



## MOTOR YAĞI TAKVİYELERİNİN, AŞINMA MEKANİZMALARINA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Rasim İPEK & Mehmet ERDOĞAN

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, 43100Kütahya,  
ripek@dumlupinar.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, motor performansını artırmak için üretilen motor yağı katkı malzemeleri motorun aşınma direncine ve yağlama performansına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çok yaygın olan üç farklı katkı motor yağının aşınma ve aşınma mekanizmalarına etkileri mukayese edilmiştir.

Aşınma testleri, pin-on-silindir yağlı ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşınmanın kütle kaybının kayma süresine (kayma yolu) bağlı olarak değişimi ve aşınmış numune yüzeylerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca, 4 ve 8 saatlik kayma süreleri sonundaki yüzey pürüzlülüğü değişimi tespit edilmiştir. Deney öncesi ve sonrası yağ içindeki element değişimi belirlenmiştir. Aşınma mekanizmaları ve her bir katkı malzemesinin içerdiği element ve bu elementleri aşınma mekanizmalarına etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır; K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> ve K<sub>3</sub> katkıları, aşınma süreçlerini ve mekanizmalarını etkilemektedir. Bununla beraber, K<sub>1</sub> ve K<sub>2</sub> katkıları içeren yağlamada aşınmış yüzeyde bazı elementlerin (Cu, Sn, Al, Pb, Mo ve Si) çökelmesini gösteren belirtiler ve veriler elde edilmiştir.

Bu katkıları, aşınmayı ve sürtünmeyi yüzeyde oluşturduğu bu tabakalarla kontrol etmekte olduğu kanaatine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Motor yağı katkı maddeleri, Aşınma

### 1. GİRİŞ

Motorun aşınması ve dolayısı ile performansının düşmesi, motorlu araç kullananlar için oldukça önemlidir ve motor taşıt teknolojisinde hala en başta gelen sorunlardan biridir. Motordaki aşınma neticesinde, motor performansı düşer, yakıt ve yağ sarfiyatını buna paralel olarak artar. Ayrıca, gürültü artışı neticesinde birçok psikolojik ve çevresel sorunlara da yol açar.

Yağlara birçok katkı, işletme koşullarından kaynaklanan problemine çözüm olması için geliştirilmiştir. Bu katkıları, sürtünmeye (FM, friction modifiers), basınç taşıma, (EP, extreme pressure), aşınma direnci (AW, anti wear,), oksitlere dirençli (AO, anti oksidant)

gibi özellikler artırılması için önerilmektedir[1-7].

Bu katkıların birçoğu ticari yağların içerisinde standart olarak yer almaktadır. Ancak gelişen talep daha etkili katkıları geliştirmeyi zorunlu hale getirmektedir.

Genel olarak, katkıları, yüzeyinin sürtünme ve aşınma özelliklerini geliştirmek üzere katılır. Katkıların içeriğinde bulunan nano tanecikler, yüzey tabakları ve aşınmış yüzeylerle etkileşerek yüzeyde yeni kompozisyonlar oluşturmaktadırlar.

Yüzeyde oluşturulan yeni kompozisyonlar aşınmayı azaltmaktadır [2, 4,5]. Bu amaçlar doğrultusunda, başta Fe esaslı sert karbürler ve oksitlerle beraber, Al, Pb, Ag ve Au benzeri elementler katkıların içeriğinde yer almaktadır. Son 10 yılda bu konuda önemli gelişmeler olmuştur. Özellikle aşınma ve oksitlenmeye karşı dayanımı artıran katkıları çok revaçtadır. Bunlar; S, N, P, O, Pb, Al, Sn Au ve Ag esaslıdır[1-5, 8, 9,10]. Bu katkıların rollerini tespit etmek ve yüzeyde oluşturulan film tabakasının özelliklerini incelemek için birçok metot mevcuttur. Bunlar, optik ve SEM, x-ray, foto elektro spektroskopisi (XPS) ve kimyasal analiz yöntemleri sayılabilir[2, 4, 6, 11,12]. Bu çalışmada, ticari olarak kullanılmakta olan motor yağ takviyelerinin, motorun aşınma direncine olan etkileri bilimsel yöntemlerle test edilmiş ve aşınma mekanizmalarını nasıl etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Aşınma testlerinin esas alındığı bu çalışmada, en yaygın test yöntemi olan “pin-on silindir” test mekanizması seçilmiştir. Testlerde kullanılan numune boyutları ve aşındırma düzeni Şekil-1’de görülmektedir.

Deneylede, pin olarak yağda 45-50 HRC sertleştirilmiş olan Ç1050 çeliği, karşı malzeme olarak (silindir) yağda sertleştirilmiş 53-57 HRC sertliğinde Ç4140 alaşımli çelik kullanılmıştır.

Adhesiv aşınma test numuneleri pin olarak  $24 \text{ ms}^{-1}$  (1485 dev/dk) çizgisel hızla dönen silindire 36 N normal yükü temas ettirilmiştir. Deneyleler 4 ve 8 saat sürdürülmüştür. Aşınma kayıpları 0,1 mg hassasiyetli terazi kullanılarak saptanmıştır.

Deney malzemesi örneklerinin yüzey pürüzlülüğü aşınma deney öncesi ve sonrasında ölçülmüştür. Mikro yapı optik ve SEM görüntüleri incelenmiştir.

## 3. SONUÇLAR

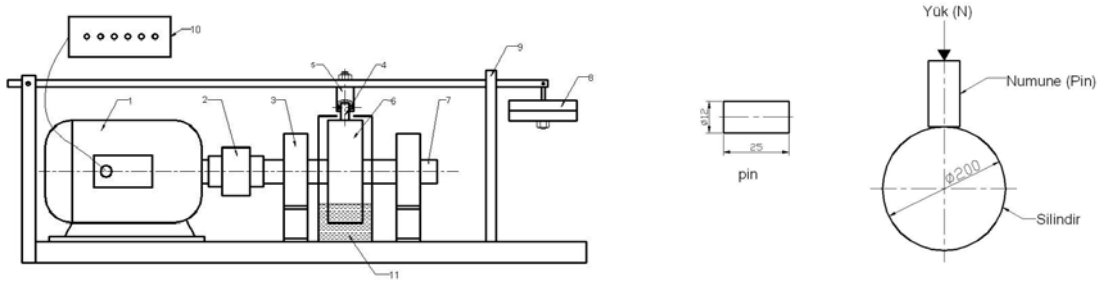
### 3.1.Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

4 ve 8 saat kayma süresi sununda, aşınma öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü şekil 2 de, aşınma kaybının kütleli değişimi Şekil-3 de verilmiştir. Karşı yüzey ise her bir deneyde görsel incelenmiş ve deneyler sırasında kayda değeri bir farklılık gözlenmemiştir.

Bu sonuçlara göre, 4 saat sonunda en düşük yüzey pürüzlülüğü, O+K<sub>2</sub>(0,51) ölçülmüştür. Diğer katkı malzemeli olan yağların kullanıldığı durumda ise yüzey pürüzlülüğü değeri

bir birine yakın (1,06 ve 1,09) ve katkısız olandan(1,61) az da olsa düşüktür. 8 saatlik sürtünme sonunda, bütün örneklerin yüzey pürüzlülüğü bir birine göreceli olarak daha yakınlaşmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü, sürtünmenin ilk 4 saatlik kısmı sonunda daha düşük olan  $O+K_2$  değeri, diğerlerine göre daha fazla artmış ve 8 saat sonunda 0,51 den 1,01 e ulaşmıştır.

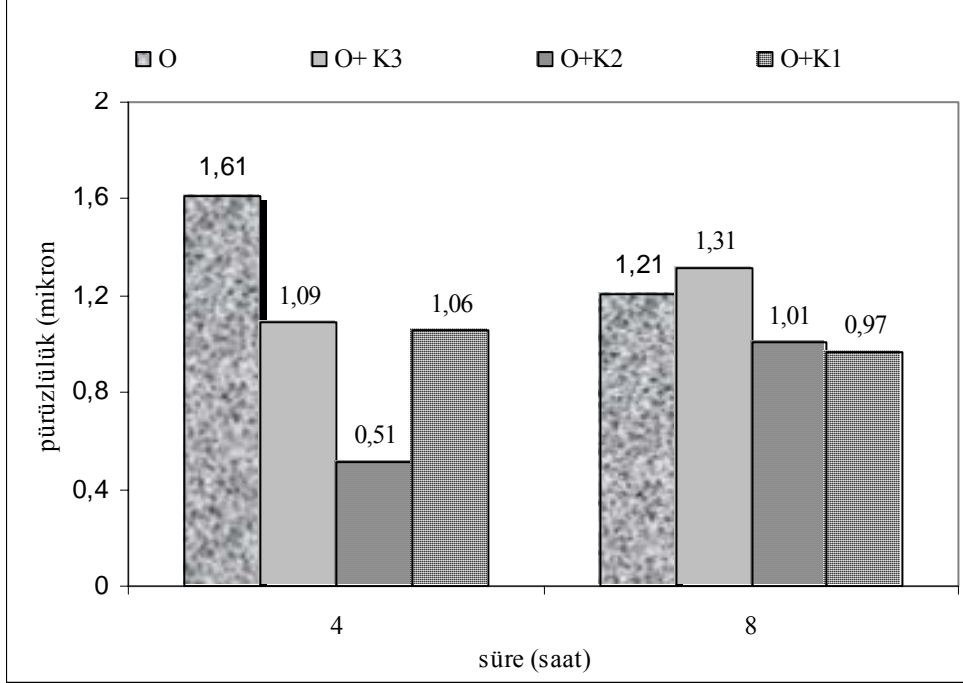


**Şekil 1.** Aşınma deney düzeneği (1: Elektrik Motoru 2. Kavrama 3: Yataklar 4: Numune (pin) 5: Numunenin bağlandığı yatak 6: Silindir 7: Mil 8: Ağırlık (Yük) 9: Dengeleme Çubuğu 10: Motor Kontrol Ünitesi 11: Yağlama Haznesi)

### 3.2. Aşınma Test Sonuçları

Bu sonuçlara göre, 4 saat sonunda en düşük kütleli aşınma kaybı yaklaşık 3 mg ile ( $O+K_2$ ) da meydana gelmiştir. Bunu takiben 3,5 mg ile ( $O+K_3$ ) ve yaklaşık bunların 3 katı kadar daha fazla aşınma kaybı ile ( $O+K_1$ ) ve (O) örnekleri gelmektedir.

Aşınma süresinin 8 saat olduğu durumda farklılıklar daha belirginleşmiştir. (O-katkısız ve  $O+K_3$ ) nin aşınma kayıpları hızlı artmıştır. Buna karşılık, ( $O+K_2$ ) artış eğilimi ve aşınma miktarı çok daha düşük kalmıştır. ( $O+K_1$ ) is tam bir sürprizdir ve aşınma kayıpları azalmıştır. Bu sonuç defalarca yapılan testlerde teyit edilmiştir. Bunun durum, yağın içinde bulunan katkı maddelerinin yüzeye yapıştığı ve yüzeye çökelmiş olduğunu işaret etmektedir..

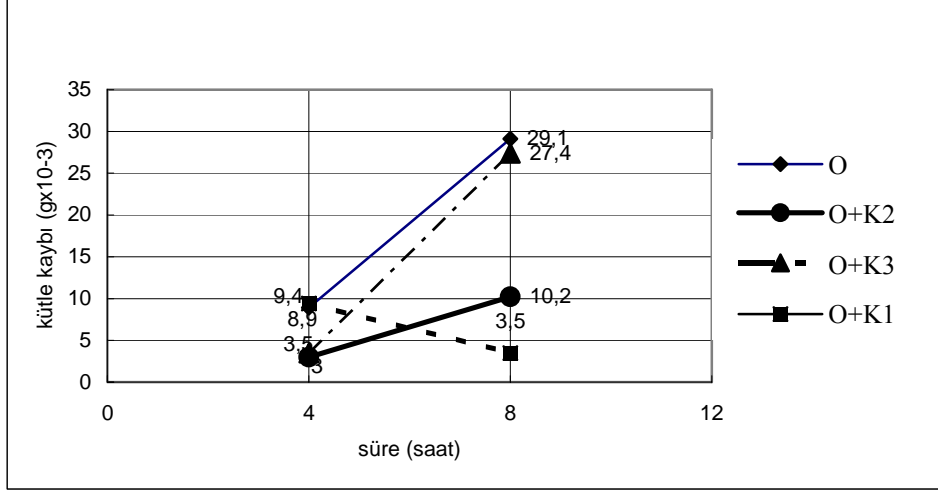


**Şekil 2** Aşınmış Yüzey Pürüzlülük Değişimi

(O) de 4 saatlik aşınma süresince, yüzeydeki atmosferik tabakaların parçalandığı ve yüzeyi tahrip ettiği görülmektedir.

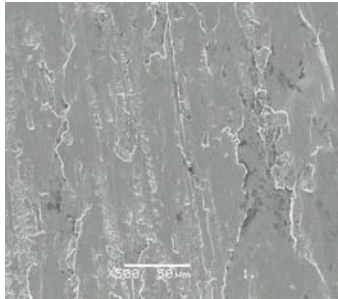
(O) de 8 saatlik aşınma süresi sonunda, deney numunesi yüzeydeki mikroskobik atmosferik tabakaların dağıldığı, daha küçük parçalara ayrıldığı ve yüzeyde yer yer oyulmalar gözlemlenmektedir.

(O+K<sub>3</sub>) de 4 saatlik aşınma süresince, yüzeydeki mikroskobik atmosferik tabakaların parçalandığı ve yüzeydeki deformasyonun (O) göre daha az olduğu görülmektedir.

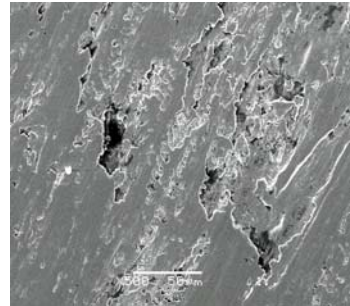


Şekil 3 Kütle Aşınma Kayıpları Değişimi (kayma hızı  $10 \text{ ms}^{-1}$ , normal yük 78 N)

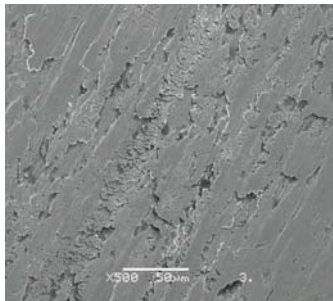
(O+ K<sub>3</sub>) de 8 saatlik aşınma süresi sonunda, yüzeydeki mikroskobik atmosferik tabakaların daha küçük parçalara ayrıldığı ve yüzeydeki belli belirsiz izlerle beraber az da olsa yüzeyde “oyukların” belirginleştiği gözlemlenmektedir.



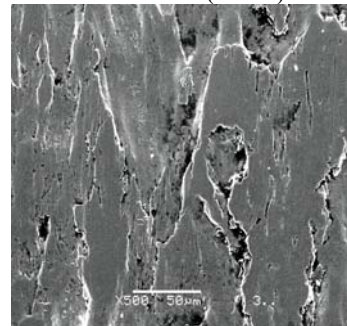
a- Katkısız (8 saat)



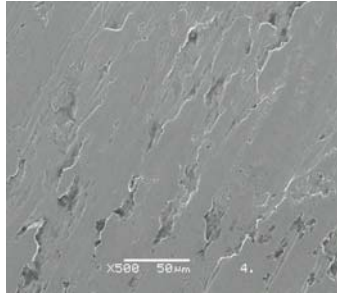
b- Katkısız (8 saat)



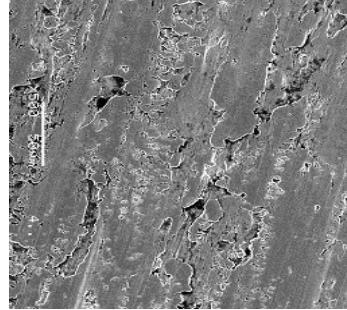
c- K<sub>1</sub> katkılı (4 saat)



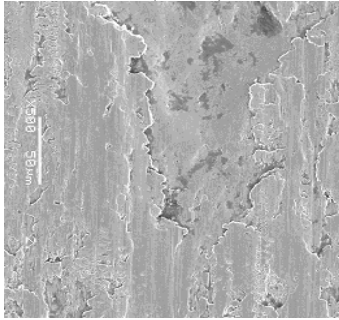
d- K<sub>1</sub> katkılı (8 saat)



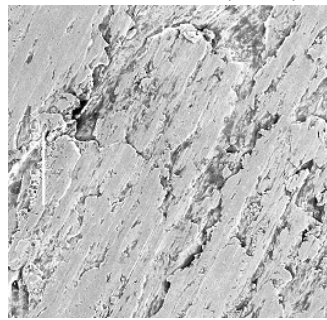
e- K<sub>2</sub> katkı (4 saat)



f- K<sub>2</sub> katkı (8 saat)



g- K<sub>3</sub> katkı (4 saat)



h- K<sub>3</sub> katkı (8 saat)

**Şekil 3** Aşınmış Yüzeyin SEM Görüntüleri

(O+ K<sub>2</sub>) de 4 saatlik aşınma süresince, yüzeydeki mikroskobik atmosferik tabakaların parçalandığı, yüzeyde deformasyon izler oluşmuştur ve ancak yüzeyde parlak görünen farklı tabakaların çökeldiğini gösteren belirtiler vardır.

(O+ K<sub>2</sub>) de 8 saatlik aşınma süresi sonunda, yüzeyde farklı mikroskobik tabakaların daha belirgin ve muhtemelen aşınma oyukları boyunca yer aldığı gözlemlenmektedir.

(O+ K<sub>1</sub>) de 4 saatlik aşınma süresince, yüzeydeki mikroskobik atmosferik tabakaların parçalandığı ancak sürtünme ve aşınmanın, atmosferik tabakalar arasında meydana geldiği görülmektedir.

(O+ K<sub>1</sub>) de 8 saatlik aşınma süresi sonunda, yüzeyde sürtünme izleri ile beraber yüzeyde farklı partiküller olması kuvvetle muhtemel tabakaların yer aldığı gözlemlenmektedir.

### 3.2.2. Aşınma Yağının Element Analizi

Aşınma öncesi ve sonrası aşınmada kullanılan yağ ve katkı yağ analizleri verileri Tablo 1 de verilmiştir. Yapılan yağ analizlerinde, yağ içindeki katkı elementlerinin miktarlarındaki değişimler tespit edilmiştir.

Bu değişimler daha çok (O+ K<sub>2</sub>) ve (O+ K<sub>1</sub>) katkı olan yağ katkılarında açıkça görülmektedir. Katkısız motor yağı ve O+ K<sub>3</sub> katkı motor yağı aşınma öncesi ve sonrası

element analizi diğer katkılı olanlara göre kayda değer bir farklılık bulunmamıştır.

Aşınma sonrası ( $K_2$ ) katkılı yağ içerisinde alüminyum (121'den 1,28'e), bakır (ölçüm sınırları üzerinden 34'e) ve kurşun (199' dan 59,5 e) önemli oranlarda azalırken, demir (3,64'den ölçüm sınırları üzerine) aşırı oranda artış tespit edilmiştir. Aşınma sonucunda, ( $O+ K_2$ ) katkılı motor yağının içeriğinde Cu, Al ve Pb büyük oranlarda azalırken, Fe ise artmıştır.

Aşınma sonrası ( $O+ K_1$ ) katkılı yağ içerisinde, kalay (745'den 12,5'e), alüminyum (141'den 3,26'ya), çok fazla oranda bakır (ölçüm sınırları üzerinden 412'e), kurşun (51,1'den 1,69 a) silisyum (331 den 25,6'a) oranları önemli oranlarda azalırken, demir (13,4'den 43,7'e) diğerlerinden daha düşük olmakla beraber az da olsa artmıştır. ( $O+ K_1$ ) yağı içerisinde aşınma öncesi yer alan elementlerden Cu, Al, Sn, Mo, Si, Pb miktarları aşınma sonrası azaldığı ve Fe ise bir miktar artığı tespit edilmiştir.

Bu verilere, bahsi geçen elementlerin metalik özellikleri ve yağ katkısı üretici firmalarında iddia ettiği ve yayınları da dikkate alındığı takdirde[6, 9, 10 ve 11]; yağ içeriğinde azalan elementleri metalik yüzeye çökeldiği ve aşınma çiftine bir şekilde bağlandığı, yağ içeriğinde artan elementin ise metalik yüzeyden aşınan "debris" ler olduğu varsayımı doğru görünmektedir.

**Tablo 1.** Yağlama yağı içeriğinin aşınmada değişimi (ppm) (X ölçüm sınırlarının üzerinde, XX ölçüm sınırları üzerinde (değişken))

Malzeme	Al		Cu		Fe		Mo		Pb		Si		Sn	
	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
O	3,38	1,67	----	5,52	----	78,6	----	2,41	----	----	1,31	38,6	----	----
O+K3	3,26	1,81	----	3,34	----	20,5	----	2,43	----	----	----	18,5	----	----
O+K2	121	1,28	X	34	3,64	XX	----	2,63	199	59,5	319	17,5	----	----
O+K <sub>1</sub>	141	3,26	X	412	13,4	47,3	x	63,5	51,1	1,69	331	25,6	745	12,5

$O+ K_2$  katkılı yağ içeriğinde önemli oranlarda azalan Cu, Al ve Pb aşınma çiftlerinin yüzeyine çökeldiği, aşınma çiftinin yüzeyinden oldukça fazla Fe aşınmasına neden olmaktadır.

$O+ K_1$  katkılı yağ içeriğinde önemli oranlarda azalan Cu, Al, Sn, Si, Mo ve Pb aşınma çiftlerinin yüzeyine çökeldiği, Fe ise aşınma çiftinin yüzeyden aşınan miktarını göstermektedir.

Katkı malzemeleri çok çeşitli elementler içermektedir. Bu elementlerin, sürtünme ve aşınma sürecinde yağla birlikte aşınma çiftlerinin yüzeyine çökeldiği, böylece aşınmanın bu metalik çökemiş tabakalar arasında olduğu belirtilmektedir[9-11]. Yukarıdaki veriler, yağ içerisinde yer alan ve aşınma sonucu oranları azalan elementlerin, üreticilerin savunduğu gibi sürtünen yüzeylere çökeldiği varsayımını doğrular niteliktedir. Aşınmış yüzeyin resimlerinde ve aşınma miktarları bunun belirtilerini taşımaktadır.

#### 4. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Bütün test numunelerin genel olarak aşınma karakteri benzerdir. Aşınmanın başlangıç aşamasında (bu çalışmada 4 saat belirlenmiştir.) yüzeydeki etkileşim acık biçimde görülmektedir. Yüzeyde yer alan mikroskopik atmosferik tabakalar, kısmen oyulmalar ve plastik şekil değiştirmiş bölgeler ayırt edilebilmektedir. Her bir koşula göre, aşınma mekanizmaların esas itibarı ile benzerdir. Ancak bu mekanizmalar; atmosferik tabakaların parçalanması, sürüklenmesi ve ufalanması, plastik deformasyon, oyulmalar ve metal transferi şeklinde olup, bunların oluşum şekli ve yoğunluğu farklı olduğu mikro resimlerden anlaşılmaktadır. Bu verilere göre;

Katkısızın (O) yüzeyinde yer alan mikroskopik atmosferik tabakalar ilk 4 saat süresince göreceli olarak daha büyük partiküller şeklinde parçalanmış olduğu ve bu partiküllerin yüzeyden uzaklaştırıldığı süreç sonunda ise yüzeyde deformasyona ve çizilmelere sebep olduğu görülmektedir. Bu mekanizmaların daha şiddetli seyrettiği, Katıksız ortamda(O), hem aşınma kayıpları, hem de yüzey pürüzlülüğü daha yüksek bulunmuştur. 8 saatte ise, yüzeyde kısmi bir düzleşme olmuş ve pürüzlülük azalmıştır. Buna karşılık aşınma mekanizmalarından olan plastik deformasyon ve oyulmaların meydana gelmesi engellenememiştir.

(O+ K<sub>3</sub>), aşınma süreci ise, (O) e göre biraz daha hafif seyrederken, aralarında aşınma süreci farklılığı var gibidir. Atmosferik tabakaların uzaklaştırılması, abrasif ve plastik deformasyon meydana gelmesi hem daha geç hem de göreceli olarak daha hafif seyretmiştir. Yüzeyde (O) de görülen mekanizmalar sayısal değerlere paralel olarak geliştiği gözlenmektedir.

(O+ K<sub>2</sub>), aşınma süreci ise, (O) ve (O+ K<sub>3</sub>) ile aynı aşınma mekanizmalarını neredeyse aynı boyutta gösterirken, yüzeyde yer yer çökelen tabakalar görülmektedir. Bu tabakalar, bir biri ardı sıra kaynak dikişi gibi yerleştiği görülmektedir. Çökelen bu partikül miktarı başlangıç aşınmasında kaybedilen aşınma kayıplarına çok yakın değerlerde olduğu için, sonraki süreçte kütleli aşınma kaybı, göreceli olarak daha düşük olarak grafiğe yansımıştır.

(O+ K<sub>1</sub>) aşınma kayıpları ve yüzeydeki aşınma belirtileri, diğerlerine göre daha hafif seyrederken, aralarında önemi farklılık olduğu gözlenmektedir.

Katkılı yağ içerisindeki elementlerin analizine göre de, aşınma sonrası yağ içerisindeki oranları azalan Cu, Al, Sn ve Pb “kolay şekillendirilebilen-kübik Yüzey Merkezli olup yüzeye sıvanabilen elementlerdir. Bu grup elementler sert metalik yüzey üzerine sıvanması ya da çökmesi sağlanırsa yüzeyi koruduğu bilinmektedir. Bu nedenle, sürtünmenin bu yumuşak tabaka arasında olması arzu edilir. Mo, Si gibi elementler ise daha çok yüzeyin aşınmaya karşı stabilizesini sağlayan elementlerdir. Ayrıca bu elementlerin partiküllerin aşınan yüzeyleri doldurduğu ve böylece yüzey pürüzlülüğünü azalttığı da



belirtilmektedir[6-11].

Bütün numunelerin aşınmış yüzeyinde benzer aşınma mekanizmaları meydana gelmiştir. Aralarındaki fark bu mekanizmaların süreçleri ve şiddetleri ile ilgilidir. Aşınma genel olarak, atmosferik tabakalarla yağ ve yağ filmi arasında başlamış, abrasif, adhesiv ve plastik deformasyon şeklinde gelişmiştir.

## 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, genel olarak aşınmanın şu mekanizmalar ile gerçekleştiği varsayılmaktadır.

Aşınma başlangıcında, yağ ve atmosferik tabakalar arasında olmaktadır. Yağlama ve yağ katkıları etkisi ile üç cisimli abrasif aşınmaya dönüşmektedir. Parçalanmış atmosferik tabakalar yüzeyde çizik ve deformasyona neden olmaktadır. Parçalanmış atmosferik tabakalar ufalanarak küçük partikül boyutlarına dönüşmektedir. Yağ ve yağ katkıları ile etkileşen bu partiküllerin bir kısmı, yağ ile beraber sürtünme ortamından uzaklaşır.

Yüzeyde kısmen metalik temas olmakta ve plastik deformasyon izleri görülmektedir. Katkısız motor yağ (O) içeren aşınma analizlerinde, yukarıdaki aşınma mekanizmalarını görmektedir.

Takviyeli (O+ K<sub>3</sub>) aşınma mekanizmalar ve süreçleri katkısız yağ mekanizmasına göre daha hafif gerçekleşmektedir. O+ K<sub>3</sub>, daha çok “atmosferik yüzey tabakalarını ıslatarak” kaymanın bu tabakaların arasında olmasını sağlamaktadır. Mikroskobik atmosferik tabakaların yüzeyden atılması daha uzun bir süreç almaktadır. Böylece aşınma başlangıçta daha düşük sonra artmıştır.

(O+ K<sub>2</sub>), yukarıda belirtilen temel aşınma mekanizmalarını başlangıçta (ilk 4 saat lik aşınma süresince) hızlandırdığı, yani atmosferik tabakalarının yapıştığı yüzeyden bağlarının koparıldığı ve sonrada hızla uzaklaştırıldığı gözlenmektedir. Bu süreçte aşınma hızlı ve katkısız yağ ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ardından katkı içeriğinde yer alan elementlerin atmosferik tabakalardan arındırılmış metalik yüzeye çökeldiği anlaşılmaktadır.

Bu tabakalar, verilere göre (Cu, Al ve Pb ) içeriğinden oluşmaktadır. Bu tabakalar, yüzeyde öyle fazla çökelmektedir ki, aşınma kaybı başlangıçtaki atmosferik tabakaların kaybına oranla çok az olduğu anlaşılmaktadır. Çökeltme aşaması öncesi, yüzeydeki atmosferik tabakaların ve göreceli olarak “K<sub>2</sub> katkılı” olana göre oldukça fazla Fe esaslı metalik aşınma gerçekleşmiştir. Bu aşınma ilk 4 saatte gerçekleşmiş ve aşınma miktarı oldukça fazladır. Sonraki süreçte çökeltme gerçekleşmekte ve aşınma oranında da azalma tespit edilmiştir.

M+ K<sub>1</sub> ise, yukarıdaki temel aşınma mekanizmalarla çok hafif gerçekleşmektedir. Bu süreç K<sub>3</sub> katkılı olanla benzerdir. Buna ilaveten yağ içeriğinde bulunan başta Cu, Sn, Al, az Pb, Mo ve Si olmak üzere, K<sub>2</sub> katkılıda olduğu gibi yüzeye çökelmektedir. K<sub>2</sub> ve K<sub>1</sub> yağ katkıları esas itibarı ile benzer mekanizmalarla aşınma direncini artırır. Yağ içerisinde yer alan ve aşınma ve sürtünmeyi azaltan etkisi bilinen elementlerin (Cu, Sn, Al; Pb...) yüzeye

çökmesi ile sağlanır.

Bu veri ve varsayımlara göre;

O bir yağdan beklenen temel nitelikleri yerine getirmektedir.

O + K<sub>3</sub> ise aşınma çiftini yüzeyde ıslatarak, kaymanın bu filmin üzerinden olmasını sağlamaktadır.

O+ K<sub>2</sub> ise, atmosferik tabakaları kullanmak yerine önce bunları yüzeyden uzaklaştır, sonra metalik yüzey üzerine katkı içeriğinde bulunan ve metalik yüzeye kolayca sıvayan metalik partiküllerin çökmesini sağlamaktadır. Sonraki süreçlerde, sürtünme ve aşınma esas metal yüzeyini koruyucu bu tabakalar arasında olmasını sağlanmaktadır.

K<sub>1</sub> katkılı olan ise, K<sub>2</sub> katkıların etkilerini daha hızlı yapmaktadır. Başlangıç sürecinde hızla atmosferik tabakaları yüzeyden çözmekte ve aynı hızla bu tabakaların yerine katlıklarının çökmesini sağlamaktadır. Tüm bu aşamalar, daha dengeli ve kontrollü gerçekleşmektedir. Bunu yağ içerisinde yer alan Mo ve Si ile sağladığı sanılmaktadır.

Sonuç olarak; ticari olarak satılmakta olan bu ürünlerin aşınmış yüzeyleri doldurduğu dolayısı ile tahrip olmuş yüzeyleri tamir ettiği rapor edilmektedir[9-11]. Bu çalışmada, motor yağ katkılarının içeriğinde bulunan elementlerin sürtünen yüzeylere, üreticilerin savunduğu gibi çökeldiği-yapıştığı mantıklı gelmektedir. Bu durum aşınmış yüzey resimlerinde görülmektedir.

Bu sonuçlara göre,

Yağ katkıları aşınmayı kesinlikle azaltmaktadır. Aşınma mekanizmalarının daha hafif, kontrollü ve dengeli olmasını sağlamaktadır.

Yüzeyin kimyasal kompozisyonunu az da olsa değiştirmektedir.

Yüzeyde oluşturulan bu tabaka ve yağ filmi ile aşınmayı ve sürtünmeyi kontrol etmektedir.

Böylece motor yağ katkıları, motor performansını etkilemektedir. Ancak bu etki katkı ya ve katkı içeriğine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

## **BİLGİ VE TEŞEKKÜR**

Bu çalışma, DPÜ Üniversite – Sanayi Bilimsel Araştırma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sunar Madeni Yağlar San. Ti. Ltd. Şti tarafından desteklenen bu çalışma da; İlgili firma tarafından pazarlanan motor yağ takviyesinin (Resurs), bazı tribolojik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, bu ürünle beraber yaygın olan birkaç ticari motor yağı katkısının etkisi de test edilmiştir.

Bu çalışmayı destekleyen Sunar Madeni Yağlar San. Ti. Ltd. Şti ve çalışanlarına, bu projenin yürütülmesinde yardımcı olan Öğr. Gör. . Feridun KARAKOÇ ve Tek. İsmail Bakırılıoğlu'na teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- [1]. T. Singh and C.V. Chandrasekharan, *The effect of nitrogen and sulphur compounds as extreme pressure lubrication*. Tribol. Int. 26 (1993), pp. 245–250. Abstract | Abstract + References | PDF (379 K)
- [2]. T. Singh, A. Bhattacharya and V.K. Verma, *EP activity assessment of certain nitrogen and sulphur heterocyclic compounds as potential additives in four ball test*. Lubr. Eng. 46 (1989), pp. 681–685.
- [3]. T. Singh, R. Singh, V.K. Verma and K. Nakayama, *A study of N, O and S heterocyclic compounds as extreme pressure lubricant additives*. Tribol. Int. 23 (1990), pp. 41–46
- [4]. T. Ren, Q. Xue and H. Wang, *A study of the tribological properties of S-(1H-benzotriazole-yl)methyl-O,O-dialkyldithiophosphates as additives in liquid paraffin*. Wear 173 (1994), pp. 167–170.
- [5]. T. Ren, Q. Xue and H. Wang, *The tribological properties of S-(1H-benzotriazole-yl)methyl alkyl xanthates as additives in synthetic lubricants*. Lubr. Eng. 51 (1995), pp. 847–850
- [6]. Y. Wan, Q. Pu, Q. Xue and Z. Su (1996), *Antiwear and extreme pressure characteristics of 2-mercaptobenzothiazole derivatives as the potential lubricating oil additive*. Wear 192 pp. 74–77.
- [7]. E.A. Baldwin, *Relationship between surface composition and wear, an X-ray photoelectron spectroscopy study of surface tested with organic sulfur compounds*. ASLE Trans. 19 (1976), pp. 335–344.
- [8]. Alexander Lebedov, Ivan Ksenofontov *Hard-Soft-Hard Protective Coatings For Pistons* Article in the ‘moto’ magazine no: 3, 2002 (<http://moto.zr.ru>)
- [9]. Alexander Lebedov, Ivan Ksenofontov *Plastics and Balls Examination of Greases For Wheel Bearing* Article in the ‘moto’ magazine n0 8, 2002 (<http://moto.zr.ru/index.asp>)
- [10]. www.lubricant. Ru
- [11]. C.D. Wagner, *Handbook of X-ray photoelectron spectroscopy*, Perkin-Elmer, Physical Electronic Division, MI, 1979.
- [12]. L. Cao, Y. Sun and L. Zheng, *Chemical structure characterization of boundary lubrication film using X-ray photoelectron spectroscopy and scanning Auger microprobe techniques*. Wear 140 (1990), pp. 345–357.

