



**Review Paper / Derleme Makalesi**  
**ECO-FRIENDLY VEGETABLE OIL BASED LUBRICANTS**

**Özlem SALMAN\*<sup>1</sup>, Ertuğrul DURAK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, ISPARTA*

<sup>2</sup>*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ISPARTA*

**Received/Geliş: 08.11.2010 Revised/Düzeltilme: 24.01.2011 Accepted/Kabul: 04.03.2011**

---

**ABSTRACT**

The concept of environmentally friendly and increasing environmental awareness was enabled the development of diversity of environmentally compatible products. It also revealed that production and use of environmentally-compatible lubricants. Vegetable oils are mostly known examples of green lubricants and are important due to their biodegradability, renewability, non-toxicity and environmentally acceptable properties as an alternative to the mineral oils. In this study, It was reviewed research with respect the possibilities use variety of vegetable-based oils as a lubricant, their advantages, disadvantages, tribological properties and these studies will be interpreted.

**Keywords:** Vegetable oil, environmentally friendly lubrication lubricant, additive.

**ÇEVRE DOSTU BİTKİSEL YAĞ ESASLI YAĞLAMA YAĞLARI**

**ÖZET**

Çevre dostu kavramı ve çevre bilincinin artması, çevreye uyumlu ürünlerin çeşitliliğinin gelişmesini sağlamıştır. Bu da çevreye uyumlu yağlayıcıların üretimini ve kullanımını ortaya çıkarmıştır. Bitkisel yağlar yeşil yağlayıcı ürün olarak bilinirler ve doğada kolay bozunabilmekte, yenilenebilir, zehirsiz ve çevre dostu özelliklerden dolayı mineral yağlara alternatif olabileceği bilinmektedir. Bu çalışmada çeşitli bitkisel esaslı yağların yağlayıcı olarak kullanım imkânları ve bunların avantaj ve dezavantajları ile tribolojik özellikleri üzerine yapılan araştırmalar ayrıntılı olarak incelenip, yapılan çalışmalar yorumlanarak sunulacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Bitkisel yağlar, Çevre dostu yağlama yağları ve katkı maddeleri.

---

**1. GİRİŞ**

Triboloji bilim dalı; sürtünmenin azaltılması ve aşınmanın kontrol edilmesi ile sınırlı olan enerji ve kaynaklarımızın korunması şeklinde çevre korumasına büyük oranda katkıda bulunmaktadır. Bu amaç için yağlama teknolojisi; geniş bir şekilde sera etkisi, insan sağlığı ve güvenliği, petrol kaynaklarının tüketimi, atık yağların atılması ve sızıntı gibi çevre problemleri ile sık sık karşı karşıya gelmektedir [1]. Dünya Enerji Konseyi (WEC) raporlarına göre dünyanın tahmini petrol rezervinin üçte biri tüketilmiş durumdadır. Dünya petrol üretimi bu şekilde devam ettiği takdirde yıllık 22 milyar varillik üretim ile 100 yıl sonra dünya petrolü bitme noktasına geleceği tahmin edilmektedir. Bu ürünler kolay elde edilebildiği için motor ve yağ sanayisi, petrole bağımlı hale gelmiştir [2]. Petrol esaslı ürünlerin kullanımı çevreye sayısız olumsuz etki yaptığı yapılan

---

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ozlems@sdu.edu.tr, tel: (246) 211 14 47

çalışmalarla bilinmektedir. Bu olumsuz etkilerin en önemlisi, doğaya uyumlu bir şekilde kullanılmadığı için yerüstü ve yeraltı sularını kirlenmesi, hava ve toprak kirliliğine neden olması ve insan sağlığına zararlı olan bu maddeler tarımsal üretim ile yiyeceklere geçmesidir [3-5].

Bitkisel ve hayvansal yağlar, endüstrinin değişik alanlarında hammaddenin devamlı bir şekilde günümüzde kullanımını arttırmaktadır. Yağlayıcılar dünyasında; çevresel ve ekonomik nedenler, bitkisel ve hayvansal yağların kullanımını zorlamaktadır [4]. Limanlarda, su geçitlerinde, tarım alanlarında kullanılan birçok hidrolik ekipman, kar kayak makineleri, barajlardaki kapakların kontrolü için kullanılan halat makineleri, orman ve tarım ürünlerinde kullanılan zincirli kesme (testere) makineleri, iki zamanlı yat, kayak motorları ve çevresel kirlenme riski yüksek olan diğer birçok uygulama alanlarında çevre dostu ürünlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Pek çok endüstride herhangi bir yağlayıcının yaklaşık % 40'ı kadarı çevrede kaybolmaktadır. Bitkisel yağların doğada çözünürlüğü doğasında olduğundan çevresel olumsuz etkileri azaltmaktadır. Belki de çevresel endişelerden ve tehditlerden dolayı Avrupa piyasasında biyoesaslı yağlayıcıların % 16.3 oranında büyümesi bu yağlayıcılara olan talebi açıkça göstermektedir. Tüm yağlar için tüketim oranı sabit gitmekte iken, sentetik yağların tüketimi % 2.2 oranında büyümektedir. Aynı zamanda yakın geçmişte olduğu gibi petrol fiyatlarının da yükselmesi ve yakın gelecekte de düşme eğiliminin zayıf olması da diğer bir etken olabilmektedir [5]. Petrol ve rezervlerinin sınırlı ve yenilenebilir olmaması petrol ve petrol türevlerine alternatif olabilecek yeni kaynakların araştırılmasını zaruri kılmaktadır. Günümüzde, bitkisel yağlar ve bunların ürünleri, çevresel etkenler ve yenilenebilir olmaları yönünden ilk baştaki potansiyel aday yapmaktadır. Petrol Sanayi Derneği (PETDER) verilerine göre 2010 yılında motor yağları kimyasallar, deniz yağları ve gresler, dişli ve transmisyon yağları, endüstriyel yağlardan oluşan Türkiye'nin toplam madeni yağ tüketimi 416 bin ton olarak hesaplanmıştır [6]. Tüm dünya yağlayıcı talebi incelendiğinde, her yıl %1.6 artışa bağlı olarak 2012 yılında 40.5 milyon metrik ton değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir [7]. Avrupa'da en güçlü çevresel önlemleri alan, mineral yağların zincir testere ve suyollarında kullanımını yasaklayan, biyoyağlayıcıların satışında en fazla yeri % 45 ile Almanya almaktadır. Satışı yapılan yağlayıcıların % 70'ini kanola yağı almaktadır. İsviçre'de göllerde biyobozunurluk özelliği olan iki zamanlı motor yağlar kullanılmaktadır. Avusturya zincir testere yağlarında petrol esaslı yağların kullanımını yasaklamıştır. Portekiz ve Belçika ise dıştan motorlu botlarda biyobozunurluğu olan yağlayıcıların kullanımına izin vermektedir [8].

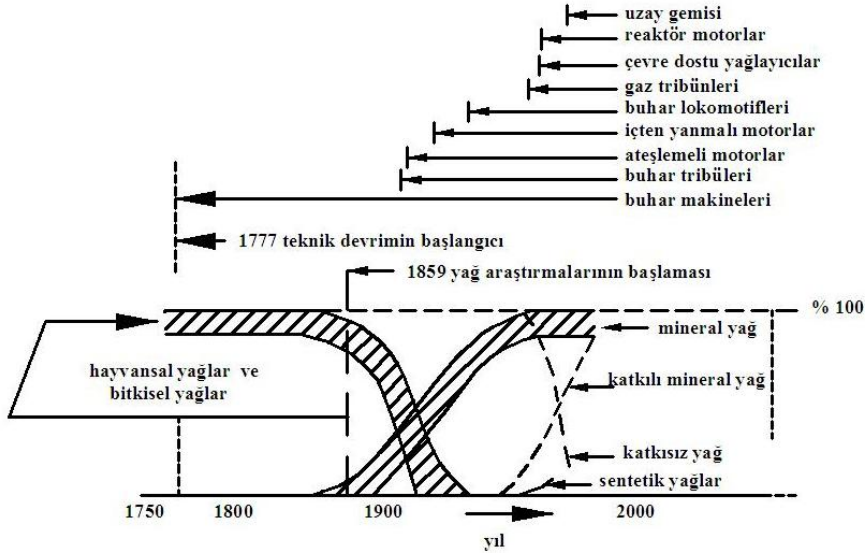
Bu çalışmada çevre dostu yağlama yağı ve yağlama yağlarında yağ katkı maddesi olarak kullanılan bitkisel yağların sürtünme, aşınma gibi tribolojik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmaların bir tanıtımı verilmiştir.

## **2. ÇEVRE DOSTU YAĞLAMA YAĞLARININ GELİŞİMİ**

Yağlama yağları teknolojisinde, üretim özelliklerinin iyileşmesi, yağlama tekniklerinin geliştirilmesi, kullanılmış yağların geri kazanımı ve petrol kökenli olmayan sentetik yağlama yağları uygulamaları günümüz popüler araştırma konularıdır. Yağlama işleminin amacı [9]; Eş çalışan parçalar arasında oluşan sürtünmeyi azaltmak, ani darbeleri sönmüleyerek parçalar arasında amortisör görevi görmek, yüzeylerde ince bir film tabakası oluşturarak korozyon oluşumunu önlemek, yağ dolaşımı ile ısınan parçaları soğutmak, yüzeylerde oluşan artıkları, çalışma ortamından uzaklaştırmak ve parçaların temizlenmesini sağlamaktır.

Toksin artıklar, ozon tabakasının incelmeye, yeryüzü sularının kirlenmesi, hava kirliliği ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili güncel olaylardır. Artan çevre bilinci, endüstri ve çevre bilim adamlarının halkı bilinçlendirmesi için faaliyetlerde bulunmasına sevk etmiştir. Dünyada birçok hükümet bunu dikkate almış ve bununla ilgili olarak çevre dostu ürünlerin kullanımını için yasalar çıkarmaya başlamıştır [10]. Bitkisel yağları ve hayvansal yağları içeren uygulamaların gelişimi Şekil 1. de gösterilmekte ve diğer yağlar ile kıyaslanmaktadır. Geçen 20

yılda çevresel etkilere önem vererek üretilen ürünler yağlamada bitkisel yağlara tekrar dikkat çekmektedir [11].



Şekil 1. Yağlayıcı uygulamalarının gelişimi [11]

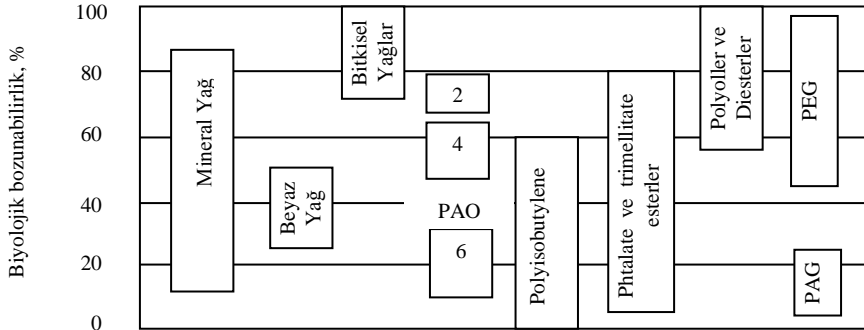
Birçok alanda yer alan bitkisel yağ esaslı yağların uygulama alanları Çizelge 1. de görülmektedir. Bu yağlayıcılar, otomotiv, gıda, kozmetik ve metal işleme alanlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Bitkisel yağ esaslı yağların uygulama alanları [12]

- \* İki zamanlı deniz motor yağları
- \* Zincir testere ve testere yağları
- \* Yağlama gerektiren demiryolu tekerleri
- \* Kalıp ayırma işlemleri
- \* Tel halat yağları
- \* Bina, köprü yapımında, yeraltı çalışmaları ve tarımsal donanımın hidrolik makine yağları
- \* Gıda sanayinde kullanılan yağlayıcılar
- \* Metal işleme sanayinde kullanılan yağlar

Bitkisel yağların toksin olmamaları, biyolojik olarak kolay ve çabuk bozunmaları (Şekil 2.), yüksek viskozite indeksleri, düşük uçuculuk, yüksek alevlenme noktalarına sahip olması, kaynaklarının yenilebilir olması ve yüksek maliyet oluşturmamaları, tarımsal kaynaklı olması gibi özellikler bu yağların yağlama yağı olarak kullanımlarını ön plana çıkarmaktadır. Eğer madeni yağ üretim maliyeti 1 ise, sentetik yağlama yağı üretim maliyeti 4-5, bitkisel yağ için ise 1,4-2 şeklinde maliyet hesaplanmaktadır. Bitkisel yağların dezavantajları ise, hidrolik dayanıklılıkta düşüklük, oksidasyon kararlılığının az olması (bazı bitkisel yağlar), bazı katkı maddeleri ile uyuşmama, yüksek viskozite ve yüksek akma noktası (bazı yağlar) şeklinde sıralanabilir. Bitkisel yağların genellikle viskozite indeksleri yüksektir. Bu özellik, bilindiği gibi yağın sıcaklıkla viskozite değişim eğiliminin az olacağını göstermekte ve bu nitelik yağlayıcılar için olumlu bir özelliktir. Bitkisel yağların akma noktalarının katkı maddesi kullanımı ile çok düşük sıcaklıklara

indirilmesi, madeni yağlarda olduğu kadar kolay değildir. Bitkisel yağlar için korozyon testleri de olumlu sonuçlar vermiştir. Bakır korozyonu testinde (ASTM D 130) mükemmel sonuç verirken, demir korozyon testinde (ASTM D 665) ise çok az korozyon oluşturmuşlardır. En iyi korozyon özelliğine yüksek oleik açığı yağının sahip olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bitkisel yağların aktif oksijen yöntemi (AOM) ve döner bomba test metodlarına göre oksidasyon testlerine (ASTM D 2272) göre oksidasyon kararlılıklarının oleik asit miktarları arttıkça arttığı ve antioksidan kullanımı ile de olumlu sonuçlar alındığı saptanmıştır. Her tip bitkisel yağ için, madeni yağlarda olduğu gibi özel tip antioksidan kullanımı gerektiği görülmüştür [13-15].



Şekil 2. Farklı içerikli yağların bozunabilirlikleri [16]

Bitkisel yağlar tirakilgliserin (Triacylglycerol, TAG) yapısı aynı yönlü (amphiphilic) olduğundan dolayı bu yağları ve bunların türevlerini, mükemmel bir yağlayıcı ve özel akışkan adayı yapmaktadır. Bu nedenle bu yağlar; özellikle çevre ile temas halinde olup kaza ile dökülen, ortama sızan, damlayan, kullanıldıktan sonra büyük miktarda atık malzeme oluşturan, maliyeti yüksek atıklara sahip endüstriyel uygulamalar için çok ilgi çekiciliğe sahiptir. İlave olarak da TAG yapısında mevcut olan çift bağlar sayesinde termo-oksidatif, düşük sıcaklık stabilizesi, yağlayıcılık gibi teknik özellikleri geliştirmektedir. Doğal halde bitkisel yağlar zayıf termo-oksidasyon stabilizesi, düşük sıcaklık davranışı ve şiddetli sıcaklık, basınç, kayma gerilmesi, metal yüzeyleri ve çevre şartlarında oluşan bozucu diğer tribokimyasal proseslerin özelliğinden dolayı endüstriyel akışkan olarak kullanımı sınırlanmaktadır. Değişik tribokimyasal işlemler boyunca, stabilizeyi sağlamak için yağın yapısı aşırı sıcaklık değişimlerine, kayma bozulmalarına, metal ile kuvvetli fiziksel ve kimyasal adsorbsiyon gücüne sahip olmalı ve böylece mükemmel sınır yağlama özelliklerini devam ettirmelidir. TAG polar uçlu bir yapıya sahip olduklarından katı yüzeylerde sıkı paketli tekli veya çoklu bir tabaka yapmaya kendiliğinden yönelmektedirler. Bunun sonucunda metal yüzeyde çukurcuklar ve pürüz dizilerinde tabaka oluşturmada ve böylece metal – metal teması önlediği şekilde yorumlanmaktadır. Metal yüzeydeki akışkan filminin dayanımı ve adsorbsiyonun boyutu yağlayıcının performans verimini göstermektedir. Ayrıca sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı yağlayıcının adsorbsiyon enerjisine de bağlı olduğu gözlenmektedir. Metal yüzeyleri ile reaksiyon oluşturan ve stabil bir koruyucu film oluşturma kabiliyetine sahip olan ticari katkı maddelerinin aşınma önleyici özellikleri çevreye zararlı değişik elementlerden üretilmektedir. Mineral esaslı yağlarda çoğunlukla fosfor, kükürt, azot ve çinko içermektedir [5]. 1970’li yıllarda başlayıp son yıllarda artan bir şekilde, hem üretim hem de kullanımında yağlayıcıların çevresel etkileri bilimsel araştırmalara konu olmaktadır. Çevresel yönden bakıldığı zaman mineral esaslı yağlayıcıların bozunabilir özellikleri oldukça düşüktür. Ayrıca birçok tür katkı maddesi içermektedir. Bunun da çevreye oldukça zararlı zehir etkisinin olduğu bilinmektedir. Endüstrileşmenin başlamasından itibaren tüm uygulamalarda mineral esaslı yağlayıcıların; endüstriyel dişliler, hidrolik sistemler, taşıt motorları, vites, v.b. alanlarda kullanılmaya başlanılmıştır: 1985 tarihinde Almanya’nın Black Ormanlık bölgesinde büyük

fırtınadan sonra Avrupa’da çevreye uyumlu ilk yağlayıcının (Environmentally Adapted Lubricants EAL’s) kullanımına başlanılmıştır. Temizlik malzemesi ve ürünleri, boya, ev araç gereçleri, sabun gibi zehirli atıklar içermeyen, bozunabilen çevre dostu ürünleri belirten Şekil 3.’de de görülen bazı çevresel etiketler Japonya, Kore, Çin, Tayland, Çek Cumhuriyeti, Amerika ve Kanada’da kullanılmaya başlanılmıştır.



Şekil 3. Çevresel ürün etiketleri [17]

Yağlama yağı üreten çok uluslu petrol firmalarının ürünleri arasında, deniz taşımacılığı ve gemicilik endüstrisinde kullanılmak üzere biyolojik olarak çözünebilir ürünler, biyobozunurluk özelliği olan bahçe traktör hidrolik yağları, motor yağları, ağaç kesiminde kullanılan ekolojik dengeyi gözeten zincir testere yağı gibi ürünler yer almaktadır [18-22].

### 3. BİTKİSEL YAĞ ESASLI YAĞLAYICILAR İLE İLGİLİ LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bitkisel yağların yağlayıcı olarak kullanımı konusunda literatürden seçilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Rudnick, kanola ve kastor yağının, bitkisel yağlar içerisinde baz yağ olarak en yaygın kullanılan yağlardan biri olduğunu, ayrıca birçok yağa katkı maddesi olarak kullanıldığını belirtmiştir [23]. Yağlayıcıların çoğunlukla % 90’dan daha fazla oleik asit içeriği ile hazırlandığı, kanola yağının da genelde % 60-70 aralığında oleik asit içerdiği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Kanola esaslı yağlayıcıların, diğer yağlayıcılar içinde viskozite geliştirici olarak kullanılmasına ilave olarak hidrolik ve güç iletiminde de geniş olarak kullanıldığı da çalışmalarda ifade edilmektedir [24,25].

Soya yağı, yağlayıcı formüllerinde oksidasyon kararlılığı ve yüksek parlama noktası gibi fiziksel özellikleri sınırlandırmak amacı ile kullanıldığı belirtilerek, soya yağının kimyasal yöntemler uygulayarak geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır [23,24,26,27].

Ayçiçek yağının doğada bozunabilen farklı yağlayıcılar arasında baz yağ olarak kullanımının uygunluğunu belirtilmektedir [14,24]. Zeytinyağının pahalı bir yağlayıcı olmasına rağmen linoleik yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri kaynağı olduğu, çok iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olduğu belirtilmektedir [25]. Jojoba yağının ısı kararlık özelliği, jet motorlarında olduğu gibi yüksek ısı kararlılık gerektiren farklı uygulamalarda katkı maddesi olarak kullanımının mümkün olmasına karşılık yüksek parlama noktasına sahip olması nedeni ile soğuk havalarda bazı problemlere neden olduğunu tespit etmişlerdir [28]. Bitkisel yağları, baz yağın yağlayıcılık özelliklerinin geliştirmek amacı ile katkı maddesi olarak kullanılabilirdiği, örneğin düşük hız gerektiren uygulamalarda sürtünme katsayısı düşürücü katkı maddesi olarak pamuk yağının kullanılabilirdiği de belirtilmektedir [29].

Shashidhara ve Jayaram'a göre, bitkisel yağ tiplerine göre bu yağlayıcıların potansiyel kullanım alanları Çizelge 2.'de verilmektedir. Bitkisel yağlar, trigliserid olarak adlandırılan bir gliserol molekülüne bağlanmış üç yağ asiti moleküllerinin zincirlerinden oluşmaktadır. Yağ asitleri, farklı zincir uzunlukları ve çift bağlarla her bitkisel yağda farklılık göstermektedir [12].

**Çizelge 2.** Farklı bitkisel yağların potansiyel uygulama alanları [12]

Kanola yağı	Hidrolik ve traktör dişli yağları, metal kesme sıvıları gıda sanayi yağları, emilen yağlar
Kakao yağı	Benzinli motor yağları
Zeytin yağı	Otomotiv yağlayıcıları
Hurma yağı	Çelik sanayi, yuvarlanmalı elemanlar
Kanola yağı	Zincir testere yağlayıcıları, hava kompresörü-tarımsal donanım
Aspir yağı	Açık renkli boyalar, dizel yakıt, emaye
Ketentohumu yağı	Kaplamalar, boyalar, vernik, kimyasallarda renk koyulaştırıcı
Soya yağı	Yağlayıcılar, biodizel yakıt, metal işleme-kalıp sanayi, boya, kaplama, sabun, şampuan, deterjan, böcek ilacı, dezenfektan, hidrolik yağ
Jojoba yağı	Gres, kozmetik sanayi, yağlayıcı uygulamalarında
Ayçiçeği yağı	Gres, dizel yakıt
<u>Kufeya çiçeği(Cuphea) yağı</u>	<u>Kozmetik ve motor yağı</u>

Sınır yağlama şartlarında, preste kesme işleminde ayçiçeği, mısır, soya ve zeytinyağı ile mineral yağ yağlayıcı olarak çelik ve çinko kaplanmış plakaların kesme işleminde kullanılmıştır. Tüm bitkisel yağların mineral yağdan daha düşük sürtünme değeri sergilediği, en iyi performansı zeytinyağının gösterdiğini belirtilmiştir. Ayrıca, yüzey şeklini incelediğinde bitkisel yağlar ile yağlanan çelik plakalar da daha iyi yüzeyler elde edildiği tespit edilmiştir [30].

Bitkisel yağlarda mevcut olan trigliserid yapısı ile sınır yağlama şartlarındaki yağlayıcıdan istenilen nitelikleri büyük oranda sağlamaktadır. Uzun ve polar yağ asit zinciri ile yüksek basınca dayanabilen yağ filmi oluşumunu desteklemekte ve metal yüzeyleri ayırarak sürtünme ve aşınmayı azaltmaktadır [31]. Yağ asitlerinin polaritesi, yağın yağlayıcılığını ve yüzeylerin tribolojik özelliklerini artıran moleküler filmi üretimini sağlamaktadır [25,32]. Yağlayıcı olarak zeytin ve soya yağının kullanıldığı diğer bir çalışmada film oluşumunun korunduğu ve aşınmayı azalttığı belirtilmiştir [33]. Fosfat ester içeren kanola yağı ile yapılan deneyler mükemmel yük taşıma kapasitesi, iyi aşınma önleyici ve sürtünme azaltıcı özellikler göstermiştir [34].

Kesme sıvıları olarak bitkisel yağ, ester ve mineral yağların kullanıldığı tormalama, delik delme gibi işlemlerde bitkisel yağ ve esterlerin kesme kuvvetini düşürdüğünü ortaya çıkartmışlardır [35].

Bitkisel yağlardan kakao, ayçiçeği ve kastor yağının baz yağ olarak korozyon testine (ASTM D130, ASTM D665) tabi tutmuşlardır. Bitkisel yağların içinde bulunan yağ asitlerinin baş grubunun (COOH) yüksek polariteye sahip olmasından su içermesinden dolayı korozyonda artışa neden olmuştur. Fakat uygun korozyon önleyiciler kullanarak bu istenmeyen durumu önlemiş ve bitkisel yağların bu katkılarla baz yağ olarak etkili bir şekilde kullanılabileceği önerilmiştir [36].

Bitkisel yağlardan elde edilen esterlerin sentetik esterlere kıyasla hem daha ucuz olduğu hem de daha iyi tribolojik performans gösterdiğini belirtilmiştir [37]. Daha uzun yağ zincirine sahip yağların daha düşük sürtünme özelliği gösterdiği, doymuş yağların doymamış yağlardan ve yüksek derece polariteli esterlerin polaritesi düşük olanlara göre daha iyi tribolojik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir [38].

Masjuki ve Maleque tarafından hurma yağının aşınma özellikleri dört bilye testi ile elastohidrokinamik yağlama koşullarında, farklı yükler ile 1500 dev/dak ve 1 dakika deney süresinde oda sıcaklığında (yaklaşık 28°C) araştırılmış, aşınma durumları optik mikroskopla

incelenmiştir. Yapılan çalışmada hurma yağının aşınma özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir [39].

Maleque ve Masjuki tarafından yapılan deneysel çalışmada, mineral yağlayıcıya farklı oranlarda (% 0, 5, 10) hurma yağı eklenerek elde edilen karışımlar halka-blok ve bilye-blok aşınma test setlerinde test edilmişlerdir. Mineral yağlayıcıya hurma yağının eklendiğinde metal yüzeyde aktivitesinin oldukça dikkate değer miktarda arttığı tespit edilmiştir. % 5 hurma yağı ilaveli yağlayıcı, gerçek kayma temas alanında yüzey tabakasını korumuştur [40].

Kanola yağının yağlayıcılık özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [41,42]. Durak, farklı oranlarda (% 0-50) baz yağa katkı olarak eklediği kanola yağı ile yaptığı deneysel çalışmada, sabit yük ile farklı ortamlarda 25°C ve 100°C sıcaklıklarda katkı oranlarının etkisini araştırmıştır. Yüksek yatak hızlarında kanola yağı katkısının sürtünme katsayısını düşürdüğünü, aynı oranlarda eklenen kanola yağının, 25°C de sürtünme katsayısının 100°C ye göre daha düşük olduğunu, baz yağa % 50 kanola yağı eklendiğinde sürtünme katsayısında en yüksek düşüş oranının elde edildiğini ortaya çıkarmıştır [43].

Ştefănescu vd. tarafından yapılan deneysel çalışmada, kanola yağı ile geleneksel mineral yağ yağlayıcılık kapasitesi bakımından incelendiğinde endüstriyel uygulamalarda kanola yağının kullanılabilirliği gösterilmiştir [11]. Sürtünme katsayı değerlerini birbirine yakın hatta kanola yağının daha düşük değerlerde olduğu tespit etmiştir.

Cao vd. kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda, kanola yağında hem sülfürize edilmiş octodeconik asit hem docosanoik asitler mükemmel bir yük taşıma kapasitesi, sürtünme katsayısında azalma ve yüksek aşınma önleyici davranış göstermiştir. Yağlanmış çelik yüzeyinde adsorbsiyon koruyucu katman formu tarafından kanola tohumu yağı içinde aşınma önleyici ve sürtünme azaltıcı katkı olarak octodeconic asit fonksiyonları tespit edilmiştir. Kanola yağının çabuk bozunabilir olması ve düşük maliyetli olması açısından yağlayıcı olarak kullanılması avantajlı olmaktadır. Fakat bu yağ düşük ısı transferi özelliğinden dolayı 80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılması halinde olumsuzluklar olabileceği belirtilmiştir [44].

Bisht vd. mineral esaslı yağlar için jojoba yağı potansiyel bir yağ katkı maddesi olabileceği belirtilmiştir. Jojoba yağı, % 5, 10, 20, 30 oranlarında dört farklı yağa karıştırdıklarında; pas-önleyici, sabunlanma-önleyici, aşınma-önleyici ve sürtünme azaltıcı özelliklere sahip olduğu, baz yağın koruduğunu belirtmişlerdir [45]. Asadauskas vd. yüksek oleik ayçiçeği yağı ( High Oleic Sunflower Oil) %1 katkı oranında kullanıldığında oksitlenme önleyici özellik göstermiştir ve sonuçlar 10W30 SG-derecesinde ticari motor yağı ile kıyasladıklarında aşınma önleyici özelliğinin büyük oranda geliştiğini tespit etmişlerdir [46]. Durak vd., ayçiçek yağının mineral esaslı baz yağa katkı maddesi olarak ilave ederek sabit yüklü radyal kaymalı deney setinde oda sıcaklığın ve yüksek sıcaklıklardaki tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada oda sıcaklığında karışık ve sınır yağlama bölgelerinde sürtünme azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini tespit etmişlerdir [47].

Fox vd., ayçiçeği yağının sınır yağlama performansına serbest yağ asitlerinin etkisini araştırmışlardır [48]. 150°C de stearik asitin sınır yağlama koşulları altında, ayçiçeği yağının etkin bir şekilde hem aşınma hem de sürtünmeyi azalttığı ortaya çıkarılmıştır. Linoleik asit, ayçiçeği yağında eklendiğinde aşınmada önemli bir değişikliğin olmadığı, Oleik asitin eklenmesi ile aşınma performansının arttığı ve stearik asitin, diğerlerine göre sürtünme katsayısını ve aşınmayı daha etkin düşürdüğünü ortaya çıkarmışlardır.

Soya yağı, endüstride çok amaçlı kullanılan bir yağdır. Fernando ve Hanna, tarafından iki zamanlı motorlarda alternatif yağlayıcı olarak kullanılmıştır [49]. Soya yağının ham ve zamkı giderilmiş haldeki viskozitesini araştırmışlar ve 160°C sıcaklıkta soya yağının, mineral yağdan daha yüksek viskoziteye ve viskozite indeks değerlerinin mineral yağlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Durak ve Karaosmanoğlu, yaptıkları çalışmada, Türkiye'de yetiştirilen pamuktan elde edilen bitkisel yağı, oda sıcaklığında (25 °C) çeşitli oranlarda (% 2.5, 5, 10) baz yağa (SAE20W50) katkı olarak ekleyerek beş farklı hız ve üç farklı yük değişimi altında kaymalı

yatakta oluşan sürtünme katsayısındaki değişimi incelemişlerdir [50]. Deneysel çalışma sonucunda, çevre dostu, yenilenebilir ve kolay bozunabilir pamuk yağının baz yağa %10 oranında eklenmesi ile diğer katkı oranlarına göre en düşük sürtünme katsayısını elde etmişlerdir. Oda sıcaklığında pamuk yağının sürtünme düzenleyici katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

#### 4. SONUÇ

Petrol kaynaklarının sınırlı olması, kullanımları sırasında ve atıklarının çevreye olumsuz etkileri gibi nedenlerle diğer alanlarda olduğu gibi yağlama yağı alanında daha çevreci yağ ve yağ katkı adayları, tribolojistlerin yeni çalışma alanı oluşturmuştur. Bu adayların başında da bitkisel yağlar gelmektedir. Bitkisel yağlar çevre dostu olup tarım sektöründeki üreticiler tarafından üretilmesi ve doğaya serbest bırakıldığı zaman kendiliğinden biyobozunurluk özelliğine sahiptir. Düşük kükürt içeriklerinden dolayı çevre dostu yağlardır. Türkiye'nin bir tarım ülkesi olmasından dolayı ülkemizde yetişen yağlayıcı özelliği olan bitkiler araştırılarak yağlayıcı olarak kullanılabilmesi de hem yeni iş imkânları potansiyeli doğuracak hem de çevreye duyarlı ürünlerin üretilmesi sağlanmış olacaktır. Ülkemizdeki tatlı su kaynaklarında (göl ve akarsularda) kullanılan motorlu kayıklarda, yatlarda ve ormanlarda kullanılan kesim makinelerinde biran önce çevre dostu yağlayıcıların kullanılmasına devlet tarafından önem verilmelidir. Bu çalışmada çeşitli bitkisel esaslı yağlayıcıların genel bir tanıtımı yapılarak günümüzdeki konumları ortaya konulmuş, bunların yağlama yağı ve yağ katkı maddesi adayı olarak kullanım imkânları ve avantaj-dezavantajları ile tribolojik özellikleri geniş bir şekilde incelenmiştir.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Kubo K., Kagaya M., Sunami M., Wakabayashi T., Watanabe S., "The Environmental Aspects of Lubricants", Proc. Instn. Mech. Engrs. Cilt 213, Sayı 1, 1-12, 1999.
- [2] İlkılıç C., "Metil Ester Katkılı Dizel Yakıtının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Cilt 19 (3), 397-405, 2007.
- [3] Bírová A., Pavlovičová A., Cvenroš J., "Lubricating Oils Based On Chemically Modified Vegetable Oils", Journal of Synthetic Lubrication, Cilt 18, Sayı 4, 291-299, 2002.
- [4] Kleinova A., Fodran P., Brnčalová, L., Cvengros, J., "Substituted Esters of Stearic Acid As Potential Lubricants", Biomass And Bioenergy, Cilt 32, 366 – 371, 2008.
- [5] Sharma B.K., Adhvaryu A., Erhan S.Z., "Friction and Wear Behavior Of Thioether Hydroxy Vegetable Oil", Tribology International, Cilt 42, 353-358, 2009.
- [6] PETDER, 2011. [Internet], Available from:<http://www.petder.org.tr/>, [accessed, January, 2010].
- [7] The Freedomia Group, World Lubricants Forecasts to 2012 and 2017, 428 sayfa, 2009.
- [8] Nelson J., "Harvesting Lubricants", The Carbohydrate Economy, Vol. No.3, Iss.No.1, 2000.
- [9] Karaosmanoğlu F., Özgülsün A., Bayraktar L., "Çevre Dostu Yağlama Yağları", TMMOB Mühendis ve Makine, Cilt 429, 26-32, 1995.
- [10] Özgülsün A., "Oleik Asit-Füzel Yağı Fraksiyonu Esterleşme Ürününün Yağlama Yağı Olarak Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 38-41, 1997.
- [11] Ștefănescu I.I., Calomir C., Chiriță G., "On The Future of Biodegradable Vegetable Lubricants Used for Industrial Trybosystems", The Annals Of University, Dunărea De Jos of Galati Fascicle VIII, ISSN 1221-4590 Tribology, 2002.
- [12] Shashidhara Y.M., Jayaram S.R., "Vegetable Oils As A Potential Cutting Fluid—An Evolution", Tribology International, Cilt 43, 1073-1081, 2010.
- [13] Karaosmanoğlu F., "Çevre Dostu Yağlama Yağları", Mühendis ve Makina, Cilt 38, Sayı 453, 19-21, 1997.



- [14] Schneider, M. P. Plant-Oil-Based Lubricants And Hydraulic Fluids, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Cilt 86, 1769-1780, 2006.
- [15] Malchev I., 2009, Plant-Oil-Based Lubricants, "Department of Plant Agriculture", [Internet], Available from: [www.uoguelph.ca/plant/courses/plnt-6250/pdf/I\\_Malchev.pdf](http://www.uoguelph.ca/plant/courses/plnt-6250/pdf/I_Malchev.pdf), [accessed, July, 2010].
- [16] Durak E., Batz W.J., "Çevre Dostu Hidrolik Yağlar I-II", *Endüstri & Otomasyon Dergisi*, Sayı 92, sayfa, 22-25, 2003.
- [17] Bartz W., "Ecotribology: Environmentally Acceptable Tribological Practies", *Tribology International*, Cilt 39, 728-733, 2006.
- [18] BP petrolleri A.Ş. (2008), [Internet]. Available from: <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9024787&contentId=7046111>, [accessed, January, 2011].
- [19] Oğuz H. ve Öğüt H., (2007), [Internet]. Available from: <http://www.bahcesel.com/content/view/2954/>, [accessed, January, 2011].
- [20] KOBİ Uluslararası Tanıtım ve Dağıtım A.Ş. (2011), [Internet]. Available from: [http://www.turkishexporter.net/tr/urunler/index/urun/?sektor=ALL&indx=ce&dzin=cevre\\_dostu\\_endustriyel\\_yaglar](http://www.turkishexporter.net/tr/urunler/index/urun/?sektor=ALL&indx=ce&dzin=cevre_dostu_endustriyel_yaglar), [accessed, January, 2011].
- [21] Prista Oil Şirketi, (2011), [Internet]. Available from: <http://www.prista-oil.com.tr/texaco/zincir-testere.php>, [accessed, January, 2011].
- [22] ExxonMobil Oil, (2011), [Internet]. Available from: [http://www.mobiloil.com.tr/Turkey-Turkish/LCW/Products\\_Services/Industrial\\_Lubricants.asp](http://www.mobiloil.com.tr/Turkey-Turkish/LCW/Products_Services/Industrial_Lubricants.asp), [accessed, January, 2011].
- [23] Rudnick, L. R., "Syntetic Mineral Oils and Bio-based Lubricants", *Chemistry and Technology*, 2006.
- [24] Erhan, S. Z. Lubricant Basestocks From Vegetable Oils, *Industrial Crops and Products* 11: 277-282, 2000.
- [25] Maleque M.A., Masjuki H.H., Sapuan S.M., "Vegetable-Based Biodegradable Lubricating Oil Additives", *Industrial Lubrication and Tribology*, Cilt 55( 3), 137-143, 2003.
- [26] Adhvaryu, A., S. Z. Erhan, J. M. Perez, "Tribological Studies Of Thermally And Chemically Modified Vegetable Oils For Use As Environmentally Friendly Lubricants", *Wear*, Cilt 257, Sayı 3-4, 359-367, 2004.
- [27] Hwang, H.-S., "Synthetic Lubricant Basestocks From Epoxidized Soybean Oil And Guerbet Alcohols", *Industrial Crops and Products*, Cilt 23, 311-317, 2006.
- [28] El Kinawy, O. S., "Comparison Between Jojoba Oil And Other Vegetable Oils As A Substitute To Petroleum", *Energy Sources*, Cilt 26(7), 639-645, 2004.
- [29] Durak, E., "Using of Cottonseed Oil as An Environmentally Accepted Lubricant Additive", *Energy Sources*, Cilt 26, 611-625, 2004.
- [30] Carcel A.C. , Palomares D., Rodilla E., Pe´rez Puig M.A., "Evaluation Of Vegetable Oils As Pre-Lube Oils For Stamping", *Materials and Design* Cilt 26, 587-593, 2005.
- [31] Siniawski M. T., San N., "Influence of Fatty Acid Composition on the Tribological Performance of Two Vegetable-Based Lubricants", *Journal of Synthetic Lubrication*, Cilt 24, Sayı 2, 101-110, 2007.
- [32] Helena Wagner, Rolf Luther, Theo Mang, *Lubricant Base Fluids Based on Renewable Raw Materials Their Catalytic Manufacture and Modification*, *Applied Catalysis A: General*, Cilt 221, 429-442, 2001.
- [33] Choi U.S., Ahn, B.G., Kwon O.K., Chun Y.J., "Tribological Behavior Of Some Antiwear Additives in Vegetable Oils", *Tribology International*, Cilt 30 ( 9), 677-683, 1997.
- [34] Li J., Ren T., Zhang Y., "Tribological Behaviour Of Three Phosphate Esters Containing the Benzotriazole Group as Additives in Rapeseed Oil", *Journal of Synthetic Lubrication*, Cilt 18, Sayı 3, 225-231, 2001.

- [35] Belluco W., Chiffre L.D., “Surface Integrity and Part Accuracy in Reaming and Tapping Stainless Steel with New Vegetable Based Cutting Oils”, *Tribology International*, Cilt 35, 865–870, 2002.
- [36] Jayadas N.H., Nair K.P., G A., “Tribological Evaluation of Coconut Oil as an Environment-Friendly Lubricant”, *Tribology International*, Cilt 40, 350-354, 2007.
- [37] Dharma R. Kodali, “High Performance Ester Lubricants From Natural Oils”, *Industrial Lubrication and Tribology*, Cilt 54, Sayı 4, 165 – 170, 2002.
- [38] Bhuyan S., Sundararajan S., Yao L., Hammond E. G., Wang T., “Boundary Lubrication Properties of Lipid-Based Compounds Evaluated Using Microtribological Methods”, *Tribology Letters*, Cilt 22, Sayı 2, 167-172, 2006.
- [39] Masjuki H.H., Maleque M.A., “Investigation of the Anti-Wear Characteristics of Palm Oil Methyl Ester Using a Four-Ball Tribometer Test”, *Wear* Cilt 206, 179-186, 1997.
- [40] Maleque M.A, Masjuki H.H., “Wear Surface Characteristics Study of Tribo-Materials Under Palm Oil Methyl Ester Added Lubricant”, *Industrial Lubrication and Tribology* Cilt 54 (4), 177-182, 2002.
- [41] Goyan R. L., Melley R.E., Wissmer P.A., William C.O., “Biodegradable Lubricants”, *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, 10-17, 1998.
- [42] Sraj R., Vizintin J., Svoljsak M., Feldin M., “Rapidly Biodegradable Hydraulic Fluids on the Basis of Rapeseed Oil”, *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, April, 34-39, 2001.
- [43] Durak E., “A Study On Friction Behavior of Rapeseed Oil As An Environmentally Friendly Additive in Lubricating Oil”, *Industrial Lubrication and Tribology*, Cilt 56 (1), 23–37, 2004.
- [44] Cao Y., Yu L., Liu W., “Study Of The Tribological Behavior of Sulfurized Fatty Acids as Additives in Rapeseed Oil”, *Wear* Cilt 244, 126-131, 2000.
- [45] Bisht R.P.S., Sivasankaran G.A., Bhatia V.K., “Additive Properties of Jojoba Oil for Lubricating Oil Formulations”, *Wear* Cilt 161, 193-197, 1993.
- [46] Asadauskas S., Perez J.M., Duda J.L., “Oxidative Stability and Antiwear Properties of High Oleic Vegetable Oils”, *Journal of the Society of Tribologist and Lubrication Engineers*, Cilt 52 (12), 877-882, 1996.
- [47] Durak E., Çetinkaya M., Yenigün B., Ve Karaosmanoğlu F., “Effects of Sunflower Oil Addition to Base Oil on the Friction Coefficient of Statically Loaded Journal Bearings”, *Journal of Synthetic Lubrication*, Cilt 21 (3), 207-222, 2004.
- [48] Fox N.J., Tyrer B., Stachowiak G.W., “Boundary Lubrication Performance of Free Fatty Acids in Sunflower Oil”, *Tribology Letters*, Cilt 16, Sayı 4, 2004.
- [49] Fernando S., Hana M., “Comparison Of Viscosity Characteristics of Soybean Oils with a Mineral Oil Two–Stroke Engine Lubricant, *American Society of Agricultural Engineers*”, Cilt 44(6), 1403–1407, 2001.
- [50] Durak E., Karaosmanoğlu F., “Using of Cottonseed Oil as An Environmentally Accepted Lubricant Additive”, *Energy Sources*, Cilt 26, 611-625, 2004.