasarımları, sadece teknik değil aynı zamanda işletme ve tedarik zinciri açısından da önemli avantajlar sunar. Aşağıdaki maddeler bu faydaların başlıcalarını göstermektedir:

- Azalan saha bakım maliyeti ve işçilik; daha az planlı müdahale.
- Yüksek uptime ve üretim devamlılığı.
- Daha hafif, daha kompakt modüller → platform entegrasyon kolaylığı.
- Düşük çevresel risk → daha az yağ sızıntısı.
- İyileştirilmiş NVH – operatör konforu.

## 10. RİSKLER VE MİTİGASYON ÖNLEMLERİ

Her yeni teknoloji gibi, bakım gerektirmeyen şaft tasarımlarının da belirli riskleri vardır; bu bölümde bu risklerin kısa tanımları ve etkin önleyici tedbirler sunulmaktadır. Riskleri önceden tanımlayarak uygun mitigasyon stratejileri uygulanmalıdır.

### 10.1 Temel Riskler

Aşağıda sıralanan riskler, tasarım ve üretim aşamasında özellikle dikkat edilmesi gereken başlıca sorunlardır [11]:

- Partikül/contaminant kaynaklı erken aşınma
- Hatalı montaj ve talaş/kenar çapakları nedeniyle Conta/dış hasarı
- Aşırı yük ve şok durumları

### 10.2 Mitigasyonlar

Belirlenen risklere karşı uygulanabilecek temel önlemler ve politikalarıdır; bu tedbirler risk ihtimalini ve etki büyüklüğünü azaltmayı amaçlar:

- Yüksek etkinlikli filtrasyon, temiz montaj prosedürleri, montaj kontrol listesi
- Koruyucu mekanik elemanlar (torque limiter, shear pin)
- Proaktif izleme: yağ analizi ve condition monitoring

## 11. UYGULAMA YOL HARİTASI: PİLOT → SERİ

Bu yol haritası, konsept aşamasından seri üretime geçişe kadar izlenecek ana adımları ve her adımın amacını özetlemektedir. Sistematik bir yaklaşım, riskleri azaltır ve validasyon sürecini hızlandırır [17].

Adım 1: Sistem gereksinimlerinin netleştirilmesi (tork, hız, çevre koşulları)

- Amaç: Proje hedeflerini ve işletme şartlarını belirleyerek tasarım kriterlerini oluşturmak.

Adım 2: Konsept tasarım ve CAD modelleri (spline geometri, yağ kanalları)

- Amaç: Kavramsal çözümleri teknik çizimlere dökmek ve ilk performans/süreç analizlerini yapmak.

Adım 3: Prototip üretimi ve laboratuvar testleri

- Amaç: Tasarımın laboratuvar koşullarında dayanım, aşınma ve NVH parametrelerini doğrulamak.

Adım 4: Saha pilotu (real world validation)

- Amaç: Gerçek çalışma koşullarında performans ve entegrasyon sorunlarını tespit ederek sahada doğrulama yapmak.

Adım 5: Tasarım optimizasyonu ve seri üretim hazırlığı

- Amaç: Pilot bulgularına göre tasarımı iyileştirmek, üretim süreçlerini belirlemek ve seri üretime geçmek.

## SONUÇ

Aktif spline yağlama temeline dayanan bakım gerektirmeyen şaft tasarımları, elektrik motoru hidrolik pompa bağlantılarında güvenilirliği artırma, bakım maliyetlerini düşürme ve OEM platformlarına entegrasyon kolaylığı sağlama potansiyeline sahiptir. Bu teknolojinin başarılı uygulaması; malzeme seçimi, yüzey işlemleri, temiz üretim, etkili yağlama stratejisi ve kapsamlı test validasyon ile mümkündür. Özellikle elektrifikasyon inisiyatiflerinde (fan tahriki, e-PTO, kompakt güç üniteleri) bu yaklaşım stratejik avantaj sunabilir.

## KISALTMALAR

Kısaltma	Açıklama
e-PTO	Electric Power Take-Off / Elektrikli Yavru Şanzıman
FFT	Fast Fourier Transform / Hızlı Fourier Dönüşümü
FKM	Fluorkautschukmaterial / Floroelastomer
KPI	Key Performance Indicator / Temel Performans Göstergesi
NVH	Noise, Vibration & Harshness / Gürültü, Titreşim Ve Sertlik

## KAYNAKLAR

- [1] Parker Hannifin. n.d. "MSG30-2905 Installation (Spline lubrication technologies)." Service manual. Accessed June 18, 2025. [https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/PMDE/Service\\_Manuals/epumps/MSG30-2905-INST\\_UK.pdf](https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/PMDE/Service_Manuals/epumps/MSG30-2905-INST_UK.pdf).
- [2] ASM International. 1992. ASM Handbook, Volume 18: Friction, Lubrication, and Wear. Materials Park, OH: ASM International.
- [3] Hutchings, Ian M. 1992. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. London: Butterworth-Heinemann.
- [4] "4140 steel." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. [https://en.wikipedia.org/wiki/4140\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/4140_steel).
- [5] "17-4 PH stainless steel." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. [https://en.wikipedia.org/wiki/17-4\\_PH\\_stainless\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/17-4_PH_stainless_steel).



- [6] "Nitriding." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. <https://en.wikipedia.org/wiki/Nitriding>.
- [7] "Chrome plating." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. [https://en.wikipedia.org/wiki/Chrome\\_plating](https://en.wikipedia.org/wiki/Chrome_plating).
- [8] Corrosionpedia. n.d. "Zinc-Nickel Plating." Accessed June 18, 2025. <https://www.corrosionpedia.com/definition/10422/zinc-nickel-plating>.
- [9] "Fluoroelastomer." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. <https://en.wikipedia.org/wiki/Fluoroelastomer>.
- [10] SKF. n.d. "SKF Technical Papers." Accessed June 18, 2025. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/technical-papers>.
- [11] International Organization for Standardization. 2017. ISO 4406:2017, Fluid power — Hydraulic fluid — Contamination codes (number of particles/volume — Sizes 4 µm, 6 µm and 14 µm). Geneva: ISO. Accessed June 18, 2025. <https://www.iso.org/standard/64619.html>.
- [12] Rexnord (Lovejoy). n.d. "Coupling Selection Guide." Rexnord (Lovejoy). Accessed June 18, 2025. <https://www.rexnord.com/en/products/couplings>.
- [13] "What's the Difference Between Direct and Indirect Drives for Hydraulic Pumps?" Machine Design. n.d. Accessed June 18, 2025. <https://www.machinedesign.com> (search article title on site).
- [14] Den Hartog, J. P. 1985. Mechanical Vibrations. New York: Dover Publications.
- [15] "Ultrasonic cleaning." n.d. Wikipedia. Accessed June 18, 2025. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic\\_cleaning](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_cleaning).
- [16] Ewins, D. J. 2000. Modal Testing: Theory, Practice and Application. 2nd ed. Baldock, UK: Research Studies Press.
- [17] INCOSE (International Council on Systems Engineering). 2015. Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley.

## ÖZGEÇMİŞ

### İsmail TUNCA

1991 yılı İstanbul doğumludur. 2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016-2017 yılları arasında Mert Akışkan Gücü A.Ş. 'de Tasarım Mühendisi, 2017-2021 yılları arasında Mert Teknik A.Ş. 'de Proje ve Satış Mühendisi olarak çalışmıştır. 2021-2022 yılları arasında +90 3B Dijital Fabrika 'da Proje Yöneticisi olarak görev almıştır. 2022 yılından beri Parker Hareket ve Kontrol Sistemleri Ltd. Şti. 'de OEM Satış Yöneticisi olarak çalışmaktadır.