



# ENDÜSTRİYEL YAĞDA SUDAN ARINDIRMA VE VERNİKLEŞME GİDERME TEKNOLOJİSİ

DEWATERING AND VARNISH REMOVAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL OIL

Sabri Ertan Kurt

## ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel yağ kullanılan sistemlerde yağda meydana gelen su kaynaklı bozulmaları iyileştirme yöntemleri ve vernikleşme yaşanan sistemlerde uygulanabilen kurtarıcı teknolojiler özetlenmektedir. Sektörden ve çalışma alanlarından bağımsız olarak, su etkisiyle yıkıma uğramış olan endüstriyel yağların, kullanılabilirliğinin devam ettirilebilmesi ve ömrünün uzatılabilmesi için uygulanabilecek çözümler, farklı uygulama örnekleriyle bu çalışma kapsamında sunulmaktadır. Oksidasyon neticesinde sistemlerde meydana gelen vernikleşmenin ortaya çıkarttığı milyonlarca liralık bütçesel kayba, hem bakım, hem işletme, hem de imalat kaybına yol açtığı günümüzde, vernikleşmeyi anlamak, riski öngörerek harekete geçmek ve olası kayıpları engelleyebilmek adına gerçekleştirilebilecek çalışma ve bu amaçla kullanılacak teknolojiler de detayları ve farklarıyla betimlenmiştir. Tüm bu anlatımlar dahilinde, paylaşılan veriler olabildiğince kapsayıcı ve uygulama farkları detaylandırılmış şekilde sunulmuştur. Nihai amaç, hem sektörlerin bu sebeplerden dolayı olası zarar ve kayıplarını en düşük seviyeye indirebilmek, hem de çevre güvenliği başta olmak üzere yeryüzü kaynaklarının daha verimli kullanılmasının sağlanabilmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Su kontaminasyonu, Sudan arındırma, Vernikleşme, Vakum dehidrasyon, Vernikleşme giderme, Oksidasyon giderme.

## ABSTRACT

In this study, the methods of curing water-induced degradation in oil in systems using industrial oil and the mitigation technologies that can be applied in systems facing varnishing are summarized. Independent of the sector and working areas, solutions that can be applied to maintain the usability and prolong the life of industrial oils that have been degraded by the effect of water are presented within the scope of this study with different application examples. In today's world, where varnishing in the systems as a result of oxidation causes millions of dollars in budgetary loss, loss of both maintenance, operation and production, the work that can be carried out in order to understand varnishing, to take proactive action and to prevent possible losses, and the technologies that can be used for this purpose has been described in detail with differences. Within all these explanations, the shared data is presented as comprehensively as possible with the application differences in detail. The ultimate goal is to minimize the possible damages and losses of the sectors due to these reasons, and to ensure more efficient use of earth resources, especially environmental safety.

**Key Words:** Water contamination, Dewatering, Varnishing, Vacuum dehydration, Varnish removal, Oxidation removal.

Gelecekte, özellikle çevre ve karbon ayak izi takibi kapsamı düşünülerek endüstriyel yağlara daha fazla odaklanılacaktır, bu nedenle bu sıvılar için çalışma şartları ve sınırlarını bilmek önemlidir.

Bu makale, su kaynaklı bozulmaları iyileştirme yöntemleri ve vernikleşme yaşanan sistemlerde uygulanabilen kurtarıcı teknolojileri tartışmaktadır.

## 1. ENDÜSTRİYEL YAĞDA SU KİRLİLİĞİ

Silindirlere ve hidrolikten rulmanlara ve dişli sistemlerine kadar, otomotiv, endüstriyel ve diğer ekipmanlardaki bileşenlerin kullanım ömrü, sistemlerinde kirletici partiküller dolaştığında azalır. Su, katı partiküller, vernik ve hatta hava, köpüklenme, oksidasyon, çamur ve vernik oluşumunda bir artışa neden olarak ciddi hasara sebep olabilir.

Su kirliliği, test edilme, tanımlanma ve ölçüm açısından bakıldığında en kolay kirlilik tipidir. Su, tipik olarak havadaki nem/buhar yoluyla sistemlere girer; ancak yağmur, çatlaklar/eşanjör sızıntısı, yıkama sebepli sızıntı ve tank kapaklarındaki eksik bağlantılar veya havalıklar yoluyla sıvı halde sisteme girmesi de olağandışı değildir.

[1] numaralı resimde görülebileceği gibi su yağ içerisinde çözünmeye başladığında, yağ parlak ve berrak görünecek, yağ görünüm olarak herhangi bir kirlilik şüphesi barındırmayacaktır. Bu durumda çoğunlukla iyi huylu olmakla birlikte, çözünmüş su, su kirliliğinin erken bir işareti olabilir. Bu fazdaki su hacmi sadece Karl Fischer test yöntemi kullanılarak saptanabilir ve ölçülebilir.

Emülsifiye su, yağ fazında çok küçük damlacıklar (150 mikrondan az) halinde dağılır. Puslu veya bulanık emülsiyonlar tipik olarak yavaşça dağılır, ancak kremi emülsiyonlar (çabuk dağılsalar bile) ekipmana zarar verebilecek yüksek su konsantrasyonlarını ihtiva edebilir.

Serbest su ise, büyük damlacıklar (150 mikrondan daha büyük) olarak yağın içerisinde dağılır ve yerçekimi kuvveti altında yağ tankının dibine çöker (bazı yağ tiplerinde yüzeye çıkabilmektedir). Serbest su zamanla ayrışır ve kolayca görülebilir. Tankta bulunan tahliye vanası aracılığıyla kolaylıkla boşaltılabilir.



⇒ Çözünmüş Su

⇒ Emülsifiye Su

⇒ Serbest Su

[1] Yağ-su karışımı fazları

Yağdaki mevcut nem seviyesini ölçerek ve ardından bu nem seviyesini azaltarak, makinenin/sistemin ömrü önemli ölçüde uzatılabilir. Ek tedbirler, güvenilirlik merkezli bir bakım planının parçası olarak sürece dahil edildiğinde, ekipman ömrünün [2] numaralı tabloda belirtildiği gibi katlanarak uzatılmasına yardımcı olabilir.

## Nem Giderme Yöntemiyle Tahmini Akışkan Ömrü Uzaması

Mineral bazlı akışkanlar kullanan mekanik sistemler için

### Ömür Uzama Faktörü

ppm	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50.000	12.500	6.500	4.500	3.125	2.500	2.000	1.500	1.000	782
25.000	6.250	3.250	2.250	1.563	1.250	1.000	750	500	391
20.000	2.500	1.300	900	625	500	400	300	200	156
5.000	1.250	650	450	313	250	200	150	100	78
2.500	625	325	225	156	125	100	75	50	39
1.000	250	130	90	63	50	40	30	20	16
500	125	65	45	31	25	20	15	10	8
250	63	33	23	16	13	10	8	5	4
100	25	13	9	6	5	4	3	2	2

Ömür uzatma faktörü, mekanik sistemin yaşam beklentisinin iki, üç, dört katına vb. çıktığı nem seviyelerine tekabül eder. Örneğin, ortalama sıvı nem seviyeleri 2.500 ppm'den 156 ppm'ye düşürülerek, makine ömrü bir 5 faktör kadar uzatılır.

### [2] Akışkan Ömür Uzama Tablosu

Yağlama ve hidrolik sistemlerdeki suyun birçok soruna neden olduğu ve makine arızası nedeniyle ciddi bütçelerin kaybedildiği bilinen bir gerçektir. Su çok zayıf bir yağlayıcıdır ve yağa karışımı neticesinde aşağıdaki yıkım ve sonuçlara sebep olabilir:

- Kavitasyon
- Mikro-çürüme/Micro-pitting ( [3] numaralı görsel)
- Korozyon/Aşınma
- Yağ bozulması (oksidasyon, vernik vb.)
- Katkı maddesi tükenmesi
- Bakteri üremesi, vb.



Başlangıç seviyesi micro-pitting



Nihai seviye micro-pitting ve yüzeyde yıkım

### [3] Micro-pitting Örnekleri

Yağlama yağında bulunan sadece %0,1 (1.000 ppm) oranında su, gerçekleştirilen farklı çalışmalara göre bir döner eleman yataklamasının ömrünü %50-90 oranında azaltacaktır. Nora Corporation'ın yayınladığı çalışmalarda, yağ içeriğindeki su oranının 1.000 ppm'den 100 ppm değerine düşürüldüğünde bir rulman ömrünün x3.3 kat uzatılabileceği belirtilmektedir.



Bu sebeple, en önemlisi, su içeriğinin yağın suya doyma noktasının altında tutulmasını sağlamaktır. Böylelikle su, yağda emülsiyon veya serbest olarak bulunmaz, zira bulunması halinde çok hızlı ve yıkıcı sorunlara neden olur.

Bir yağ veya sıvı için doyma noktası sıcaklığa, baz yağa, katkı paketine vb. bağlıdır. Bu nedenle maksimum su içeriği için sabit bir sınır belirlemek zordur, ancak suyun [4] numaralı tablodaki seviyelerde tutulması gerektiği belirtilebilir.

Yağ Tipleri	Önerilen Maksimum Su İçeriği
Hidrolik Yağ	200 ppm (0.02%)
Dizel / MGO	300 ppm (0.03%)
Dişli Yağı	500 ppm (0.05%)
Ester Bazlı Akışkanlar	700 ppm (0.07%)
EAL Akışkanlar (Ester ve Glikol bazlı) (Bazı PAG yağlar daha çok su çözebilir)	1.000 ppm (0.1%)
Motor Yağlama Yağı	2.000 ppm (0.2%)

[4] Yağ tiplerine göre önerilen su içeriği

### 1.1. Su Arındırma Teknolojileri

Bir yağlama sisteminde genel olarak aşağıdaki su ayrıştırma teknolojileri uygulanabilir:

- 1.1.1. Selüloz veya polimerler kullanılarak emilim
- 1.1.2. Coalescer (birleştirici) ile suyu ayırma
- 1.1.3. Santrifüj Seperatör ile suyu ayırma
- 1.1.4. Desorber, Kuru hava kullanarak nemi dışarı taşımak
- 1.1.5. Vakum Dehidrasyon, vakum ve sıcaklıkla su ve nemi tamamen kurutma

Su Fazı	Polimer Filtre	Coalescing (Birleştirici) Filtre	Santrifüj Seperatör	Vakum Dehidrasyon
Serbest Su	X	X	X	X
Emülsifiye Su	X	X	X	X
Çözünmüş Su				X

[5] Su arındırma teknolojilerinin uygulama alanları

#### 1.1.1. Selüloz ve Polimer Lifleri Kullanarak Yağdan Su Emilmesi

Selüloz, özellikle harici/offline filtrasyon sistemi ile kullanırken, yağdan suyu ayrıştırmanın en uygun maliyetli yollarından biridir. Selüloz genellikle yağdaki su içeriğini [6] numaralı görsellerde anlatıldığı gibi 100 ppm seviyelerine indirebilir, ancak glikol veya ester bazlı sıvılarda su emişi gerçekleştirilemez. Selüloz filtreler suya doyduğunda tıkanır ve kullan-at tip elemanlar olması sebebiyle yenisiyle değiştirilmesi gerektiğinden, günlük sınırlı su girişi olan sistemlerde kullanılması önerilir. Hat tipi kullanımlarda, selülozun basınç dayanımının az olması sebebiyle pileli filtre tipinde su ayrıştırma için kullanılması önerilmez. Bu tip uygulamalar için polimer katmanlı hat tipi pileli filtre elemanları kullanılarak su ayrıştırma işlemi gerçekleştirilebilir. Ancak, [7] numaralı tabloda kapasite eğrişi belirtilen bu filtreler yağdaki serbest suyun ayrıştırılmasında verimli bir yöntem olup yağın içinde çözünmüş olan su partikülleri için bir etkisi olmayacağından yağda tam anlamıyla kurutma gerçekleştirilemez. Ek olarak kullan-at elemanlar olması sebebiyle işletme maliyetlerine olumsuz etkisi vardır.



Selüloz Dip Filtre  
Offline sistem kurulumu

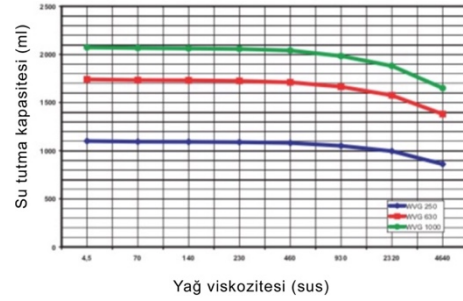


Hidrolik yağ ilk numune  
8,144 ppm



6 saat harici filtrasyon ertesini  
121 ppm

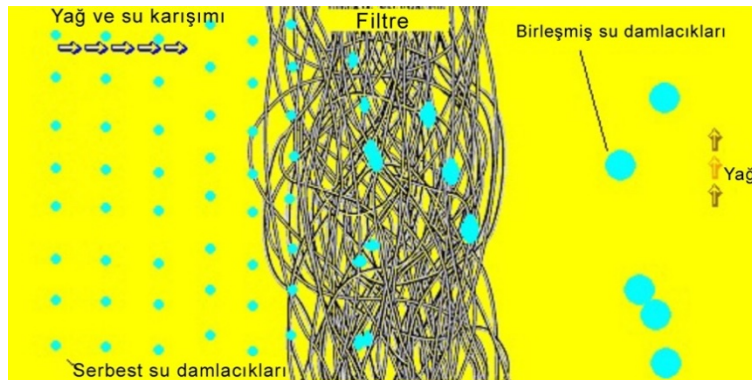
[6] Selüloz filtre çalışma verimi



[7] Pileli su tutucu filtre elemanı kesiti ve viskoziteye bağlı su tutma kapasite eğrisi

### 1.1.2. Coalescer Yöntemi

Su damlacıklarının birbiri ile olan doğal birleşme ilgisini kullanarak damlacıkları birleştiren ve daha ağır hale getirerek yerçekimi etkisi ile yağdan ayırma işlemidir. Uygulanacak sistemde kullanılan yağda iyi bir çözülme kabiliyeti çok önemlidir aksi takdirde bu teknoloji uygun şekilde çalışmaz. Yağdaki çözülme kabiliyeti yüksekse, Coalescer prensibi yüksek miktarda suyu ayırarak günlük yüksek su girişi olan sistemler için kullanılabilir hale gelir. Ancak, Coalescer [8] numaralı görselde prensibi anlatıldığı üzere bir ayrıştırma yöntemi olup yağın içinde çözünmüş olan su partikülleri için bir etkisi olmayacağından yağda tam anlamıyla kurutma gerçekleştirilemez.

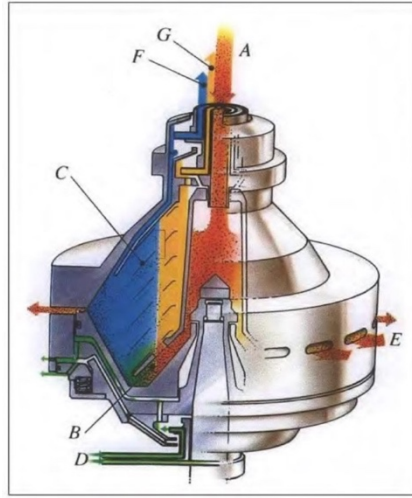


[8] Coalescer elemanı çalışma prensibi

### 1.1.3. Santrifüjlü Separatörler

Su ve yağdaki diğer kirlenmeleri dışarı atmak için merkezkaç kuvvetlerini kullanır. Santrifüjlü ayırıcılar büyük akış hızlarıyla çalışabildikleri ve suyun korozif etkilerine duyarlı oldukları için, günlük yüksek su girişi olan yağlama sistemleri için kullanılabilirler.

Şayet yağ 200 ppm altı gibi düşük bir su içeriğine ihtiyaç duyuyorsa, kullanılan yağda çok iyi bir çözülme kabiliyeti gereklidir. Santrifüjlü bir separatörün verimliliği, yağ sıcaklığına, akış hızı ile ayarının ve bakımlarının ne kadar iyi yapıldığına bağlı olacaktır. Bu nedenle, birçok sistem maalesef gerektiği gibi çalışmaz, yağdaki su içeriğinin artması ve kendi kendini temizleyen santrifüj separatörlerin ürettiği binlerce litre atık yağ riskini taşır. Bu yöntem de [9] numaralı görselde anlatılan çalışma prensibine sahip, Coalescer gibi bir ayırıştırma yöntemi olup yağın içinde çözünmüş olan su partikülleri için bir etkisi olmayacağından yağda tam anlamıyla kurutma gerçekleştirilemez.

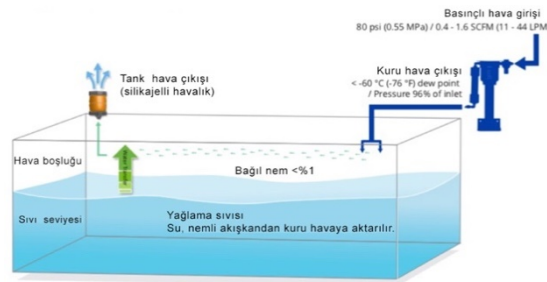


A: Kirli yağ besleme  
B: Partikül ayırıştırma  
C: Su ayırıştırma  
D: Boşaltma çıkışları kontrol suyu  
E: Partikül çıkışı  
F: Su çıkışı  
G: Temiz yağ çıkışı

[9] Santrifüj Separatör Çalışma Prensibi

### 1.1.4. Desorber / Kuru Hava Yatağı

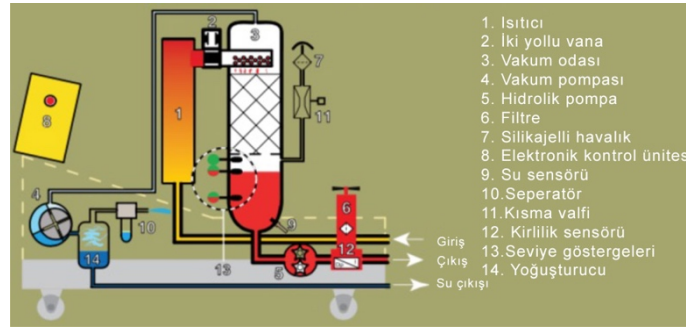
Bu sistemler suyu yağdan ayırmak için kuru hava kullanırlar. Mollier diyagramı prensibini takip eden sistemde, hava ne kadar soğuk ve yağ ne kadar sıcak olursa, yağdan o kadar fazla su ayrılabilir. Teknoloji, yağdaki suyu 100 ppm'in altına düşürebilir iken EAL, fosfat esterler ve glikoller gibi özel yağlardaki su içeriğini birkaç yüz ppm'in altına düşürebilir. Teknoloji vakum içermediğinden, çözünmüş, emülsifiye veya serbest olarak su durumlarından çok fazla etkilenmez - sadece suyu sürekli olarak ayırır ve sıvıdaki su içeriğini düşürür. [10] numaralı görselde çalışma prensibi açıklanan bu yöntemin günlük sınırlı su girişi olan sistemlerde kullanılması önerilir.



[10] Kuru Hava Yatağı Çalışma Prensibi

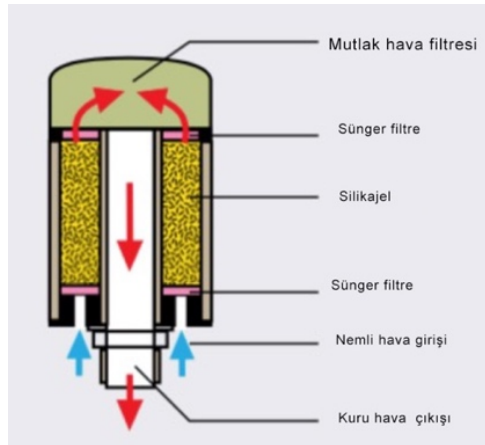
### 1.1.5. Vakum Dehidrasyon

Vakumlu kurutma sistemleri, vakum ve sıcaklık etkisiyle suyu sıvıdan buharlaştırarak tamamen kurutma sağlar. Teknoloji son derece etkilidir ve çoğu sıvıdaki su seviyesini çok düşük seviyelere (10 ppm'in altına) kadar indirebilir. Ancak vakum odasında su kaynadığından köpürme sebebiyle taşma riskine neden olduğundan, çoğu Vakum Purifier sistemi büyük miktarda emülsiyon veya serbest su üzerinde iyi çalışmaz ve vakum pompasını su ile kirletir. Bu sistem daha sonra çok fazla bakım gerektirir. Ancak yeni teknolojilerde bu sorunlar ortadan kaldırılmış olup, özel tasarlanan yoğuşturucularla bu taşma yahut yüksek su girişi neticesinde vakum odasından çıkan nem, vakum pompasına girmeden önce yakalanarak sistemden uzaklaştırılır. [11] numaralı görselde çalışma prensibi açıklanan bu sistem kullanımı herhangi bir sarf malzeme içermediğinden, günlük su girişi yüksek olan sistemlerde veya çoğunlukla çözünmüş su içeriği olan yağlar için [5] numaralı tabloda da gösterildiği üzere en verimli çözüm olarak önerilir. Özellikle mineral yağ kullanan sistemlerdeki en verimli çözümdür.



[11] Vakum Dehidrasyon Çalışma Prensibi

Tüm bu açıklanan teknolojilere ek olarak, silikajelli havalıkların kullanımı, suyun neden olduğu yağ kirliliği ile mücadelede en kolay ve en uygun maliyetli yollardan biridir. Bu havalıklar tanktan içeri giren ve dışarı çıkan havanın su içermediğinden emin olunmasını sağlar.



[12] Silikajelli Havalık Çalışma Prensibi

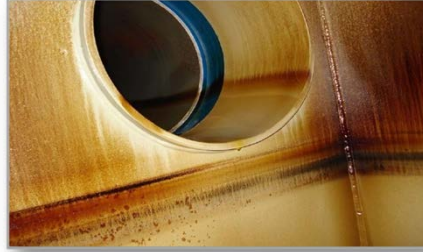
Kirliliği erken tanımlamak önemlidir, ancak kirliliği meydana gelmeden önce önleyici olarak engellemek daha da önemlidir. [12] numaralı görselde çalışma prensibinde belirtildiği gibi kirletici partiküllerin ve nemin girişini basitçe engellemek, yağ kirliliğini önlemenin en etkili yollarından biridir.

Sızdırmazlık kontrolleri, uygun numune alma teknikleri, uygun saklama ve yağ dağıtma/doldurma uygulamaları gibi diğer kontrol araçlarının kullanılması kirliliği önleyebilir. Ayrıca, doğru yağ analizi testinin kullanılması, kirliliğin erken tespit edilerek uygun şekilde reaksiyon gösterilmesi ve gelecekte önlenmesi için kritik seviyede önemlidir. Yağ yönetiminin önemi, aslen bahsedilen yukarıdaki önlemler bütününe değerin anlaşılması ile daha da anlamlı bir hal almaktadır.

## 2. ENDÜSTRİYEL YAĞDA VERNİKLEŞME VE GİDERME YÖNTEMLERİ

Vernik, esas olarak organik kalıntılardan oluşan, yağda ince, sert, parlak, çözünmeyen bir tortudur. Rengi değişebilir, ancak genellikle gri, kahverengi veya kehribar tonlarında görünür.

İnsan kardiyovasküler sistemindeki kolesterol gibi, vernik yavaşça birikmeye başlar ve genellikle onarılamaz hasara neden olur. Her türlü sıvı kirlenmeye, oksitlenmeye ve bozulmaya maruz kalabilir, ancak bu ne zaman makineler için bir sorun haline gelebilir? Hayati sıvılar bozulduğunda ve hizmet ettikleri makineler üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunda, cevap basittir.

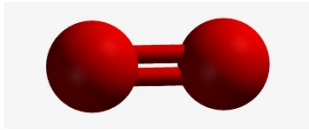


[13] Yağ tankı iç cidarları vernik kalıntıları

Madeni yağlar çeşitli şekillerde bozulmaya başlayabilir, bozulma sürecini başlatabilecek bazı ortak faktörler ise şunlardır:

- Sıcaklık
- Nem
- Kirleticiler
- Havalandırma/Oksijen
- Aşınma Metalleri

Oksidasyon nedir?



Oksijen

+



Yağ

=



Asit

&



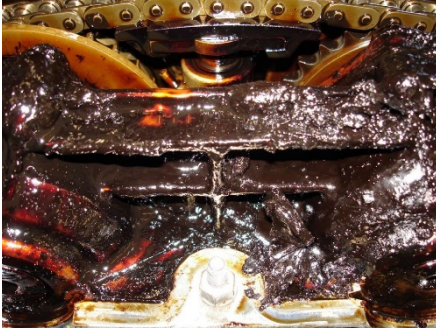
Tortu

Yağ molekülleri uygun koşullar altında oksijen ile temas ettiğinde, asitler ve vernik gibi yüzey tortuları (örneğin [13] numaralı görsel) meydana getiren, yağda çözünmeyen yan ürünler oluşturmak için reaksiyona girerler. Oksidasyonu teşvik edebilecek bir dizi faktör vardır:

- Sıcaklık
- Su
- Su kalıntıları (metaller)
- Havalandırma/Oksijen
- Çamur

### Oksidasyonun Etkileri

- Asitler metal yüzeylerde korozyona neden olabilir
- Çamur, yağ geçişlerini engelleyebilecek veya vanaların yapışmasına neden olabilecek tortular oluşturabilir
- Oksidasyon, yağlayıcıların viskozitesinin artmasına neden olur (esterler hariç)
- Oksidasyon yan ürünleri, yeni yağ ilavelerinin ömrünü önemli ölçüde kısaltır
- Yağlayıcı performansını düşürür



[14] Vernik tortu örnekleri

Çamur ve vernik farklı uygulamalarda farklı şekillerde ortaya çıkabilir. [14] numaralı görsellerde, sağdaki görüntü, altın renkli bir sıvı olarak tezahür ederken, soldaki görüntü ise koyu renkli vernik tortu birikimini göstermektedir. [15] numaralı görsellerde de farklı vernik tortu örnekleri paylaşılmaktadır.



Çamur şeklinde vernik      Sert ve kırılğan vernik      Tank tavanında vernik.      Tank tabanında vernik  
[15] Vernik tortu örnekleri

### Mikro Dizelleşme (Micro-Dieseling)

Bir dizel motor, benzinli motorlarda görüldüğü gibi kıvılcım ateşleme yerine bir sıkıştırma & ateşleme şeklinde çalışır. Yakıt olarak dizel, benzine kıyasla yağlama yağına benzeyen özelliklere sahiptir. Dizel motor, dizel yakıtı enjekte etmeden ve ihtiyaç olan güce neden olan patlamayı sağlamadan önce hava emişi yapıp sıkıştırarak aşırı yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına sebep olur.

Mikro Dizelleşme, yüksek basınçlı durumlarda yağlama yağı içinde meydana gelen çok benzer bir işlemdir.

Bir pompa örneğinde, düşük basınç tarafında pompaya giren sıvı, hava partiküllerinin yağ içinde salınmasına izin verecektir. Bunlar yağ içinde asılı küçük hava partikülleri oluşturacaktır. Yağ pompadan geçtikten sonra çok yüksek basınca maruz kaldığında, içinde asılı kalan havayı ve yağı reaksiyona ve küçük patlamalara neden olacak şekilde sıkıştırır. Bu durum da daha sonra bu küçük hava kabarcıklarını çevreleyen yağın aşırı sıcaklığa maruz kalmasıyla bozulmasına neden olur.

Yağ ısındıkça ortaya çıkan ısı, yağ içeriği ve sistem boyunca dağıtılır. Yağ soğutucularının veya diğer cihazların olası kullanımı ile, yağın sıcaklığı makul derecede stabil, ancak yüksek bir sıcaklıkta tutulur. Yağ soğutucuları, durum çok geç olana kadar çoğu zaman aşırı ısınma sorunlarını gizler.

Vernik tortuları ise ılık yağ içinde süspansiyon haline gelir ve sistem içerisinde dolaşmaya başlar.

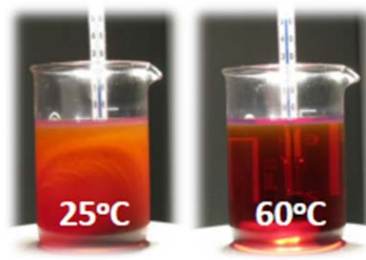
## Vernik Birikimi

Vernik birikimi genellikle üç aşamalı bir süreci takip eder.

1. Yağ bozulması, sistem içinde yavaşça yayılacak olan çözünmüş tortuya neden olur.
2. Yağ hızla doymuş hale gelir ve asılı tortu, yağın koyu ve bulanık görünmesini sağlar.
3. Yağ, sistem içerisindeki soğuk noktalarla temas eder. Bu, asılı ve çözünmüş tortunun sistem yüzeylerine yapışmasına neden olur.

## Sıcaklık ve Nemin Etkisi

Yağ soğudukça vernik, çözünmüş yapışkan bir maddeden sert katı bir maddeye dönüşür. [16] numaralı görseldeki örnekte 60°C derecede vernik berrak ve çözünmüş halde iken, 25°C derecede vernik sertleşir ve yağ içinde bir katı olarak hareket eder. Soğutma işlemi, verniğin diğer partiküllere veya yüzeylere yapışmasına izin verecektir.

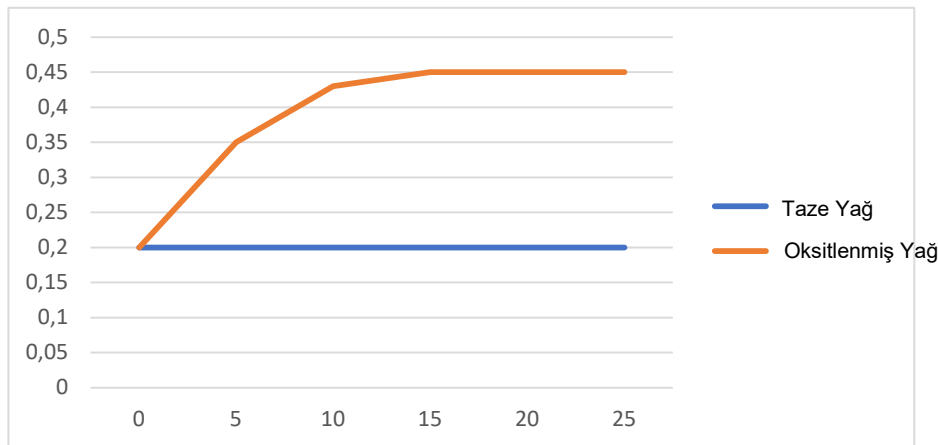


[16] Sıcaklığın vernik üzerindeki etkisi

Nem ayrıca vernik üzerinde ilginç bir etkiye sahiptir. Daha yüksek su içeriği durumunda, su verniği çözünür halde tutar (sıcak tutulursa). Su, bir vakum dehidrasyon veya benzeri bir sistem kullanılarak uzaklaştırılırsa, bu, verniğin hızla katı hale gelmesine neden olacaktır. Bu sebeple yüksek vernik içeriği olan sistemlerde yağdaki su kurutulduğunda, ani bir hızla sistem arızası yaşanabilmektedir.

## Akışkan Durumunun Servo Valfler Üzerindeki Etkisi

Aşağıdaki bulunan [17] numaralı grafik, alt kısımda "Servo Bekleme Süresi"ni (dakika cinsinden), soldaki kolonda ise "İlk Valf Çalıştırılması Üzerindeki Sürtünme Katsayısı"ni göstermektedir. Görüldüğü üzere, yeni yağın sürtünmesi, bekleme süresinden bağımsız olarak eşit iken, oksidasyona uğramış yağın sürtünme değeri bekleme süresi uzadıkça artış göstermektedir.



[17] Servo valf zaman/sürtünme katsayısı grafiği

- Oksidasyona uğramış yağ, durağan haldeyken çözeltiden ayrıışan yapışkan bir içerik barındırır.
- Bu reçinemsî içerik yapışkandır ve valflerin çalışan yüzeylerinde zımpara kağıdı gibi davranır.
- Bu durumda, servo valfi devreye almak için gereken kuvvet artar.
- Yüzeylerdeki küçük partiküller ile birlikte aşırı kuvvet uygulanması, valflerin kilitlenmesine ve elektrik arızalarına neden olabilir.
- Hidrolik valf arızalarının %70~90'ı kontaminasyonla ilgilidir.

### Vernik Sorununun Tanımlanması

Kritik sistemlerde yağlayıcı sağlığını düzenli aralıklarla izlemek zorunludur. Bu, yağdaki değişikliklerin yanı sıra beklenmedik ani artışlarla gelişmekte olan eğilimlerin takibini sağlayacaktır. Bu sadece önleyici bakım konusunda yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda akışkanın arıza yaşanmadan önceki hikayesini anlatacaktır. Yağın düzenli analiz takibinin yapılmaması, bahsettiğimiz bozunma yan ürünlerinin izlenmemesi, akışkan ve makine ömrünün önemli ölçüde azalmasına sebebiyet verebilir.

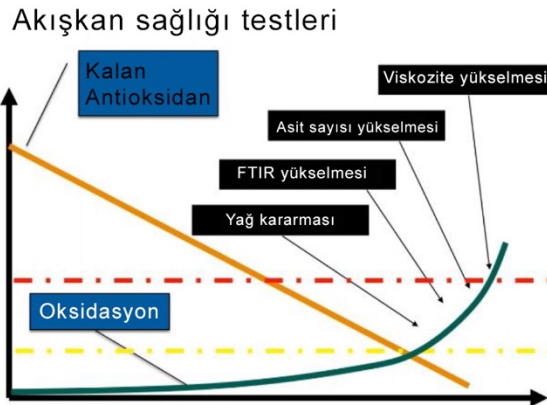
Yağ ömrünü etkileyen bir dizi faktörler vardır:

- Çalışma sıcaklığı
- Yağlayıcı akışkan kalitesi
- Her türlü kirlenme
- Havalandırma/Oksijen
- Tank hacmi
- Sızıntı
- Taze yağ depolama koşulları veya raf süresi

Yağ durumunu değerlendirmek için uygulanabilecek belli başlı testler şunlardır:

- Viskozite
- ICP Element Analizi (Katki seviyelerini kontrol etmek için)
- FTIR (Oksidasyon, nitrasyon ve katkı seviyelerini kontrol etmek için)
- TAN (toplam asit numarası)
- TBN (toplam baz numarası)
- RPVOT (oksidasyon kararlılığı)
- RULER (katkı paketlerinin kontrolü)
- Su içeriği
- Micropatch & Ferrography (partikül analizi ve mikroskopik metal tayini)
- MPC (vernikleşme seviyesi)
- Görünüm ve koku

Aşağıda bulunan [18] numaralı grafik zamana bağlı olarak oksidasyona maruz kalan yağdaki değişimi göstermektedir. En büyük eğilimin, Viskozite, Asit Sayısında artış, sıvının kararması ve FTIR test sonucu ile saptanan anti-oksidan paketlerindeki düşüş olduğu okunmaktadır.



Yağ bozunumunun ilerleme sürecinde, [19] numaralı tabloda da görüleceği üzere anti-oksidan katkı maddeleri azalması ve MPC artışı hızlandıkça, yağ kararmaya başlar, asit sayısı artar ve son olarak yağın viskozitesinde artış meydana gelir.



[19] Yağ bozunum süreci

## 2.1. Vernikleşme Giderme Teknolojileri

Bir vernik sorunu oluştuğunda akışkanı değiştirmek sorunu çözmektedir. İçinde vernik birikintileri olan bir sisteme taze yağ verilmesi durumunda, yağ bir temizleme sıvısı gibi davranacak, tankların, haznelerin, boruların veya valflerin içindeki verniği kaldıracak ve genellikle daha da kötüleşen bir birikme ile sistem içerisinde yeniden dağılacaktır.

Vakum dehidrasyon üniteleri, verniğin ekipmanın içindeki yüzeylere yapışması için gereken süreyi kısaltarak birikmeyi artıracak şekilde vernik üzerinde "kurutma" etkisine sahip olmaktadır. Kurutulmuş vernik, doğru filtreleme ile sistemden uzaklaştırılabilecek olmasına karşın bu süreç olarak çok daha uzun süren bir yöntemdir.

Bu amaçla özel olarak tasarlanan vernikleşme giderme ünitelerinin ve özel akışkanların kullanımı en uygun çözümleri oluşturmaktadır.

### 2.1.1. Reçine ve Ion Exchange Filtreler

Katı ve çözünmemiş kontaminasyonu gideren filtre elemanları, yukarıda belirtildiği gibi çözünmez haldeki vernik giderilmesi için uygun bir yöntem olmasına karşın çözünmüş vernik için çözüm üretmezler.

İçeriğinde polar bağ bulunduran iyonları ile yüklenen bu özel reçineler, hala çözünür formdaki vernikleri adsorbe edebilir (yüzeyine bağlayabilir). Bu adsorpsiyon, polar vernik molekülleri ile reçinede bulunan polar bağlar arasındaki tercihli moleküler etkileşime dayanır.

Çözünür verniğin ve öncüllerinin sürekli olarak çıkarılması, bozunma ürünlerinin artık yağlayıcıda birikmemesini sağlayarak, normal çevrimler ve yağlama sisteminin kapanması sırasında vernik oluşumu riskini ortadan kaldırır. [20] numaralı görselde de paylaşılacak bu sistemlerde yağlayıcının orijinal özellikleri geri kazandırılır, asitliği azaltılır ve orijinal değerlerine geri getirilir.

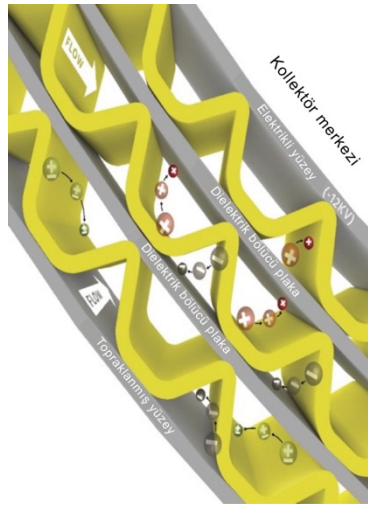


[20] Reçine filtre

Ancak reçine filtrelerin çalışması, su varlığına bağımlı olduğu için bu sistemlerde ayrıca vakum dehidrasyon sistemi kullanımı da gereklidir. Ayrıca finansal anlamda işletme maliyetleri yüksek çözümlerden birisidir.

### 2.1.2. Karbon Partikül Filtrasyonu

Akışkanın koyu renk almasına neden olan ince karbon partiküllerinin filtrelenmesi ve mikro-dizelleşme sorunlarının çözümü için kullanılan [21] numaralı görselde prensibi anlatılan elektroforez tekniği, bir elektrik alanının etkisi altında iyonların (pozitif veya negatif yüklü moleküller) hareketine dayanır. Katyonik moleküller katoda (-) ve anyonik moleküller (-) anoda (+) hareket eder.



[21] Elektroforez tekniği

Elektrik alanı etkisinde çalışan bu sistemler, suya karşı hassas olmaları, 40°C sıcaklık altındaki sistemlerde verimli kullanılabilmeleri, çözünmez vernik, katı partikül ve aşınma metalleri için bir çözüm sunamaması sebebiyle ek ekipman ile desteklenmeye ihtiyaç duymakta, bunun yanı sıra yatırım ve işletme maliyetleri diğer prensiplere oranla daha yüksek kalmaktadır.

### 2.1.3. PP/Selüloz Filtreler

Oksidasyon konusunda yapılan çalışmaların en verimli sonuçlarından birisi de Polipropilen ve Selüloz tabanlı hassas dip filtrelerdir.

Bu sistemler ilk olarak akışkanın kendisini temizlemekte, ardından bu temiz akışkanın sistemden vernik, partikül ve tortuyu temizlemesini sağlamaktadır.

Cihaz yağı filtreledikten sonra yağın kendisi bir temizleme sıvısı haline gelir. Böylelikle sorunlu ekipman içindeki verniği ve kontaminasyonu yavaşça temizleyerek sistemden uzaklaştırır. [22] numaralı görselde paylaşılan bu tip filtreler, akışkan sıcaklığından bağımsız olarak hem yağdaki çözünür ve çözünmez verniği uzaklaştırmakta, aynı zamanda katı partiküller ile serbest ve emülsiyeli suyu da tutarak tam bir iyileştirme sağlamaktadır.



[22] PP/Selüloz filtre elemanı

İlk yatırım ve işletme maliyetleri kıyaslandığında piyasadaki en uygun çözümlerden birisidir.

#### 2.1.4. Çözünürlük Arttırıcı Akışkanlar

Bu yeni nesil akışkanlar, yağın çözünürlüğünü artırarak çalışır ve sistem dahilinde bulunan inatçı tortuların çözülmesini sağlar. Vernik sistemden, [23] numaralı görselde takip edilebileceği gibi katman katman kaldırıldığı için ani bir kontaminasyon yükselmesi meydana gelmez.

Oksidasyon kaynaklı sürecin, kimyasal flushing/pickling uygulamasına ihtiyaç duyabileceği düşünüldüğünde, bu süreç kapsamında tortuları gidermek için yüzey aktif kimyasallar kullanılacak olup bahse konu ekipmanın devre dışı bırakılması ve bakıma alınması gerekmektedir. Ancak çözünürlük arttırıcı akışkanlar, sistemler devrede iken sistem yağına eklenerek kullanılmakta olup herhangi bir bakım yahut devre dışı kalma sürecine mahal vermediği gibi, sistemde kullanılan yağ ile uyumlu olduğu için yağ ömrü boyunca da sistemde kalabilmektedir.



[23] Çözünürlük arttırıcı akışkan vernik giderme fazları

#### 2.1.5. Kimyasal Flushing / Pickling

Kapalı hidrolik ve yağlama sistemlerinin temizliğinde olmazsa olmaz uygulama olan flushing, vernikleşme sorunu yaşayan sistemlerde de bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak vernik, yağdaki kimyasal bozulma ürünü olarak sistemde varlığını sürdürmesi sebebiyle, yağ ile uygulanan flushing operasyonu asıl amaca hizmet edemez. Bu sebeple vernikleşme sorunu yaşayan sistemlerde uygulanacak olan flushing prosedürünün bir katkı, çözücü yahut yıkıcı kimyasal ile desteklenmesi gereklidir. Bu aktif kimyasalların desteği ile yüzeylerde hapsolan vernik tortularının türbülanslı yağ ile sistemden uzaklaştırılması mümkün olmaktadır.

Ancak, bu uygulama, sistem ekipmanlarının tamamen devre dışı kalması ve bakıma alınması ön şartına sahip olup, flushing uygulanabilecek donanımlar da boru ve hortum gibi yağ aktarma hatlarından ibarettir. Sistem dahilindeki valf, silindir, vana ve tank gibi hacimlerin kimyasal flushing ile verimli sonuca ulaşmama riski mevcuttur.

Buna ek olarak, uyumsuz yüzey aktif kimyasallarının sistem ekipman cidarlarındaki olası kalıntıları, taze dolmuş yağın yıkıma uğramasına da sebebiyet verebilmektedir. Bu yüzey aktif temizleyicilerin kullanımı, uzaklaştırılmama ihtimali göz önünde bulundurulduğunda riskli ve finansal anlamda da yüksek bütçeli bir çözüm olarak düşünülebilir.

## SONUÇ

Bu çalışma, yağda meydana gelen su ve oksidasyon kaynaklı bozulmalara karşı kullanılabilen teknoloji ve yöntemleri detaylı olarak incelemiş ve listelemiştir.

Her iki sebep neticesinde sistemlerde meydana gelen yıkımların sonucunda bakım, işletme ve imalat sebepli bütçesel kayıp miktarlarında örnek olan aşağıdaki [24] numaralı görsel, bu çalışmanın en somut sonucu olarak değerlendirilebilir.



## Vernikleşmenin sebep olduğu yüksek maliyetler



Bu baskı yatağındaki vernik, bir rafinerinin kapatılmasından sorumluydu.

Bu yatak kovanındaki vernik kompresör arızasına neden oldu.

Bu filtredeki tortu, gaz türbininde bir devre dışı kalmaya neden oldu.

Bu valf makarasındaki vernik, bir gaz türbininin devreye girmesini engelledi.

### [24] Vernik sorununun ortaya çıkardığı mali yük örnekleri

Her ne sebeple olursa olsun, sistemde kullanılan yağın detaylı kimyasal analizinin bir takvim çerçevesinde planlanarak gerçekleştirilmesi ve bu analizlerin yeterli bilgi donanımına sahip ekipler tarafından değerlendirilmesi, burada anlatılan tüm teknoloji, yöntem ve çözümlerin en temel dayanağıdır. Göz ardı edilen yahut önemsenmeyen yatırım çerçevesinde değerlendirilen yağ yönetiminin tüm sanayide birincil öncelik olarak görülmesi ve doğru uygulanması, yukarıda betimlenen olası zarar ve kayıpları en düşük seviyede tutarak, çevre güvenliği başta olmak üzere karbon ayak izi kontrolüne ve yeryüzü kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] KURT, E., Toros Filtrasyon Arşiv, 2016
- [2] NYMAN, S.D., Strategies for Removing Water From Specialized Lubricants, 2020
- [3] NYMAN, S.D., Strategies for Removing Water From Specialized Lubricants, 2020
- [4] NYMAN, S.D., Strategies for Removing Water From Specialized Lubricants, 2020
- [5] LIVINGSTONE, G., VPR-VIM Training, 2022
- [6] NYMAN, S.D., Strategies for Removing Water From Specialized Lubricants, 2020
- [7] EATON INTERNORMEN , Filter Elements for Water Absorption, 2020
- [8] ASAHI KASEI, FS Oil-water Separation Filters, 2022
- [9] NYMAN, S.D., Strategies for Removing Water From Specialized Lubricants, 2020
- [10] HY-PRO, Varnish Treatment Training, 2020
- [11] EATON INTERNORMEN , Fluid Purifier Systems, 2020
- [12] RMF SYSTEMS, Introduction to Oil Cleanliness, 2018
- [13] KURT, E., Toros Filtrasyon Arşiv, 2019
- [14] WHITING, P., Varnish - The not-so-silent killer, 2020
- [15] HY-PRO, Varnish Treatment Training, 2020
- [16] HY-PRO, Varnish Treatment Training, 2020
- [17] WHITING, P., Varnish - The not-so-silent killer, 2020
- [18] WHITING, P., Varnish - The not-so-silent killer, 2020
- [19] WHITING, P., Varnish - The not-so-silent killer, 2020
- [20] HY-PRO, Varnish Treatment Training, 2020
- [21] HY-PRO, Varnish Treatment Training, 2020
- [22] WHITING, P., Varnish - The not-so-silent killer, 2020
- [23] LIVINGSTONE, G., VPR-VIM Training, 2022
- [24] LIVINGSTONE, G., VPR-VIM Training, 2022

## ÖZGEÇMİŞ

### Sabri Ertan Kurt

1980 yılı İstanbul doğumludur. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 9 sene maden makineleri imalatında görev almış, ardından son 11 senedir de Toros Filtrasyon Teknolojileri A.Ş. firmasında Genel Müdür ve firma ortağı olarak yağ yönetimi, filtrasyon ve flushing alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.