



# HİDROLİK SİLİNDİRLERDE SİLİNDİR MİL MALZEMESİ VE KAPLAMA ÖZELLİKLERİ

*CYLINDER ROD MATERIAL AND COATING PROPERTIES OF HYDRAULIC CYLINDERS*

**İlyas Genç**  
**Ali Zop**  
**Fatma Öz**  
**Ferhan Fıçıcı**

## ÖZET

Bu çalışmada, hidrolik silindir rod malzemesinin sahip olması gereken özellikler incelenmiştir. Literatür taraması yapılarak bu konuda tavsiye edilen alternatif malzeme türleri incelenmiştir. Karla mücadele çalışmalarında kullanılan ekipmanların silindir rodlarında karşılaşılan arızaların giderilmesi için kök neden tespit çalışması yapılmıştır. Yapılan literatür çalışması ile saha geri bildirimleri birlikte değerlendirilerek arızaların çözümünde yol haritası belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda karla mücadelede kullanılan silindir arızaları giderilmiştir. Saha uygulamaları ve testleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Silindir rodu, Sert krom kaplama, Korozyon dayanımı, Kazıcı yükleyici makineler.

## ABSTRACT

In this study, the properties that the hydraulic cylinder rod material should have were researched. By making a literature research, alternative material types proposed in this regard were examined. Root cause study was carried out to eliminate the malfunctions encountered in the equipment cylinder rods used in snow removal works. The literature research and field feedback were evaluated together and a road map was determined for the solution of the malfunctions. As a result of this study, the cylinder faults used on the snow removal vehicles were eliminated. Field applications and tests were carried out.

**Key Words:** Piston rod, Hard chrome plating, Corrosion resistance, Backhoe loader machines.

## 1. GİRİŞ

Hidrolik silindirler, çalışma sıvısının potansiyel enerjisini doğrusal hareketle mekanik enerjiye dönüştüren elemanlardır. Çalışma sıvısının basıncı pistonu etkiler ve piston tertibatının hareket etmesine neden olan bir kuvvet oluşturur. Oluşan bu kuvvetten silindirin bağlı olduğu ekipman bileşenlerinde faydalanılır. Hidrolik silindirler, güç hidrolik sistemlerinde yönetici unsurlardır.[1] Hidrolik silindirlerin büyük çalışma kuvvetleri ve düşük çalışma hızları gibi çeşitli avantajları vardır. Hidrolik silindirler kullanım amaçlarına göre birçok tip ve yapıda olabilir. Ancak ana bileşenleri her silindir tipinde aynıdır. Bunlar; silindir borusu, rod, piston, boğaz (kep) ve sızdırmazlık elemanlarıdır.[7]



## 2. SİLİNDİR KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ

Hidrolik ve pnömatik sistemler güç kaynaklarında, arazi ve inşaat makinelerinde, her türlü ulaşım aracında, binalarda, robotik, ormancılık, madencilik ve birçok mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolik ve pnömatik sistemlerin kullanıldığı makinelerinin kalitesi, güvenilirliği ve uzun ömürlüğü, silindir kalitesi ve uzun ömürlülüğü ile paraleldir.

Bir yılda bir milyar doların üzerinde perakende değeri olan 50 milyon ile 100 milyon arasında hidrolik silindir üretilmektedir. Tipik bir Avrupa ülkesinin yeni arabalar için yılda 5 milyondan fazla hidrolik silindire ihtiyaç duyarken, bir milyondan fazla yedek parça talebi vardır. ABD pazarı bundan birkaç kat daha fazladır. [2] Piyasa büyüklüğü ve kullanım yerleri değerlendirildiğinde, sistem ve bileşen güvenliği büyük önem kazanmaktadır. Ayrıca ülke ekonomisine sağlayacağı katma değer artmaktadır.

## 3. SİLİNDİR RODU BELİRLEME KRİTERİ

Hidrolik silindir ve sistemlerin güvenilirliği, birbiri ile temas halinde çalışan bileşenlerin uyumlu ve verimli çalışmasına bağlıdır. Bileşenlerin yüksek hız ve sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklı olması ve istenen görevleri sağlayabilmesi büyük öneme sahiptir.[9] Hidrolik silindir üretiminin en önemli bileşeni olan sızdırmazlık elemanlarının birlikte çalıştığı metallerin yüzeylerinin belirlenen yüzey pürüzlülük ve kalitede olması gerekmektedir. Mobil uygulamalarda kullanılan hidrolik silindirler yükde aşındırıcı ortamlarda çalışmaya zorlanmaktadır. Çalışma ortamlarında dış etkilerden korunması gereken en önemli silindir bileşeni silindir rodlarıdır. Bu nedenle hidrolik silindir rodlarına krom kaplama işlemi uygulanmaktadır.

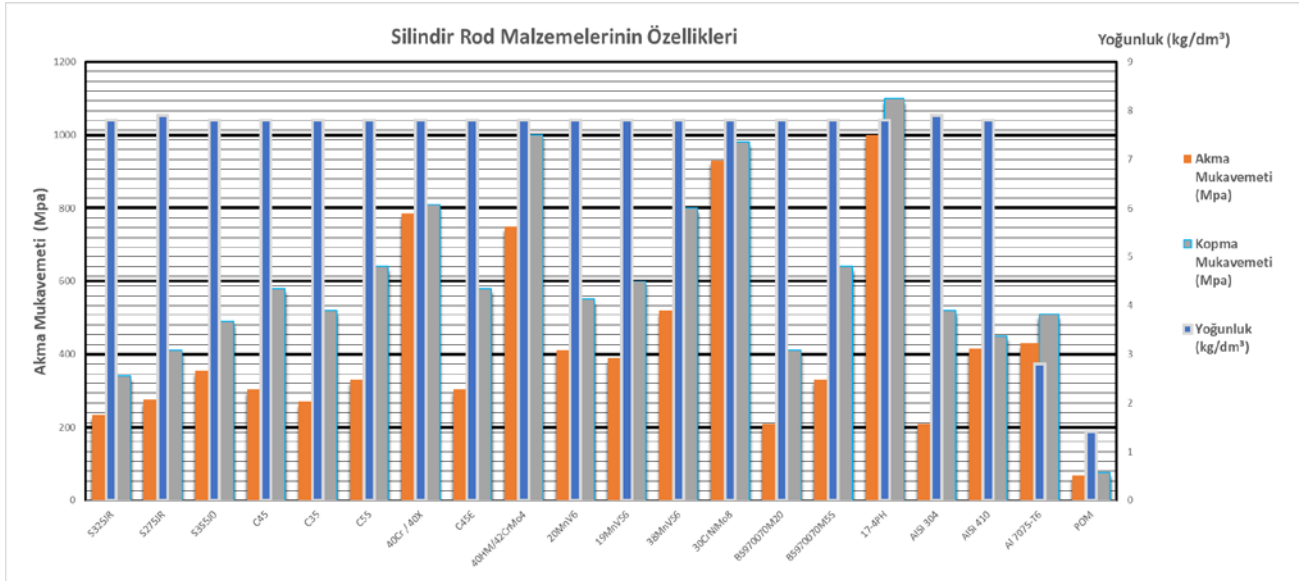
Hidrolik silindir seri üretiminde rodlarına sert krom kaplama çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sert krom kaplamada Cr6+ kullanılmaktadır. Kaplama işleminde kullanılan yüksek orandaki hegzagonal Cr6+ değerli kromun bulunması yüksek kanserojen etkiye sahiptir.[4] Sağlık etkisinin yanında özellikle son yıllarda, çevresel tehlikeleri nedeniyle sert krom kaplama ve kaplamalı ürünlerin imalatı üzerinde artan bir baskı vardır. Oluşan bu baskılar araştırmacıları ve imalatçıları alternatif kaplama türleri üzerine çalışmaya zorlamaktadır. Bu kaplamaların alternatifleri ile değiştirilmesi henüz çok başarılı olmamıştır, çünkü yeni yöntemlerin maliyetli ve zaman alıcı kapsamlı bileşen testlerin yapılması gerekliliğinden uygulanabilir durumda değildir.[2]

Sert krom kaplamanın amacı, yüzey sertliği, korozyon direnci, aşınma direnci gibi yüzey özelliklerini ve mekanik özellikleri iyileştirmektir. Bu sayede hidrolik silindirler dış etkenlere karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Ayrıca krom kaplama sürtünmeyi azaltmaktadır.

Sert krom tabakada kırılma ve aşınma olduğunda, yüzeyden metal ve tabaka kaybı zamanla artarak iç kısımlara boğru hızlıca devam etmektedir. Rod üzerindeki aşınma sızdırmazlığı doğrudan müdahale ederek, sızdırmazlık elemanlarına zarar verir ve sıvı sızıntılarına neden olur. Sızıntılar silindir hareketlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasının azalması ve sonrasında hidrolik yağın tutmamasıdır. Yapılan çalışmalar, belirtilen boyutsal doğruluk ve geometrik şekil parametrelerinin sağlanmasının yanı sıra, işlenmiş yüzeylerin Ra gerekli pürüzlülüğü 2,5...1,6 µm aralığındaydı olması gerektiğini göstermektedir. Rod üzerindeki Ra değeri yağ film tabakası oluşması için önemlidir.[5] Film tabakası sızdırmazlık elemanlarının verimli çalışmasını sağlamaktadır. Rod ile sızdırmazlık elemanlarının uyumlu çalışmasında Ra değerinden daha önemli olan, malzeme temas alanını gösteren Rmr değeridir. Rmr, yüzey profili özellikleri hakkında daha fazla bilgi sağlar ve rod seçiminde kullanıcılar tarafından dikkate alınmalıdır.

Oldukça zorlu ortamda çalışan silindir rodları, uygun parametrelere sahip kaliteli malzemeden yapılmalıdır. Silindir milleri için hem alaşımsız hem de alaşımlı ve hatta paslanmaz çelik kullanılır. Silindir rod malzemesi için birçok çalışma yapılmıştır.

Silindir rod malzemeleri için yapılan çalışmalarda kullanılan rod malzemelerin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 1. Silindir rodlarında kullanılan malzeme özellikleri.

Tablo 1. Silindir rod malzemelerinin temel özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Min. Akma Mukavemeti (Mpa)	Min. Kopma Mukavemeti (Mpa)	Maks. Karbon İçeriği (%)	Açıklama
S325JR	7,8	235	340	0,2	Düşük karbonlu yapı çeliği
S275JR	7,9	275	410	0,21	Düşük karbonlu yapı çeliği
S355J0	7,8	355	490	0,2	Düşük karbonlu yapı çeliği
C45	7,8	305	580	0,42 - 0,50	Orta karbonlu yapı çeliği
C35	7,8	270	520	0,32 - 0,39	Orta karbonlu yapı çeliği
C55	7,8	330	640	0,50 - 0,60	Orta karbonlu yapı çeliği
40Cr / 40X	7,8	785	810	0,37 - 0,44	Alaşımlı çelik
C45E	7,8	305	580	0,42 - 0,50	Orta karbonlu yapı çeliği
40HM / 42CrMo4	7,8	750*	1000	0,38 - 0,45	Alaşımlı çelik
20MnV6	7,8	410	550	0,22	Düşük karbonlu yapı çeliği
19MnVS6	7,8	390	600	0,15 - 0,22	Alaşımsız özel çelik
38MnVS6	7,8	520	800	0,34 - 0,41	Alaşımlı çelik
30CrNiMo8	7,8	930	980	0,26 - 0,34	Alaşımlı yapı çeliği
BS970070M20	7,8	210	410	0,24	Düşük karbonlu yapı çeliği
BS970070M55	7,8	330	640	0,52 - 0,60	Orta karbonlu yapı çeliği
17-4PH	7,8	1000	1100	0,07	Maetanzitik paslanmaz çelik
AISI 304	7,9	210	520	0,08	Östenitik paslanmaz çelik
AISI 410	7,8	415	450	0,15	Maetanzitik paslanmaz çelik
Al 7075-T6	2,8	430*	510	-	Al-Zn alaşımı
POM	1,41	67 - 69	67 - 85	-	Polioksitilen

\*Alüminyum alaşımları ve 42CrMo4 için Re akma mukavemeti yerine Rp0,2 akma mukavemeti dönüşümü kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Silindir rod malzemelerinin özellikleri.

Malzeme	Sertlik (Ortalama)	Darbe Enerjisi (J)	Kopma Uzaması (%)
S325JR	140 HB	27 (20°C)	26
S275JR	160 HB	27 (20°C)	22
S355J0	165 HB	27 (0°C)	18
C45	200 HB	25 (23°C)	14
C35	160 HB	23 (23°C)	17
C55	225 HB	25 (23°C)	15
40Cr / 40X	200 HB	47 (23°C)	9
C45E	207 HB	25 (23°C)	16
40HM / 42CrMo4	218 HB	30 (23°C)	10
20MnV6	220 HB	27 (-20°C)	19
19MnVS6	255 HB	24 (23°C)	16
38MnVS6	275 HB	20 (20°C)	12
30CrNiMo8	250 HB	30 (23°C)	13
BS970070M20	140 HB	24 (10°C)	21
BS970070M55	220 HB	25 (23°C)	12
17-4PH	305 HB	42 (23°C)	16
AISI 304	215 HB	60 (-196°C)	45
AISI 410	217 HB	30 (23°C)	20
Al 7075-T6	150 HB	17 (23°C)	10
POM	81 (Shore D)	-	30

#### 4. PROBLEM TESPİTİ VE ÇÖZÜMÜ

İş makineleri zorlu şartlarında çalışan makinelerdir. Karla mücadele yapan iş makinelerinin bazı silindirleri diğer silindirlerine göre daha az kullanılmaktadır. İş makinelerinin yapısı gereği karla mücadelede bazı silindirler sezonda aktif olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle kullanılan silindirler rodları üzerindeki film tabakası kırılmaktadır. Zemine yakın, silindir borusu içinde kalmayan ve dış ortamdaki darbelere maruz kalan rodlarda deformasyonlar gözlenmiştir. Oluşan deformasyonlar, karla mücadelede kullanılan asidik çözeltiler ve tuzların katalizör etkisi ile krom tabakasında yaşanan kırılma bölgelerinde çukurcuk korozyonu şeklinde kendini göstermektedir (Şekil-2).

**Şekil 2.** Saha problemi.



Çukurcuk korozyonu metalin yüzeyinde lokalize çukurcuklar veya delikler oluşturur. Bu tür korozyonun hızı önceden belirlenemez ve korozyon hızı bazı bölgelerde çok yüksek olduğu halde bazı bölgelerde oldukça düşüktür. Eğer bozunum küçük bir alanda oluşuyorsa, anot olayı, sonuçta oluşan çukurcuk derin, eğer bozunum daha geniş bir yüzeyde oluşursa çukurcuğun derinliği sığdır. Çukurcuk korozyonu, özellikle hidrolik kontrol bileşen ve sistemlerde önemli bir sorundur, çünkü yüzeyde oluşan tek bir delik çok daha büyük hasarlara neden olabilir. [8] Rodlarda oluşan hasarlanmaların tamiri için yeni yöntem ve metotlar üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan bazıları; yapısında Fe-C-Cr-V bulunan rod malzemesine toz plazma yöntemi ile yüzey kaplaması yapılabilmektedir. Bu sayede aşınmış hidrolik silindirleri onarmak mümkün olmaktadır.[3]

Hidrolik silindir rod malzemelerinde bulunabilirlik kolaylığı nedeniyle genellikle C45 ve 20MnV6 kullanılmaktadır. Karla mücadele hidrolik ekipmanların silindir rodlarında 20MnV6 kullanılmıştır. Yaşanan arıza bildirimini incelenmiş ve kök neden araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde hata nedeni rod malzemesinin çekirdek sertliğinin çalışma koşulları için yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Dış yüzeydeki sert krom tabakası darbelerin karşılanması için tek başına yeterli olamamıştır. Sert krom tabakanın korunması için koruyucu spreyci uygulamaları bulunmaktadır. [6] Ancak çalışmaya konu olan silindir spreyci koruyucu uygun değildir.

## 5. SONUÇ

Karşılaşılan problemin çözümünde rod malzemesinin 20MnV6 yerine 38MnV6 olarak değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu sayede sert krom tabakanın altındaki ana malzemenin sertliği artırılarak darbelerle karşı daha dayanıklı bir tabaka elde edilmiştir. Yeni malzemeyle uzun süreli saha denemeleri yapılmıştır. Test süresinde olumlu dönüşler alınmış ve saha şikâyetleri giderilmiştir. Yapılan değişiklik seri üretime yansıtılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] S Zh Aizhambaeva and A V Maximova 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 289 "Development of control system of coating of rod hydraulic cylinders"
- [2] Georgiou, E.P.; Drees, D.; Timmermans, G.; Zoikis-Karathanasis, A.; Pérez-Fernández, M.; Magagnin, L.; Celis, J.-P. Coatings 2021, 11, 1511. <https://doi.org/10.3390/Coatings2021111511> "High Performance Accelerated Tests to Evaluate Hard Cr Replacements for Hydraulic Cylinders."
- [3] S.P.Nefed'ev, R.R.Dema, M.V.Kharchenko, I.S.Pelymskaya, D.N.Romanenko, and G.M.Zhuravlev Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 52, Nos. 11–12, March, 2017 (Russian Original Nos. 11–12, Nov.–Dec., 2016) "Experience in restoring hydraulic cylinder rods by plasma powder surfacing"
- [4] Richard de Medeiros Castro, Alexandre da Silva Rocha, Elvys Isaías Mercado Curi, Fábio Peruch American Journal of Materials Science 2018, 8(1): 15-26 DOI: 10.5923/j.materials.20180801.03 "A comparison of microstructural, mechanical and tribological properties of WC-10Co4Cr - HVOF coating and hard chrome to use in hydraulic cylinders"
- [5] S V Sevagin and V U Mnatsakanyan 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 709 "Ensuring the required manufacturing quality of hydraulic cylinder rods in mining machines "
- [6] Ning Zhang, Chuanhui Huang, Chunhong Zhang, Na Shi Advanced Materials Research Vols 791-793 (2013) pp 394-397 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.791-793.394 "Anticorrosion property study on the hard chrome plating layer of hydraulic cylinder rod"
- [7] Skowrońska, J.; Kosucki, A.; Stawiński, L. Overview ; Institute of Machine Tools and Production Engineering, Lodz University of Technology, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Lodz, Poland; "Overview of materials used for the basic elements of hydraulic actuators and sealing systems and their surfaces modification methods"
- [8] H.Aygün; 2003; VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Seminerler
- [9] <https://sealfuid.it/tech-support/engineering-guide/surface-finishes/>



## ÖZGEÇMİŞ

### İlyas Genç

1983 yılı İnegöl doğumludur. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden Makina Mühendisliği Mekanik Anabilim dalından 2007 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2008-2011 yılları arasında Hidromek A.Ş. de Tasarım Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2011-2016 yılında kurucu ortağı olduğu Akatem Mühendislik Ltd. Şti.'de Proje yöneticisi olarak görev yapmıştır. 2016-2022 yıllarında Hidromek A.Ş.'de Yapısal Tasarım Takım Lideri olarak çalışmıştır. Halen NSK Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de Hidrolik Silindir Üretim Müdürü olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

### Ali Zop

1989 yılı Adana doğumludur. İlk, ortaokul ve lise eğitimlerini Adana'da tamamlamıştır. 2013 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılından itibaren iş makinası sektöründe faaliyet gösteren Hidromek şirketinde tasarım alanında çeşitli pozisyonlarda görev almıştır. Halen Kazıcı Yükleyici Mühendislik departmanında Uzman Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.

### Fatma Öz

1974 yılı Ankara doğumludur. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis unvanı almıştır. 1998 yılından itibaren iş makinası sektöründe faaliyet gösteren Hidromek şirketinde tasarım alanında çeşit pozisyonlara görev almıştır. Halen Kazıcı Yükleyici Mühendislik departmanında Ürün Yöneticisi olarak çalışmaktadır.

### Ferhan Fıçıcı

1979 yılında Bandırma'da doğdu. İlk, ortaokul ve lise eğitimlerini Balıkesir'de tamamladı. 2002 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl HİDROMEK'te AR-GE Mühendisi olarak göreve başladı ve 2005 yılında AR-GE Takım Liderliği görevine getirildi. 2007 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayan Fıçıcı, 2012 yılından bu yana HİDROMEK'te Kazıcı Yükleyici ve Lastikli Yükleyici Mühendislik Müdürü olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.