



T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

BAKIM TEKNİĞİ VE UYGULAMALARI

(Ders Notları)

Prof. Dr. Cemal Meran

Ekim 2023

İÇİNDEKİLER

1. Bakım Tekniğine Giriş

- 1.1. Bakım Nedir?
- 1.2. Bakımın İşlevleri Nelerdir?
- 1.3. Bakımın İşlevlerini Yerine Getirememesi Durumunda Oluşabilecek Problemler
- 1.4. Bakım Politikalarının Belirlenmesindeki Faktörler
- 1.5. İşletmelerin Güvenilebilirliğini Arttırma Yolları (Politikaları)
- 1.6. Bakım Yönetimi Yaklaşımı Tarihçesi

2. Bakım Yöntemleri

- 2.1. Düzeltici Bakım (Arızı Bakım)
- 2.2. Önleyici (Koruyucu) Bakım
 - 2.2.1. Periyodik Bakım
 - 2.2.2. Kestirimci Bakım

3. Titreşim Analizi

- 3.1. Titreşimle İlgili Terimler
 - 3.1.1. Titreşimin Sınıflandırılması
 - 3.1.2. Titreşim Dalga Formları
 - 3.1.3. Titreşim Ölçüm Yöntemleri
 - 3.1.4. Titreşim Sinyal Görüntüleme
- 3.2. Temel Mekanik Arızalar
 - 3.2.1. Balanssızlık
 - 3.2.2. Mekanik Gevşeklik
 - 3.2.3. Kaplin Ayarsızlığı
 - 3.2.4. Dişli Arızaları
 - 3.2.5. Rulman Arızaları
 - 3.2.6. AC Motor Arızaları

4. Toplam Üretken Bakım TPM

- 4.1. Ekipman Etkinlik Oranı (EEO – OEE)
- 4.2. TPM Mudaları (16 Büyük Kayıp-İsraf)
- 4.3. TPM 8 Pillar'ı (Ana temeli)
- 4.4. TPM'de uygulamaya nasıl geçilir?
- 4.5. TPM'in Faydaları
- 4.6. 5S Kuralı
 - 4.6.1. PUKÖ Döngüsü
- 4.7. Kaizen
 - 4.7.1. Kaizen Nasıl Yapılır?
 - 4.7.2. Kaizen'e Başlamak İçin Gereken 3 Aşama
 - 4.7.3. Kaizen Formu İçeriği
- 4.8. Otonom Bakım
 - 4.8.1. Bakımda İnsan Performansını Etkileyen Faktörler

5. Sürtünme ve Yağlama

- 5.1. Yağların Sınıflandırılması
 - 5.1.1. Gaz Yağlayıcılar
 - 5.1.2. Sıvı Yağlayıcılar
 - 5.1.2.1. Doğal (Tabii) Yağlar
 - 5.1.2.2. Sentetik Yağlar
 - 5.1.2.3. Yarı Sentetik Yağlar
 - 5.1.3. Katı Yağlayıcılar
 - 5.1.4. Gresler

- 5.2. Streibeck Eğrisi
- 5.3. Yağlayıcı Maddelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri
 - 5.3.1. Viskozite
 - 5.3.2. Viskozite Endeksi (VI)
 - 5.3.3. Islatma kabiliyeti (Oilness)
 - 5.3.4. Özgül Ağırlık
 - 5.3.5. Katılaşma Noktası
 - 5.3.6. Alevlenme noktası
 - 5.3.7. Damlama Noktası
 - 5.3.8. Emülsiyon Teşkili
 - 5.3.9. Nötralizasyon Sayısı
 - 5.3.10. Kül Miktarı
 - 5.3.11. Renk
- 5.4. Yağlara İlave Edilen Katkılar
- 5.5. Yağların Kirlenme Nedenleri
- 5.6. TAN ve TBN Değerleri:
- 5.7. Motor Yağlarının Sınıflandırılması
 - 5.7.1. SAE Kalite Sınıflandırması
 - 5.7.2. API Kalite Sınıflandırması:
- 5.8. Kestirimci Bakımda Yağ Analizi Uygulamaları
 - 5.8.1. Symetro Redüktör Dişlisi Yağ Analizi
 - 5.8.2. Gale Yatağı Yağ Analizi
 - 5.8.3. Farin Değirmeni Valsi Yağ Analizi
 - 5.8.4. Farin Değirmeni Piston Mil Boğaz Burc Yağ Analizi
 - 5.8.5. Kovalı Bant Redüktörü Yağ Analizi

BİLDİRİLER

KULLANIMDAKİ YAĞIN ANALİZİ İLE MAKİNELERDEKİ ARIZALARIN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİ

FANLARDA BALANSSIZLIĞIN TİTREŞİM GENLİĞİNE VE ENERJİ SARFIYATINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

BAKIM ALANINDA ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN (APG) KULLANIMI

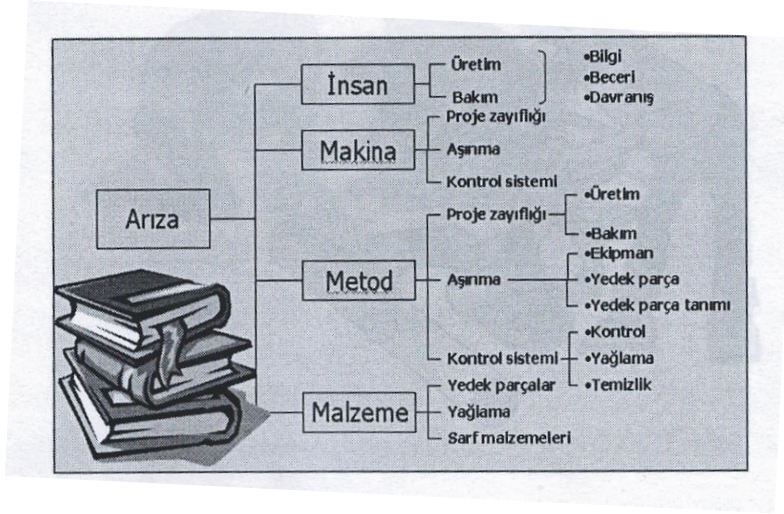
BAĞLANTI ELEMAN SEÇİMİNİN BAKIM UYGULAMALARINA ETKİSİ

1. BAKIM TEKNIĞİNE GİRİŞ

1.1 Bakım Nedir?

Bir sistemin fonksiyonlarını istenen bir düzeyde yerine getirebilmesi için gerçekleştirilen onarım, yenileme, muayene vb. faaliyetlerdir. Makinelerin bozulma nedenleri;

- Makineler çoğunlukla hareketli parçalardan oluşmaktadır. Hareketli parçalar zamanla aşınır ve yorulabilir.
- Parçaya dışarıdan bir darbe ya da çarpma ile zarar verilebilir.
- Parçanın çalıştığı ortam sulu, nemli, korozif, aşırı soğuk olabilir.
- Kalitesiz elektrik enerjisi parçalarda hasara yol açabilir.
- Makineyi kullanan operatör yeterince işini bilmiyorsa kullanım kaynaklı hasarlar olabilir (örneğin makinenin kapasitesinin üstünde zorlanması, arıza başlangıcında verdiği ses, titreşim, gürültünün dikkate alınmaması, zamanında yağlanmaması, cıvatalarının sıkılmaması, iş parçasının yanlış bağlanması, yanlış ayar, vs.)



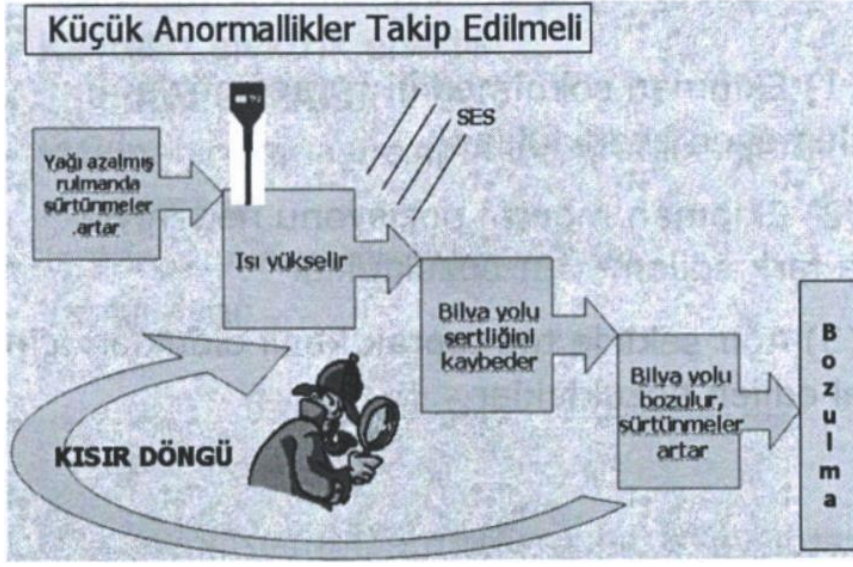
Fiziksel olarak çıplak gözle görülemediği için gizli kalmış arızalarda bulunmaktadır;

- Ekipman sökülemediği sürece gözle görülemeyen arızalar,
- Ekipman montaj pozisyonu nedeniyle gözle fark edilemeyen arızalar
- Çok kirli ortamda oldukları için görülemeyen arızalar.

Bütün bunları ötesinde kabullenmesi en zor arızalar ise bakımıcının ya da operatörün eğitimsizliği ve bilgisizliği sebebiyle ortaya çıkan arızalardır;

- Operatör veya bakımıcının işine tam yoğunlaşmaması, ilgisizliği
- Operatör ve bakımıcının arızaları bilmemesi veya tanımaması
- Operatör veya bakımıcının arızaya bilerek duyarsız kalması

Makineler ya normal koşullarda ya da hızlanmış koşullarda kötüye giderler.



Makinemize ne kadar iyi bakarsak bakalım, bakımının ne kadar iyi yaparsak yapalım bir biri ile çalışan parçalar zamanla aşınacak veya zamanla yorulacaktır. Bu durumda ömrü biten parçanın yenisi ile değiştirilerek sorun aşılar ki bu normal kötüye gidiştir.

Asıl sorunlu olan ise hızlandırılmış kötüye gidiştir. Bunun sebepleri şunlar olabilir;

- Yüksek titreşime maruz kalan yataklarda rulmanlar hızla bozulacaktır.
- Parça yüzeyi ne kadar pürüzlü ise sürtünen parçalar o kadar hızlı aşınacaktır.
- Hareketli parçalara ne kadar çok darbe gelecekse o kadar hızla yorulacaktır.
- Korozyon ortamında çalışan makine parçası daha hızlı hasara uğrayacaktır.

1.2 Bakımın İşlevleri Nelerdir?

Arızalar üretimin durmasına, üretim hatasının çıkması, teslimatların gecikmesi ve bunların sonucu olarak müşteri kaybı, parasal kayıp, prestij kaybı olabilir. Bu kayıplar bir tek makineden kaynaklanabilir.

1. İşletme olanaklarının (tesis, makine, teçhizat) faydalı ömrünü uzatmak.
2. Üretim araçlarının optimal çalışma seviyesine ulaşmasını sağlamak.
3. Makinelerin ve donanımların üretim için emre hazır olma sürelerinin en üst düzeyde tutmaktır.
4. Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük seviyede tutmak.
5. Mamulün kalite düzeyini koruyacak ve arttıracak onarımı sağlamak.
6. Acil durum için bulundurulmuş bütün yedek üniteler, kurtarma teçhizatları, yangın söndürme teçhizatı çalışır durumda kullanıma hazır olmasını sağlamak.

7. Bütün bu hedefleri yerine getirmek için yapılan çalışmalarda personelin emniyetinden herhangi bir fedakârlık vermeden çalışma güvenliğini sağlamak, çevre ile ilgili yükümlükleri yerine getirmek.
8. Tüm bu faaliyetleri uzun dönemde en düşük maliyetle gerçekleştirmek.

1.3 Bakımın İşlevlerini Yerine Getirmemesi Durumunda Oluşan Problemler

1. Arızaların yarattığı duruşlardan kaynaklanan maliyetler, ürün teslim tarihinin uygulamasında oluşturduğu problemler ve üretimi yeniden programlama zorluğu.
2. Üretim ekipmanlarının tüm kapasite ve çalışmamasından kaynaklanan kayıplar.
3. Yeterince bakım ve onarım yapılmamış tesislerdeki üretilen ürünlerin kalitesindeki düzensizlik, ıskarta oranları (yükselir), üretim miktarındaki düşüşler (hız), donanımlarda oluşan enerji kayıpları.
4. Bakım onarım faaliyetlerinin planlı etkili uygulamasından kaynaklanan iş kazaları, çevre sorumluluklarını yerine getiremediğinden dolayı prestij kaybı.

1.4 Bakım Politikalarının Belirlenmesindeki Faktörler

1. Bakımın işlevini yerine getirememesinden oluşmuş ve oluşacak tüm kayıp maliyetleri,
2. İşletmenin makine parkının büyüklüğü,
3. Tesis makine ve donanımının özel veya genel amaçlı olması, kapasitesi, hızı, temin özellikleri, üretim sistemi içerisindeki yeri ve önemi,
4. Üretim sürecinin niteliği, ürün teslim tarihine uyulmaması durumunda oluşan sorunlar, üretimi tekrar planlama zorluğu,
5. Bakım onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için iş gücü, teçhizat, donanım, yazılım, danışmanlık maliyetleri,
6. Bakım onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için gereken teknolojinin maliyeti, fayda maliyet analizi.

1.5 İşletmelerin Güvenilebilirliğini Arttırma Yolları (Politikaları)

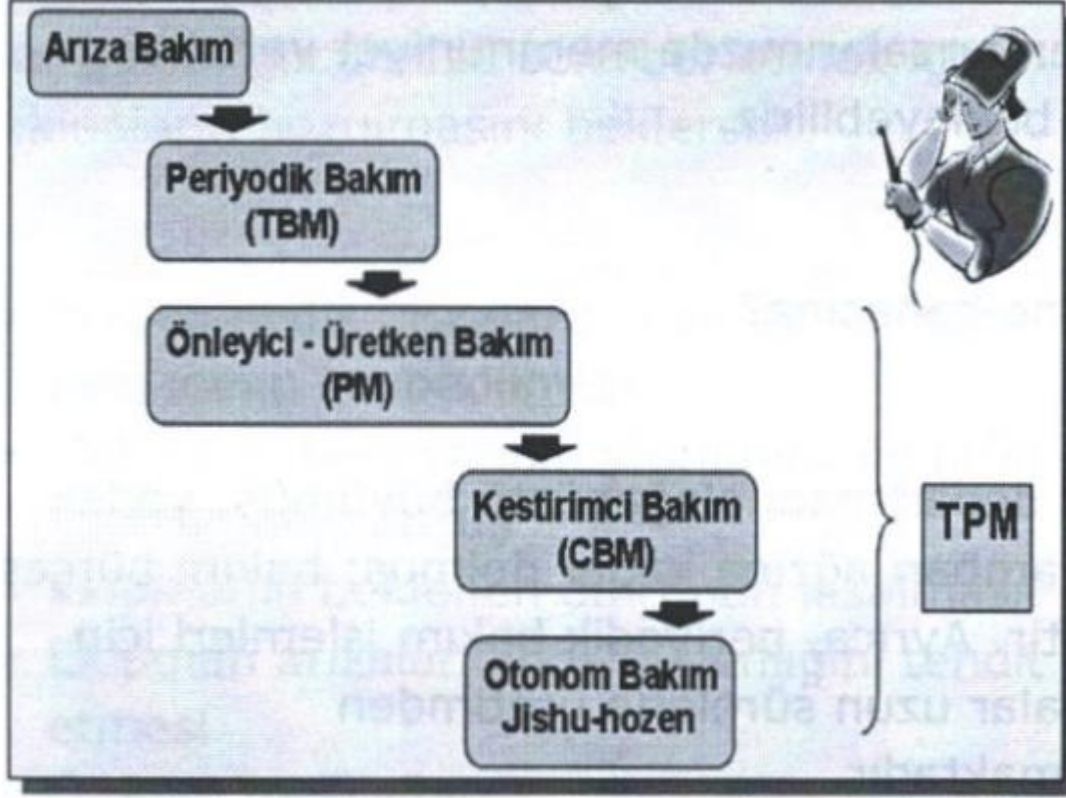
Üretim sisteminin aksamadan çalışmasını sağlama, bakımın belli bir plan çerçevesinde yürütmek, beklenmedik bir arızayı en alt düzeyde tutmak, işletmelerin güvenilirlik derecesini arttırmak olarak tanımlanabilir.

Bir işletmenin güvenilebilirliğini arttırabilmesi için aşağıdaki politikalarının birkaçını uygulaması gerekir;

1. Bakım onarım ekibinin geniş, kullanılan araç sayısının yüksek tutmak. Makinelerin duruş sürelerini azaltmaktır. Bakım ekibinin araçlarının boşa kalma oranını yükseltmesi.
2. Önleyici bakıma ağırlık verilmesidir. (kestirimci, otonom) Arıza meydana gelmeden gerekli kontrol ve bakım işlemlerini yaparak arıza olma ihtimalini azaltmaktır. Maliyet analizi önemlidir.
3. Yedek üretim kapasitesi bulundurmak.
4. Üretimde oluşacak bir arızada devreye geçirilebilecek makine parçaları bulundurmak.
5. Makinelerin güvenilirlik derecesini arttırmak.
6. Makinelerin yedek parçalarını bulundurmak.
7. İş istasyonları arası yarı mamul stokları bulundurmak.

1.6 Bakım Yönetimi Yaklaşımı Tarihçesi

Dünyada bakım yönetiminin aşamalarını aşağıdaki şekilde verildiği gibi özetlemek mümkündür.



1) Birinci Dönem (Düzeltilici Bakım Dönemi)

İkinci dünya savaşına kadar olan bakım anlayışıdır. Basit bakım faaliyetlerinden oluşur. Yapılan temizleme ve yağlama işlemleridir.

2) İkinci Dönem (Periyodik Bakım)

Tüketim artıyor makineler kompleksleşiyor. Bu sayede değişebilecek arızaların tamir edilmesi gerekiyor. (önleyici bakım)

3) Üçüncü Dönem (Toplam Üretken Bakım)

1960'tan sonradır. Güvenirlilik kavramı önemlidir. Bilgi destekli, kestirimci bakım gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. 1970 yılında Japon Seiichi Nakajima tarafından TPM'in temelleri oluşturulmuş önce Japonya'da sonrasında ise tüm Dünya'da uygulanmasına başlanmıştır. TPM bir bakım yöntemi olmanın çok ötesinde fabrikaları bir bütün olarak en üst düzeyde verimli olarak yönetime hedefli bir bakım yönetim felsefesi olarak düşünmek gerekir. Planlı bakım ile TPM arasındaki temel ayırım "otonom bakım" ile makine operatörlerine de belirli düzeyde bakım sorumluluğu verilmiş olmasıdır.

2. BAKIM YÖNTEMLERİ

2.1.Düzeltilici Bakım

Bir tesis veya donanım durmasına veya üretim kalitesinin sınırlar dışına çıkmasına (yüzey çizikleri) sebep olan arıza nedenlerinin belirlenmesi ve giderilmesinin yollarının bulunmasıdır. Bu şekilde arıza oluştuktan sonra yapılan ve daha büyük arızalara yol açmamak için derhal uygulanan çalışmalardır. Uygulanan bu çalışmalara acil bakım, arıza bakım veya plansız bakımda denilmektedir. İki çeşit bakım vardır.

1. *Planlı onarım:* Arızalardan sonra problemle ilgili hatayı önlemenin daha ekonomik olduğu durumlarda geçerlidir.
2. *Plansız onarım:* Önlenmiş olması gereken hatayı kapsar. Bu tür onarım üretimi riske sokar.

Arıza Bakım: Bu yöntem yüksek maliyeti olmayan çok fazla yedeği bulunan tesis veya atölyelere uygulanan bakım sistemidir.

Bu yöntemin başlıca avantajları ve dezavantajları;

- Makine parçalarının yedeklerinin bulundurulması işletmeye hem sermaye hem de depolama açısından büyük bir yük getirir. Hasarın ne zaman geleceği bilinmeden, gerçek bir üretim planlamasının yapılması mümkün olmamasıdır.

2.2. Önleyici (Koruyucu) Bakım

Tesis ve donanımın belirli bir programa göre arıza olması koşulu aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme ve revizyon yolları ile kullanılabilirlik sürelerinin artırılma çalışmalarıdır. Zaman esaslı çalışmalar olup, planlı bakım olarak da söylenir. Amaç acil bakım ihtiyaçlarını en aza indirmektir. Sürekli üretim için öncelikli arıza ve hataların önlenmesi gerekir. Bu ise uygun ekipmanın kurulması ve doğru çalışması ile makuldür.

Önleyici bakım 3 faaliyeti gerektirir;

1. Kötüye gidişi önlemek için günlük bakım. (temizlik, yağlama, sıkma)
2. Kötüye gidişi önlemek için periyodik muayene ekipman testleri.
3. Kötüye gidişi önlemek için tamir etme.

Önleyici bakım türleri;

Toplam Üretken Bakım (TPM ya da TÜB) felsefesi altında;

1. Periyodik Bakım (belli periyotlarda yapılan)
2. Kestirimci Bakım (titreşim, sıcaklık, gürültü, yağ, vs. analizi sonucu)
3. Otonom Bakım (Beş duyu organı ile fark edilebilen)
4. Güvenirlik Esaslı Bakım (veriler kök analizi ile başlangıç seviyesine inene kadar)

2.2.1 Periyodik Bakım

İmalatçı firmalar ve yapılan incelemeler sonucu belirlenen bir bakım programının periyodik uygulanması, bakım onarımında gerekli onarım, temizleme, yağlama, revizyon gibi faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir.

Periyodik bakımın **amaçları**;

1. Üretim için optimum sayıda ekipmanın hazır duruma getirmek.
2. Makinelerin ömrünü kabul edilebilir duruma getirmek.
3. Makinelerin arızalarını en aza indirmek.
4. Üretim maliyetlerini azaltmak (periyodik bakım planlı ve pahalı bir bakımdır)

Periyodik bakım aşağıdaki **faaliyetleri** içerir;

1. Arızayı önlemek için makine elemanlarının periyodik muayenesi.
2. Arızanın meydana gelme şartı yoktur.
3. Zaman esaslı bakım tekniğidir.
4. Makine ve parça üreticilerinin dokümanları veya kendi deneyimlerimiz kullanılarak yapılan bakım esnasında belirli periyotlar ile muayene veya parça değiştirilmelidir.
5. Periyodik bakımın hazırlanması sırasında ekonomik bakım sıklığının belirlenmesi önemlidir. Bunun için küvet eğrisi ile bakım maliyetleri kavramlarının göz önünde bulundurulması gereklidir.

Periyodik Bakımın **Avantajları**;

1. Ekonomik ölçülebilir ve kontrol edilebilir özelliklere dayandırılır.
2. Verimlilik ve maliyet kontrolü yapmak mümkündür.
3. Daha yüksek maliyetli bakım onarım işlemi elemine edilir.
4. Önceden planlanıp ayrıntılı programlar yapılabilir. Program ve planlama dayalı olarak bakım iş emirleri oluşabilir.
5. Ne yapılacağı önceden bilinebildiğinden gerçeğe yakın maliyet hesaplanması yapılabilir. İş gücü yedek parça ve malzeme ihtiyaçları uygun programlarla karşılanabilir.
6. Yedek parça ihtiyacı azaltılabilir ve daha etkin yedek parça kontrolü yapılabilir.
7. İş güvenliği düzeyi yükselir, sabit kıymetlerin değeri artar.
8. Daha düşük birim maliyet elde edilir.

Periyodik Bakımın **Dezavantajları**;

1. Üretim planlanan periyotlar dışında beklenmeyen arızalardan dolayı durabilir.
2. Bakıma ihtiyacı olsun olmasın makinelerin bakımı periyodik bakım planlaması sebebiyle yapılmak durumunda olacağından belki de gereksiz zaman kaybedilecektir. Bundan dolayı çok sayıda bakım elemanı istihdam edilecektir. Periyodik bakım esnasında belki de ömürleri tamamlanamadan değiştirilmek zorunda kalacaktır. Ayrıca bir parçada oluşacak hasar hesapta olmayan bir parçada hasar oluşturabilir. Birçok yedek parçanın stokta olması gerekir. Bu durum hem yedek parça maliyeti hem de stoklama maliyetini artmış olur.
3. Periyodik bakım sırasında özellikle hassas makinelerin tekrar montaj edilmesi çalışmada hassasiyeti ve ayarını bozabilir. Bu ayarsız süresi içerisinde üretim hatalı düşük olacaktır. Periyodik bakımdan sonra rejim haline gelmesi için bir süre geçecektir.

Küvet Eğrisi

Tüm parça cihaz ve ekipmanın ömrü; çocukluk (alışma), olgunluk ile aşınma ve yıpranma (yaşlılık) devrelerinden oluşur. İlk yıllarında tasarım ve üretim hatalarından kaynaklanır. Bu tür arızaları önlemek için başlangıçta testler yapılarak gerekli önlemler alınmalıdır. Bu tür hataları önlemek için operatörlerin eğitimi önem kazanır.

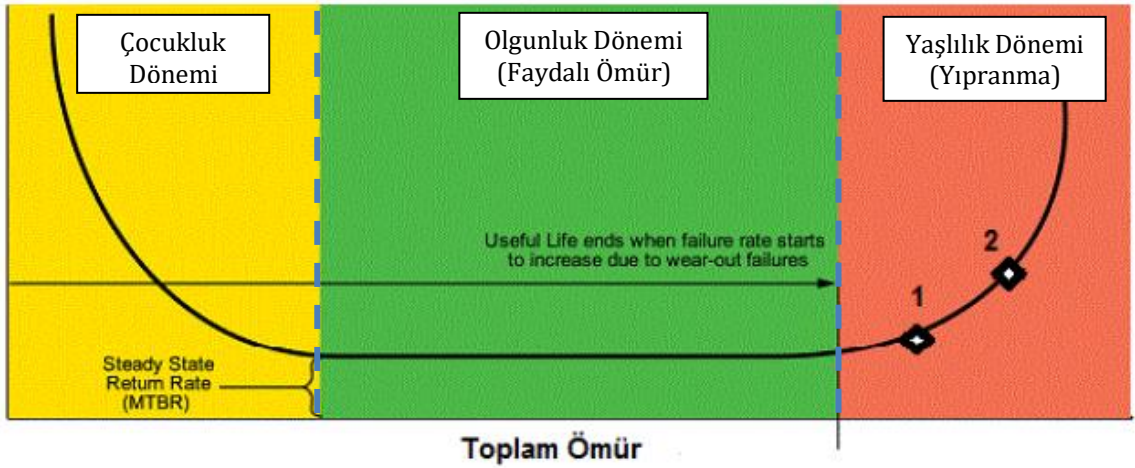
Yaşlılık dönemi arızaları ekipman ve parçaların ömürlerini tamamlamasından kaynaklanır. Bu durumda önleyici bir üretken bakım yöntemi ile arızalar giderilmeye çalışılır.

Ekipman Yaşam Değerlerine Göre Arıza Nedenleri ve Gerekli Önlemler

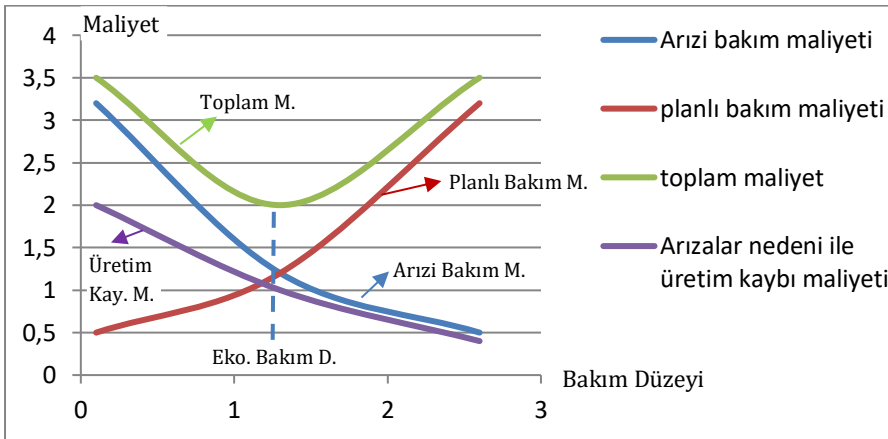
Sınıflandırma	Başlangıç dönemi (çocukluk)	Olgunluk dönemi	Yaşlılık dönemi
Arıza nedenleri	Tasarım, imalat ve operatör hataları	Kullanım hataları	Aşınma, yıpranma ve yorulma
Önlem	Testler ve denemeler	Makine operatörü eğitimi	Önleyici ve üretken bakım yapılmalı

Küvet Eğrisi

Arıza Oranı



Bakım Maliyetleri ve Ekonomik Bakım Düzeyi

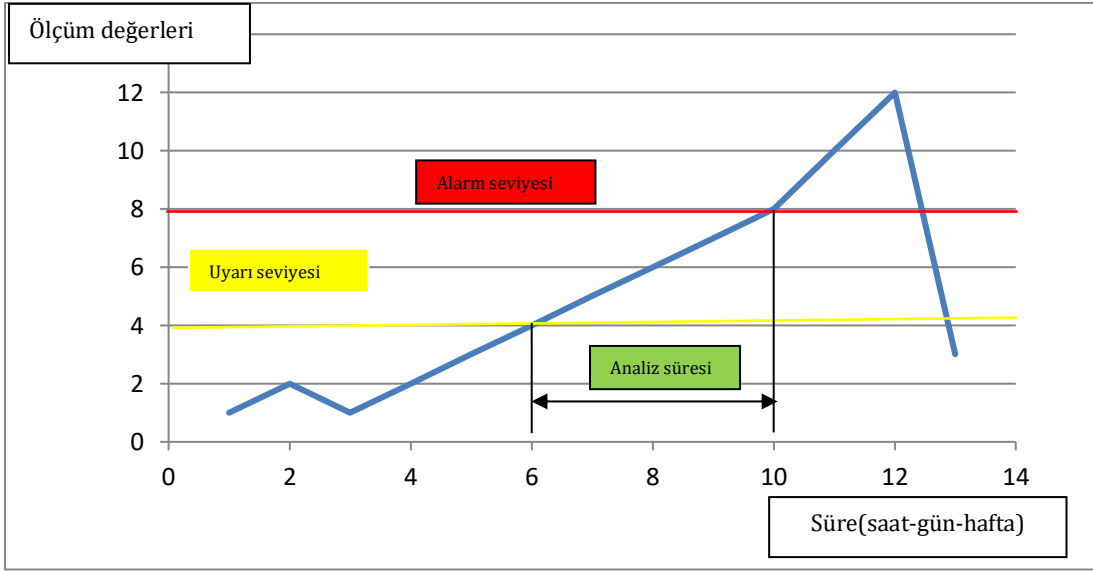


En az toplam maliyete karşılık gelen bakım düzeyi *ekonomik bakım düzeyi* olarak adlandırılır. Ekonomik bakım noktasının belirlenmesinde tüm makine ve donanım bakımı için tek tek yapılan bir analiz söz

konusudur. Bazı tesis ve donanımlarda arızı bakım, bazılarında periyodik bakım, bazılarında kestirimci bakım kullanılabilir. Sorun iş emniyeti, ekonomiklik, kullanılabilirlik düzeylerin içinde olan karmaşık bir yapıdır. Arızı bakım maliyeti ile periyodik bakım maliyetleri birbirilerine göre bakım düzey açısından farklı yapılardır. Çünkü bakım düzeyinin arttırılması yani muayene, yenileme, ayarlama şeklinde yapılan faaliyetlerin yapılması planlı bakım maliyetlerini arttırırken arızı bakım maliyetlerini azaltacaktır.

2.2.2. Kestirimci Bakım

Bu bakım sisteminin ana prensibi makinelerin performansını inceleyerek ve çeşitli ölçüm cihazları kullanılarak elde edilen bilgilerle ne zaman bakımın gerekli olacağına karar verilmesidir. Kısa süre üretime ara verilerek çıkması muhtemel arızaları önceden onarmaktır. Kestirimci bakım aşamaları kestirimci bakım yapılan makine ve ekipmanın normal (sağlıklı) koşullarda çalışma dataları esas alınarak çeşitli periyotlarda ölçüm ve kontrol ile izlenmesi, elde edilen ölçüm ve kontrol sonuçlarının değerlendirilerek bir arızanın oluşabilme ihtimalinin olup olmadığının belirlenmesi, böyle bir olasılık var ise gerekli bakım-onarım faaliyetlerinin uygun bir zamanda yapılmak üzere planlanarak gerçekleştirilmesidir.



Kestirimci bakım 4 aşamalıdır;

- 1) Ölçme ve Kontrol
- 2) Analiz ve Değerlendirme
- 3) Bakım Planlama
- 4) Bakım Onarım

Ölçme Kontrol

Gerek ölçme gerekse kaydetme işi 3 farklı şekilde yapılır;

1. Manuel Sistem: ölçme ve kontrol göz, el veya cihazlar ile yapıldıktan sonra sonuçlar önceden hazırlanmış bir form üzerine işlenir.
2. Taşınabilir Cihazlı Sistemler: ölçümü gerçekleştirilen cihaz ölçüm sonuçları kendi belleğine kaydeder. Ölçüm bir cihazla yapıldıktan sonra sonuçlar bir bilgisayara taşınarak değerlendirme orada yapılır.
3. Sensorlu Ölçümler: Sabit sensorler ölçüm noktalarına yerleştirilir. Işıklı veya sesli uyarıcı sistemler ile gerekli mesajlar kullanıcıya aktarılır. Ölçme ve kontroller genelde makine durdurulmadan veya çok kısa durdurmalar ile yapılır.

Kestirimci bakımda arıza oluşma olasılığını ortaya çıkarabilmek için birçok parametre vardır. Bunlardan en önemlileri titreşim, sıcaklık, gürültü, yağ analizi, mutlak akım analizi ve darbe analizidir.

Titreşim (vibrasyon) ölçümü ile tespit edilecek arızalar;

- Balanssızlık, merkez kaçıklığı, kaplin ayarsızlığı, aşınmış veya hasarlı dişliler, bozuk rulmanlar, gevşeklikler, elektrik motor arızaları, kayış arızaları ve bozuk zincirler gibi birçok arıza tespit edilebilir.

Kestirimci Bakım Uygulamasında İzlenecek Yöntemler

Dönen makinelerin sağlığı ve en önemli bilgi analizi titreşim analizi ile elde edilir. Bu yüzden kestirimci bakımda ana ölçüm parametresi titreşimdir.

1. İşletmede kestirimci bakım kapsamında izlenmesi uygun olan makinelerin listelenmesi ve kritiklik derecelendirilmesi.
2. Makinelerin işletme yerleştirilmesinin göre krokisinin çizilmesi.
3. Her makine için ölçüm noktası ve ölçüm yönü belirlenmesidir. Ölçüm yapılacak noktalar makine üzerinde işaret koyulmalıdır.
4. Her ölçüm yeri için geçerli olan alarm uyarı ve arıza belirlenmelidir.
5. Her makinenin basit bir çiziminin yapılması ve özelliklerinin belirlenmesi.
6. Her makinenin temel ölçüm değerleri alınmalıdır.
7. Ölçümler için zaman aralıkları belirlenmelidir.
8. Makineler isimlendirilmeli ve kodlanmalıdır.
9. Ölçüm turlarının organizasyonu yapılmalı.
10. Uygulamayı yapacak elemanın eğitilmesi.

Örnek:

Arıza çıktıkça bakımın yapılması

Arıza sayısı: 6

Her bir makinenin arıza onarım maliyeti: 17.200 TL

Toplam onarım maliyeti: $17.200 \text{ TL} \times 6 = 103.200 \text{ TL}$

Periyodik Bakım

Herbir makinenin arıza onarım maliyeti: 2.150 TL

Toplam maliyet: $2.150 \text{ TL} \times 6 = 12.900 \text{ TL}$

Kestirimci Bakım

Giriş çıkış basıncı ölçümü: 50 PSI

Kestirimci bakım sayısı: 7

Bakım maliyeti: 1.250 TL

Toplam maliyet: $1.250 \text{ TL} \times 7 = 8.750 \text{ TL}$

Görüldüğü gibi kestirimci bakım yaklaşımı ekonomik çözüm vermektedir. Önemli olan bakım sisteminin en iyi şekilde tasarlanarak ve uygulanarak arıza olmadan bakımın yapılmasıdır.

3. TİTREŞİM ANALİZİ

Enerjinin bir miktarı makinanın titreşmesi için harcanmaktadır. Titreşimi azaltmak, enerji tasarrufu yapılmasını sağlayacaktır. Titreşim (Vibrasyon) Analizi her işletmede uygulanması zorunlu bir teknolojidir. Titreşim mühendisliği bu noktada devreye girer ve bilimsel, teknolojik gelişmelerden yararlanılmasını sağlar.

Titreşim Kaynakları;

- İmalat toleransları ve boşluklar ile çalışma esnasında temas eden hareketli makina parçaları arasında oluşan boşlukların dinamik etkileri
- Dönen ve dalgalı hareket yapan elemanlardaki kuvvet dengesizliği

İki farklı amaç için titreşim analizi kullanılabilir;

1. Arıza tespit amaçlı analiz (Spektrum Analizi)
2. Malzeme özelliklerini tayin amaçlı analiz (Modal Analiz)
3. Büyük ebatlı konstrüksiyonlarda iç gerilmeleri gidermek için.

Titreşim Analizi ile Erken Tespit Edilebilecek Bazı Genel Mekanik Arızalar

- Balanssızlık
- Kaplin ayarsızlığı veya ayarın bozulması
- Mekanik gevşeklik
- Yatak problemleri
- Yağlama problemleri
- Elektriksel problemler, manyetik alan bozukluğu
- Rezonans
- Dişli problemleri

3.1. Titreşimle İlgili Terimler

Titreşim: Bir sistemin denge konumu civarında yapmış olduğu salınım hareketine titreşim denir.

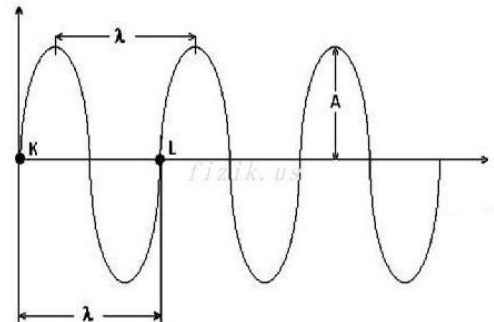
Eğer yapılan salınım hareketi T saniyede kendini tekrar ediyorsa böyle hareketlere **periyodik hareket** denir. En basit periyodik hareket **harmonik hareket** adını alır.

Arızalar kendini tekrar eden (periyodik işaretler) oluştururlar. Bu periyodik sinyaller kendi içlerinde harmoniklere ayırarak, detaylandırılır. Harmonik sinyali bir sinüs eğrisi şeklinde yalınlaştırılabilir. Bu eğriden elde edilebilecek bilgi hareketin periyodu ve genliğidir.

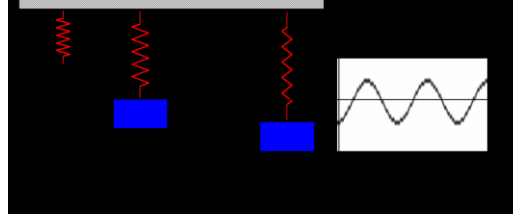
a)Periyot: Hareketin kendisini tekrar ettiği zaman aralığı (T)

b)Salınım: Periyodik titreşimin bir periyotluk bölümü.

c)Frekans: Birim zamandaki salınım sayısıdır. Salınım/saniye şeklinde ifade edilen frekans birimi *Hertz (Hz) olarak bilinir.*



Serbest Titreşim: Bir sistemin üzerinde hiç bir kuvvet yokken, sadece başlangıçta uygulanan bir kuvvet veya hareket nedeniyle yaptığı titreşimlerdir.



Periyodik Titreşim: Kendisini belirli bir zaman sonra tekrar eden titreşim şekli.

Harmonik Titreşim: Bir sinüs dalgası şeklinde değişen titreşim hareketidir.

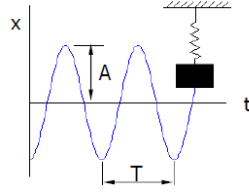
x =Yerdeğiştirme (m,rad)

A =Genlik (m,rad)

t =Zaman (s)

T =Periyot (s)

$$x=A \sin 2\pi \frac{t}{T}$$



Titreşim Genliği: Harmonik titreşimde, hareketin ortalama değerden en fazla ayrıldığı miktardır.

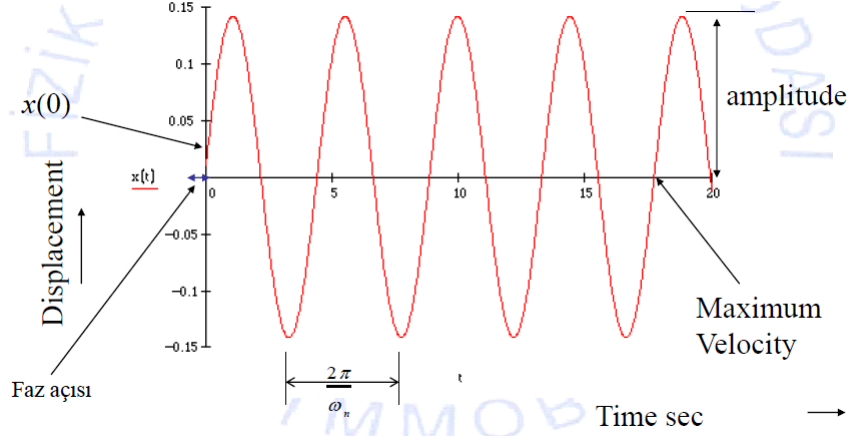
Titreşim Genliği 3 farklı şekilde ifade edilir.

1. **Peak to Peak (P-P)**(İki tepe arasındaki uzaklık): Kütlenin titreşim esnasında ulaştığı iki uç nokta arasındaki uzaklıktır. Değeri $2a$ 'dır.
2. **Zero to Peak (0-P)**: Denge konumu ile tepe noktası arasındaki uzaklıktır. Değeri a 'dır.
3. **RMS (Root mean square)**(Kareler toplamının karekökü): Titreşimin efektif değeridir. Elinizi titreşim yapan makina üzerine koyduğunuzda hissettiğiniz titreşim seviyesidir. Basit harmonik harekette 0-P değerinin 0.7071 katıdır.

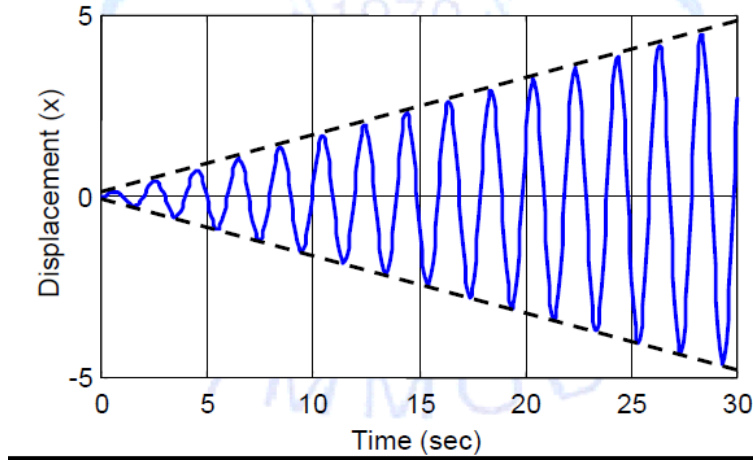
Titreşimin (yer değiştirme, hız, ivme cinsinden) RMS değeri: Belirli bir zaman aralığında ölçülen titreşim değerlerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür.

$$RMS = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

Tepe Değer: Verilen bir zaman aralığındaki en yüksek titreşim değeri



Tabii (Doğal) Frekans: Sistemin serbest titreşiminin frekansına denir. Sistemin tabii frekansını tamamen sistemin kendi parametreleri belirler.



3.1.1. Titreşimin Sınıflandırılması

1. Sönümsüz ve sönümlü titreşimler: Eğer sistemde sürtünme veya benzeri dirençler sebebi ile enerji kaybı ve sönümüne sebep olacak bir etki yok ise titreşim problemi **sönümsüz (undamped)** olarak adlandırılır. Eğer sistemde sönüm mevcut ise sistem **sönümlü (damped)** olarak adlandırılır. Titreşim problemlerini incelerken sönüm ihmal edilerek çözüm basitleştirilebilir, fakat sönüm etkileri özellikle rezonans durumu için oldukça önemlidir.

2. Serbest ve zorlanmış titreşimler: Eğer sistem ilk şartlar neticesinde titreşiyor ise ($t > 0$ için sisteme etki eden dış zorlama yok) sistem titreşimlerine **serbest titreşim** adı verilir. Eğer sistem dış zorlama etkisi ile titreşiyor ise oluşan titreşimlere **zorlanmış titreşim** adı verilir.

3. Lineer ve lineer olmayan (nonlinear) titreşimler: Eğer titreşim yapan sistemin tüm bileşenleri doğrusal (linear) davranışa sahip ise oluşan titreşimlere lineer titreşim adı verilir. Eğer sistem elemanlarından herhangi biri doğrusal olmayan davranışa sahip ise oluşan titreşimlere lineer olmayan (nonlinear) titreşim adı verilir. Bu tip sistemlerin hareketini ifade eden diferansiyel denklemler lineer olmayan formdadır. Birçok titreşim sistemi, büyük titreşim genlikleri için lineer olmayan davranışa sahiptir.

Zorlanmış Titreşim: Dış kuvvetlerin etkisi altında olan sistemin titreşimidir.

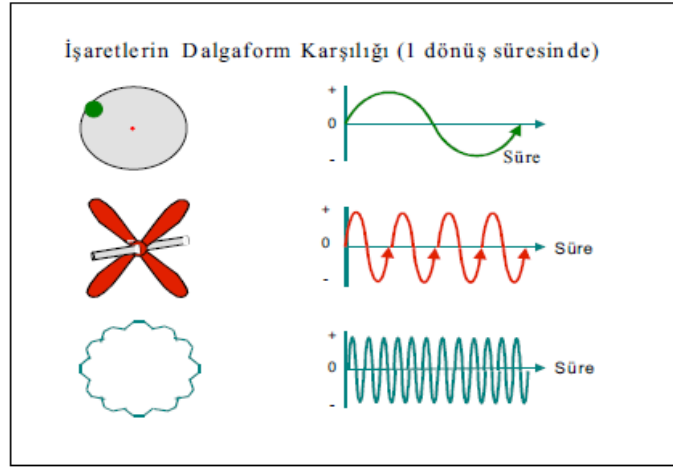
- Kararlı Titreşim (Deterministik)
- Random Titreşim

Rezonans Durumu: Zorlama frekansı ile sistemin doğal frekansının eşit olduğu durumdur. Bu gerçekleştiğinde, sistemin titreşim genliği matematiksel olarak sonsuza gider. Fiziksel olarak ise sistemde büyük hasarlara neden olabilir.

Random (Gelişigüzel) Titreşim: Gelişigüzel titreşimlerin harmonik salınımlar gibi belirli bir frekansı ve genliği yoktur. Dolayısıyla bu titreşimlere bakarak titreşime sebep olan kuvvet hakkında fikir yürütmek imkânsızdır. Hâlbuki bizim titreşim analizi ile arızaları teşhis edebilmemiz için, bu titreşimlerin frekanslarını bilmemiz gerekir. İşte bu işlem için Fourier Dönüşümünü kullanıyoruz.

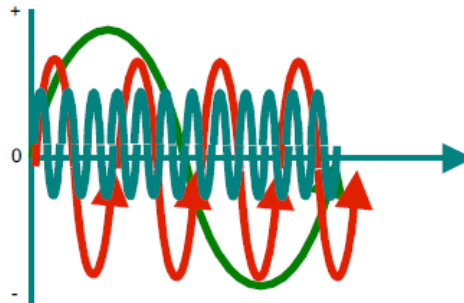
3.1.2. Titreşim Dalga Formları

Dalga formu grafiği, analiz cihazı üzerinde set edilen frekans aralığındaki toplam titreşimin zaman eksenindeki titreşimi görüntüler. Yatay eksen zamandır birimi saniyedir. Dikey eksen ise genliktir. Ayrıca kendi kendine düzelemeyeceğinden sürekli milin her dönüşünde kendini tekrarlar. Bu nedenle her periyottaki desen birbirini andırmalıdır. Eğer böyle bir andırma yok ise titreşime neden olan sebep makineden değil, çevredeki başka nedenlerden dolayıdır.



Üç fiziksel olayın dalga formu

Gerçek hayatta alınan ölçüm, bu harmonik sinyallerin toplamı, periyodik sinyal olacaktır. Tek bir seferde toplanmış dalga formlarıdır.



Fourier Dönüşümü

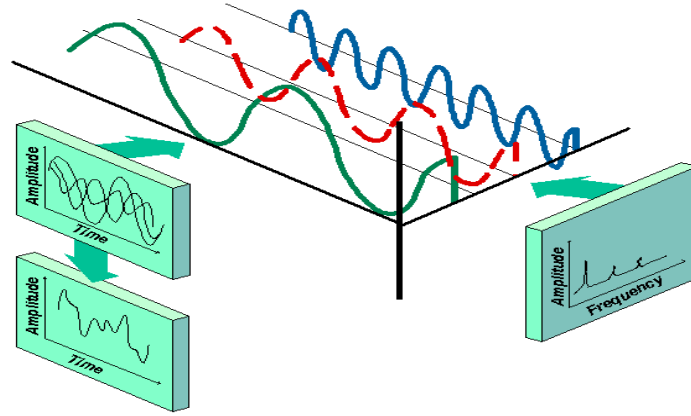
İki kütlenin yay sabitleri ve kütleleri farklıdır. Bu nedenle eğer her iki kütleyi de eşit miktarda çekip serbest olarak salınım yapmaya bırakırsak, her ikisi de farklı frekans ve genlikte titreşim yapacaktır. Olaya matematik yönünden bakacak olursak frekansları ve genlikleri farklı iki sinüzoidal eğriyi topladığımızda, sinüzoidal olmayan üçüncü bir eğri elde ederiz.

O halde eğer elimizde bu şekilde bir eğri varsa bu toplama işleminin tersini uygulayarak, bu düzensiz eğriyi düzgün sinüzoidaller halinde yazabiliriz.

Bir Periyodik fonksiyonu oluşturan harmonik fonksiyonları ayırım metotuna FFT, **Hızlı Fourier Çevirimi** denir.

Bu çevirim sonucu belirlenen harmonik sinyallerin, Frekans ekseninde dizildiği grafik **FFT Spektrum grafiği** olarak anılır.

Fourier Serisi: Periyodik bir sinyali meydana getiren, basit harmonik sinyallerin oluşturduğu seridir. Bu çevrim sonucu belirlenen harmonik sinyallerin, frekans ekseninde dizildiği FFT spektrum grafiği olarak alınır.



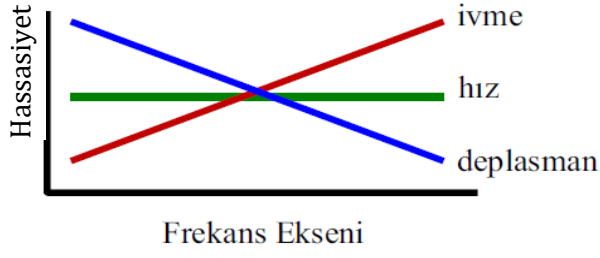
Titreşimin 3 İfade Yöntemi

Deplasman: Titreşen bir nokta sabit duruma göre iki maksimum değer arasında hareket etmektedir. Bu noktanın yer değiştirme miktarına **deplasman** denir. Birimi μm veya mils'dir.

Hız: Titreşen noktanın yer değiştirme hızına **vibrasyonun hızı** denir. Birimi inç/sn veya mm/s'dir.

İvme: Vibrasyon hızının zamana göre değişimidir. Birimi inç/s² veya mm/s²'dir.

Titreşim karakteristikleri ekipmanın çalışır durumdaki kondisyonunu ve mekanik problemlerin ortaya çıkarılmasında en önemli faktörleri teşkil ederler. Bunlar titreşimin frekansı ve genliğidir. Değişik problemler, değişik frekanslarda ortaya çıktığından, frekansın analizi olayın da analizidir. Frekansın birimi CPM (cycle per minute) veya Hz'dir. Genliğin belirlenmesi ise deplasman, hız veya ivme konumunda olur.

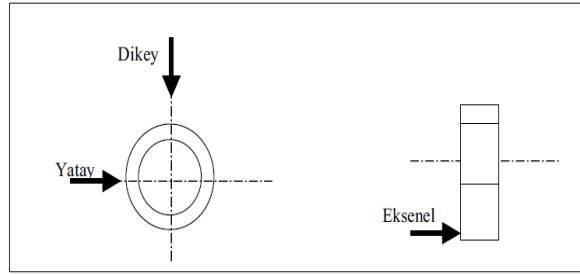


Frekans Eksenine Göre Birim Hassasiyet;

Arızaların beklenmesinde önerilen genlik birimi hızdır. Hız birimli ölçümler hem düşük frekanslarda oluşan hem de yüksek frekanslarda oluşan sinyalleri optimum görüntüler.

3.1.3. Titreşim Ölçüm Yöntemleri

Makine arızalarının periyodik izlenmesinde rulman yataklarından ölçüm alınır. Eğer ölçüm alınacak yatak uygun değilse rulmana en yakın yerden ölçüm alınır.



Radyal ölçümler milin ekseninin görecek şekilde alınır.

Radyal Ölçümler:--- Mile Dik Yatay

Eksenel Ölçümler: Mile paralel yapılır

---Mile Dik Dikey

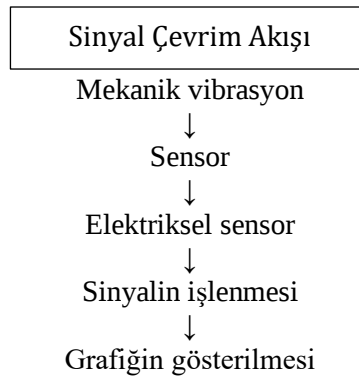
Titreşim Ölçüm Cihazından İstenilenler:

---Titreşimlerin ölçülmesi

---Titreşimlerin kayıt ve analiz edilmesi

---Titreşimlerin değerlendirilmesi

Titreşim elektriksel sinyale çeviren bir sensor, bu sinyali algılayacak sinyal iletme özelliğine sahip bir cihaz gereklidir. Analiz için, cihaz üzerinde FFT hızlı Fourier çevrim özelliği bulunmaktadır.

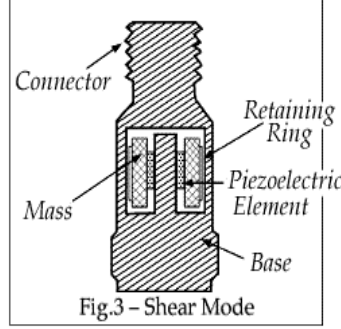


Titreşim Sensor Tipleri

-Proximity Tipi; Deplasman birimi ile ölçüm alır.

-Sismik hız sensorleri

-**Akselerometre;** ivme birimli ölçüm alır. Günümüzün en gelişmiş ve yaygın kullanılan titreşim ölçme sensorleridir. Titreşim hareketin ivmesi elektrik sinyaline dönüşür. Sensor içindeki piezo kristalin kesme kuvveti sonucu oluşturduğu tepki izlenerek titreşim modellenir. Sensor içinde hareketli parça yoktur.

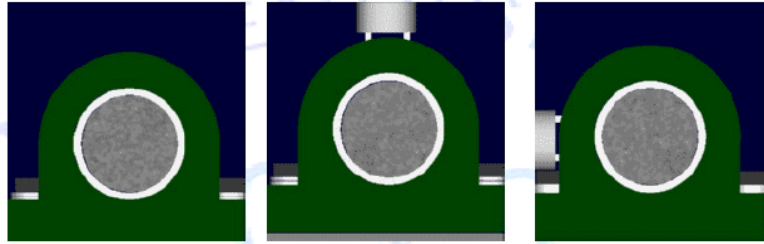


Kesme modu tipi akselerometre.
(Günümüzün en gelişmiş akselerometre tipi)

Piezo-electric kristaller herhangi bir kuvvet etkisi altında akım üretirler. Bir piezo-electric ivme ölçerde; bir kütle piezo malzemeye bağlı olup, titreşim sonucu oluşan atalet kuvvetleri ($F=ma$) piezo da titreşime hareketine orantılı akım üretilmesine sebep olur. Ön bir devre kullanılarak Akım (Charge, Pico-coulombs /g) çıkış düşük empedanslı Voltaj çıkışa (IEPE accelerometer, mV/g) çevrilebilir. 2 ila 20 miliamperlik çalışma akımına ihtiyacı vardır.

İvme Ölçerler Gerçekte Neyi Ölçerler?

- Gerçek Yatak Hareketi:Eliptik
- Düşey yönde montaj edilmiş transducer“Sadece Düşey hareketleri Ölçebilir”
- Yatay yönde montaj edilmiş transducer“Sadece Yatay hareketleri Ölçebilir”



Sensor Bağlama Tipleri

1- *Saplama ile Montaj:* Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Frekans aralığı en yüksek metottur. Sensor bir saplama ile ölçüm yüzeyine sabitlenir.

2- *Yapıştırarak Montaj:* Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Yapıştırıcı ile ölçüm noktasına yapıştırılır.

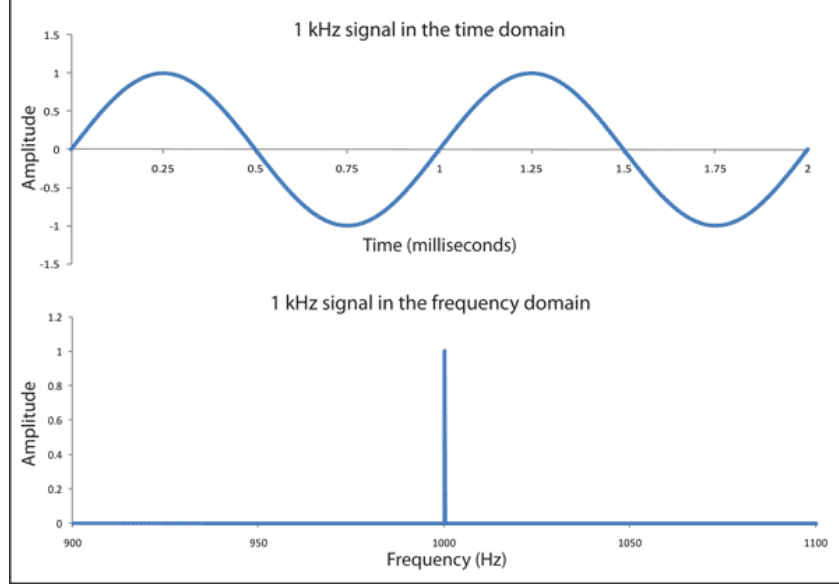
3- *El ile Dokundurma:*

- Sensor el ile ölçüm noktasına dokundurulur.
- Uygulamada, sensor ucuna 5 cm uzatma çubuğu takılı olabilir. Kimi zaman bu çubuğun boyunun 30 cm'e kadar uzatıldığı görülür.
- Nedeni, erişilemeyen yerlere uzaktan dokunarak ölçüm almaktır. Frekans ölçüm aralığı duyarlılığı bu metotta azalır.

3.1.4. Titreşim Sinyal Görüntüleme

1-Time-Domain (Zaman-Alan)

2-Frequency Domain (Frekans-Alan)



1-Time- Domain Grafiği: Zaman-alanı olarak da isimlendirilen bu grafik gösterim şeklinde alınan vibrasyon ve akustik sinyalleri tam zamanlı olarak gerçek değerleri ile görüntülenmiştir. Birimler SI birim sistemine göre ivme: m/s^2 ve zaman: s'dir.

2- Frequency Domain Grafiği: Frekans-alanı olarak tanımlanan bu grafik sisteminde ise Joseph Fourier tarafından geliştirilen aynı büyüklükteki tekrar eden sinyallerin zamandan bağımsız olarak frekans düzleminde yerlerinin belirtilmesi esasına dayanan Fourier dönüşümü (FFT) kullanılmıştır. Birimler SI birim sistemine göre ivme: m/s^2 ve frekans: Hz'dir.

3.2. Temel Mekanik Arızalar

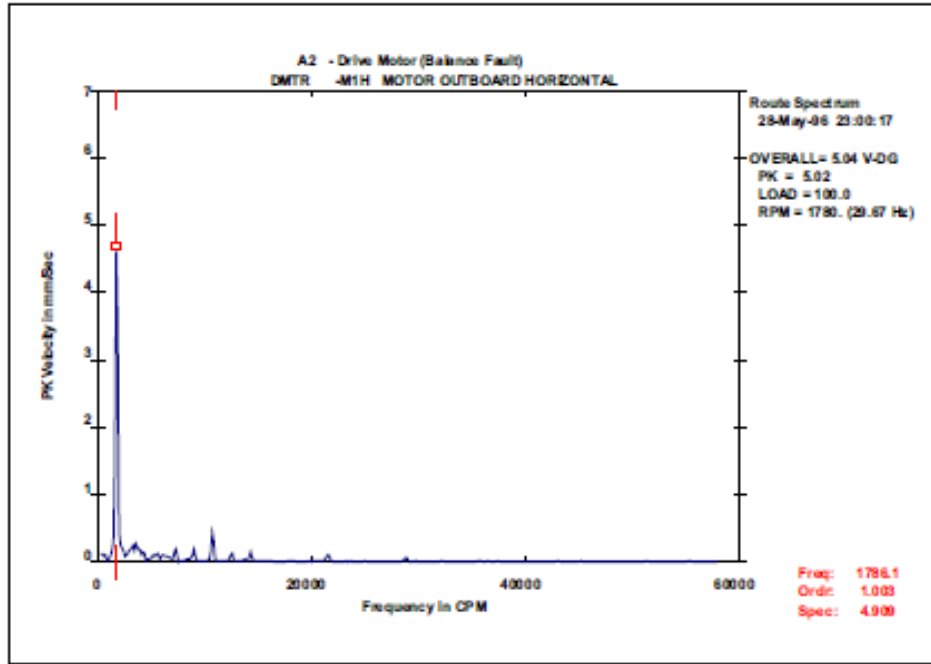
3.2.1. Balanssızlık

Spektrumlarda;

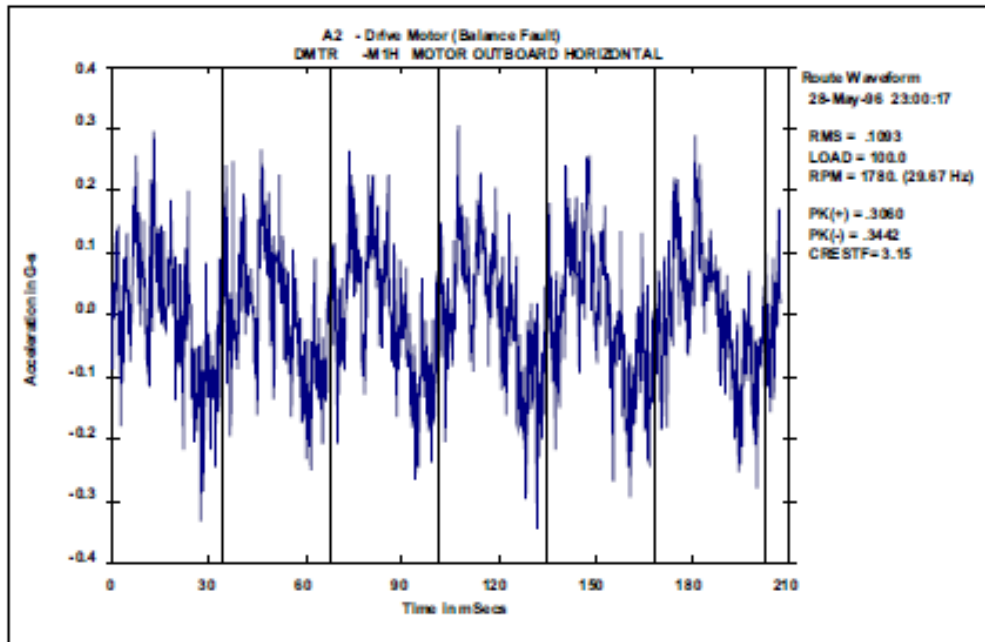
- ✓ Radyal ölçümlerde, 1xRPM frekansında baskın, sabit değişmeyen,
- ✓ kökünde şişme olmayan tepecik.

Dalga Formunda;

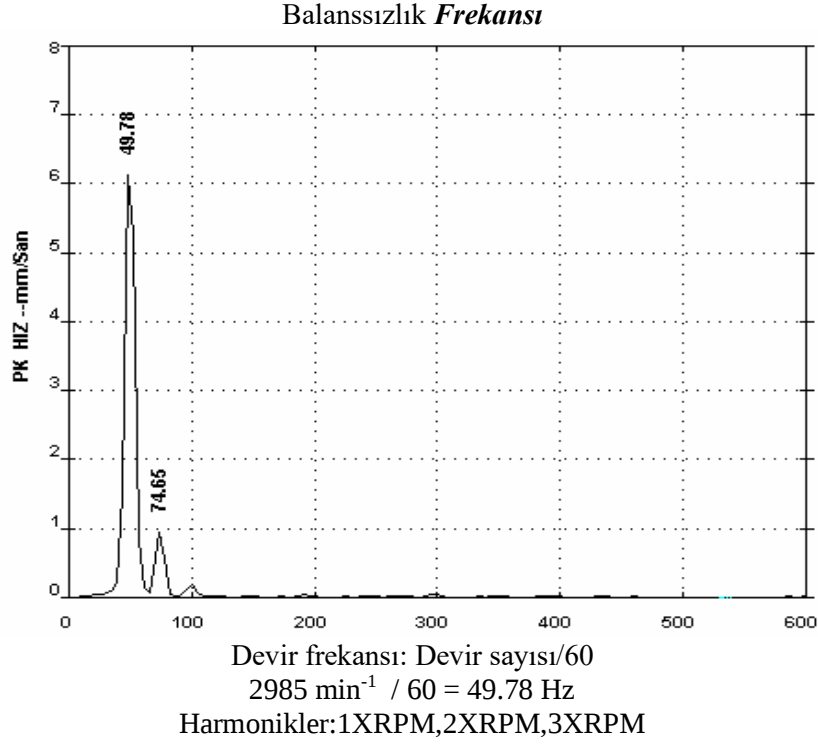
- ✓ 1xRPM periyodunda dönüş deseni, genelde başka arızaların türevi olarak ortaya çıkar.



Balanssızlık Spektrum Grafiği



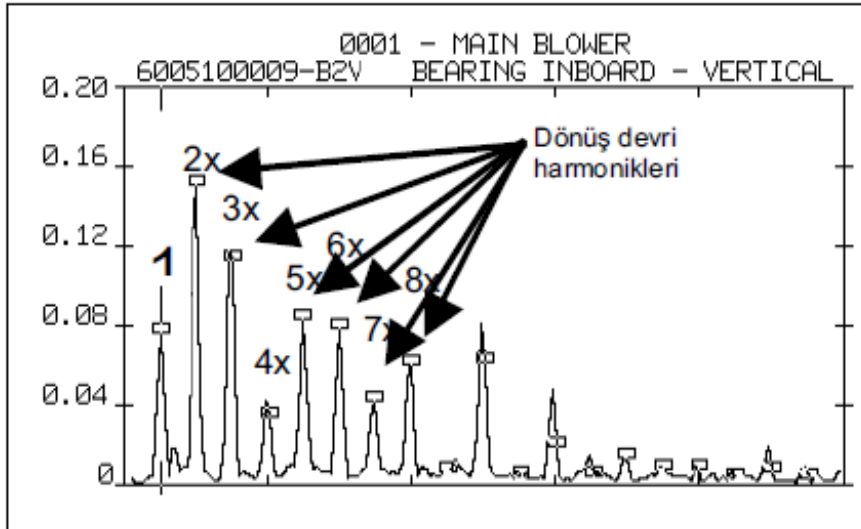
Balanssızlık Dalga form Grafiği



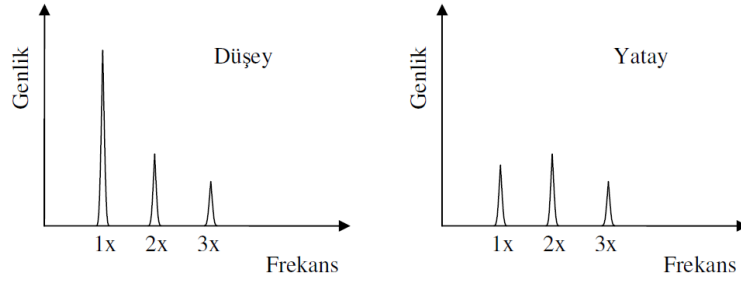
3.3.2. Mekanik Gevşeklik

Spektrumlarda;

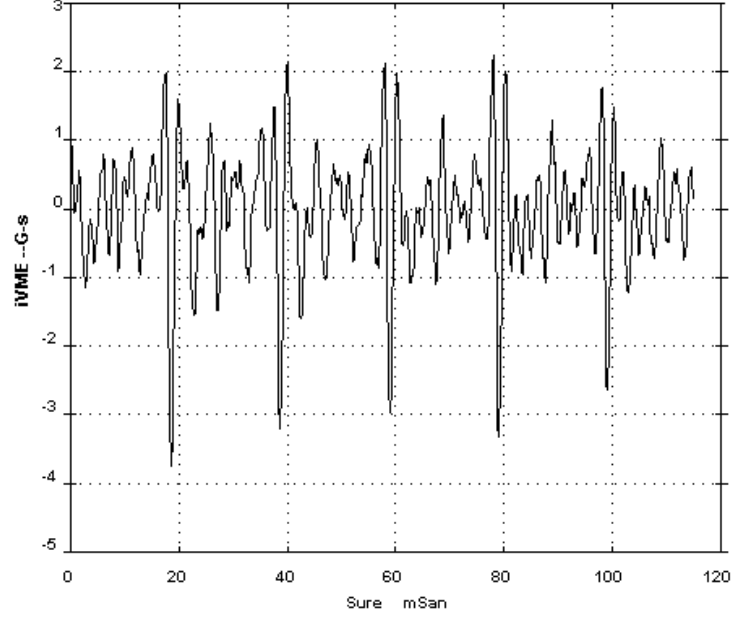
- ✓ Yapı bağlantılarında çözümler/gevşemeler; dönüş devri katlarında 8xRPM frekansına kadar harmonikler üretir.
- ✓ Dönen kısımdaki çözümler; 0.5xRPM harmoniklerinde göreceli olarak düşük tepcikler oluşturur.
- ✓ Rulman iç bilezik dönmesi buna bir örnektir. Kendini 0.5xRPM frekansında gösterir.
- ✓ Her durdur kaldır da farklı genlik alınır.



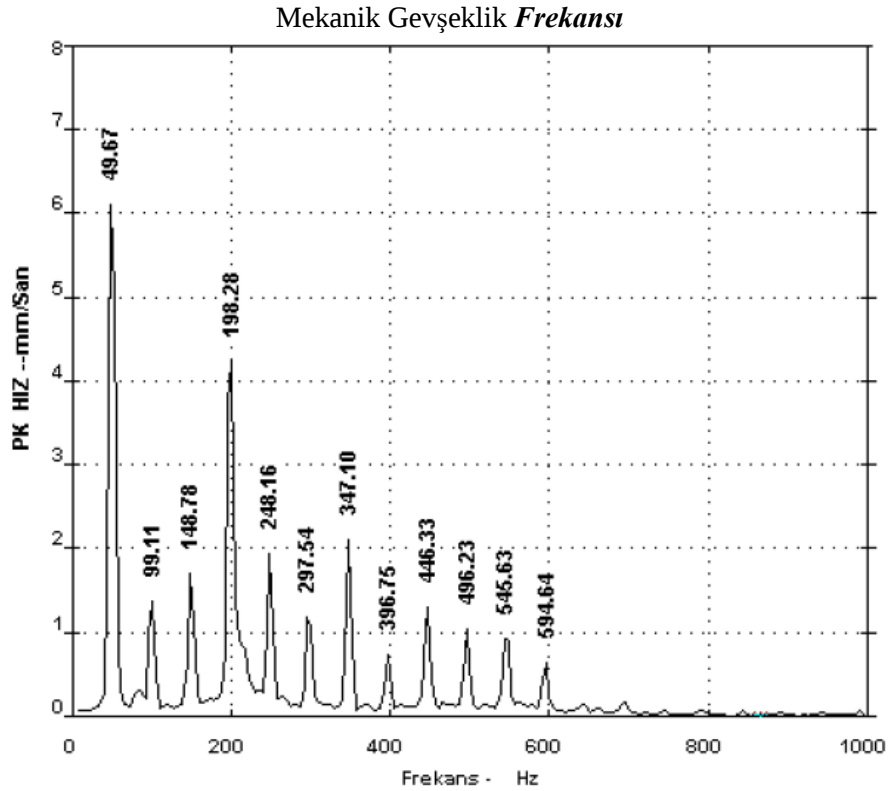
Mekanik Gevşeklik Spektrum Grafiği



Mekanik Gevşeklik Yatay ve Dikey Ölçüm Spektrum Görünümleri



Mekanik Gevşeklik Dalga form Grafiği



$$2975/60 = 49.58 \text{ Hz}$$

3.2.3. Kaplin Ayarsızlığı

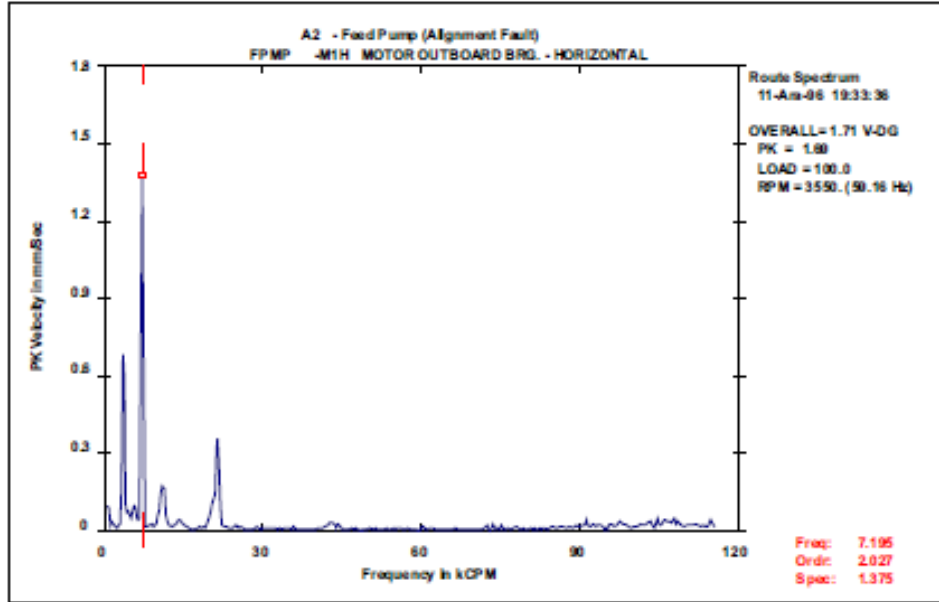
Eksen kaçıklığı, kasıntı adları ile de anılmaktadır.

Spektrumda:

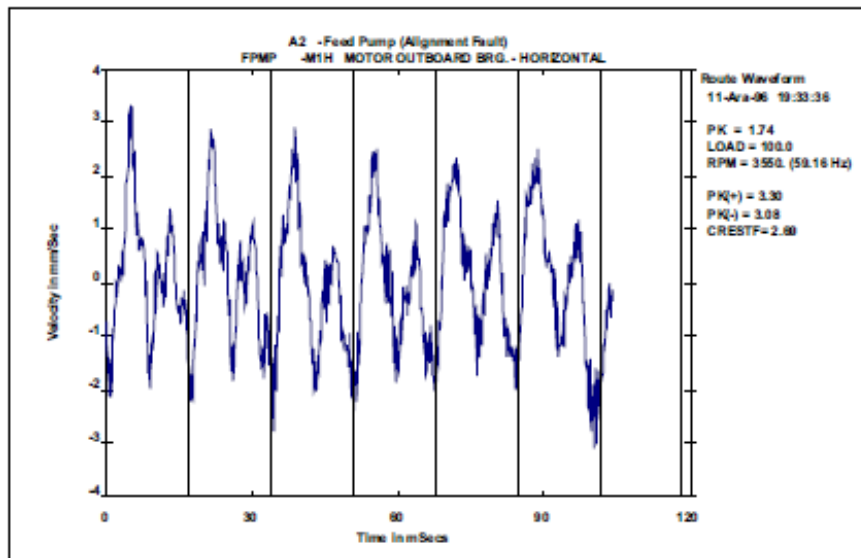
- ✓ Radyal alınan ölçümlerde, 1x 2x 3x RPM frekansında tepecikler.
2x ya da 3x RPM frekansındaki tepecik,
1xRPM frekansı tepeciğin yarısını geçmelidir.

Dalga formunda:

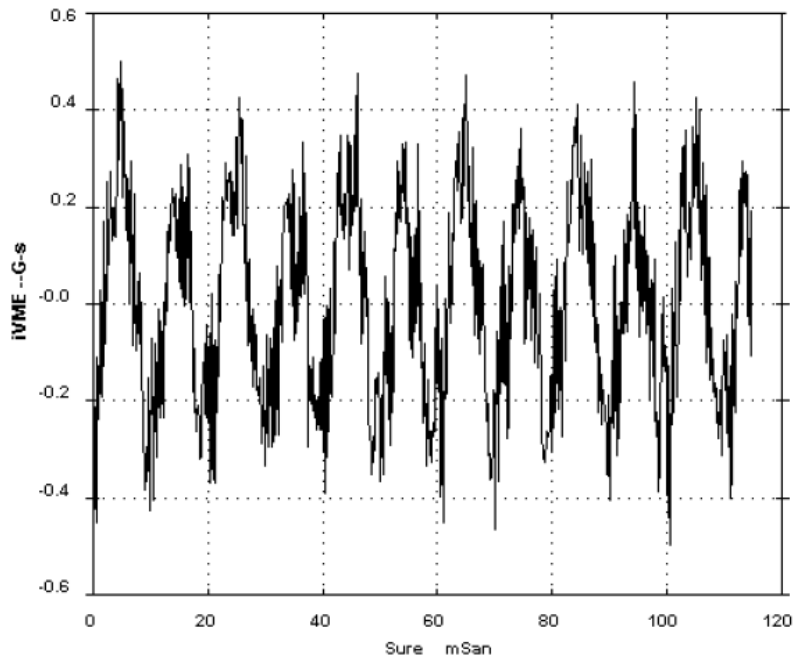
- ✓ 1xRPM periyodunda deve hörgücü deseni
- ✓ Hatalı rulman montajı, eğik şaft, yalpalı montaj, milde çatlak, makina üzerindeki gerilmeler, topal ayak gibi sorunlar benzer işaretleri verir.



Kaplin Ayarsızlığı Spektrum Kaçıklığı

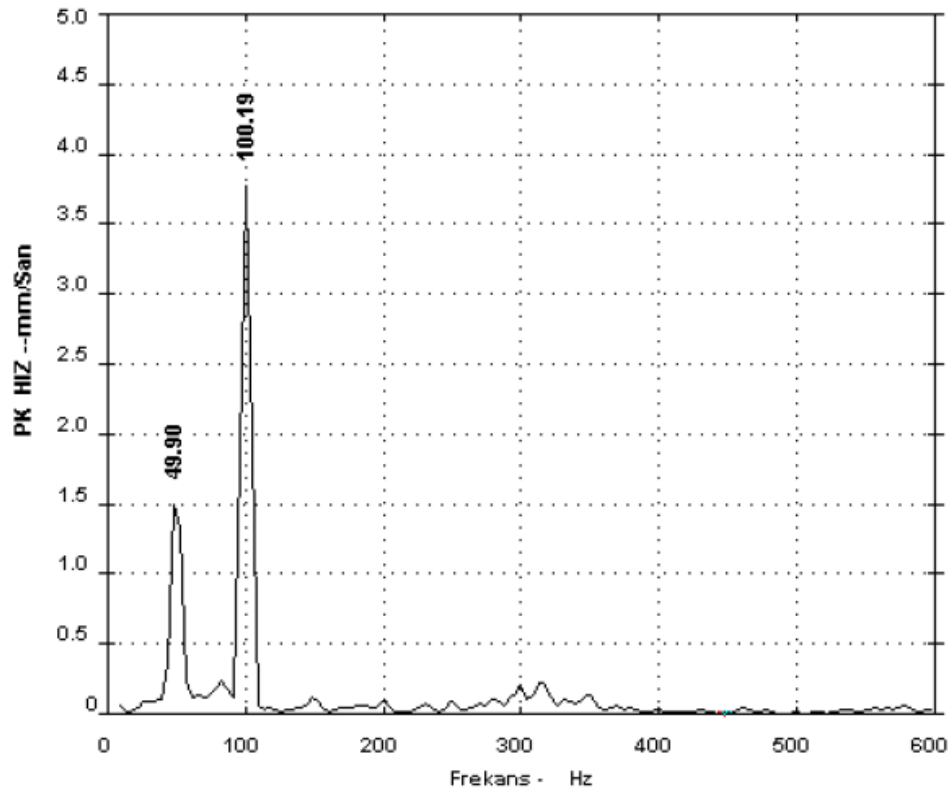


Kaplin Ayarsızlığı Dalga form Grafiği-1



Kaplin Ayarsızlığı Dalga form Grafiği- 2

Kaplin Ayarsızlığı *Frekans*



$$2900/60 = 48,33 \text{ Hz}$$

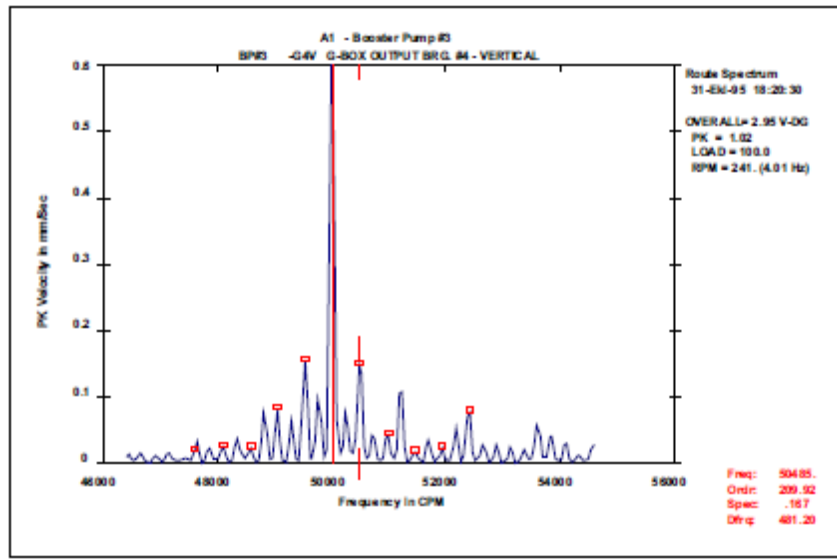
3.2.4. Dişli Arızaları

Spektrumda:

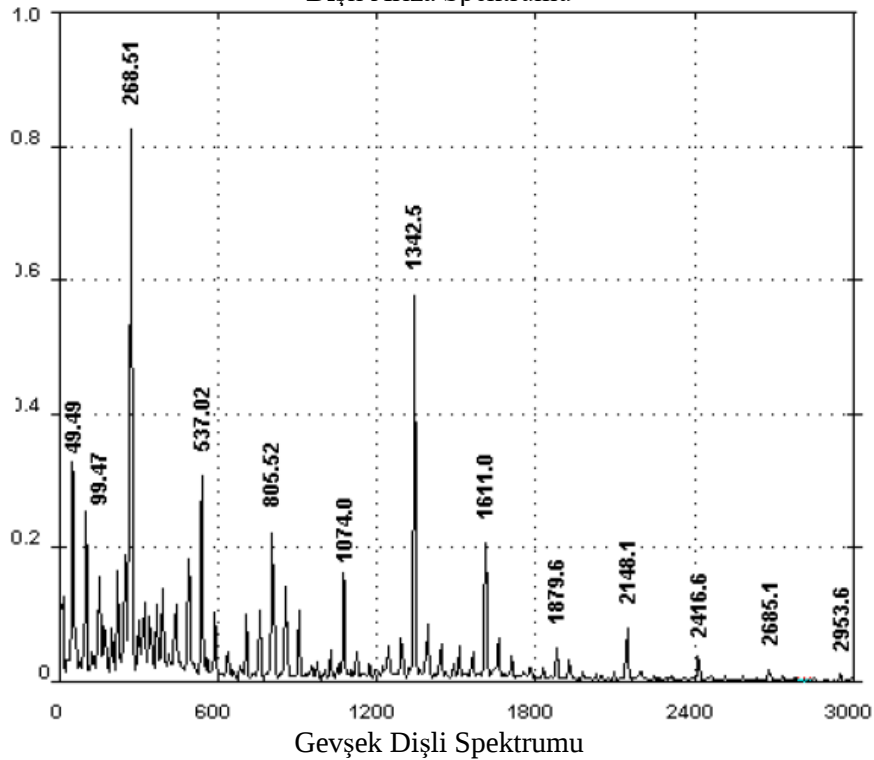
- ✓ $GMF = \text{Diş Sayısı} \times \text{RPM} = \text{Dişli Kavrama frekansında tepecikler görülür.}$
- ✓ GMF Harmoniklerinin olması, hatalı dişli ayarını, GMF etrafında yan bantların olması kırık dişten kaynaklanabilecek sorunu gösterir.

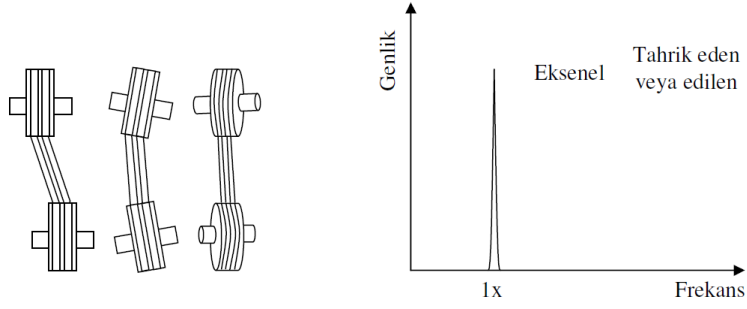
Dalga formunda:

- ✓ Genlik modülasyonu görülür.
- ✓ Dişli gruplarında, hangi dişli çark üzerinde kırık varise, o çarkın dönüş devri frekansı, GMF frekansını etrafında yan bant olarak görünür.

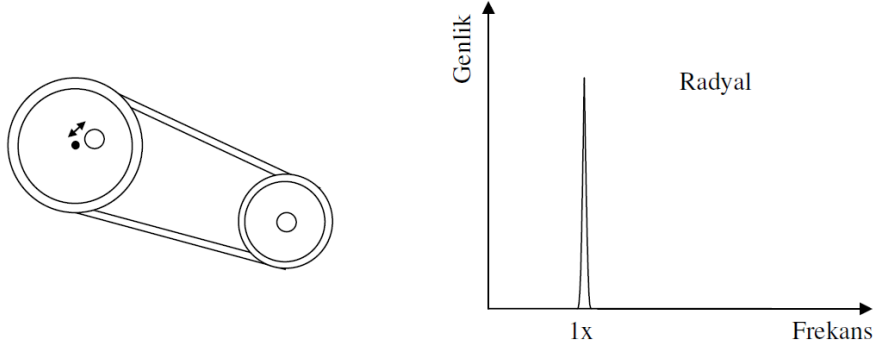


Dişli Arıza Spektrumu

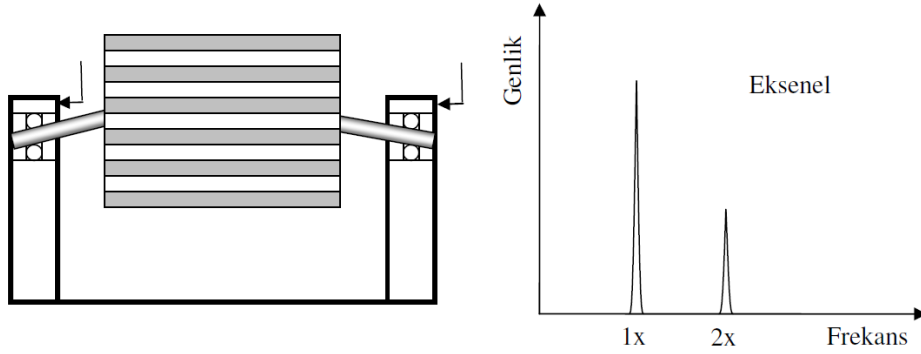




Kayış Kasnak Eksen Kaçıklığı



Kasnak Eksantrikliği



Eğik Mil

3.2.5. Rulman Arızaları

Spektrumda:

- ✓ Kendi içinde harmonik ailesi bulunan, ancak dönüş devri katlarında oluşmayan tepelikler ve/veya da spektrum zemininde kabarma şeklinde görülür. Erken sinyaller yüksek frekanslarda oluşur. Önlem alınmaz ise dağılmadan önce Balanssızlık gibi görülebilir. Dönüş devri frekansının 70 katına kadar frekans aralığı spektrumda yer almalıdır.
- ✓ Stres dalgası spektrum analizi ile detaylandırılır.

Dalga formunda:

- ✓ Mekanik çözülme gibi düzensiz vuruntular verir. İvme birimli dalga formunda genliğin 2 g's sınırını aşması sorun işareti olarak algılanır. Melek Balığı deseni, rulman bileziklerinde çatlak olduğunu gösterir.

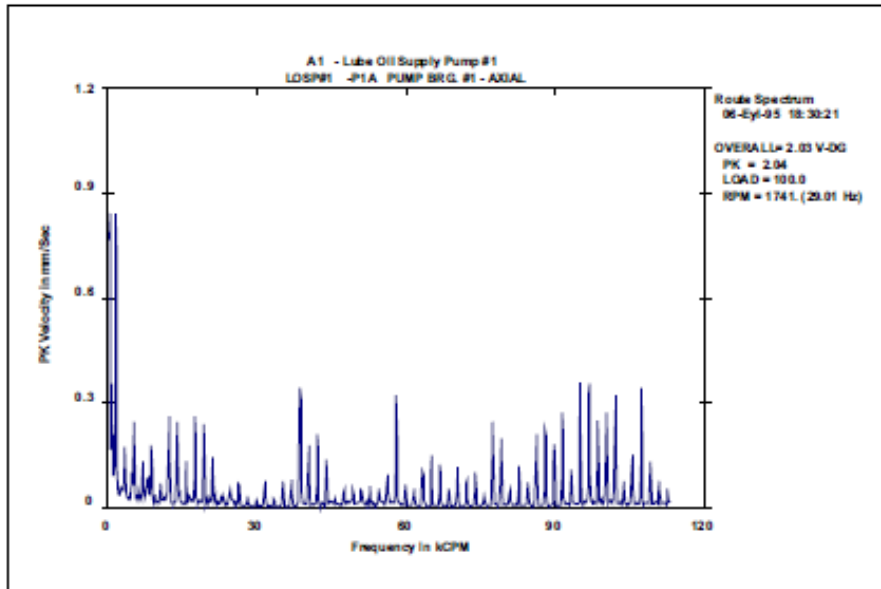
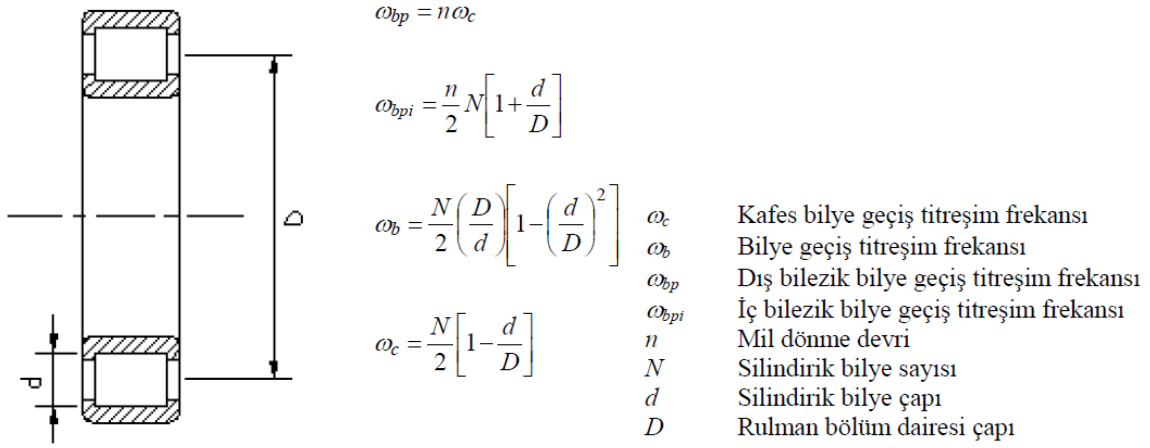
Bakım Tekniği ve Uygulamaları

- ✓ Rulmanlar çok elemanlı olduğu için birden fazla arıza frekansı setine sahiptir. Bilgi bulunmayan dış bilezik sabit iç bilezik dönen rulmanlarla ilgili aşağıdaki formüller arıza frekansları ile ilgili yaklaşık bilgi verecektir.

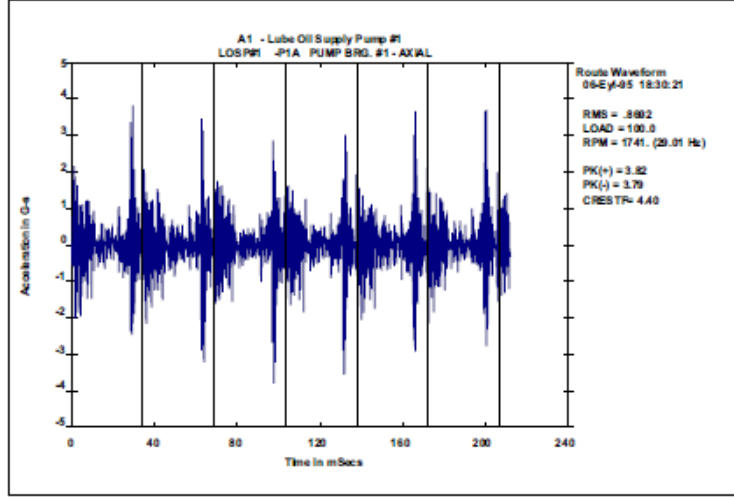
Bilgi Bulunmayan Dış Bilezik Sabit; İç Bilezik Dönen Rulmanlarla İlgili Frekans Formülleri:

- ✓ *FTF*: Kafes arıza frekansı = 0.4 x RPM
- ✓ *BPFO*: Dış bilezik arıza frekansı = 0.4 x N x RPM
- ✓ *BPFI*: İç bilezik arıza frekansı = 0.6 x N x RPM
- ✓ *N*: Bilye (Masura) Sayısı

Bilgi Bulunan Rulmanlarla İlgili Frekans Formülleri:

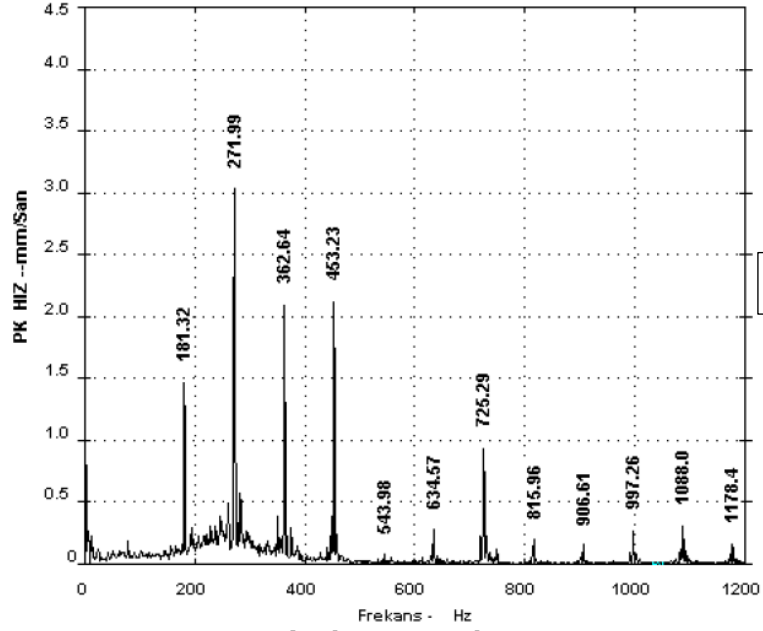


Rulman Arızası Spektrum Grafiği

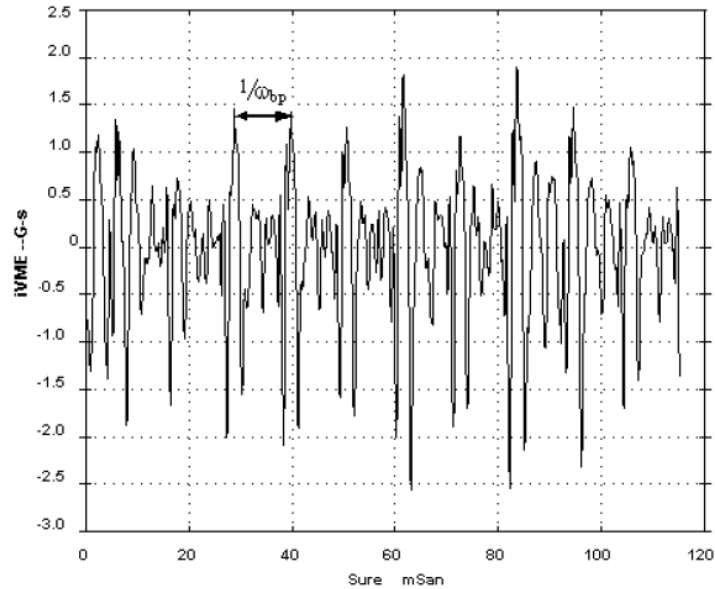


*Melek Balığı
deseni, rulman
bileziklerinde
çatlak olduğunu
gösterir.*

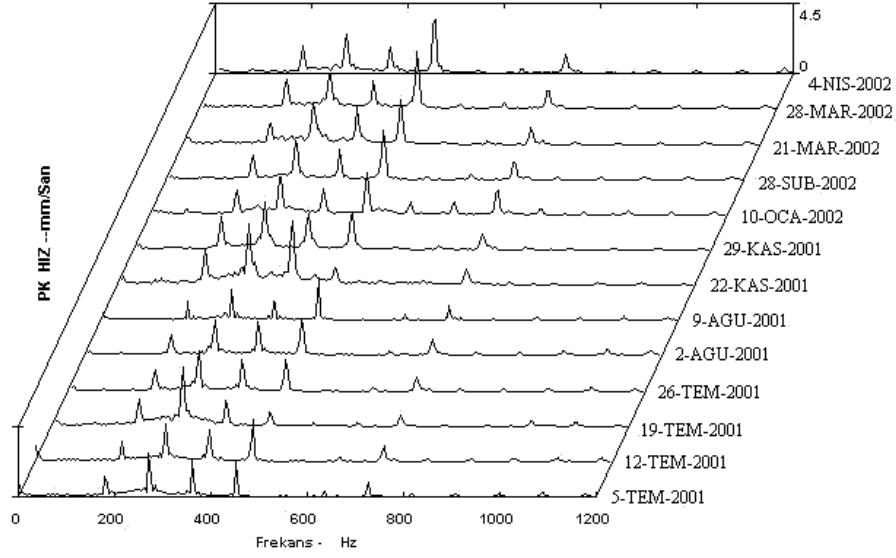
Rulman Arızası Dalga form Grafiği



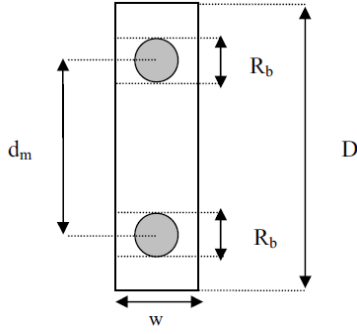
Dış Bilezik Hasar Spektrumu



Dış Bilezik Dalga form Grafiği



Dış Bilezik Spektrum Karşılaştırmaları



$$\text{Temel frekans (TF)} = \frac{f_s}{2} \left[1 - \frac{R_b}{d_m} \right] \quad (1)$$

$$\text{Bilya dönme frekansı (BD)} = \frac{f_s}{2} \frac{d_m}{R_b} \left[1 - \left(\frac{R_b}{d_m} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\text{Dış bilezik frekansı (DB)} = N(\text{TF}) \quad (3)$$

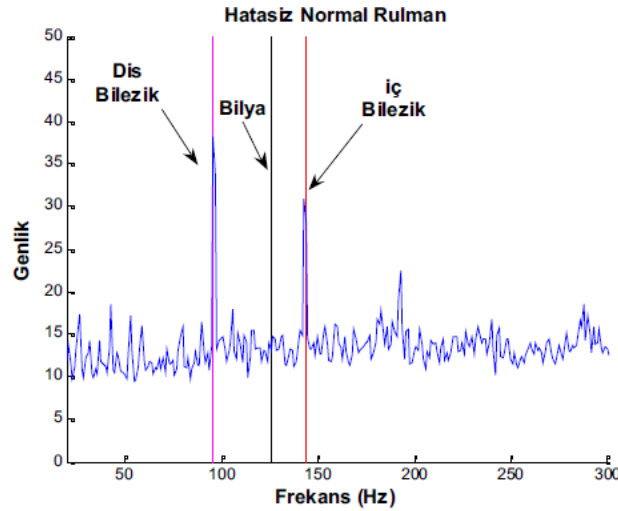
$$\text{İç bilezik frekansı (İB)} = N(f_s - \text{TF}) \quad (4)$$

Parametre
D
R _b
d _m
w

Denkler f_s , R_b ve D_m sırasıyla, dönme frekansı, bilya çapı ve bilya merkezleri arasında uzaklık olarak hesaplanmaktadır.

Rulman İç ve Dış Bilezik Hatası

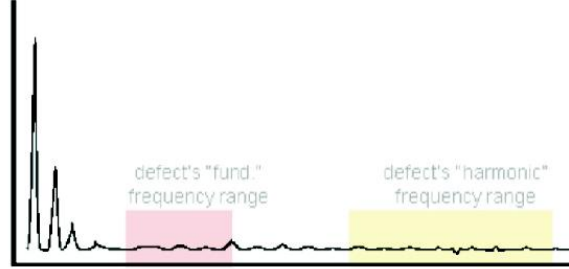
Genel formu Denklem 1-4'te verilen, dış bilezik kusuru bulunan rulmanlarda, bilyaların her birinin hatanın üzerinden geçmesi 1600 rpm'de çalışan makinanın titreşiminde 96 Hz'lik bir bileşen oluşturur. Aynı şekilde iç bilezik hatası 144 Hz'lik, bilya hatası ise 126 Hz'lik bir bileşen oluşturur.



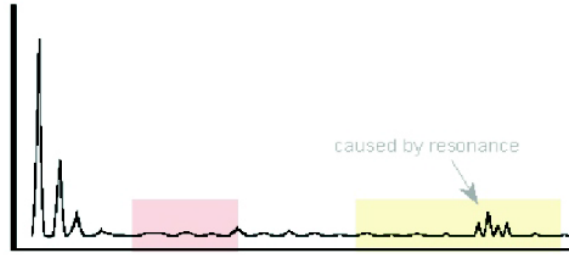
Yüksek frekans demodülasyonuna tabi tutulmuş normal rulman titreşim verilerinin frekans spektrumu (1600 rpm hızında).

Rulman Hasarlarında Aşamalar:

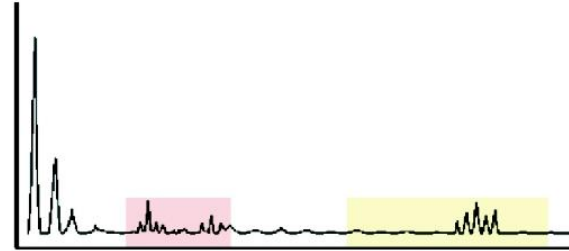
1.Aşama: Hasarın ilk zamanlarında spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının harmonikleri oluşur. Temel hasar frekansı görülmez.



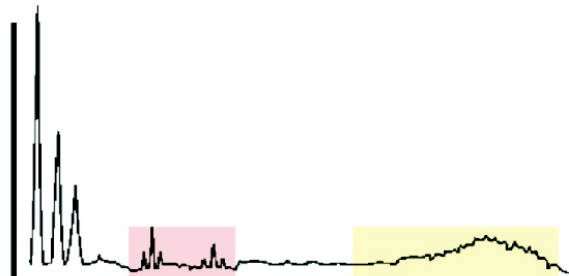
2.Aşama: Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının çok daha fazla harmonikleri oluşur. Bozulma devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme hızı ile modülasyona uğrar ve yan bantlar oluşur. Yan bantların genliği esas frekansın (merkez frekans) genliğini geçerse hasarın önemli olduğu anlaşılmalıdır.



3.Aşama: Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansı harmonikleri ve yan bantlarına ek olarak temel hasar frekansı da oluşur.



4.Aşama: Rulman bozulmaya devam ettiği için rulman elemanlarının bozulmasını hızlandıran iç boşluklar artmaya başlar. Bu boşluklar rulman elemanları arasındaki çarpmaları artırır bu çarpmalar sonucu meydana gelen titreşimin spektrum grafiğinde geniş bant gürültü oluşur. Titreşimlerin genlikleri azalabilir ve geniş bant gürültüden zor ayırt edilebilirler.

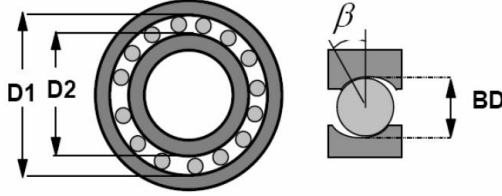


TİTREŞİM ANALİZİ İLE RULMANLARDA KESTİRİMCİ BAKIM

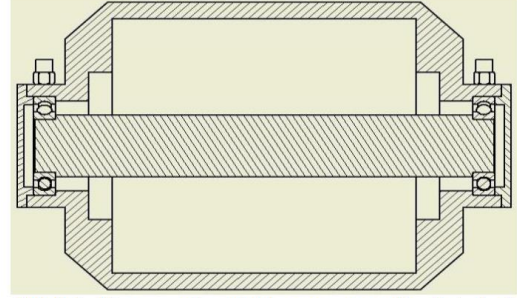
Engin YILDIRIM^{1*}, M.M. Fatih KARAHAN²

¹Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE

²Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE



Şekil 1. Rulman Geometrisi [12]



Şekil 2. Kompresör yataklarının şematik gösterimi

Burada f_r mil dönme frekansı olup örnekte 2970 rpm ile dönme için $2970 / 60 = 49,5$ Hz olarak hesaplanır

SKF 6213 sabit bilyalı rulmanda $D1 = 120$ mm, $D2 = 65$ mm verilmiştir.

Temas açısı $\beta = 0^\circ$ olarak verilmiştir.

n : Bilya sayısı 14 olarak

$$PD = \frac{D1 + D2}{2} \rightarrow 92,5 \text{ mm olarak hesaplanmıştır.}$$

Dış bilezik temel frekansı $f_{du} = \frac{n}{2} f_r \left[1 - \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \rightarrow 278,28 \text{ Hz olarak hesaplanmıştır.}$

İç bilezik temel frekansı $f_{iç} = \frac{n}{2} f_r \left[1 + \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \rightarrow 414,72 \text{ Hz olarak hesaplanmıştır.}$

Bilya frekansı $f_{bilya} = \frac{1}{2} f_r \frac{PD}{BD} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right] 120,83 \text{ Hz olarak hesaplanmıştır.}$

Kafes frekansı $\rightarrow f_{kafes} = \frac{1}{2} f_r \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right] \rightarrow 19,94 \text{ Hz olarak hesaplanmıştır.}$

NOTLAR:

Spektrum grafiğinde rulman hasarı belirtileri **4 aşamada** gelişir.

1. Aşamada Temel hasar frekansı oluşmaz. Hasar titreşim frekanslarının harmonikleri oluşur ama hasarda ilk belirtiler 20.000 – 60.000 Hz gibi ultrasonik frekanslarda oluşur. Ses duyulmaz ve sıcaklık normal seviyededir. Arıza mikroskobik seviyede olduğundan titreşimler ölçülmez.

2. Aşamada Hasar titreşim frekanslarının harmoniklerinin sayısı artar. Yan bantlar ortaya çıkar. Oluşan yan bantların genliği hasar frekansının genliğini geçerse hasarın önemli bir seviyede

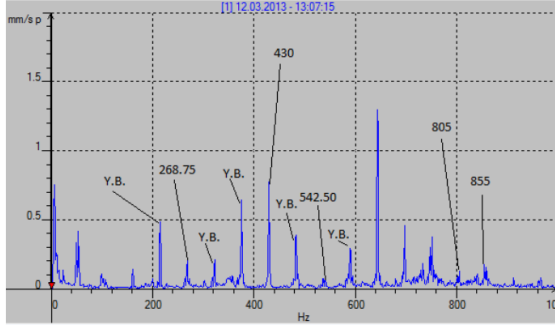
olduğu anlaşılr. Rulman elemanları 500-2000 Hz aralığında gürültü oluşturmaya başlar. Çok az ses duyulmaya başlanır. Sıcaklık normal seviyesini korumaya devam eder.

3. Aşamada Hasar titreşim frekanslarının harmoniklerinin ve yan bantları iyice belirgin hale gelir. Bu arada esas hasar frekansı da ortaya çıkar. Rulmanın sesi duyulur ve sıcaklık bir miktar artmıştır.

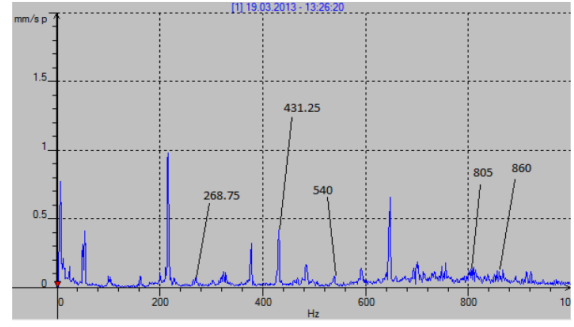
4. Aşamada Rulman hızla bozulmaya devam eder. Rulmanda buna bağlı iç boşlukların artmasıyla spektrum grafiğinde geniş bant gürültü oluşturur. Bu arada titreşim genlikleri azalabilir. Hasar son safhadadır ve acilen rulmanın değiştirilmesi gerekir.

TESPİTLER:

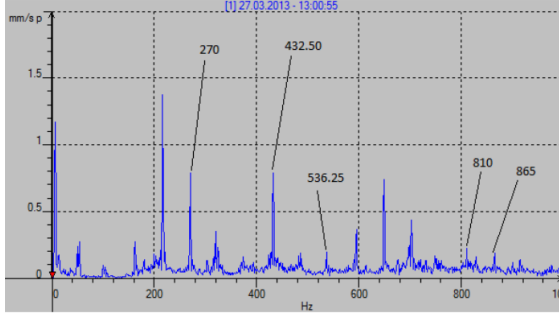
12 Mart tarihinde yapılan ölçümde dış bilezik temel hasar frekansının ve harmoniklerinin yan bantlarının genlik değerleri kendi genlik değerlerinden yüksek olması hasarın ciddi seviyede olduğunu göstermektedir. Hasarın 3. Aşamada olduğu söylenebilir. 19 Mart'ta dış bilezik yan bant genliğinde artışın olması hasarın ilerlediğini göstermektedir. 9 Nisan'da dış bilezik hasar frekansında 7. Harmoniğin yan bant genliğinin de yaklaşık 2 kat arttığını göstermektedir. Rulman değiştirildikten sonra arıza frekansları ortadan kalkmıştır.



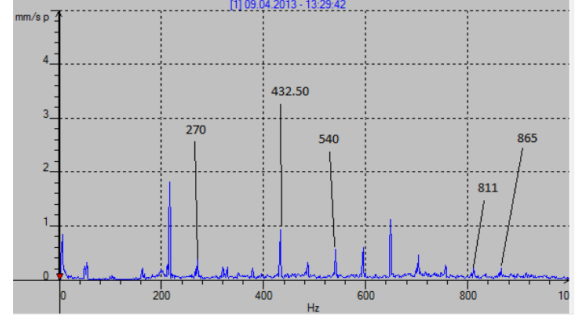
Şekil 3. Titreşim spektrum grafiği (12.03.2013, 1000 Hz)



Şekil 5. Titreşim spektrum grafiği (19.03.2013, 1000 Hz)

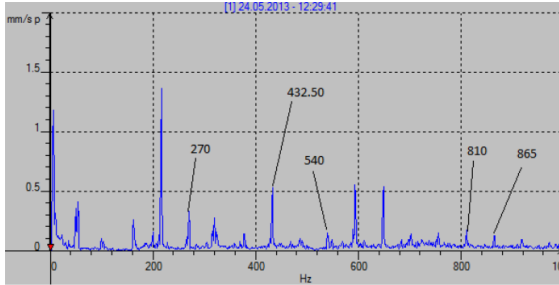


Şekil 7. Titreşim spektrum grafiği (27.03.2013, 1000 Hz)

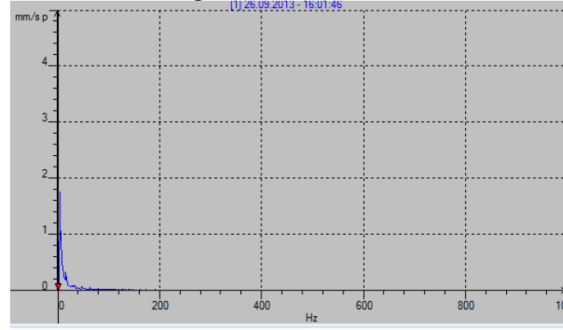


Şekil 9. Titreşim spektrum grafiği (09.04.2013, 1000 Hz)

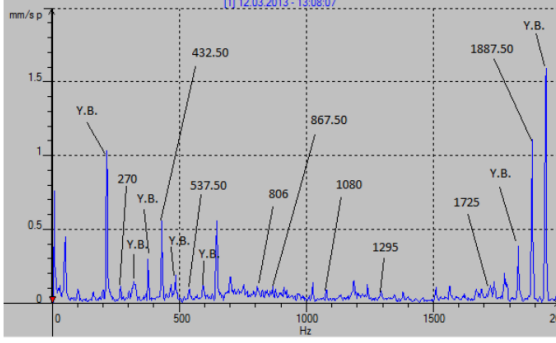
Bakım sonrası grafikleri incelersek;



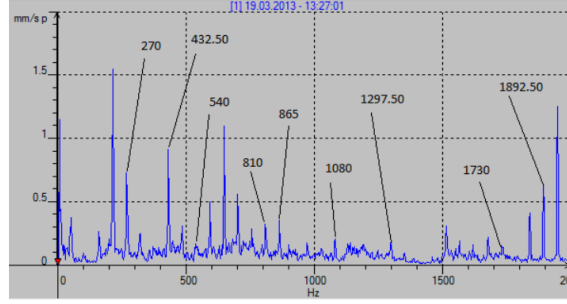
Şekil 11. Titreşim spektrum grafiği (24.05.2013, 1000 Hz)



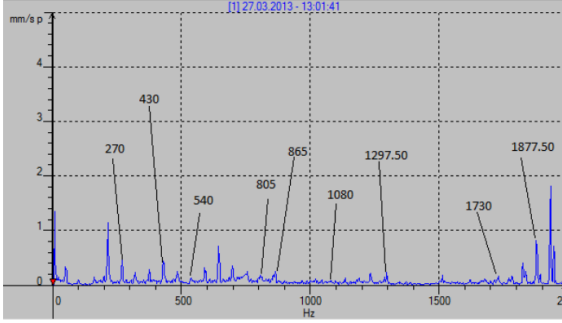
Şekil 13. Titreşim spektrum grafiği (26.09.2013, 1000 Hz)



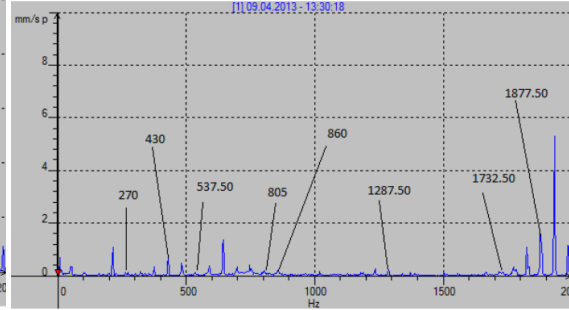
Şekil 4. Titreşim spektrum grafiği (12.03.2013, 2000 Hz)



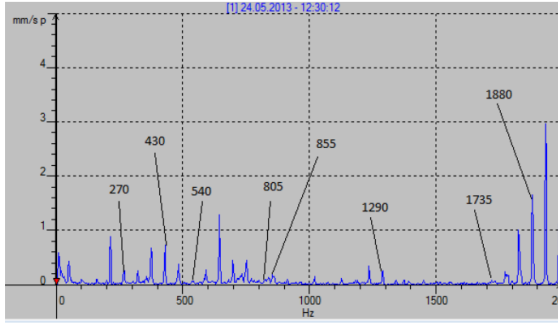
Şekil 6. Titreşim spektrum grafiği (19.03.2013, 2000 Hz)



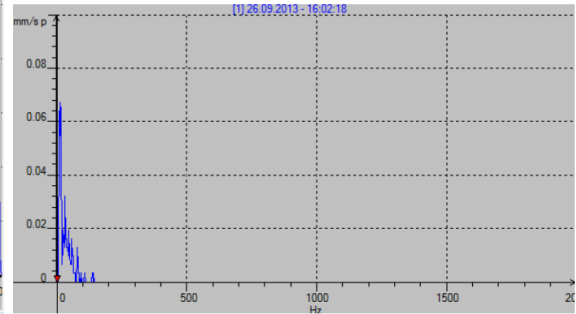
Şekil 8. Titreşim spektrum grafiği (27.03.2013, 2000 Hz)



Şekil 10. Titreşim spektrum grafiği (09.04.2013, 2000 Hz)



Şekil 12. Titreşim spektrum grafiği (24.05.2013, 2000 Hz)



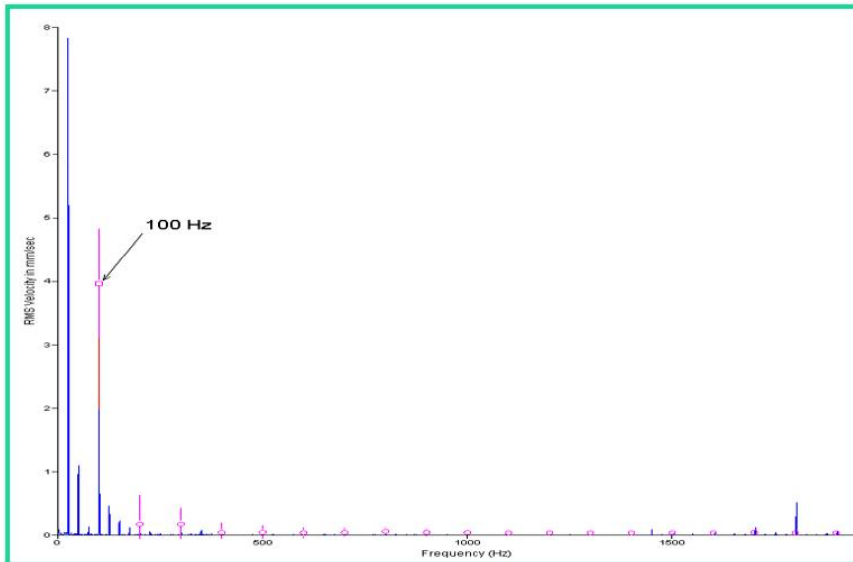
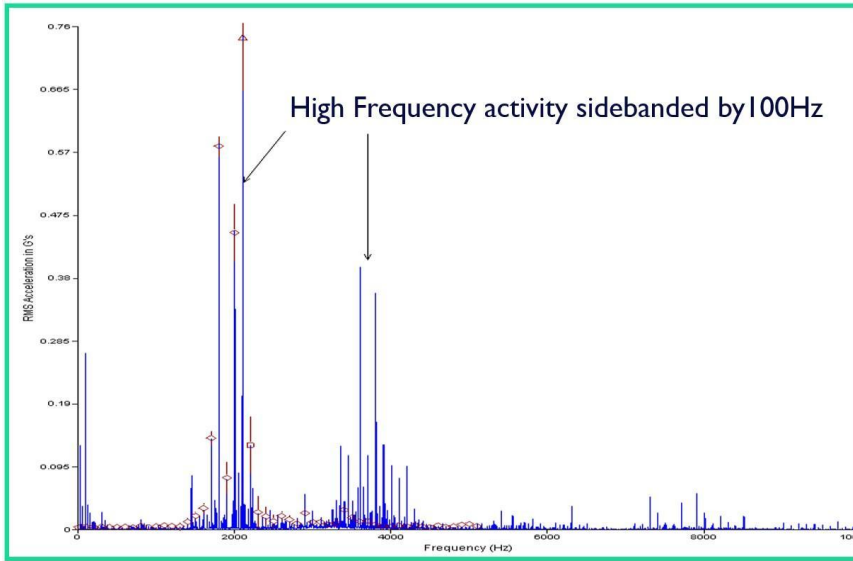
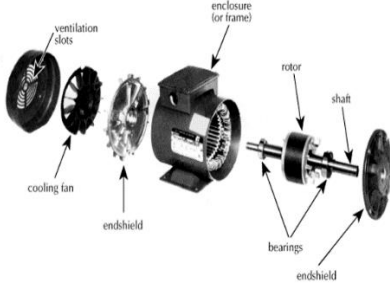
Şekil 14. Titreşim spektrum grafiği (26.09.2013, 2000 Hz)

3.2.6. AC Motor Arızaları

Spektrumda:

- ✓ Mekanik nedenli tepeciklere ek, $2 \times \text{Hat}$ Frekansında keskin tepecik oluşur.
- ✓ Canlı izlemede, ölçüm anında elektrik kesilince birden yok olur. Mekanik sinyaller ise yavaş yavaş makinanın duruşuna bağlı azalır.
- ✓ Kısa devre çubuklarında olabilecek sorunlar, Kısa devre çubuk sayısı x RPM frekansında, $2 \times \text{HF}$ yan bandı ile görülür.

HF: Hat frekansı (Normalde 50 Hz = 3000 CPM)



4. TOPLAM ÜRETKEN BAKIM TÜB (TOTAL PRODUCTIVE MAINTANCE-TPM)

Günlük üretim faaliyetlerin içerisinde, çalışanların tamamının katılımını gerektiren, otonom bakımı öngören, arızaları önleyen ekipman etkinliğini en üst düzeye getiren bir bakım yaklaşımıdır.

Önleyici bakım → → → Üretken bakım → → → Toplam üretken bakım

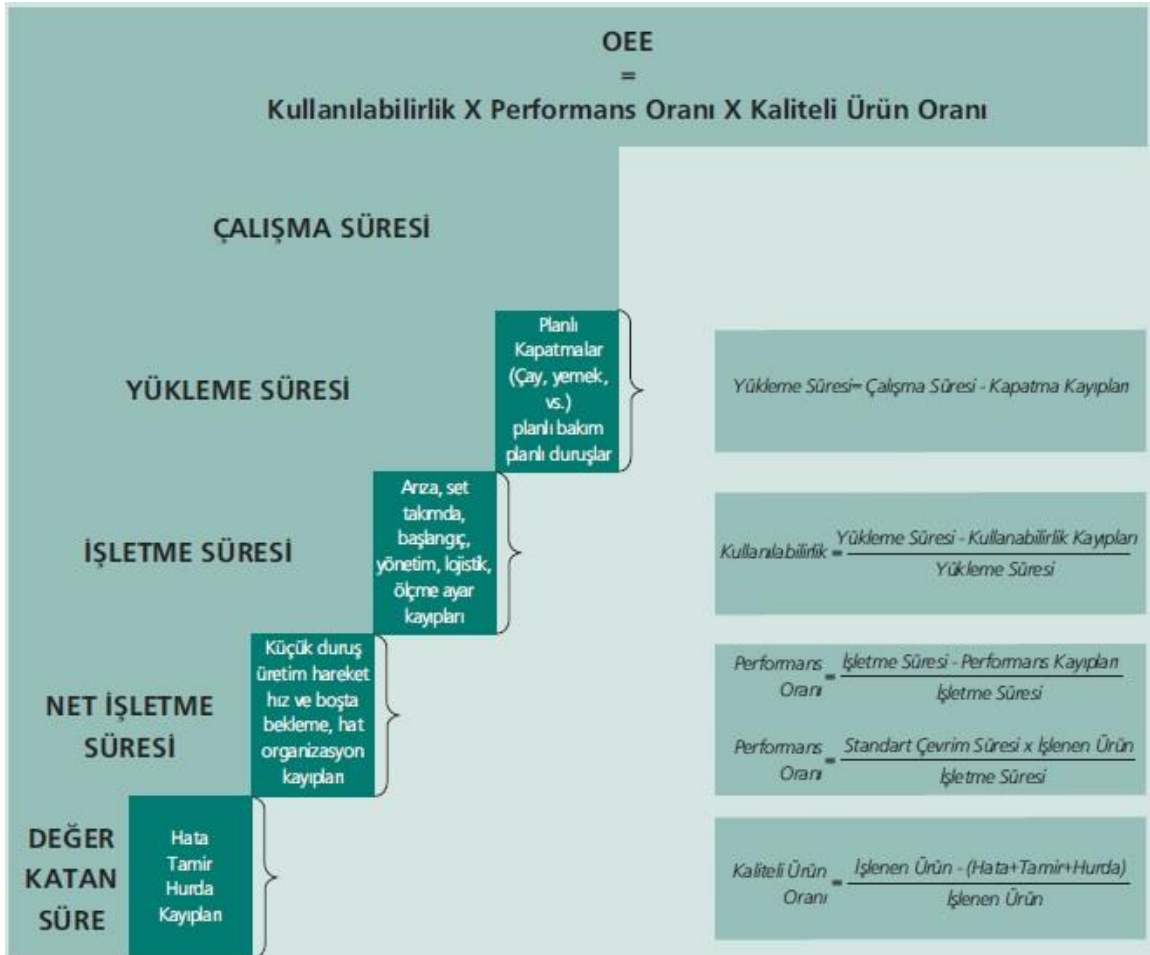
Nasıl ortaya çıkmıştır?

Özgün bir Japon yöntemidir. Koruyucu bakım prensiplerinin JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) tarafından geliştirilmesi ile 1970 yılında “Toplam Üretken Bakım” adı altında ortaya çıkmıştır.

Hedefleri nelerdir?

- 1) İşletme bazında bakım yapmaya, aktif katılımı sağlama.
- 2) İstikrarlı ürün kalitesini sağlama.
- 3) İstikrarlı ürün teslimatı sağlama.
- 4) Kayıpları yok ederek yüksek kârlılığa ulaşmak (16 büyük kayıp, muda)
- 5) Çalışma ortamına canlılık getirme ve iş güvenliği sağlama
- 6) Toplam ekipman etkinliğini artırma

4.1 Ekipman Etkinlik Oranı (EEO – OEE)



Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Toplam Ekipman etkinliği=Çalışabilirlik oranı X Performans oranı X Kaliteli ürün

$$OEE = \text{ÇO} \times \text{PO} \times \text{KO}$$

$$\text{Çalışabilirlik oranı} = \frac{\text{çalışma zamanı}}{\text{yük zamanı}}$$

Bakım çalışmalarında başarı kriteri olarak sadece arızaların sayısının veya duruş sürelerinin azaltılmasını almak yetersiz kalacaktır. Bununla beraber TPM’de esas alınan 16 kaybında giderilmesi amaçlanmalıdır. OEE kayıpların ne düzeyde olduğunu gösteren kapsamlı bir parametredir. Bakımın başarısı, öncelikli olarak OEE2nin yükselmesi, ikincil olarak da ürün başına düşecek maliyetin azalması ile kanıtlanabilir.

Örneği, makinayı çalışması gereken hızdan daha yavaş çalıştırarak sıklıkla karşılaşılan sızdırmazlık elemanı arızasından kurtulabiliriz ama bu durumda daha az üretim yapmış oluruz. Bunu bir başarı olarak görmek mümkün müdür?

Örnek:

Derin çekme ile paslanmaz çelik tencere üreten bir firmada her bir tencere üretimi 25 saniye almaktadır ve bir vardiyada ortalama 10’u hatalı olmak üzere toplam 750 tencere üretilmektedir. Firmada tek vardiya usulü çalışılmakta olup, tek vardiyada 8 saat üretim yapılırken, yemek için 40 dakika, iki sefer 10’ar dakika çay molası verilmektedir. Makinede ortalama günlük 25 dakika ölçü alma ve arıza sebepli duruş olduğu bilinmektedir. Aşağıdaki üç soruyu verilenlere göre hesaplayınız

Plastik enjeksiyonla tencere sapı imal eden bir firmada bir sapın üretimi 30 saniye almaktadır ve bir vardiyada ortalama 20’si hatalı olmak üzere toplam 750 tencere sapı üretilmektedir. Firmada bir vardiya usulü çalışılmakta olup, bir vardiyada 8 saat üretim yapılırken, yemek için 30 dakika, iki sefer 15’er dakika çay molası verilmektedir. Makinede ortalama günlük 20 dakika ölçü alma ve arıza sebepli duruş olduğu bilinmektedir. Bu işletmenin toplam ekipman etkinlik oranını hesaplayınız.

Toplam Ekipman etkinliği= Çalışabilirlik oranı x Performans oranı x Kaliteli ürün

$$OEE = \text{ÇO} \times \text{PO} \times \text{KO}$$

$$\text{Çalışabilirlik oranı} = \frac{\text{çalışma zamanı}}{\text{yük zamanı}}$$

Bir vardiya 8x60=480 dakikadır. Bir süre içerisinde 30 min yemek, 15’er min yemekten önce ve sonra çay molası vardır. Bu durumda yükleme zamanı (480-30-15-15) = 420 min

Makinenin çalışmadığı ölçü alma ve arıza sebepli duruş zamanı= 20 min verildiğinden,

$$\text{Çalışma zamanı} = 420 - 20 = 400 \text{ min}$$

$$\text{Bu durumda çalışabilirlik oranı} = \text{ÇO} = 400/420 = \mathbf{0,95}$$

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

$$\text{Performans oranı} = PO = \frac{\text{net çalışma oranı}}{\text{çalışma hızı oranı}} = \frac{\text{üretim zamanı}}{\text{çalışma zamanı}}$$

Bu işletmede bir ürünü üretmek için geçen süre 30 s= 0,5 min, toplam 750 tencere sapı üretiliyorsa;

$$\text{Performans oranı} = PO = 750 \times 0,5 / 400 = \mathbf{0,94} \text{ olur}$$

Kaliteli ürün oranı, 750 üründen 20'si hatalı olduğuna göre

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = (750 - 20) / 750 = \mathbf{0,97}$$

$$\text{Bu durumda Toplam Ekipman Etkinliği} = TEE = 0,95 \times 0,94 \times 0,97 = 0,87 = \% 87 \text{ bulunur.}$$

4.2.TPM Mudaları (16 Büyük Kayıp-İsraf)

Makinenin kullanılabilirliği:

Kullanılabilirlik tüm planlı duruşlar çıkarıldıktan sonra geriye kala gerçek süredir.

Planlı duruşlar:

- Molalar
- Toplantılar
- TPM faaliyetleri
- Malzeme yokluğu
- Üretim planında iş olmaması

Plansız duruşlar:

- Arıza
- Boşta bekleme
- Küçük bekleme
- Küçük duruşlar
- Kalıp/parti değişimi

Performans oranı:

Gerçek durum ile ideal durum karşılaştırılması performans oranını azaltan nedenler?

- Zayıf ve bakımsız makineler
- Yavaşlatılmış makineler
- Verimsiz / gereksiz işlemler
- Malzeme değişimleri

Kalite oranı:

Makine çalışırken ne kadar hatalı ve ne kadar hatasız parça üretiyor? Kalite oranını neler düşürür?

- Bakımsız makine
- Operatör hataları
- Uyumsuz/hatalı malzeme
- Makine ayarsızlığı
- Problemi geç fark etme

- a) Ekipman etkinliğini etkileyen 8 büyük kayıp
- b) İş gücü etkinliğini etkileyen 5 büyük kayıp
- c) Malzeme ve enerji etkinliğini etkileyen 3 kayıp

a) Ekipman etkinliğini etkileyen 8 kayıp

1. Arızalar ve büyük duruşlar

Mekanik elektrik veya elektronik arızalardan kaynaklanan makine kayıplarıdır. Bunları azaltmak için:

- -Temel ekipman koşullarının (temizlik, yağlama ve sıkma) oluşturulması.
- -Ekipman kullanım koşullarına uyulması.
- -Yıpranan parçaların değiştirilmesi.
- -Tasarım yetersizliğinin giderilmesi.

2. Setup ve ayar kayıpları

3. Boşta bekleme ve küçük duruşlar

Makine veya malzemedeki olumsuzluklardan kaynaklanan çalışma zorluklarının neden olduğu kısa süreli duruşlardır. Bu kayıpları önlemek için:

- Parçalar ve jiglerdeki hataları düzeltmek.

- Temel ekipman şartlarının sürdürülmesinin sağlanması.
- Temel operasyonları gözden geçirmek.
- Optimum koşulları tespit etmek.

4. Hız kaybı

Ekipman orijinal ve aktüel çalışma hızları arasındaki farktan kaynaklanan kayıplardır. Bu kayıpları azaltmak için;

- Her bir ürün için standart hızı başarmak.
- Her bir ürün için standart hızı arttırmak.
- Tasarım hızını başarmak.
- Tasarım hızını aşmak

5. Hatalı üretim ve yeniden işleme kayıpları

Iskartalar ve tamir gerektiren ürün arızalarından kaynaklanan kayıplardır.

6. Başlangıç (devreye alma) kayıpları

Devreye alma kayıpları, makinenin devreye alınmasından stabilizasyonuna kadar üretim başlangıç safhaları esnasından meydana gelen kayıplar.

7. Kesici takım değişimi

Uzun kullanım sonrası aşınmış bıçak ve jiglerin değiştirilmesi sırasında oluşan kayıplardır.

8. Kapatma kayıpları

Periyodik bakım ve diğer planlı kapatmalar sırasında oluşan kayıplar. Bu kayıplar kaçınılmazdır.

b) İş gücü etkinliğini etkileyen 5 kayıp

1. Yönetimsel kayıplar;

Bu kayıplar yönetimden kaynaklanan malzeme, ekipman, takım, tamir ve talimat beklemleri bu gruba girer. Üretim planlaması iyi yapılması ile giderilebilir.

2. Üretim hareketleri;

Üretim esnasında gerçekleştirilen gereksiz hareketler nedeniyle oluşan kayıplardır. Organizasyonun ve elemanların eğitilmesi ile azaltılabilir.

3. Hat organizasyonu;

Hat organizasyonun karmaşık yapısından kaynaklanan ya da operatörlerin birden fazla makinede düzensizce çalışmasından kaynaklanan kayıplardır. Aynı şekilde üretim planlamasının ve makine düzenlemesiyle giderilebilir.

4. Lojistik kayıplar;

Taşıma işlemlerinin zamanında yapılmamasından kaynaklanan ve üretimin durmasına yol açan kayıplardır.

5. Ölçme ve ayar kaybı;

Hatalı ürün üretimini önlemek amacı ile çok sık tekrarlanan ölçme ve ayar kayıplarıdır.

c) Malzeme ve enerji etkinliğini etkileyen 3 kayıp

1. Enerji kayıpları;

Makine duruş kayıplarında harcanan ilk yüksek enerji hava kompresörlerinin sürekli çalıştırılması, temizlik ve yağlama sırasında çok fazla su ve yağ tüketmekten dolayı oluşan kayıplardır.

2. Ekipman kayıpları;

Kullanım dışı yedek parça, kalıp, yardımcı malzemeleri saklama, kullanma ve bakım eksikliklerinden kaynaklanan maliyet kayıplarıdır.

3. Ürün kayıpları;

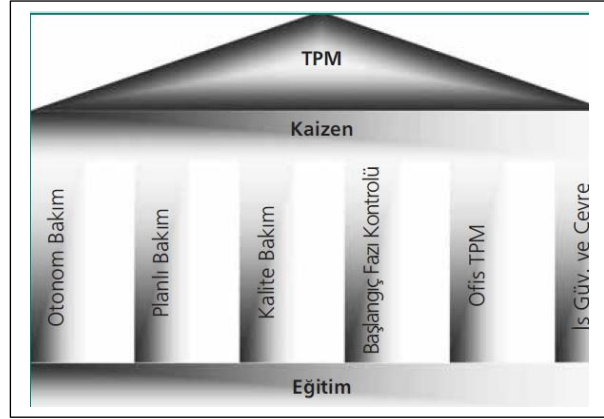
Hatalı ürün nedeniyle hurda olarak ayrılan malzemeler ya da ürünlerden oluşan kayıplardır.

TPM' in 3 sloganı;

1) Sıfır hata 2) Sıfır arıza 3) Sıfır kaza

4.3 TPM 8 Pillar'ı (Ana temeli)

1. Otonom bakım
2. Odaklanmış iyileştirmeler
3. Planlı bakım
4. Bakım kalitesi
5. Başlangıç akış kontrolü
6. Eğitim ve uygulama
7. Güvenlik sağlık ve çevre
8. Ofiste TPM



4.4 TPM'de uygulamaya nasıl geçilir?

1. Üst yönetimin TPM başlangıç deklarasyonu.
 2. Tüm çalışanlara başlangıç eğitimine başlanması.
 3. TPM hedeflerinin belirlenmesi.
 4. Master uygulamalarının hazırlanması.
 5. Model uygulamalarının yapılması.
 6. Pillar'ların kurulması.
 7. TPM faaliyetlerinin tüm fabrikaya yaygınlaştırılması.
- Odaklanmış iyileştirmeler (Kobetsu – Kaizen)
 - 16 büyük analizi ve kayıpların ortadan kaldırılması
 - Otonom Bakım (Jishu – hozen)
 - Planlı Bakım
 - Eğitim

4.5. TPM' in Faydaları;

1) Üretkenlik: ---Ekipman ve işçilerin katma değeri artar

---duruş zamanları azalır

2) Kalite ---Süreçteki hatalar azalır

--- Bitmiş ürünlerdeki hatalar azalır

3) Maliyet: ---İş gücü ve maliyet azalır

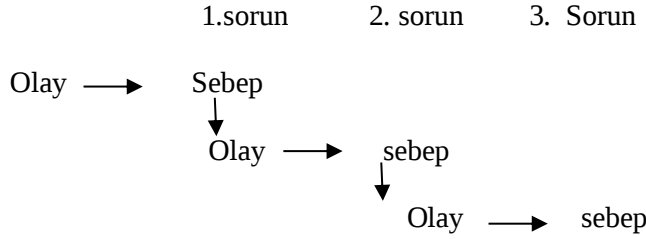
---Enerji tüketimi azalır

4) Sevkiyat---Gereksiz stok azalır

---Stok devir hızı artar

5)Güvenlik--- Kazalar azalır

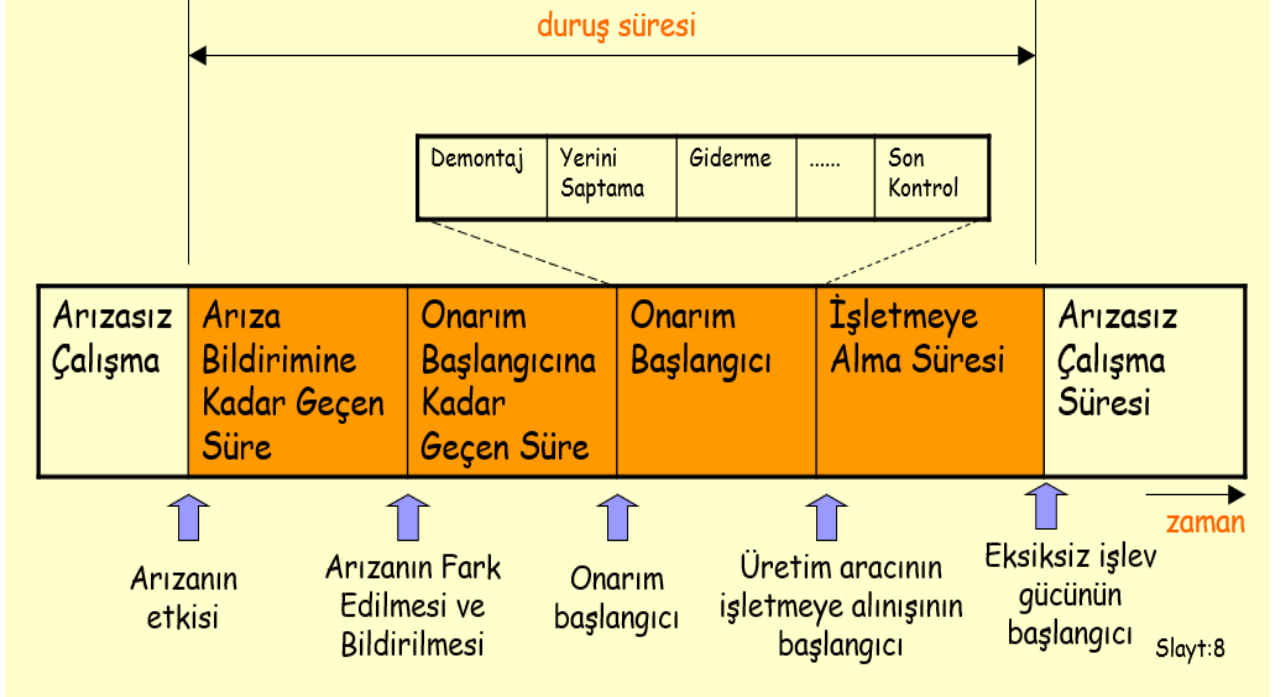
---Kirlilik azalır



Bu şekilde kök nedene kadar gidilir. Diğer arızaların giderilmesi yeterli iken TPM' de arızanın tekrarlanmaması için kök nedeni bulunup yok edilir.

Örnek; silindir düzgün çalışmıyor.

Nedenler	Cevap	Faaliyet
Neden düzgün çalışmıyor?	Filtre tıkanmış olabilir.	Filtreyi temizle.
Filtre neden kirlenmiş?	Yağı kirlenmiş.	Yağı boşalt Temizle.
Yağ neden kirlenmiş?	Depoya talaş girmiş.	Talaşın girmesini engelle.
Talaş neden giriyor?	Deponun üst tarafında delik var.	Deliği kapat.
Delik neden dolayı oluşmuştur?	Bakım esnasında onarımdan kaynaklanan hata sonucu.	Onarımı standartlaştır.



TPM' in hedefi duruş süresini azaltmaktır.

4.6. 5S Kuralı

İşletmedeki düzeni ve disiplini sağlamak için kullanılan hem basit hem de işletmenin en küçük ayrıntılarının denetimini sağlayan ve diğer iyileştirme çalışmalarının temelini oluşturan sistemdir.

Hedefi; yaşadığımız ve çalıştığımız ortamın temiz, derli, toplu, sağlıklı ve güvenli olmasını temin etmek bu şartları sürekli kılmaktır. Bu yöntemi ilk defa Toyota kullanmıştır.



5s'in amaçları;

1. Hata oranını azaltmak
2. Verim ve kaliteyi arttırmak
3. Maliyeti düşürmek
4. Setup sürelerini azaltmak

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

5. Arama kaybını yok etmek
6. İş güvenliğini sağlamak
7. Motivasyon ve iletişimi geliştirmek
8. Çalışanların düşünce sistemini ve davranışlarını değiştirmek
9. Sorunların erken teşhisini sağlamak
10. Keyifli bir çalışma ortamı sağlamak

Japonca	İngilizce	Türkçe
Seiro	Sort	Sınıflandırma
Seiton	Set in Order	Sırala
Seiso	Shine - Sweep	Sil-Süpür
Seiketsu	Standardize	Standartlaştır
Shitsuke	Sustain – Self discipline	Sahiplen

5S; çalışma alanını temiz, düzenli ve amaca uygun biçime sokulması için uygulanan bir Toplam Kalite tekniğidir. S ile başlayan 5 Japonca kelimenin baş harflerinin bir arada ifade edilmesi nedeniyle 5S adı ile bilinmektedir.

5S, işletmelerdeki düzen ve disiplini sağlamak için kullanılan hem basit, hem de işletmenin en küçük ayrıntılarının denetimini sağlayan ve diğer iyileştirme çalışmalarının temelini oluşturan bir sistemdir.

5S sistemi işyerini organize ve standardize eden, sistematik bir yaklaşımdır. 5 S güvenliğini arttırılmasına, iyileştirilmiş iş akışının sağlanmasına, daha iyi ürün kalitesinin elde edilmesine, stok savurganlığının önlenmesine ve çalışma alanımızdaki kontrol ettiklerimiz hakkındaki verimliğimizin artmasına yardımcı olur.

5S uygulaması ile birlikte, araç-gerecin, malzemenin ve insanların, çalışma ortamında, yepyeni bir yaklaşımla bir arada var olmaları gerektiğini anlayabiliriz.

5S Teknikleri uygulandığında normalden sapmaları, çok hızlı tespit etme yeteneğine kavuşabiliriz ve zaman içinde süreçlerimizdeki gelişmeler devamlılık kazanır. Görsel ve açık biçimde neyin normal olduğunu ortaya koyduğumuzda artık herkes anormal koşulları daha iyi saptayabilecek demektir.

Neden 5S ve İşletmeye Sağladığı Yararlar

5S faaliyetleri “ yapılması güzel” olarak görülse de, yalnız bu sebeple başarılamaz. İnsanlar, çalışma ortamındaki yüksek performansı destekleyen birçok özel yararı koruyabilmek için 5S faaliyetlerini yaparlar. Bazı örneklerle baktığımızda;

Güvenlik: Organize, düzenli ve temiz bir iş ortamı çalışmak için daha güvenlidir. 5S faaliyetleri, düşmelere, yangınlara ve yaralanmalara sebep olabilecek saçılmış, dökülmüş ve dağınık eşyaları ortadan kaldırır. Görsel göstergeler insanları tehlikelere karşı korur. İyi yapılmış organizasyon, eşyaları daha iyi yerleştireceğinden bunlara ulaşma veya kaldırma esnasındaki kazaları azaltır, ve bununla birlikte tehlikeli kimyasal maddeleri daha güvenli kullanmamıza ve saklamamıza yardım eder.

Geliştirilmiş Üretim akışı ve verim: 5S sistemi daha düz bir üretim akışı için çeşitli yollarda yardım eder. Gereksiz malzemelerin kaldırılması ve malzemelerin en gerekli olduğu yere konması ile arama süresi azaltılır. Yerleşim göstergeleri herkese doğru prosedürleri gösterir ve insanları sadece bir göz atma ile malzemelerin yerini bulmalarını sağlar. Temizlik ve muayene, arıza kaynaklarını, ekipman arızalanmadan önce bulmaya imkan verdiği için plansız kayıp zamanı azalır.

Artan Kalite: Günlük temizlik faaliyetleri, mamulleri ve üretim aşamalarını kirden uzak tutmaya yardım eder. Günlük temizlik esnasındaki ekipman ve makine kontrolleri mamul hatalarına yol açabilecek arızaların bulunması için sizi uyarıp bulmanızı sağlar.

İşyerine tümüyle hakim olma: Bu belki de en önemli yarardır. 5S sisteminde

- ☐ Çalışma alanında neye ihtiyacımız olduğunu tanımlama,
- ☐ Malzemelerin nerede olması gerektiğine karar verme,
- ☐ Malzemeleri bu yolda tutma,

Sonucunda en verimli çalışma ortamı oluşturulmuş olacaktır.

5 S Sisteminde esrarengiz veya sihirli bir Şeyler yoktur. 5 s sadece basit bir sağduyudur. Birçok başarılı firma 5 S sistemini kurmaktadır ve diğer birçok firmanın da 5 S den haberdar olması uzun sürmeyecektir.

5S'te Amaç

Verimliliği arttırmak için, çalışma ortamının temiz, düzenli ve kullanıma uygun bir şekilde dönüştürülmesidir. 5S toplam kalitenin bir parçası ve sürekli gelişmenin ayağıdır.

5S Temizlik ve Düzen Yönetimi

İşyeri iyileştirmesinde birinci önceliğe sahip olduğu ve işletmedeki diğer iyileştirme çabalarının temelini oluşturduğu için önemlidir.

5S Normalin ne olduğuna ilişkin tanım getiren, israfı görselleştiren bir iletişim ve öğrenme aracıdır.

5S temizlik ve Düzen Yöntemi grup odaklı bir faaliyet olup, diğer iyileştirme çabalarının temelini oluşturur.

5S Kalite geliştirme açısından basit, güçlü bir kalite araç ve tekniğidir.

Temiz ve Düzenli Çalışma;

- ☐ Zaman kazandırır.
- ☐ Hata oranını azaltır.
- ☐ Verim ve kaliteyi artırır.
- ☐ Maliyeti düşürür.
- ☐ İş kazalarını önler.
- ☐ İşletmeye rekabet gücü kazandırır.

5S'in Üreticiye Yararları

1. Azalan makine arızaları
2. Artan verimlilik
3. Azalan israf
4. Azalan ayar zamanı
5. Artan iş güvenliği
6. Azalan devamsızlık
7. Yükselen motivasyon
8. Artan kar

5S'in Müşteriye Yararları

1. Tam zamanında performans
2. Artan dağıtım performansı
3. Düşen fiyat
4. Düşen döngü zamanı
5. İyileşen üretici-müşteri ilişkisi
6. İsteklere karşı hızlanan tepki
7. Artan müşteri taleplerinin karşılanması

5S, İş Görenler İçinde,

1. Yaratıcılıklarını sergilemelerine,
2. Bakış açılarını genişletmelerine,
3. Kendilerine yönetmelerine,
4. Alışkanlıklarını gözden geçirmelerine fırsat sağlayan önemli ve güçlü bir araçtır.

Diğer faydaları;

1. Sorunlar erken teşhis edilir.
2. Keyifle çalışan ortamlar yaratılır.
3. Katılım ve paylaşımı artırır.
4. Etkin zaman yönetimine katkı sağlar.

1. ADIM - SEIRI (Ayıklama-Sınıflandırma)

İlk S “ sınıflamanın” manası, lüzumluları da sınıflandır, lüzumsuzları da sınıflandır demektir. Kelimenin tam anlamı ise, başından sonuna hedef alandaki her şeyi sınıflandır. Gereksiz veya yanlış yerdeki eşyaları ayırt et. Bu eşyaları çalışma alanından ayır. Sınıflama için kılavuz prensip: “Kuşkulandığınız eşya ise uzaklaştırın. Sınıflandırmanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan şeyleri, gereksiz olan şeylerden ayırmak ve gerekli olanları elden geldiğince az sayıda ve uygun yerlerde bulundurmaktır.

Birçok firmada ” bir gün lazım olur o yüzden hazır olsun ” diye ama uzun süre ihtiyacını duymayacakları birçok eşya veya malzeme bulunur. Bu gereksiz malzeme zamanla artarak çeşitli problem ve çöpe yol açar. Bu problemlerden bir kaç:

- ☐ Tehlikeye yol açma
- ☐ Katma değer yaratmayan ekstra yürüme ve arama
- ☐ İhtiyacı duyulmayan ama stoklanan malzeme bozulabilir veya modası geçebilir; üretimde tesadüfen veya kaza ile kullanılırsa kalite problemine yol açabilecektir.

Nesneleri saklamak ne kadar önemliyse, onları tutup atmak, onlardan kurtulmak da en az o kadar önemlidir. Hepsinden önemlisi neyin atılacağını; neyin, nasıl saklanacağını ve saklananlara daha sonra nasıl ulaşılacağını bilmektir.

Sınıflandırma Aşamasında

- Makineler / araçlar
 - Malzemeler / gereçler
 - El aletleri /avadanlıklar
- Ayrıştırılır

Sınıflandırmada

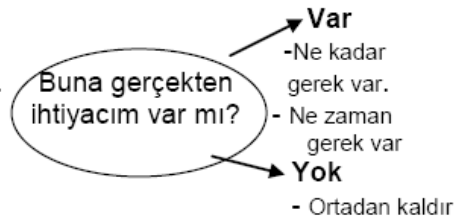
- Hangi sıklıkla kullanılıyor ?
- Kim kullanıyor ?
- Kullanım Yeri neresi ?

Soruları ile;

- Neyin gerekli olduğu belirtilir.

Malzemeleri Gruplandırırken,

- Gerekli
 - Gerekli olabilir
 - Gereksiz
- Kullanım sıklığı saptanabilir.
- Çöp
Değerli atık
Sınıflama yaparak ortamdandır.



Kullanım sıklığını belirlerken,

- ☐ Grup veya bireyin kullanım sıklığını göz önünde tutmalı
- ☐ Kullanılan teknik dokümanları veya malzemeleri etiketlemeli
- ☐ Ne kadar süreyle kullanıldığı tespit edilmeli.

Sınıflandırmada dikkat edilecek Noktalar,

Çalışma Sahanızda Tüm Malzemeler, Aletler, Ekipmanlar

- ☐ Dağınıklık yaratan
- ☐ Olduğu gibi bırakılan
- ☐ Olmaması gereken yerde

Gereksiz Malzemeler var mı?

- ☐ Sınıflandırıldı mı?
- ☐ Depolandı mı?
- ☐ Etiketlendi mi?
- ☐ Yerlerine konuldu mu?

AYIKLAMA UYGULAMA AŞAMALARI

- ☐ Gerekli malzeme gereksizlerden ayır.
- ☐ Gereksiz malzemeleri çalışma sahasından uzaklaştır.
- ☐ Hiç kullanılmayacak malzemeleri at.
- ☐ Şu anda kullanılmayacak malzemeleri depola.
- ☐ Fazlalık olarak düşündüğün tamamlanmış ürünleri, araç-gereci, alet-edevatı, hammaddeyi çalışma sahasından uzaklaştır.
- ☐ Gereksiz olan, kurtulmak istediğin malzemeleri **kırmızı renkle** etiketle.
- ☐ Çalışanların büyük çoğunluğu tarafından kullanılacak malzemeleri ortak bir sahada depola.
- ☐ Ortak depo sahasını düzenleyecek ve yönetecek bir kişiyi görevlendir.
- ☐ Yalnızca tek kişinin gereksinim duyduğu malzemeleri kişisel çalışma sahasında depola
- ☐ Çalışma / depolama sahasını düzenle.

Kırmızı Etiket Tekniği

Sınıflamayı yapabilmek için bir metota, bir yola ihtiyaç duyarız. Bu metot, bize görsel olarak gereksiz malzemeleri tanımlayacak, her bir eşyanın neden gereksiz olduğunu tarif edecek ve bize problemi kimin tanımladığını söyleyecek. Bu metot Kırmızı Etiket Tekniğidir. Kırmızı etiket tekniğinde potansiyel gereksiz malzemeler bir etiketle işaretlenir. Etiket anımsatıcı olarak rol oynar ve o eşya ile ne yapacağımıza karar verirken onun hakkındaki bilgileri belgelemek için bir yer sağlar.

Kırmızı etiket tekniğinde 5 aşama vardır.

- ☐ Kırmızı etiketlerin hazırlanması
- ☐ Gereksiz eşyalara kırmızı etiketlerin iliştilmesi
- ☐ Kırmızı etiketli malzemenin geçici bir sahaya konulması
- ☐ Kırmızı etiketli malzemenin değerlendirilmesi ve sonucuna karar verilmesi
- ☐ Bu malzemelerden kurtulmak.

2. ADIM – SEITON (Düzenleme-Yerleştirme)

İkinci S olan düzenlemenin tam anlamı:

- ☐ Gerekli parçaların nerede tutulacağına karar vermek ve organize etmek.
- ☐ Parçaların nasıl saklanacağını düzenlemek.
- ☐ Herkes için bulma ve kullanmayı kolaylaştırmak.
- ☐ Parça doğru yerinde olmadığında bu durum açık hale getirmek.

Düzenleme Yapılırken,

- ☐ Her malzemeye bir isim verilir.
- ☐ Kullanım sıklığının tespiti için etiketlenir.
- ☐ Kullanıma uygun biçimde yerleştirilir.

(Bu çalışmalar, tüm kullanıcıların katılımı ile beraberce gerçekleştirilir.)

Düzenleme Nasıl Olacak;

- ☐ Herkes, her şeyi aynı adla tanıyacak.
- ☐ Her şeyi herkes aynı yerden alıp aynı yere bırakacak.
- ☐ Ambarda her şeyin bir rafı olacak.
- ☐ Aranılan 30 saniyede elde edilerek 30 saniyede yerine konacak.
- ☐ Gereksiz raf ve masa bulunmayacak.
- ☐ Temizlik için raf altları açık olacak.
- ☐ Kablolar, hava kanalları, borular yerden yüksek bir yere monte edilecek.
- ☐ Kombine, işlevsel takım, alet kullanılacak.
- ☐ Önemli yerlere alet ve takımları asacak yerler yapılacak

Yerleştirme yapılırken,

	<u>Çalışma Masasında</u>	<u>Atelye Ortamında</u>
▪ Çok gerekli	⇒ El Altında	İş ortamında veya Makine üzerinde
▪ Daha az gerekli	⇒ Üst rafa	Alt rafa
▪ Az gerekli	⇒ Alt rafa	Üst rafa

Düzenlilik için temel kılavuz; “**Her şey için bir yer ve her şey yerli yerinde**” şeklindedir. İnsanlar problemlere yol açsa da düzensiz kullanımlar yapmıştır.

Bu problemler ki;

- ☐ Ara yollarda gelişigüzel bırakılan eşyaların olduğu yerlerden geçen insanlar bu eşyalara takılıp, sendeleyebilir veya devrilebilir.
- ☐ Ara yollar, geçişler tam olarak tanımlanmazsa forklift ve arabalar parçaların, ekipmanın ve insanın üstüne doğru hareket edebilir.
- ☐ Kablo ve hortumla sağlıksız olarak kontrol altına alınmış ekipmanlar tehlikeli olmaya hazır demektir.
- ☐ Kimyasallar; düzensiz veya tehlikeli olarak stoklanmış olabilir.
- ☐ Düzensiz olarak elle kontrol edilen veya stoklanan ıskarta tehlikeli olabilir.
- ☐ Aletleri, parçaları veya bilgiyi arama süresi prosese ve değişim zamanına gereksiz zaman ilave der.

Eşyaların düzenlenmesini anlamak zor değildir. Park yerindeki çizgi ve okların sürücülerini düzgün park etmeye nasıl yönlendirdiğini düşünün. Otoyollardaki işaretleme (yol çizgileri) ve bilgi levhaları, insanların güvenlik içinde araba kullanmasını sağlamaya yönelik diğer düzenleme örneğidir.

Düzenleme – Yerleştirme Uygulama Aşamaları

- ☐ “ Her şeye bir yer, her şey yerli yerinde” ilkesine uy.
- ☐ Alet- edevatı ve kullanma el kitabını kullanım noktasının yakınına yerleştir.
- ☐ Depolama sahasının girişini geniş tut.
- ☐ Yerden tasarruf etmek için depolamayı duvarlar boyunca yap.
- ☐ Kolay ulaşım için malzemelerin ön yüzlerini geçitlere bakacak şekilde yerleştir.
- ☐ Benzer malzemeleri çabuk belirleyebilmek için renk kullan.
- ☐ Her bir malzemeyi ve depolandığı sahayı belirgin biçimde etiketle (görünebilirliği artırır.)
- ☐ Görünürlük için kapak ya da kapıları şeffaf malzemelerden seç.
- ☐ Her bir özel makine için gereksinim duyulan aletleri, ölçme araçlarını düzenlemek için özel tasarlanmış pano kullan.

3. ADIM – SEISO (Temizlik)

Üçüncü S, Temizliğin tam anlamı:

- ☐ İçerde ve dışardaki her şeyi temizlemek.
- ☐ Temizlik aracılığı ile muayene etmek. (Temizlik muayenedir.)
- ☐ Bulaşan kirlerden, toz, pislik vs. den korumak.

Temizlik için kılavuz prensip: Hedef alan sizin alanınızdır ve orada çalıştığınız için oradan sorumlusunuz. Temizlik;

“Sistemli ve Sürekli Olmalı.”

- ☐ “Temizlik imandan gelir”
- ☐ “Temizlik Sağlık demektir.”
- ☐ “Temizlik uygar olmanın ilk şartıdır.”
- ☐ “Aslan yattığı yerden belli olur.
- ☐ “Temizlik; bilgi, ilgi ve görgü ister.”

Temizlik; sadece temizleyerek eşyayı güzel görünür hale getirmek değildir. Çalışma alanı ve ekipmanların her zaman en üst çalışma koşullarında tutan ve problemleri önceden haber veren bir yoldur.

Temiz bir ortam için;

- ☐ Olabilecek kirliliği önlemek ya da kirliliğin miktarını azaltmak için tozdan koruyucu örtüler kullan.
- ☐ Kirliliğin nedenlerini araştır ve kirlilik kaynağını ortadan kaldırmak için bir plan yap.
- ☐ Kirliliği kolayca ve çabucak ortadan kaldıracak şekilde kordonların, makine ve masa ayaklarının etrafını koruyucuyla çevir.
- ☐ Kendi araç gerecinin ve çalışma sahanın temizliğini ve temel koruyucu bakımını yap.
- ☐ Sürekli bir hazırlık surumu sağlayacak şekilde her şeyi temiz tut.

Temizleme işlemine girişmeden;

- ☐ Pislenmeye neden olan kaynaklar araştırılır.
- ☐ Temizlenmesi gereken, ulaşılması zor olan yerler için önlemler alınır.
- ☐ Neyin, kimin tarafından, ne ile temizleneceği kararlaştırılır.
- ☐ İş güvenliğine ilişkin uyarılar yapılır.

İş bitiminde 3-5 dakikalık Temizlik ile ne kazanılır.

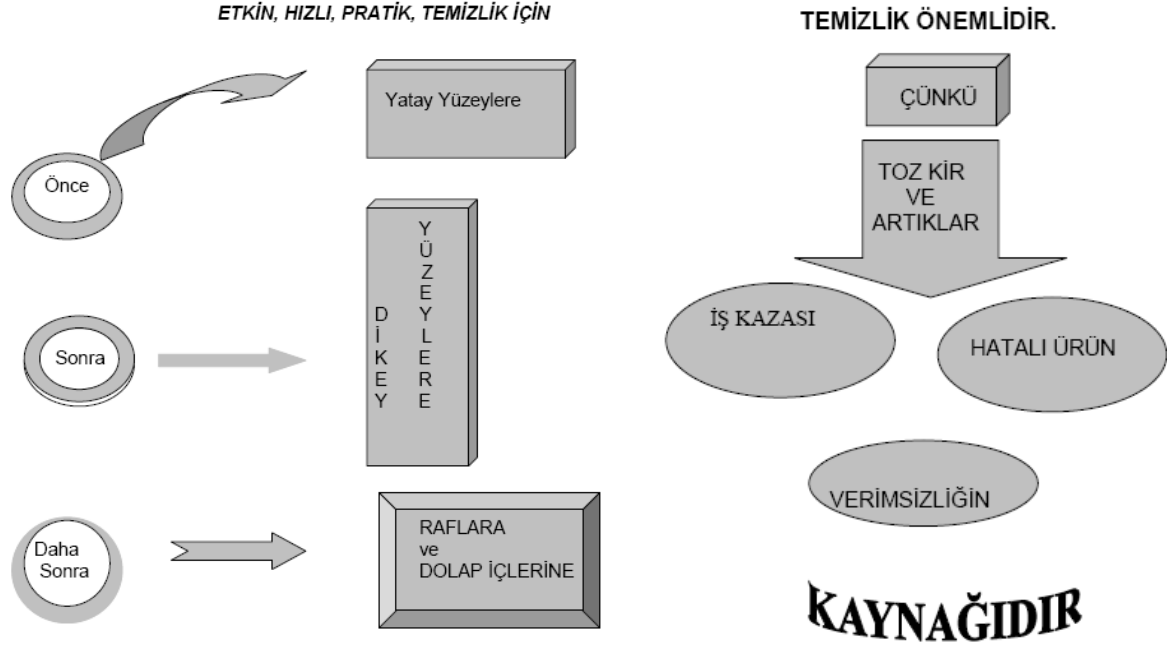
- ☐ İşyeri bir sonraki çalışmaya hazır hale getirilir.
- ☐ Makine /malzeme ve ekipmanlara olan ilgi artar.
- ☐ İş gören sorumluluk üstlenir.
- ☐ Arıza kaynakları çok rahat görünür. (Yağ kaçağı, kırık vb.)
- ☐ Onarım için kaybedilen zaman ve emek azalır.

Temizleme yaklaşımı ile elde edilen yararlar ise;

- ☐ Daha az ekipman arızaları (zira kötüye gidişi önceden görürsünüz.)
- ☐ İş kazalarına yol açan tehlikelerin daha az olduğu güvenli çalışma ortamı.
- ☐ Ürün kalite güvencesi ve müşteri tatmini.
- ☐ Daha verimli ve tatminkar çalışma ortamı.
- ☐ Daha rahat bir işyeri ortamı.
- ☐ Arama zamanını kısaltacak şekilde, görünebilirliği artırır.

Temizlikte dört aşama;

- ☐ Hedefler ve görevlere karar verme.
- ☐ Temizleme metotuna karar verme.
- ☐ Her şeyin ilk temizliğini yapma.
- ☐ Aşınmış tellerin, hortumların ve tüplerin yenileri ile değiştirilmesi



Temizlik Uygulama Aşamaları:

- ☐ Konunun ana noktalarına karar vermek.
- ☐ Hedefleri ve görevleri tespit etmek.
- ☐ Temizlik metotuna karar vermek.
- ☐ Temizlik için yönetim izninin doğrulanması.
- ☐ Her şeyin ilk temizliğini yapmak.
- ☐ Aşınmış telleri, hortumları ve tüpleri yenileri ile değiştirmek.
- ☐ Sınıflama ve Düzenlemeye devam etmek.

4. ADIM – SEIKETSU (Standartlaştırma)

Standartlaşma diğer 3 S den farklıdır, çünkü özel yeni bir faaliyet yapmaktan ziyade iş yerlerinizde olmasını istediğiniz koşulların sürdürülmesini ile ilgilidir.

- ☐ Sadece gerekli olan eşyalar alanda olmalıdır.
- ☐ Her şey için bir yer vardır ve her şey yerindedir – yerine koymak, kullanmak ve değiştirmek kolay olmalıdır.
- ☐ Her şey temizdir ile temizlik alanı ve alandaki ekipmanı incelemek içindir.

Standartlaşmayı; Sınıflama, düzenleme ve temizlik aşamalarının tamamen yapıldığındaki durum olarak düşünün. Uzun vadede periyodik olarak üretimi durdurup, alanı kabul edilebilir şartları taşıyor hale getirmektense temizlik ve düzenlenmiş koşulların devam ettirilmesi daha kolaydır.

Standartlaştırmanın temel amacı; işyerinizdeki iyileştirilmiş durumların sürdürülebilmesi için ana noktalar yaratmaktır.

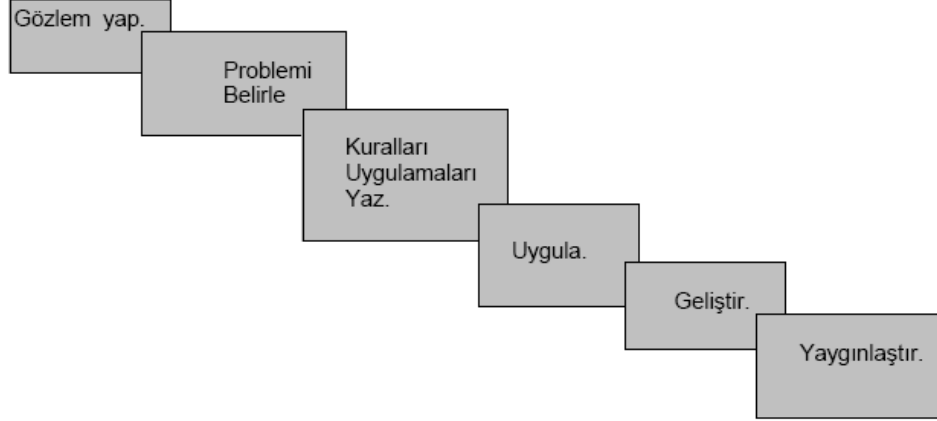
Nasıl Standartlaştırılır?

- ☐ Sınıflama, düzenleme ve temizlemedeki durumlar için ana hatların ortaya konması,
- ☐ Bu ana hatlara ulaşılması,
- ☐ Standartların ana noktalarının görsel yapılması,
- ☐ 5S koşullarının izlenmesi ve sürdürülmesi.

Standartlaşmada elde edilen gelişme düzeyinin kalıcı olması için;

- ☐ Gözlem yapılarak olası sorunlar takım çalışması ile giderilir.
- ☐ Gerektikçe yeniden düzenleme yapılarak sürekli gelişme sağlanır.
- ☐ Raflar / gözlere etiket konularak her şeyin yerli yerinde olması temin edilir.

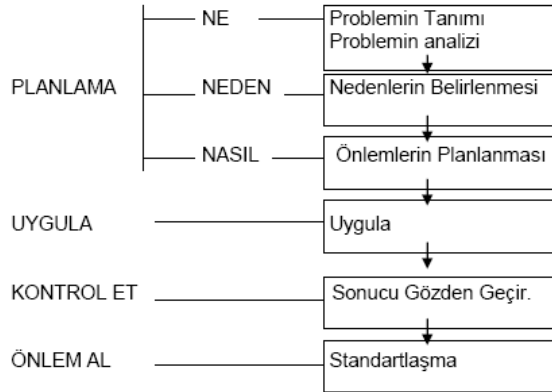
GÖRSEL DENETİMDE AŞAMALAR



DİKKAT!
PLANLAMAZSAN BİLEMEZSİN.
BİLMEZSEN KONTROL EDEMEZSİN.
KONTROL EDEMEZSEN DAHA İYİ OLAMAZSIN.

4.7. PUKÖ Döngüsü

PUKÖ döngüsü bütün yönetim faaliyetlerinin “Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al” sisteminin dikkatli uygulanmasıyla iyileştirilebileceğini öngörür.



Standartlaşma için kontrol noktaları belirlenirken.

- ☐ Önce neyi, nasıl ne derece standartlaştıracağımıza karar vermemiz gerekir.
- ☐ Tanıtma etiketlerimiz yoksa; etiketler nereye, nasıl hangi ölçülerde, ne renkte konacak ve üzerlerine nelerin yazılacağını belirlememiz gerekir.
- ☐ Kıyafetler ne model, hangi renk, ne kadar temiz olacak, gibi soruların cevaplanmasıyla iyi bir standart tespit edebiliriz.

Standartlaştırma Uygulama Aşamaları:

- ☐ Sınıflama, düzenleme ve temizlik için koşulları belirleme
- ☐ 5 S standart geliştirme formunu kullanarak yukarıdaki koşullar için standartlar, ana hatlar ve prosedürlerin ortaya konulması.
- ☐ Bu koşullara daha ileri sınıflama, düzenleme ve temizleme uygulamaları ile ulaşılması
- ☐ Standartları, ana hatları ve prosedürleri yerine getirme, uygulama.
- ☐ Arzu edilen, standartların, ana hatların ve prosedürlerin görsel hale getirilmesi.
- ☐ İstenen koşulların izlenmesi ve sürdürülmesi.

YAPILANI YETERLİ BULMAMAK İNSANIN İLERİ GİTMESİNDE İLK ADIMDIR. (G. BANCROFT)

5. ADIM – SHITSUKE (Eğitim – Disiplin)

DİSİPLİN, konulmuş olan yeni kuralların herkes için bir alışkanlık haline gelmesini sağlamaktır.

Kurallara uymak ve bunları alışkanlık haline getirebilmek için;

- ☐ Hedeflerinizi tayin ediniz, yani bu kuralla nereye varmak, neyi gerçekleştirmek istiyoruz?

Sonra,

- ☐ Kuralları alışkanlık haline getirdiğiniz zaman her şey kendiliğinden yürür.
 - ☐ “ Nerede, ne zaman, ne yapacaktım ?” gibi soruları düşünmeden uygulamaya koyarız.
- Eğitim - Disiplin aşamasında, hedef alandaki faydalı değişikliklerden bir alışkanlık çıkarmak için aşağıdaki beş olgunun oluşması gerekir.
- ☐ Yeni ustalıklar ve farkında oluşun gelişmesi.
 - ☐ Yönetimden destek
 - ☐ Firma içinde süren geniş iletişim
 - ☐ 5S faaliyetlerinin günlük işlerin parçası olması.
 - ☐ Tüm çalışanların katılımı.

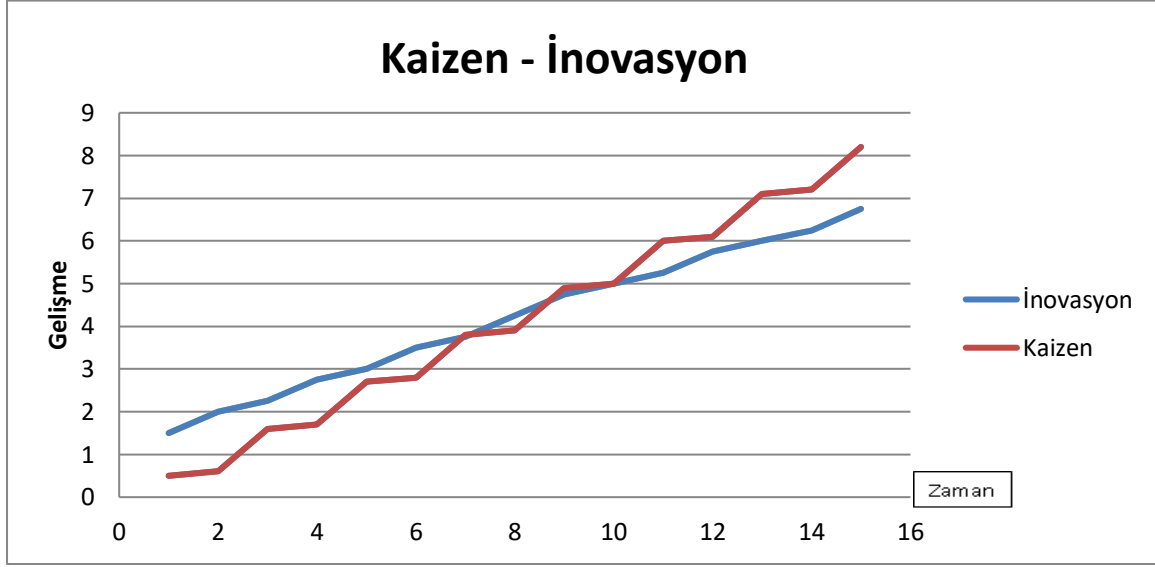
Eğitim – Disiplin Uygulama Aşamaları:

- ☐ Eğitim - Disiplin için plan yapılması
- ☐ Plan için yönetimin desteğinden emin olunması ve gerekli düzeltmelerin yapılması.
- ☐ Alandaki herkesin 5 S standartları ve amaçları hakkında eğitilmesi.
- ☐ Bir 5S iletişim Tahtasının oluşturulması ve sürdürülmesi.
- ☐ Diğer iletişim aletlerinin oluşturulması ve sürdürülmesi.
- ☐ 5 Dakika 5S ve Haftalık 5S faaliyetleri ile 5S faaliyetlerini günlük işlerin parçası yapılması.
- ☐ Tüm standartları apaçık yapmak için standartların ve görsel metotların geliştirilmesine devam edilmesi.
- ☐ Tüm çalışanların katılımının arttırılmasına devam edilmesi.

4.7. KAİZEN

Japonca kai değişim, zen ise daha iyi anlamına gelir. Kaizen iş gücüne dayalı anlamına da gelir. (sürekli iyileştirme) Kaizen sonuçlardan ziyade süreçlere yöneliktir. Kaizen ve yenilik (inovasyon) kavramları birbirine karıştırılmamalıdır. Yenilik, büyük yatırımlar ve teknolojik değişikliklerle sıçrama yaparak performans iyileştirmeleri yapmaktır. Kaizen ise mevcut üretim sistemin kayıpların tek tek ele alınarak çözülmesidir.

Kaizen, küçük fakat sürekli adımlarla mevcut durumun iyileştirmesini hedefler. Bekleme, gereksiz işlem ve gereksiz hareket gibi mudaları yok etmektir. Yöneticiler ve işçiler bunun bir parçasıdır. İnsanların sorumlu olduğu alanda sürekli küçük iyileştirme yapmalıdır.



YENİLİK	KAİZEN
-Uzun aralıklarla ani sıçramalarla yapılan performans iyileştirmeleridir. -Var olanın yerine yeni bir makine -Büyük masraflar gerektirir -Sınırlı sayıda şampiyon çıkarır	-Mevcut durumu iyileştirmeye yöneliktir. Olmasa da hayat devam eder. -Var olanın daha iyi duruma getirir -Çok küçük masraflar gerektirir -Ekipler şampiyon olabilir

Kaizen adı, başlangıç tarihi, önceki sonraki durum, maliyet, kontrol, bitiş tarihi

1) Kaizen Türleri

a) Kaizen (önce – sonra)

- Birey öncelikli çalışmadır. Ekip sayısı 1 veya 2 kişiden oluşur.
- Tecrübe ve sağ duyu ile gerçekleştirilir.
- Her an uygulanabilir.
- Tüm alanlara uygulanabilir.
- Kısa sürede tamamlanan çalışmalardır.

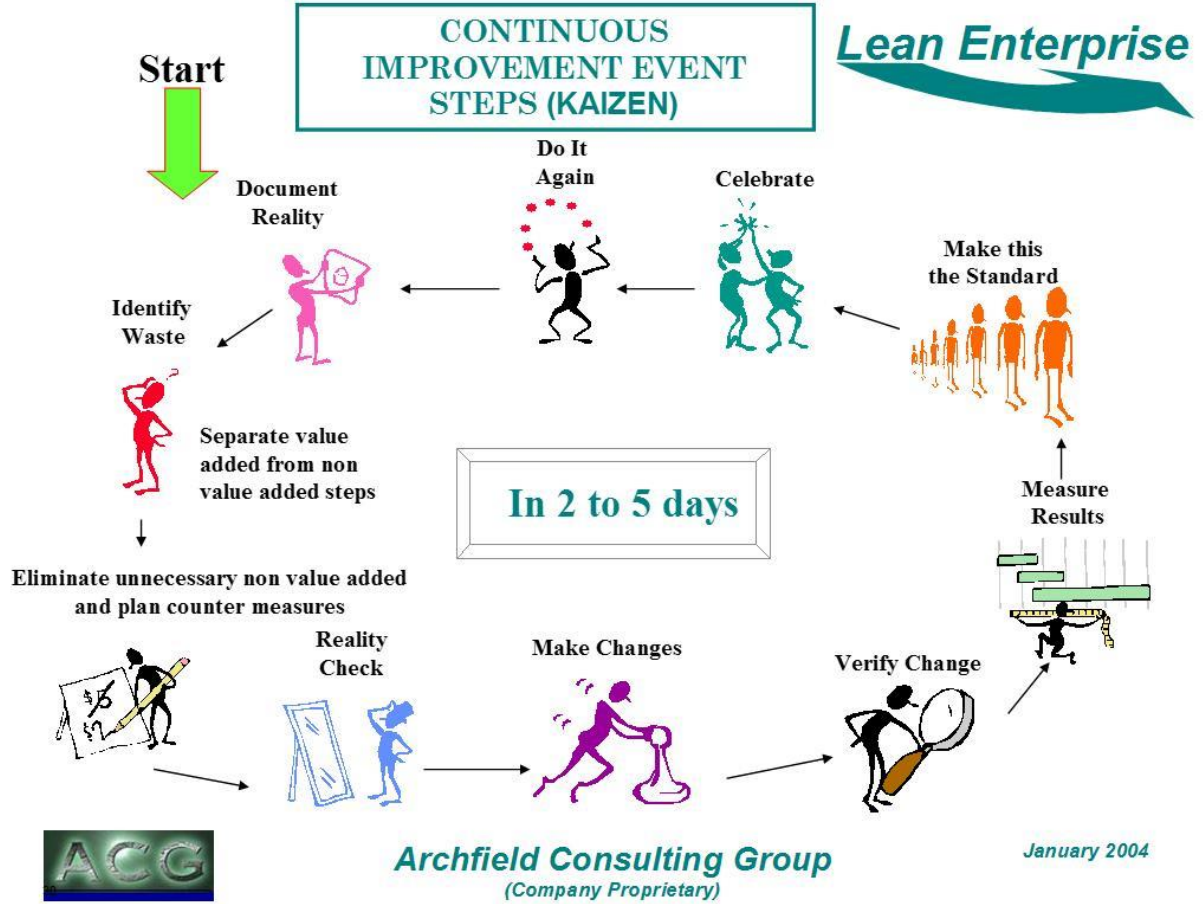
b) Kobetsu Kaizen

- Ekip öncelikli çalışmalarıdır.

- Ekip kişi sayısı en az 3 en fazla 5 kişidir.
- 16 büyük kaybı içerir.
- Veri takibi gerektirir. Öncesinde ve sonrasında gözlem gerektirir.
- Sadece kendi alanı ile ilgili uygulanabilir.
- Uzun süreli (3-6 ay) çalışmalarıdır.
- Takım lideri vardır.

4.7.1. Kaizen Nasıl Yapılır?

KAIZEN 'in yapılabilmesi için öncelikle problemin tanımlanması gerekir. Kaizen yapacak kişilerde problem şuuru oluşturulması gerekir.



4.7.2. Kaizen'e Başlamak İçin Gereken 3 Aşama;

- 1- Problemin tanımlanması (sorun tanımlama)
- 2- Fikir üretme (çözüm için öneriler)
- 3-Uygulama

Sorunu tanımlama aşamasında; ``Halen yapılmakta olan en iyisidir ``diye düşünülürse yapılanı iyileştirmek mümkün olmaz. Bu yüzden çalışanlarda, işi daha hızlı daha verimli ve daha iyi yapmanın başka bir yolu olduğu bilincinin oluşturulması gerekmektedir.

Problemi Bulma Yolları

1. METOT:

Sorunlar, hatalar, yanlışlar gibi görülebilen problemler.

Örneğin :

Bugün makinenin sesi daha farklı

Parça üretimi yeterli değil

Kayıtlarda hata vardı

2. METOT:

Görünmez sorunlar

Bütün iş normal görünüyor hata ve israf bulunamıyorsa;

İşi inceleyin ve o işi parçalayın yarı mamullerin hareketleriyle gösterin ve bir hareket israfı bulun. 16 büyük kayba odaklanın.

3. METOT:

Bazı anahtar kelimelere dikkat ederek problemi bulunuz.

- Niçin, neden, ne oldu
- Her zaman
- Tekrar tekrar
- Çok zaman alıyor
- Yapmak yada kavramak zor
- Anlamak güç
- Kontrol edilmemiş
- Sadece bay X bunu yapabilir

Fikir Üretme

Problemi çözmek için fikir üretmek gerekir. Fikir üretilirken Kaizenler eleme, azaltma ve değiştirme yöntemiyle tetiklenir. Lüzumsuz olan elenebilir. Gereğinden fazla olan azaltılabilir. Ya da değiştirilerek Kaizen yapılabilir. Ele-Yok et – Azalt – Değiştir.

KAIZEN 1. Adım: "Ele-Yok et"

Umumi kullanıma açık yerlerde klozet kapağı bir ihtiyaç mıdır?





Uygulama

Kaizen aktivitelerinde en önemli evre uygulamadır. Problemin, önerinin uygulamanın ve elde edilen iyileştirmenin anlatıldığı bir rapor ile çalışanların motivasyon kazanmalarına fırsat verilmesi, takdir edilmesi, gereğinde ödüllendirilmesi yada onurlandırılması yaşayan bir Kaizen sistemi için gereklidir.

İyileştirme, her zaman için bir önceki prodesten ne geleceğinin bilincinde olmayı gerektirir. İşletmede problemlerin çözümü için uğraşanlara “neden” sorusunu bir kez değil, beş kez sormaları söylenir; çoğu kez, ilk cevap problemin gerçek sebebi değildir. Birkaç kez “neden” sorusunu tekrarlayarak birçok bilgiye ulaşılır ki, bunlardan biri gerçek sebeptir. Toyota Motor’un eski başkan yardımcısı Taiichi Ohno makinenin durma nedenini bulmak için şu örneği vermiştir:

SORU	CEVAP
Makine neden durdu?	Çünkü aşırı yüklenmeden dolayı sigorta attı
Neden aşırı yükleme oldu?	Çünkü yağlama yetersizdi
Neden yetersizdi?	Çünkü yağlama pompası düzgün çalışmıyordu.
Neden düzgün çalışmıyordu	Çünkü pompanın mili aşınmıştı
Neden aşınmıştı?	Çünkü içine pis su girmişti.

“Neden” sorusunu 5 kez tekrarlayarak gerçek sebebi bulmak ve dolayısıyla çözüme ulaşmak mümkün olmuştur: Yağlama pompasına bir süzgeç eklemek.

4.7.3 Kaizen Formu İçeriği

- Kaizen’i yapanın:
 1. Çalıştığı bölüm
 2. Makina (veya proses) adı
 3. Kaizen’in adı, tanımı
 4. Başlangıç tarihi
- Kaizen Aktivitesi:
 5. Kaizen aktivitesine verilen numara
 6. Kaizen öncesi durumu gösterir çizim veya fotoğraf
 7. Önceki durumun, problemin, kayıpların açıklanması, ölçütler
 8. Kaizen sonrası durumu gösterir çizim ve fotoğraf
 9. Sonraki durumun farkının açıklaması
- Sonuçlar:
 10. Kaizen maliyeti
 11. Kaizen sonuçları, iyileşmiş ölçütler, bitiş tarihi
- Notlar:
 12. Örneğin fabrikalardaki 16 büyük kayıp listesi

BÖLÜM		MAKİNA/PROSES	KAİZEN ADI/TANIMI	KAİZEN NO
Sadettin Sarag		Isıtma	Kompresörden Isınma	1
KAİZEN ÖNCESİ		KAİZEN SONRASI		
AÇIKLAMA, FOTOĞRAF, ÇİZİM				
	KÖTÜ DURUMUN AÇIKLAMASI KAYIPLAR		GELİNE İYİ DURUMUN AÇIKLAMASI	
	Kompresörü soğutan hava içeriden alınıp ısınan hava dışarı (boşuna) atılmaktadır.		Kışın Dışarı giden sıcak hava kanalının önü kapatılarak, kanal yanında kesilen yerden içeri yönlendirilmiştir.	
YAKLAŞIM VE AMAÇ:		YAPILAN KAİZENİN AVANTAJ VE GETİRİSİ:		
Boşa giden sıcak havanın içeri dön- dürülerek ısınma için kullanılması		3000 kcal/hr = ayda 15 YTL karşı- lığı doğal gaz tasarrufu (2 ayda amorti) Bitiş Tarihi: 12.1.2007		
Kayıplar: 1. Arıza 2. Set-up/Ayar 3. Takım Değişimi 4. Başlangıç Kayıpları		5. Küçük Duruşlar 6. Hız Kayıpları 7. Hata ve Tamir Kayıpları 8. Kapatma Kayıpları	9. Yönetim Kayıpları 10. Üretim Hareket 11. Hat Organizasyon 12. Lojistik	13. Ölçme ve Ayar Kayıpları 14. Enerji Kayıpları 15. Çirkin Kayıpları 16. Ekipman Kayıpları
		MALİYET: Kesme, 5 YTL; Kapak ye- pini 20 YTL = 25 YTL		

• Evde Kaizen:

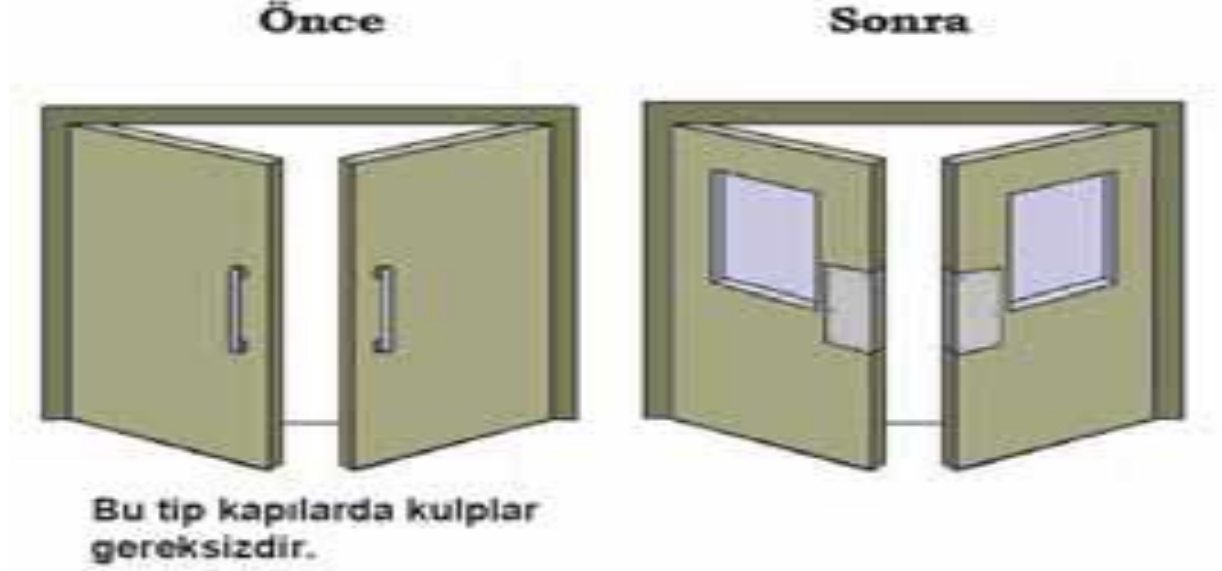
Mutfakta bulaşık makinesi ile her iki günde bir yıkanmış tabak ve bardakların değişik dolaplara dağıtıldığını ve istiflendiğini düşünelim.

Ev hanımının yapabileceği bir Kaizen ile tabak ve bardakların konulacak dolaplar, bulaşık makinasına en yakın dolaplarla değiştirilse; her iki günde bir 3 dakika tasarruf edilebilir ve bu küçük yer değiştirme operasyonu ile yılda 8 saat kazanılabilir. Böylece küçük bir değişiklik büyük bir tasarruf elde edilmiş olur.”



- **Günlük Hayatta Kaizen:**

İki tarafa da açılabilen yaylı kapıların üzerindeki kulplar aslında fonksiyonsuzdur. Çünkü bu kapılar sadece itilmektedir. Bu nedenle kapı üzerine yalnızca kapının el ile sürekli itildiği bölgesine kulp yerine bir alüminyum levha konulabilir. Alüminyum levha temizliği sağlarken, kapı kulbunun yüksek maliyeti tasarruf edilmiş olur. Ayrıca, bu tür kapılar her iki tarafa da açılabileceğinden, diğer tarafı gösteren bir cam bulunması da küçük ama kazaları azaltıcı önemli bir değişiklik olur.



Bunun gibi daha birçok pratik örnekleri bulmak mümkündür. Örneğin, bir çalışan yerleri temizlerken süpürgeyi arabanın bir kenarına asarak kendi temizlik sürecini hızlandırabilir. Temizlik için sopalı paspas yerine, terliğin altına yerleştirilen paspas bezleri de bir Kaizen'dir. Bu örneklerde olduğu gibi "Kaizen" sürekli gelişme, sürekli ve tekrar tekrar, durmaksızın, çok sayıda değişimi, gelişimi gerçekleştirmek anlamını taşır.

KAIZEN küçük bir değişikliktir.
Metotta yapılan küçük bir değişiklik.



KAIZEN bir şeyi daha iyi, kolay ve hızlı yapmak için uygulanan değişikliktir.



Üründe Kaizen:

Ürünler her gün fabrikaların, atölyelerin süreçleri içinde oluşmakta, yüzlerce, binlerce, on binlerce yapılmaktadır.

Fabrika çalışanları, her an değişik bir üretim aşamasında olan ürünü görürler. Bu ürünlere müşterinin değer kriterleri (kalite, maliyet, teslim süresi) açısından bakılırsa bu kriterlerde birçok çalışan birçok iyileşme yaparsa; toplamda kaliteyi önemli ölçüde artırmak, fonksiyonları zenginleştirmek, maliyeti ve teslim süresini düşürmek mümkündür.

Diş fırçalarından örnek verirse: Dişini fırçalayan zaten fırçayı ileri geri hareket ettirmiyor mu? Çok sayıda fırça kılı gerçekten gerekli mi? Yıllar öncesi diş fırçalarını hatırlayalım: Çok sayıda kıl dizileri vardı.

Şimdiki diş fırçaları daha az sayıda kıl dizinleri taşıyor. Müşterilerin kalite anlayışın zedelemeyecek oranda birileri Kaizen yapmış, maliyeti düşürmüş...

Azaltarak Kaizen

Diş fırçasının fırça kısmı gereksiz uzunlukta



İşyerinde Kaizen:

Örneğin, bir tezgahta, biri kısa boylu, diğeri uzun boylu iki kişinin beraber çalıştıklarını varsayalım. Böyle bir atmosferde iş görmek her iki çalışan için de zordur. Çalışanlardan biri, bir Kaizen yapabilir: Kısa boylu olanın ayağının altına bir platform koyarak, kendini yükseltmesi sağlanabilir. Böylece, sürece yönelik bir iyileşme sağlanır, işler daha kolay yapılabilir, sonuçta da verim artmış olur.

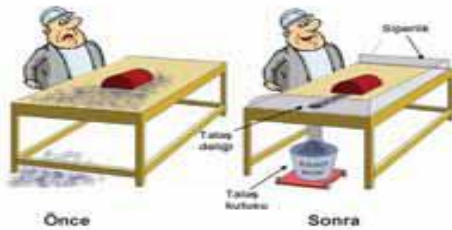
**Tezgahın yüksekliğini
değiştiremezsiniz.**



Önce: Bir metal parçanın çapaklarının temizlendiği çalışma ortamını düşünelim. Masanın üstü metal tozlar ile dolu, zaman zaman tozlar yere dökülüyor ve sonra temizleniyor. Ve böylece bir emek kaybı oluşuyor.

Sonra: Çalışan üç Kaizen yapabilir: Önce masasının kenarına bir siperlik koyarak tozların yere dökülmesini önler; böylece yeri önce kirletip, sonra temizlemekten kurtulur. İkinci Kaizen: Bunu takiben, masaya bir delik delerek, altına talaş kutusu koyabilir. Ve sık sık talaş temizlemek zorunda kalmaz. Talaş kutusunu sadece dolunca dökmek yeterli olur. Üçüncü Kaizen: Çalışan, talaş kutusunu masanın altına eğilip almak ve el ile taşımak yerine kutunun altına tekerlekli bir araba koyabilir ve dolunca istenilen yere çekerek kolayca götürebilir.

**Etrafı kirletmeden de iş yapmanın yolu vardır.
Kirlenip sonra da temizlemeye uğraşmak kayıptır.**



Ofiste Kaizen:

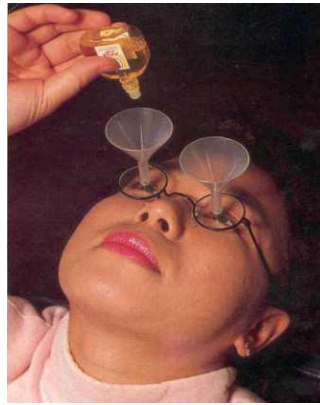
Önceki durum: Kablolar dağınık.

Çirkin görünümün haricinde yerlere sarkan kablolarla takılıp kabloların kopması, fişlerin çıkması mümkün.

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Kaizen sonrası durum: Ofis cihazlarına ait kabloların basit bir plastik spiralle bağlanması, dağınık kabloların ortaya çıkartabileceği sorunların önlenmesine ve ofisin temiz ve düzenli görünmesine yardımcı olabilir.

Ofiste Kaizen



Bir KAIZEN çalışmasından : Yeni Süreç Tasarımı

ÖNCE



Su yumuşatma
kimy.:30 lt

Sülfirik asit
kimy.:25 lt

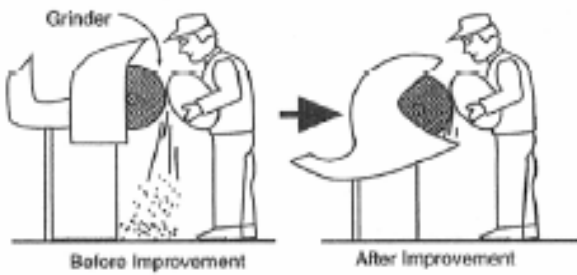
SONRA



Su yumuşatma
kimy.:10 lt

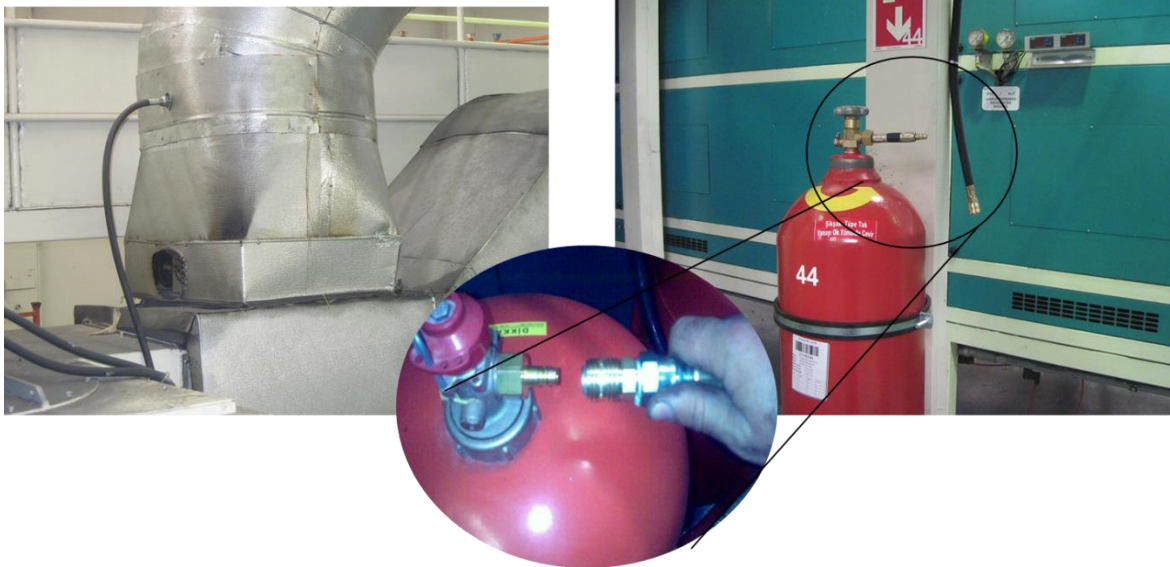


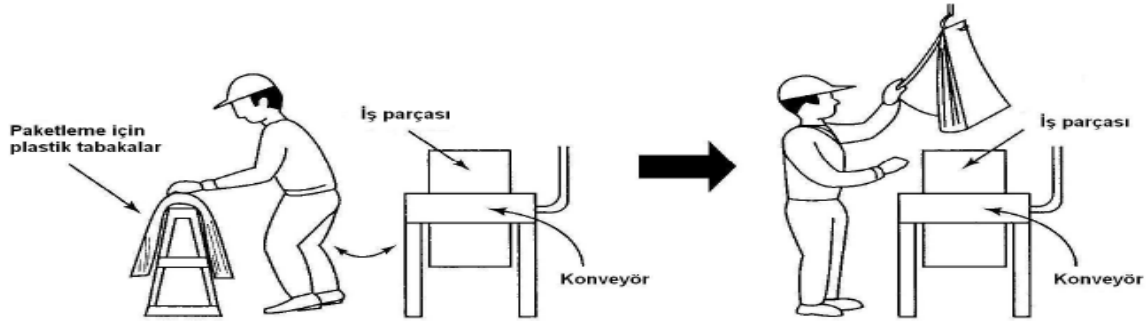
Sülfirik asit
kimy.:16 lt



Yangın Söndürme İyileştirmeleri

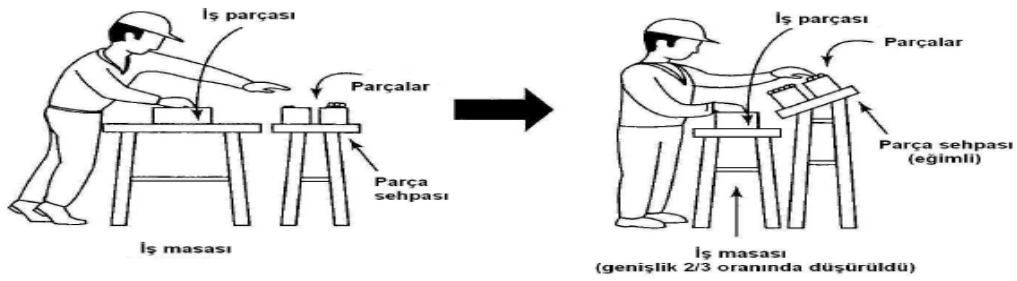
Boyahane proses bacalarında oluşabilecek olası bir yangın durumunda hızlı müdahale edilebilmesi için bacaya bağlantılı CO₂'li yangın söndürme tüpleri devreye alındı.





Torbalar operatörün arkasında, operatör her paketleme de arkaya dönüyor

Torbalar operatörün önünde paketleme sırasında arkaya dönmeye gerek kalmıyor



Malzeme yemlikleri operatöre çok uzak

Ekipmanda değişiklik yapıldı, masa daraltıldı, yemlikler için daha yüksek ve eğimli bir sehpa yapıldı



Ödül

- Toplantıda onurlandırma
- Sertifika, takdir belgesi
- Kaizen başına küçük hediye
- Çok kaizen yapana ayrı hediye
- Eve postalanan mektup ile takdirname

4.8 Otonom Bakım

Operatörlerin bakım departmanlarından bağımsız olarak kendi ekipmanlarına yapmış oldukları bakımlardır. TPM uygulamasında operatörler gerekli eğitimi aldıktan sonra ekipmanla ilgili tüm kontrolleri, ayarları, temizlikleri vb. işlemleri yaparlar. Tipik bakım faaliyetleri günlük kontroller, yağlama, basit temizlikler ve normallik testi gibi basit ayarlardır.

Otonom bakım yaklaşımları;

Makinenin bir noktasına uyguladığımız bir gelişmenin tecrübesini tüm fabrikaya uygulanmasıdır. Örneğin, bir motorda yaptığımız iyileştirme, başka bir süreçte fayda sağlayabilir.

Otonom bakım 7 aşamada uygulanabilir:

1. Temizlik ve kontrol; hatalı, eksik ve sorunlu kısımları kontrol edilmesi. Yağ kaçaqları, gevşemiş cıvata, kayış gerginlik tespiti ve giderilmesi, elektrik panellerinin temizlenmesi.
2. Problemin asıl kaynağının yok edilmesi.
3. Temizlik ve yağlama standartları.
4. Genel kontroller; operatörlere o makine ile çalışma koşullarının bildirmek. Temel elektrik bilgileri ile donatmak. Burunla – dille – dokunarak – kulakla – gözle
5. Otonom kontrol; bakım kontrolü, bakım talimatları, planları kolaylaştıracak ekipmanlar temin edilir, iyileştirmeler yapılır.
6. Tertip ve düzen ISO standartlarına göre gerektiği zaman her belgeye ulaşabilmektir.
7. Tam otonom bakım; takım çalışmalarının yapılması.

4.8.1. Bakımda İnsan Performansını Etkileyen Faktörler

Gelişen teknoloji bakım personeli ve üretim operatörlerinden beklenenleri değiştiriyor. Basit, sık tekrarlar gerçekleştirilen bakımlar, bakım personelinin bilgi, becerisini yanlış ve verimsiz kullanmasına yol açıyor. Yüksek teknolojinin, yüksek bilgi düzeyli ve beceri sahibi proaktif bakım elemanlarına ihtiyacı var.

Artık "operatörün makinasını kullanması", makinasının belirli düğmelerine basması anlamına gelmiyor. "Makina kullanımı" doğru kullanım, etkin kullanım, sistem bozulmalarına ve hatalı üretime karşı korunum, duyuların kullanılarak değişikliklerin ve giderek kötüleşmelerin, önceden fark edilmesi anlamına geliyor.

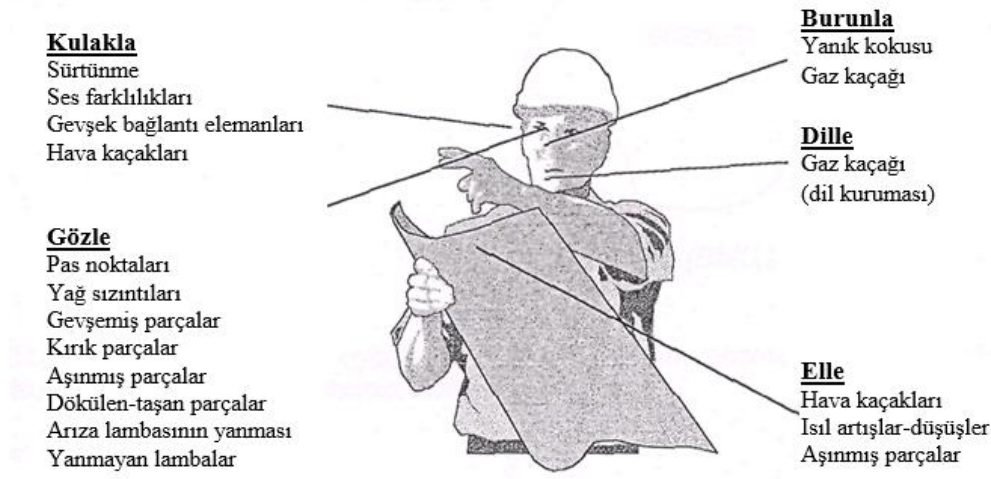
Üretkenliğin artması, üretim ve bakım kısımlarının bu amaç doğrultusunda bilgi ve emek paylaşımı yapması ile sağlanabilir.

Burada amaç; bakımın daha teknik, kestirimci bakım türü işlerle uğraşması, bilgisini ve tecrübesini en etkin alanlarda kullanıma sunması. Buna karşılık operatör, makinasını doğru kullanacak, hata ve çökme belirtilerini kendisine verilen beceri geliştirme eğitimleriyle ve Toplam Üretken Bakım (TPM)'in basit fakat etkin tekniklerini uygulayarak bilgi seviyesini arttıracak.

Ekipman yoğun iş koşuşturması içerisinde sahip olması gereken değerleri zaman içerisinde kaybediyor. Bazı vidalar gevşer. Yağlama, en azından her noktada, etkin olmayabilir ve ıskarta, yağ sızıntısı, kir, pas, toz gibi unsurlar bu hataların görülmesini engelleyebilir. Aslında ekipman bozulmadan önce, çalışma esnasında birçok hata mesajı verir. Bunlar operatör tarafından önceden fark edilebilmeli, operatör ilk müdahaleyi yapabilmelidir. İlk müdahale, bakımıcının çağırılmasından, makinenin kapatılmasına veya ayar değerlerinin değiştirilmesine kadar değişik davranışları içerebilir. Önemli olan, operatörün bilgilendirildiği ve sınındığı alanda yetkilendirilmesidir.

SKF rulman firmasının yaptığı bilimsel araştırmalar sonucunda mekanik arızaların % 50'lere varan bir oranda tamamen yağa bağlı sorunlar sebebiyle ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Operatörün bu konu üzerinde dikkatli olması sonucu yağ kökenli mekanik arızaların büyük ölçüde önüne geçilmiş olacaktır.

Operatörün makinasında oluşan beş duyu organı ile fark edebileceği her türlü hata ve giderek kötüleşme belirtisini derhal kalıcı çözüme ulaştırması gerekir.



Şekil: Beş duyu organımız ile fark edebileceğimiz bazı hatalar

İnsan, duygusal, ruhsal ve beyinsel yönleriyle bir bütündür. Bu yönlerin ayrı ayrı ele alınıp her birinin gerek iletişim gerekse performans itibarıyla artıları ve eksileri değerlendirilmeli ve buna göre konu irdelenip gerekli önlemler alınmalı, bakımda insan faktörü üzerine olumsuzlukları en aza indirecek gerekli eğitimler verilmelidir.

İnsan faktörleri araştırmaları, başlangıçta, havacılık endüstrisinde yoğunlaşmıştır. Daha sonra toplumun emniyeti ve güveni açısından, tasarım, operasyon ve bakım olmak üzere, üç faaliyet üzerine yaygınlaştırılmıştır.

Esasen insanın ruhsal ve fiziksel özelliklerinin etkilerinin yanında, oluşturulan çalışma koşulları, bakımda görev alan kişilerin konu üzerine aldıkları eğitimler, kullanılan teçhizatın yeterliliği, yine toplam kalite yönetiminin bir unsuru olan takım çalışması, motivasyon gibi unsurlar şüphesiz bakımda verimliliği etkileyen faktörler olacaktır. Öyle ki; ortamda bulunan gürültü (hatta sesin geliş yönü), meydana gelen büyük miktarlardaki sıcaklık değişimleri (32°C'nin üzerindeki sıcaklıklar bitkinliğe, 10°C'nin altındaki sıcaklıklar da yorgunluk, nefes almada zorluk ve nabızda düşme gibi sonuçlar doğurur), güvenlik koşulları ve yapılan işin cinsi insanı dolaylı olarak etkileyecek ve performansına yansıtacaktır.

İnsanın iş-performans etkileşimini önemli ölçüde etkileyen unsurlardan biri de öğrenme ve eğitim yetisidir. Günümüzde yaygın olarak izlenen öğrenme modellerinden olan VAK modeline göre; görerek (Visual), duyarak (Audial) ve hareketle; dokunarak, elleyerek (Kinesthetic) gerçekleştirilen üç farklı öğrenme yöntemi birleştirildiğinde öğrenme sürecinin hızla arttığı öğrenilen bilgilerin ve uygulamaların hafızada yer etme ve uzun süre kalma olasılığının yükseldiği gözlemlenmektedir.

İnsanın performans eğilimini önemli ölçüde etkileyen unsurlardan biri de motivasyon ve koordinasyondur. Bir otomasyonu gerçekleştirirken gerekli veriler oluşturulur ve bu veriler çerçevesinde otomatize edilmiş olan ekipman bu verileri değerlendirir ve işlevi gerçekleştirir. İnsana ise bir işlev verildiğinde kişinin o konuya o anki motivasyonu, konunun koordine edilip edilmemesi gibi

unsurlar bu noktada insan-makine ayırımını ortaya koyacaktır. Belki gelecekte işletmelerde ve üretim yapan fabrikalarda insan göremeyeceğiz. Onların yerlerini mekanikleştirilmiş veya otomatikleştirilmiş makineler ve ekipmanlar alacak. Ancak arka planda; o makinelerin işlevlerini kontrol eden daima iyi motive edilmiş insanlar olacak.

Motivasyonu sağlamanın yollarından başlıcaları; eğitim ve konuyla ilgili sağlıklı bir oryantasyondur. Kişinin çalışma koşulları, sosyal güvenlik kriterleri, gelir ve kariyer planlaması motivasyonunu etkileyecek diğer faktörler olarak göze çarpmaktadır.

Çalışma Koşulları

İmalattaki kayıpları azaltmak için makinaların bakımlı olması yeterli değildir. İmalat, tek başına makinaların gerçekleştirdiği bir olay değildir, imalat, insan-makina sistemleri ile gerçekleştirilir. İnsan faktörü, en önemli üretim kaynağıdır.

Çalışma koşullarının uygun olmaması verimliliği azaltmakta, iş kazaları ve meslek hastalıklarına yol açmaktadır. Bu durum ise çok pahalı, bazen de ödenemez bazı iş sonuçlarını oluşturmaktadır.

İş kazaları ve meslek hastalıkların fiziksel sonuçları yanında ağır ekonomik sonuçları vardır:

- İş Zamanında Kayıp
- Şahitlik ve Kaza Soruşturması
- Üretim Duruşları
- Malzeme İsrafı
- İş Gecikmeleri
- Olası Yasal Masraflar

Verimlilik iyi koşullarda çalışma ile sağlanır. Çalışma koşulları ve bunların etkileri konusunda da proaktif düşünce esastır. Önlemek ödemekten daha ucuz ve insancıdır.

İş Güvenliği Analizi

İş Güvenliği Analizi, bir işi oluşturan her adımın tehlikelerini ve taşıdığı kaza potansiyelini belirlemek, kazaların ve tehlikelerin ortadan kaldırılması, azaltılması ve önlenmesi için çözümler geliştirmek üzere kullanılan bir yöntemdir.

İş güvenliği analiz sistemi; işlerin ve tehlikelerin açıkça. belirlenmesinde, yeni çalışanların eğitiminde, çok sık tekrarlanmayan işlerin uygulanmasında, kıdemli çalışanların bilgilerinin tazelenmesinde, kaza analizinde çalışanların tehlikeler ve korunma yöntemleri hakkında bilgilendirilmesinde de kullanılmaktadır.

Öncelikle temel iş istasyonları tespit edilerek. eğitimler verilir. Çalışanlarla birlikte risk analizleri yapılır. Sonrasında risk analizleri daha detaylı olarak tüm proses için yapılır. Böylece her işlemin riskleri belirlenmiş olur.

Risk analiz sonuçları "İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği" panolarına asılmaktadır. Çalışmaya başlamadan önce bunların gözden geçirilmesinde büyük yararlar vardır.

Ergonomi

Çalışan sağlığı ve iş güvenliğini sağlayarak, çalışanların fiziksel özelliklerini, fizyolojik ve psikolojik yeteneklerini en uygun biçimde kullanacakları en iyi çalışma ortamını sağlayarak, insan-makina uyumunu en üst düzeye çıkarmaktır.

Aydınlatma ve hava ve gürültü koşullarına ilişkin olarak en iyi ortamı geliştirmek, özellikle sıcak ortamlarda fiziksel iş yükünü azaltmak, çalışma pozisyonlarını geliştirmek, bazı hareketlerde çaba derecesini azaltmak, göstergelerin okunmasında çalışanların psiko-duygusal görevlerini kolaylaştırmak, doğal ve alışılmış reflekslerin daha iyi kullanılmasını sağlamak, gereksiz bilgileri anımsama çabasını önlemek ve makina kollarının çalıştırılmasını ve denetimlerini kolaylaştırmak vb. ergonomiyi ilgilendiren konulardır.

Ergonomik önlemlerin pek çoğuna yapıların, makina ve araçların tasarım aşamasında ya da donanımın kurulması aşamasında başlanması gerekir. Çünkü daha sonra yapılacak değiştirmeler ve düzeltmeler çok daha az etkili ve çok daha pahalı olacaktır. Makina ve araçlar uluslararası ergonomik standartlara uygunluk göstermelidir.

Ergonomiyi yalnızca, en son teknolojik etkinliklere uygulanan bir birikim olarak düşünmek yanlış olur; mekanik olmayan taşıma ve aktarma işlemlerinde de gelişme olanakları çoktur.

Bakımda insan faktörü ele alındığında; artık, günümüzde her yönüyle işine motive olmuş, yöneticisinden işçisine kadar yüksek verim hedefleyen ve bu yüksek verimi sağlayacak, belirtilen kriterleri birleştirerek çalışma şartlarını oluşturan işletmeler başarıyı sağlayacak ve insandan maksimum olumlu sonucu elde edecektir.

5. SÜRTÜNME ve YAĞLAMA

Aşınma; birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerde sürtünme etkisiyle oluşan, malzeme ve kütle kaybıdır. Bu değişiklikler sonucu makine parçaları fonksiyonlarını yerine getiremez hale gelirler.



Adezyon, Abrazyon, Yorulma (pitting), Kavitasyon vs. gibi çok farklı aşınma mekanizmaları ve türleri bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanlar;

Adezyon Aşınması; Cisimlerin gerçek temas yüzeyleri aslında çok çok küçük olduğundan, çok küçük yüklerde dahi yüksek basınç altındadırlar. Bu durumda malzemeler plastik deformasyona uğrayarak birbirine gerçek temas yüzeylerinden mikro kaynak ile bağlanırlar. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sonucu kaynak bağı kopar ve sonuçta cismin birinden malzeme eksilmesi oluşur.

Abrazyon Aşınması; Birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasına çevre etkisiyle yabancı sert parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırmasıyla kendini gösteren bir aşınma türüdür. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar ve yüzeyi hareket yönünde çizerek.

Aşınmayı etkileyen faktörler;

1. Hız
2. Sıcaklık
3. Yük
4. Malzeme (sertlik)
5. Yüzey pürüzlükleri (pürüzlülük)
6. Yağlayıcı çeşitleri

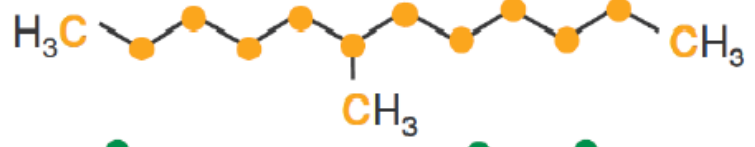
İki katı cismi birbirinden ayırmak, sürtünmeyi en aza indirmek ve parçaların kolay hareketini sağlamak amacıyla kullanılan maddelere **yağ** denir. Bu maddelerin yaptığı göreve ise **yağlama** adı verilir.

Ham petrol bir hidrokarbon karışımıdır. İçinde, hidrokarbonların yanı sıra, kükürt, azot, oksijen gibi maddeler de vardır. Bu maddelerin mineral yağ içerisinde bulunması, ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyeceğinden, uzaklaştırılmaları gerekir. Bu uzaklaştırma işlemine “RAFİNASYON” ve işlemin yapıldığı yere “RAFİNERİ” denir.

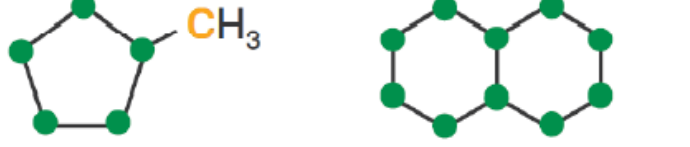
Bir yağ temelde iki bileşenden oluşur; Parafinik, Naftenik, Aromatik Hidrokarbonlar vb. Bunlardan birincisi baz yapısı ikinci ise katkı yağdır. Baz yağ, Aliğa’daki TÜPRAŞ’tan alınan ham yağdır. Katkı yağı ise yağ firmalarının baz yağının içerisine katmış oldukları ve farklı özellikler amacı ile elde edilen yağlardır. Bunlar yağın çalışacağı ortam, sıcaklık ve duruma göre yağ seçimi farklı olmalıdır. Yağlar

belli sıcaklık değişiminin olmadığı yerlerde kullanılan, tek fonksiyonlu yağlar ve değişiklik sıcaklıkta kullanıma uygun çok fonksiyonlar olarak ta sınıflandırılabilir.

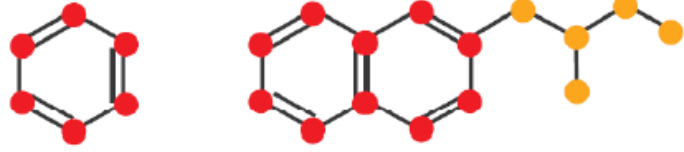
- **Parafinik Hidrokarbonlar**



- **Naftenik Hidrokarbonlar**



- **Aromatik Hidrokarbonlar**



	Aromatik	Naftenik	Parafinik
Buharlaşıma	☹️	☹️	😊
Çözünebilme Özelliği	😊	☹️	☹️
Viskozite İndeksi	☹️	☹️	😊
Düşük Sıcaklık	😊	😊😊	☹️
Cilt Uyumu	☹️	☹️	😊
Oksidasyon Dayanımı	☹️	☹️	😊
Termal Kararlılık	😊😊	😊	☹️

Yağların Görevleri;

1. Sürtünmeye minimuma düşürmek, sürtünme ile oluşan hasarları engellemek.
2. Makine parçalarının aşınmasını azaltmak, yatakları korumak
3. Isı transferini gerçekleştirmek, soğutma gibi belirli fonksiyonları yerine getirmek.
4. Makinenin ömrünü uzatmak.
5. Bakım- onarım giderlerini en aza indirmek
6. Makine içi temizlik yapmak
7. Korozyon ve oksitlenmeyi önlemek,
8. Yük aktarmak
9. Gürültüyü azaltmak.

5.1. Yağların Sınıflandırılması;

5.1.1. Gaz Yağlayıcılar:

Yüksek hızlı, az yüklü ve sürtünmeli sistemde kullanılır. Bunların viskoziteleri sıvılara göre çok küçük olduğu için kullanıldığı sistemlerde sürtünme ve bunun sonucunda az sıcaklık ile meydana gelir. Geçmişte kükürt, sıvı azot, buhar ve organik buhar kullanılmaktaydı.

- ▶ Genellikle hava, helyum, kükürt, azot, hidrojen gaz yağlayıcı olarak kullanılır.
- ▶ Gazların sıvı yağlara göre viskoziteleri çok düşüktür.
- ▶ Genellikle çok yüksek hızlarda ve çok hafif yüklerde hassas çalışma gerektiren yerlerde kullanılırlar.

5.1.2. Sıvı Yağlayıcılar:

5.1.2.1. Doğal (Tabii) Yağlar

a) Madeni (Mineral) Yağlar

Yıllardır kullanılan eski yağlardır Ham petrolün rafinerilerde işlenmesi ile elde mineral yağlar, tekrar özel işleminden geçirilerek, madeni yağların ham maddesi olan baz yağlar elde edilir. Sonra da baz yağlara çeşitli katkı maddeleri karıştırarak madeni yağlar elde edilir. Tüm madeni yağların ham maddesi aynı olmasına rağmen, piyasa da çeşitli madeni yağlar bulunmaktadır. Fiyatları ucuzdur ve bu yağlardan ortalama özellikler beklenir.

b) Bitkisel Yağlar

c) Hayvansal Yağlar

5.1.2.2 Sentetik Yağlar

Laboratuvar da çeşitli kimyasalların karıştırılması ile elde edilen yağlardır. Sentetik yağlar, petrol esaslı olmayan kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilen yağlardır. Fiyatları mineral yağlara göre pahalıdır. Daha iyi performans ve daha uzun kullanım sağlarlar. Sıcaklık değişimine göre dayanıklıdırlar.

Kimyasal yollarla üretildikleri için birçok üstün özelliklere sahiptirler:

- Çok düşük sıcaklıklarda kolay akabilme
- Çok yüksek sıcaklıklarda kolayca incelmezler
- Yüksek oksidasyon ve ısı mukavemeti sayesinde kullanım ömürleri uzundur.
- Mineral yağlara oranla daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklar ile yüksek basınçlara karşı dayanıklıdırlar.

Çizelge.1- Sentetik Yağların çalışma Sıcaklıkları (1)

Yağlar	Uzun süreli ("C)	Kısa Süreli ("C)
Madeni yağlar	93-121	135-149
Süper-rafine madeni yağlar	177-232	316-343
Sentetik hidrokarbonlar	177-232	316-343
Organik eslerler	177-190	218-232
Poliglikoller	163-177	204-218
l'olifenil eterler	316-371	427-482
Alkil fosfat eslerleri	93-121	135-149
Alil fosfat eslerleri	149-177	204-232
Puli-silikonlar	190-218	260-288
Silikonlar	218-274	316-343
Silikat esterleri	177-232	316-343
Ilalojenli poli-ariller	204-260	288-316
riorokarbonlar	288-343	399-454
Perfloroglikollar	232-260	288-343

5.1.2.3 Yarı Sentetik Yağlar

%70-80 mineral, %20-30 sentetik yağdan elde edilir. Amaç daha düşük maliyetle iyi performanslı bir yağ elde etmektir.

5.1.3. Katı Yağlayıcılar

Bunun temeli grafitir. Yüksek sıcaklıkta (>500 °C) ve diğer durumlarda ise yağ veya yağı ile süspansiyon oluşturacak şekilde kullanılır. Bu yağın kayma gerilmesi düşük, kopma mukavemeti yüksek bir tabaka oluşturma özelliği vardır. Ama vakum altında grafit yüksek bir sürtünme etkisi yapar. Bu yüzden molibden di sülfittir (MoS₂) kullanılır. Oda sıcaklığında iyi bir yağlayıcıdır. Ama 400 °C sıcaklığa kadar kullanılır. Katı yağlayıcılar alışılagelmiş yağlar ve greslerin yağlama görevlerini yerine getiremediği durumlarda kullanılırlar.

- ▶ Düşük kayma gerilmelerinde kolayca kayarlar.
- ▶ Sürtünmeyi azaltırlar ve korozyonu da önlerler.
- ▶ Kendiliğinden yağlama sağlarlar.
- ▶ Çok yüksek sıcaklıkta ve çok düşük sıcaklıkta çalışan makinelerde kullanılırlar.

5.1.4. Gresler

Sabun ve madeni yağın emülsiyonundan elde edilen üründür. Gres yağı; yavaş dönen, kaba, aşınmanın fazla rol oynamadığı ve çok tozlu yerlerde çalışan makinelerde kullanılır. Gres yağı akamaz, yatak içinde dönen muylunun sürtünmesi sonucu oluşan ısıнын gres yağını eritilmesi ile yağlama gerçekleşir.



İçinde katılaştırıcı madde bulunan sıvı yağlardan oluşan yarı katı maddelerdir. Katılaştırıcı olarak Al, Ba, Ca, Li, Na, madensel sabunlar veya bentonit, mika organik esaslı sabun olmayan maddeler kullanılabilir. Gresler içine katılan maddeye göre adlandırılır. Al gresi gibi olabilir. Gresler aşağıdaki ana gruplara ayrılırlar.

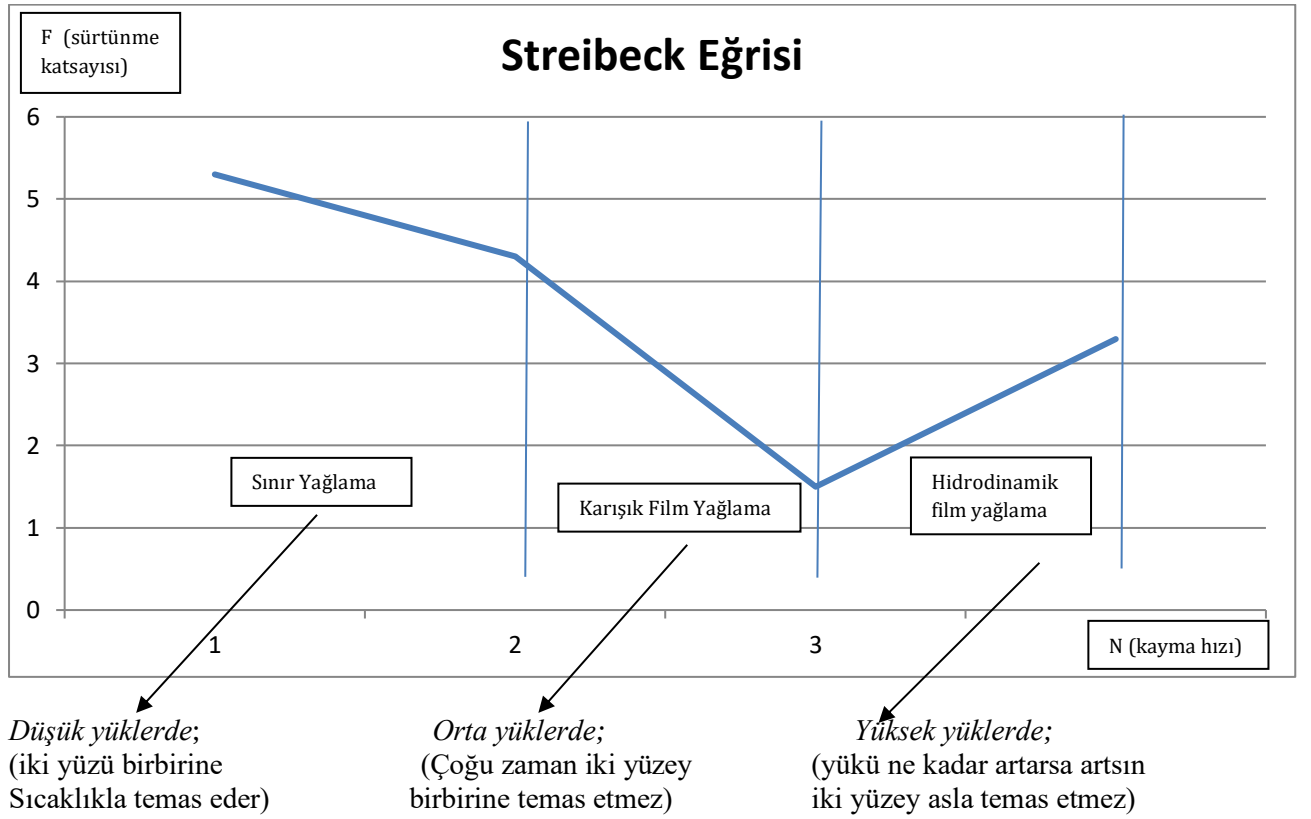
1. Lityum sabunlu gresler
2. Kompleks sabunlu gresler
3. Sodyum sabunlu gresler
4. Kalsiyum sabunlu gresler
5. Gel gresler

Gresle yağlamada rulmanlı yatağın içindeki boş hacmin kural olarak 3'te 1'i ya da yarısı gresle doldurulmalıdır. Eğer rulmanlar fazla greslenirse performansları düşer ve ısı transferi zayıflar. Gres seçiminde genelde devir sayısı ve yük miktarı etkilidir.

5.2. Streibeck Eğrisi

F: Sürtünme katsayısı, Z: Viskozite, N: Hız (kayma), P: Basınç

$$F = \frac{Z \times N}{P}$$



5.3 Yağlayıcı Maddelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

5.3.1. Viskozite

Yağın kalınlığının bir ölçüsüdür. Yani akma ya karşı gösterdiği dirençtir. Akma sırasında sıvı tabakalar arasındaki iç sürtünmelerdir. Viskozite sıcaklık ve basınç ile değişir. Basınç artarsa viskozite artar, sıcaklık artarsa viskozite düşer. Yağların 45-55 °C arasında çalışması istenir. Sıvı yağların 30-70 °C sıcaklığı arasında özellikleri çok değişir. Bu durum istenmeyen bir durumdur.

Yağın akıcılığı zor ise viskozite yüksektir. Yağın akıcılığı kolay ise viskozite düşüktür. Yağlar düşük sıcaklıklarda kalınlaşırlar. Yağlar yüksek sıcaklıklarda incelirler.

Viskozite seçiminde dikkat edilmesi gereken üç özellik:

- Hız

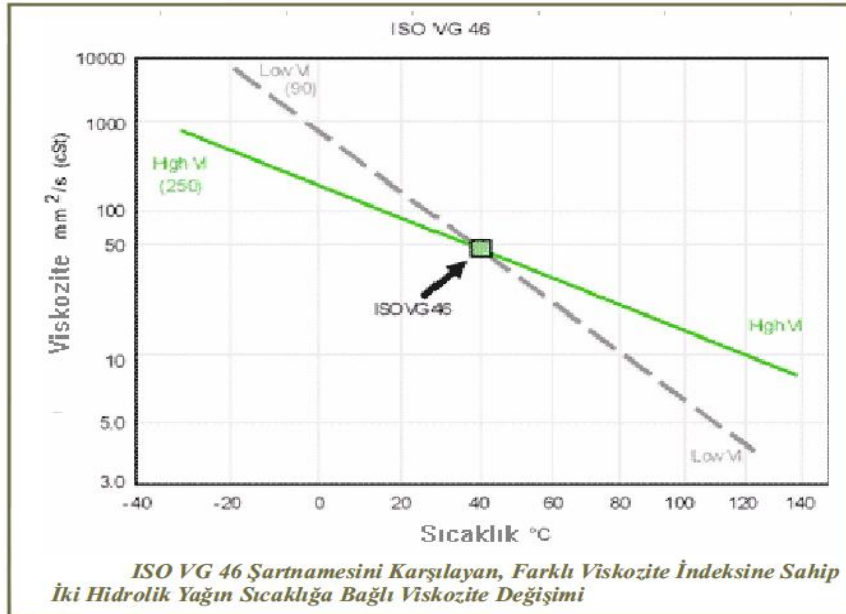
- Yük

- Sıcaklık

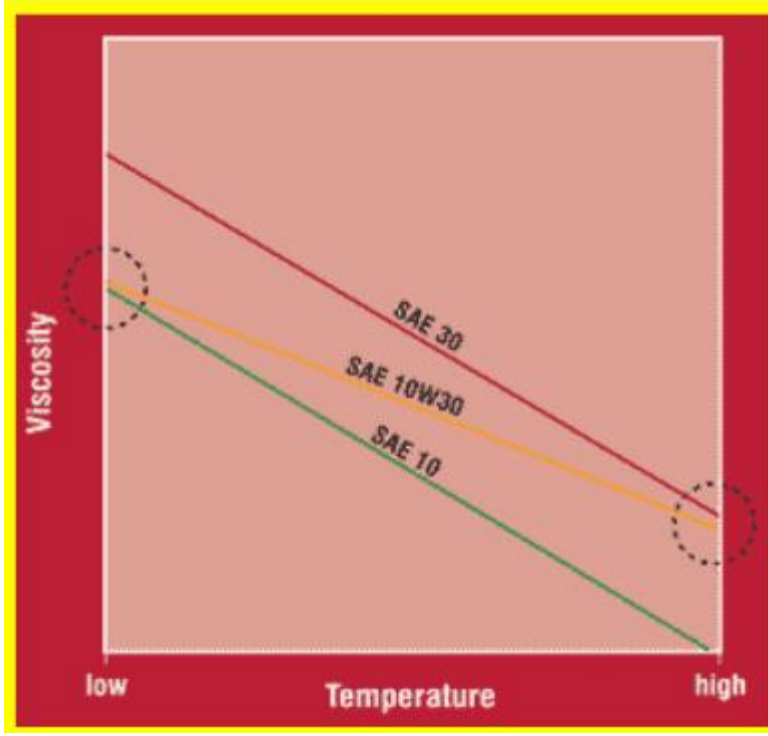
- **Mutlak viskozite:** Yağ tabakaları arasında meydana gelen sürtünme direncidir. Poise birimi ile gösterilir.
- **Kinematik viskozite:** Mutlak viskozitenin yağ yoğunluğuna oranıdır. Centistok (cSt) ile gösterilir.

5.3.2. Viskozite Endeksi (VI)

Bir yağın ısıya maruz kaldığında ne kadar inceleyeceğini gösterir. Yağların sıcaklık değişimlerine karşı viskozitelerini koruyabilme özelliğidir. İndeks numarası yükseldikçe yağın viskozitesinin sıcaklık değişiminden etkilenmesi azalır. VI ne kadar yüksekse yağ sıcaklık karşısında viskozitesini o kadar rahat korur. Yani rakam büyükse ısıya maruz kalan yağ daha az incelir. Bu aynı zamanda belirli koşullar altında nasıl davranacağını da gösterir. Çok yüksek viskozite endeksi (50) yağ özellikle düşük sıcaklıkta motorun her yerine ulaşamayabilir. Çok yüksek devirde motor ile silindir arasında film tabakası kopabilir. Aşırı sıcaklıkta çok fazla incelerek koruma özelliği kaybedebilir.



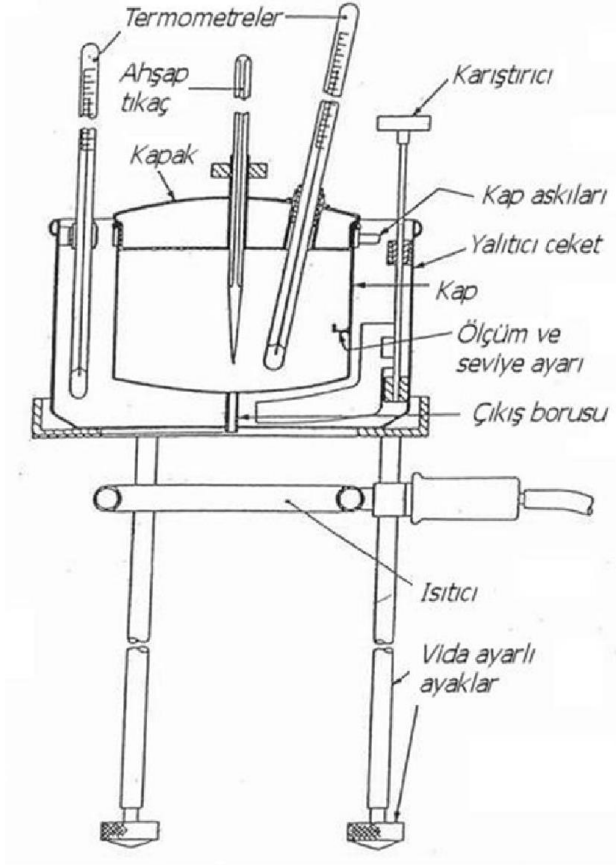
Yağların sıcaklık değişimlerine karşı viskozitelerini koruyabilme özelliklerini gösteren bir değerdir. Yüksek viskozite indeksli bir yağda sıcaklık arttıkça viskozite daha az değişir. ASTM D 2270



Çok çeşitli yöntemler söz konusu olabilir. En popüler Engler derecesidir (E°): Ölçüleri tespit edilmiş ve altında bir delik bulunan bir kap içindeki yağdan 200 cm^3 miktarının akış zamanı ölçülür. Aynı kap içine aynı ölçüde konulan 20°C sıcaklıktaki suyun 200 cm^3 miktarının akış zamanı da tespit edilir. Birincinin ikinciye oranı yağın E° cinsinden viskozitesini verir.

Engler derecesinin tarifinden de anlaşılacağı üzere, 20°C saf suyun Engler derecesi 1 olmaktadır. Engler derecesi ile SI birim sistemi arasında küçük viskozitelerde lineer bir bağıntı bulunmamaktadır. Pek çok formül arasında pratiğe en uygun olanı aşağıda verilmiştir:

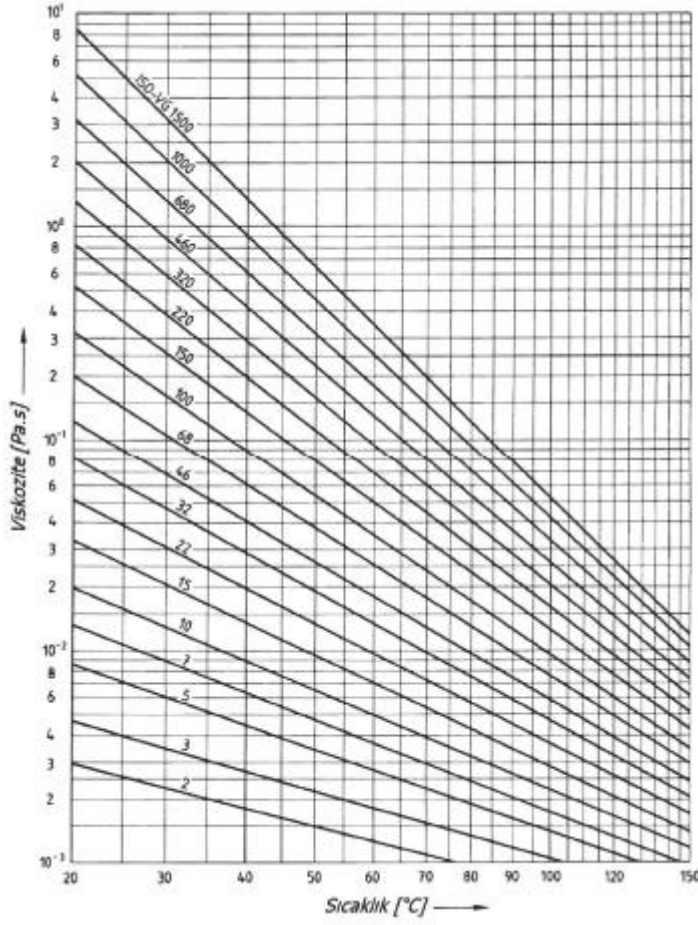
$$\nu = 7,60 \cdot 10^{-6} E^\circ \left(1 - \frac{1}{E^\circ}\right) \quad [\text{m}^2 / \text{s}]$$



Engler derecesi benzeri bir diğer viskozite ölçüm yöntemi de Saybolt viskozimetresidir. Bu viskozimetrede hacim olarak 60 ml kullanılır.



Yağlayıcı maddelerin büyük bir kısmının viskoziteleri sıcaklıkla kuvvetli bir değişme göstermektedir. Sıvı yağlarda sıcaklıkla viskozite azalmakta, gazlarda ise artmaktadır.



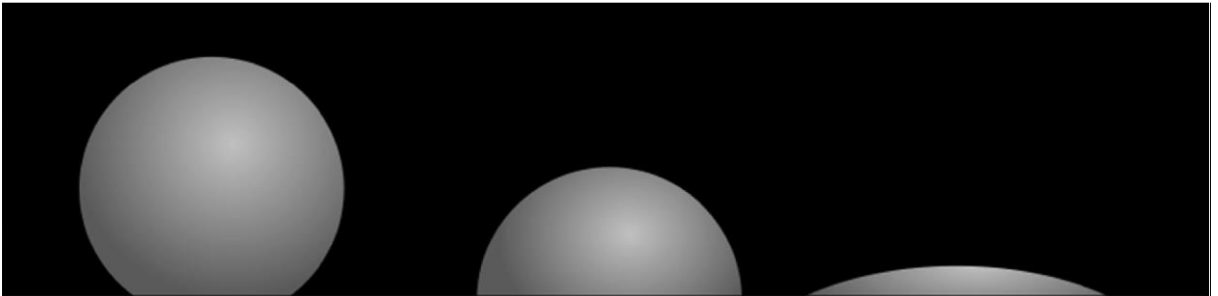
$$\eta = k \cdot e^{\frac{b}{c+t}} \quad t: (C^{\circ})$$

Bu ifadeye Vogel ifadesi denir. Burada k, b, c malzemeye bağlı sabit değerlerdir. Bunların bir kısmı sıcaklıklarla değişmekler beraber, pratikle yağların kullanıldığı sıcaklık aralıklarında bu değişimler ihmal edilebilir.

Genel olarak sıvıların ve gazların viskoziteleri basınçla artmaktadır. Yalnız 0 °C civarındaki suyun viskozitesi bir farklılık göstererek, basınçla azalmaktadır.

5.2.3. Islatma Kabiliyeti (Oilness)

Bu kabiliyet içinde yağların yüzeyler üzerinde yayılma ve yüzeylere yapışma özellikleri anlaşılır. Bu kabiliyeti tespit için çeşitli kalitatif deneyler mevcut olmakla beraber, kesin bir kantitatif değer, sayı veya tarif mevcut değildir. Sıvı ile madensel yüzey arasındaki bağ, bunlar arasındaki sınır yüzey gerilimine ve bunun bir sonucu olan kenar açısına bağlıdır. Kenar açısı ne kadar küçükse sıvının yüzeyi ıslatma kabiliyeti o kadar büyük.



5.2.4. Özgöl Ağırlık

- Madensel yağların özgül ağırlıkları da sıcaklıkla (çok az miktarda basınçla) değişir.
- Kullanılmakta olan yağların özgül ağırlıkları 20 °C’da 0,8 – 0,9 g/cm³ arasında değişmektedir.

Sıcaklıkla değişme iyi bir yakınsaklıkla

- $\gamma_t = \gamma_{20\text{ °C}} - 0,0007(t-20)$ şeklinde yazılabilir.
- Burada $\gamma_{20\text{ °C}}$ yağın 20°C özgül ağırlığı, t ise °C olarak sıcaklıktır.

5.2.5. Katılaşma Noktası

Özellikle soğuk iklimlerde kullanılacak yağlar için önem taşır. Standart bir kapta homojen olarak soğutulan yağın kabın altındaki delikten artık akmadığı sıcaklık tespit edilir. Madensel yağlarda bu sıcaklık -20°C, özel katkılı yağlarda ve sentetik yağlarda daha aşağı da olabilir. Madeni yağın kendi ağırlığı ile akabildiği ve ölçülebilir viskozitesinin olduğu en düşük sıcaklıktır. ASTM D 97

5.2.6. Alevlenme Noktası

İçten yanmalı motorlarda, kompresörlerde ve benzeri yüksek sıcaklıklarda veya yüksek sıcaklıklardaki madensel yüzeylere sahip makinelerde kullanılan yağlarda önemlidir. Standart bir kap içinde ısıtılan yağın üzerinde ortaya çıkan yağ buharı hava karışımını kızgın bir kontak ucunun yaklaştırılmasıyla parlamalar göstermeye başladığı sıcaklık tespit edilir. Buna yağın alevlenme noktası denir. Genellikle bu sıcaklığın 30-60 °C üstünde devamlı yanma başlar. Bu durumda yanma noktasına erişilmiş olur.

5.2.7. Damlama Noktası

Greslerde öneme sahip bir büyüklük olup gresin sıcaklığa dayanıklılığını tespit eden bir ölçüdür. Standart bir kap dahilinde ısıtılan gresin kap altındaki delikten damlamaya başladığı sıcaklıktır.

5.2.8. Emülsiyon Teşkili

Özellikle buhar ve su makinalarında kullanılan yağlar da öneme sahiptir. Yağa karışan suyun santrifüjlerde yağdan kolayca ayrılabilmesi arzu edilir. Bu özelliğin denenmesi şöyle yapılır:

100 cm³ su içinde 50 cm³ yağ konur ve beraberce kaynatılır. Sonra bunun içinden buhar geçirilir. Tekrar kaynatılır. Soğumaya bırakılıp yağ ve suyun birbirinden ayrılan miktarları ve zaman ölçülür. Bazı özel hallerde ise yağın emülsiyon yapması istenir. Örneğin Bor yağlarında ve bazı buhar silindiri yağlamasında olduğu gibi.

5.2.9. Nötralizasyon Sayısı

Yağın içinde zamanla ve çalışma sonu oluşan yorulma partiküllerini ve buna bağlı olarak yağ değiştirme zamanını tespit eder. Nötralizasyon sayısı, oda sıcaklığında 1 g yağ içinde bulunan serbest asitleri nötrale etmek için gerekli potasyum hidroksit’in mg olarak miktarıdır. Mesela kullanılmış buhar türbinleri yağında bu sayı 3’ ü geçmemelidir. Geçmiş ise yağ değiştirme zamanı gelmiş demektir. Ayrıca bir sabunlaşma sayısı da tarif edilmiştir. Bu sayı özellikle içinde organik yağ ihtiva eden madensel bileşimli yağlar için önemlidir.

5.3.10. Kül Miktarı

Bir kap içerisinde yakılan belirli bir miktardaki yağdan arta kalan yanma sonrası kül miktarını gösterir. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yağlar için önemlidir. İyi bir motor yağında kül miktarı sıfır olmalıdır.

5.3.11. Renk

Yağların birinin diğerine tercihinde önemli bir özellik değildir. Ancak başlangıçtaki rengi bilinen bir yağda bu rengin zamanla değişmesi yağ içinde meydana gelen yorulma parçacıkları hakkında bir fikir verebilir. Son zamanlarda kullanılan filtre kağıdı kromatografisi yardımıyla özellikle motorlarda kullanılan karter yağlarının eskime durumu oldukça iyi bir yakınsaklıkla anlaşılabilir.

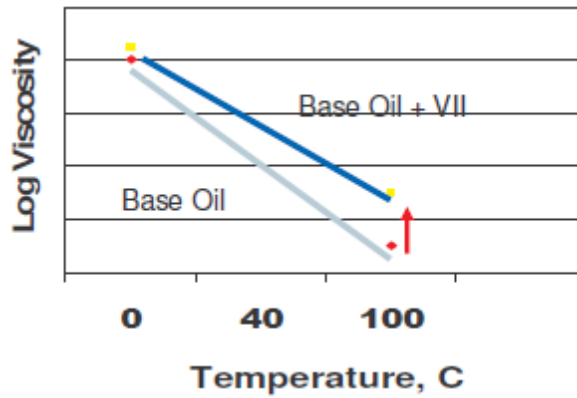
5.4. Yağlara İlave Edilen Katkılar

Yağların doğal özelliklerini artırmak ve iyileştirmek için katılan maddelerdir. Bunlar;

1. Donma noktası düşürücü katkı maddeleri: Yağların akıcılığının ortadan kalktığı sıcaklıktır. Kural olarak, yağın minimum çalışma sıcaklığı akma noktasının en az 10 °C üstünde olmalıdır. Özellikle soğutma yağları için önemli bir değerdir. Parafin kristalizasyonunu önleyerek Donma Noktasını düşürürler. Polimer esaslı maddelerdir.

2. Alev Alma Noktası Yükselticiler: Yağların pulverize halde yandığı sıcaklık derecesidir. Sıcak ortamda (haddehane, dökümhane...) kullanılan yağlarda dikkat edilmesi gereken bir özelliktir. (165 °C - 210 °C)

3. Viskozite indeksi geliştiriciler: Viskozite, bir yağın ana özelliğidir. Viskozite İndeksi ise bir yağın viskozitesinin sıcaklığa göre değişimini belirten bir sayıdır. Yüksek Viskozite İndeksli yağlarda, sıcaklığa göre viskozite değişimi daha azdır. İyi rafine edilmiş bir yağın viskozite indeksi 100 civarındadır.



VI katkıları, polimerik yapıda bileşiklerdir. Sıcaklık yükseldikçe baz yağlardaki çözünürlükleri azalır. Sıcaklık arttıkça viskozitenin azalmasına mani olur. Viskozite indeksini yükseltir.

4. Köpük Önleyiciler: Yağın içerisinde çözünmüş havanın basınç düşmesi ve sıcaklık artışı gibi durumlarda yağın üzerine çıkmasıdır. Köpüklenme aşırı ses ve titreşim oluşturur, köpüklenen yağ yük taşıyamaz.

Köpük önleyiciler yüzey gerilimleri çok düşük bileşikler olup yağda çözünmezler. En yaygın kullanılanı silikon esaslı olanlardır. Yağda daha uygun bir karışım sağlamak için aromatik bir solventte çözülerek kullanılırlar. En önemli dezavantajları, yağda çözünmediklerinden yağın dışına taşınabilmeleridir. İşlem sonrası boyanacak parçalar için silikonsuz köpük önleyiciler kullanılır.

Su ve kirlilikler, sistem hataları, pompa giriş kaçakları, düşük yağ seviyesi gibi sebepler yağda köpüğe neden olur. Pompada anormal ses ve sistemde hatalı çalışma ile belli olur ve yağın sıcaklığı yükselir. Sonucunda yağ filmi bozulur, pompada aşınma ve kavitasyon başlar, metal parçacıklarda lak oluşumları görülür. Bunun için köpük önleme özelliği yüksek yağlar kullanılmalı ve dış etkiler ortadan kaldırılmalıdır.

5. Oksidasyon Önleyiciler: havadaki oksijen ile birleşmeyi engeller. Yağların oksijenle birleşmesi olayıdır. Eğer yağlar oksijenle birleşirse:

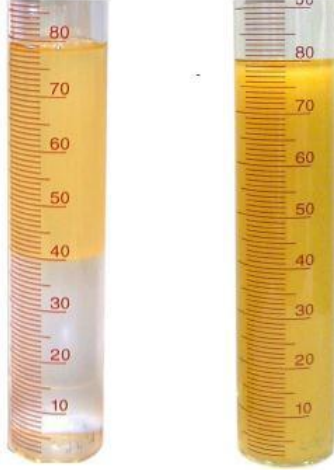
- Viskozite artar
- Yağların rengi koyulaşır
- Yağlar katılaşıp ve devre elemanlarında tıkanıklıklara neden olurlar
- Yağ ısısının artması, katalizör görevi görerek oksidasyonu hızlandırır. Yağ sıcaklığındaki her 5 °C artış, yağ ömrünü 3 kat oranında azaltır.

Havadaki oksijenin, kirlilik ve yüksek sıcaklık gibi olumsuz etkilerin yardımıyla, yağın yapısını bozulması söz konusudur. Okside olmuş bir yağda, asit numarası ve viskozite yükselir ve yağda renk değişimi gözlenir. Okside olmuş bir yağ, sistemde aşınma ve korozyon oluşumuna sebep olur. Oksidasyonu önlemek için, oksidasyon mukavemeti yüksek yağlar seçilmelidir.

6. Korozyon Önleyiciler; Korozyon, metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışardan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelen olaydır. Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar. Metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere (zarara) uğrar. Nemli ve asidik ortamın etkisiyle metal yüzeylerinde aşınmalar oluşur. Yağda renk değişimleri ve kirlilikler gözlemlenir. Bunu engellemek için korozyon önleme özelliği artırılmış yağlar kullanılmalı ve olumsuz dış etkiler ortadan kaldırılmalıdır.



7. Su İtçiler; Yağın su itme özelliğini arttırırlar.



İYİ

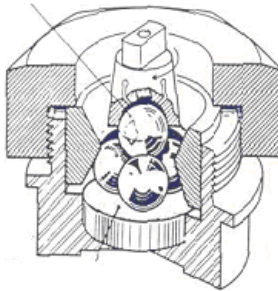
KÖTÜ

8. Aşınma önleyiciler (AW)

Aşınma önleyici katıklar, metal işleme sıvılarına motor yağlarına, hidrolik ve dişli yağlarına, greslere, metal yüzeylerini aşınmaya karşı korumak amacı ile ilave edilir. Polar yapıda olduklarından, metal yüzeyine tutunarak koruyucu bir tabaka meydana getirirler. Bu grup katıklar yüksek basınçta (yükte) etkin değildir.



9. Yüksek basınç (EP) katığı: Ağır çalışma şartları altında çalışan metal yüzeyler arasında kaynamayı ve tutunmayı önlerler. EP katıkları, yüksek basınç (yük) altında sıcaklığın da artması sonucu metal yüzeyi ile reaksiyona girerek koruyucu bir tabaka (demir sülfid, demir sülfat...) oluşturur, böylece metal yüzeyler arasındaki kaynamayı önler. Bazı tip EP katıkları aynı zamanda aşınma önleyici katık olarak kullanılabilir.



10. Deterjan ve Dispersanlar: Yüksek sıcaklık altında çalışan yağlarda motorda yanma olayı sonucu oluşan çeşitli kirleticilerin yüzeylerde tutunmasını önlerler. Bu katkı yardımıyla kirler birikerek yağlama kanallarının tıkanması engellenir.

Özellikle Motor Yağlarında gerekli olan bir katıktır. Yüzeyleri yıkar. Yağda çözünmeyen oksidasyon ürünlerini süspansiyon halinde tutar ve çökelmelerine mani olarak çamur oluşumunu engeller.



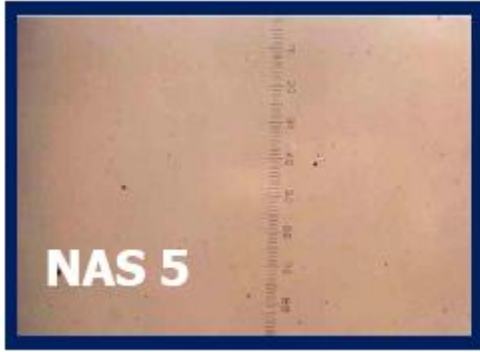
5.5. Yağların Kirlenme Nedenleri;

1. Baz yağ ve katkı maddelerinde bulunan ve imalattan gelen kirlilik
2. Baz yağ ve katkı maddelerinin depolanmasından gelen kirlilik, varillerin dikey tutulması, belli sürelerde çevrilmemesi
3. Yağların kullanıldığı sistemin imalatından veya çalışmasından gelen kirlilik (sıcaklık gibi)
4. Çevreden gelen kirlilik
5. Yağın değiştirilmesi esnasındaki dikkatsizlikler,
6. Yağların kullanıldığı sistemin ürettiği kirlilik

Yağlarda kirlilik, yağa baz yağı ve katkı maddeleri dışında karışan her türlü maddelerdir. Yağ kirliliği konusunda henüz TSE Standartları arasında yayınlanmamıştır. ISO 4406 standardına göre; yağ içinde bulunan partiküllerin sayısı için bir kod geliştirilmiştir. Bu koda göre; a/b gibi iki rakam kullanılmaktadır. Bu tanımda “a” yağ numunesinin 1 ml’inde bulunan 5 µm ve daha büyük parçaların sayısını tanımlayan bir rakam, “b” ise yine 1 ml’inde bulunan 15 µm ve daha büyük partikül sayısını tanımlayan bir rakamdır.

Yağın kirlilik seviyesini gösteren sınıflandırmalardan biri NAS1680 diğeri ISO 4406’dır.

NAS KODU	100 ml'de P a r t i k ü l Sayısı					
NAS 1680'e göre	2 – 5 µm	5–15 µm	15-25 µm	25-50 µm	50-100 µm	> 100 µm
00	625	125	22	4	1	0
0	1250	250	44	8	2	0
1	2500	500	88	16	4	1
2	5000	1000	176	32	8	1
3	10000	2000	352	64	16	2
4	20000	4000	704	128	32	4
5	40000	8000	1408	256	64	8
6	80000	16000	2816	512	128	16
7	160000	32000	5632	1024	256	32
8	320000	64000	11264	2048	512	64
9	640000	128000	22528	4096	1024	128
10	1280000	256000	45056	8192	2048	256
11	2560000	512000	90112	16384	4096	512
12	5120000	1024000	180224	32768	8192	1024
13	-	2048000	360448	65536	16384	2048
14	-	4096000	720896	131072	32768	4096



Bakım Tekniği ve Uygulamaları

ISO KODU	100 ml'deki	Partikül Sayısı	ISO KODU	100 ml'deki	Partikül Sayısı
ISO 4406'YA GÖRE	'den	'e kadar	ISO 4406'YA GÖRE	'den	'e kadar
0	0,5	1	15	16000	32000
1	1	2	16	32000	64000
2	2	4	17	64000	130000
3	4	8	18	130000	260000
4	8	16	19	260000	500000
5	16	32	20	500000	1000000
6	32	64	21	1000000	2000000
7	64	130	22	2000000	4000000
8	130	250	23	4000000	8000000
9	250	500	24	8000000	16000000
10	500	1000	25	16000000	32000000
11	1000	2000	26	32000000	64000000
12	2000	4000	27	64000000	130000000
13	4000	8000	28	130000000	250000000
14	8000	16000			

Dikkat yukarıdaki değerler 100 ml içindir.

ISO4406'ya göre Parçacık Kirlilik Kodları (1 mL'de >5 µm veya >15 µm parçacık adedi karşılığı)

a veya b	Alt Sınır	Üst Sınır
24	80.000	160.000
23	40.000	80.000
22	20.000	40.000
21	10.000	20.000
20	5.000	10.000
19	2.500	5.000
18	1.300	2.500
17	640	1.300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5

	<i>Hidrolik Sistem ve Komponent Ömür Uzama Faktörü</i>								
MEVCUT	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26/23	23/21	22/19	21/18	20/17	20/17	19/16	19/16	18/15	18/15
25/22	23/19	21/18	20/17	19/16	19/15	18/15	18/14	17/14	17/14
24/21	21/18	20/17	19/16	19/15	18/14	17/14	17/13	16/13	16/13
23/20	20/17	19/16	18/15	17/14	17/13	16/13	16/12	15/12	15/11
22/19	19/16	18/15	17/14	16/13	16/12	15/12	14/11	14/11	14/10
21/18	18/15	17/14	16/13	15/12	15/11	14/11	14/10	13/10	13/10
20/17	17/14	16/13	15/12	14/11	13/11	13/10	13/9	12/9	12/8
19/16	16/13	15/12	14/11	13/10	13/9	12/9	12/8	11/8	11/8
18/15	15/12	14/11	13/10	12/9	12/8	11/8			
17/14	14/11	13/10	12/9	12/8	11/8				
16/13	13/10	12/9	11/8						
15/12	12/9	11/8							
14/11	11/8								
13/10	11/8								

Yukarıdaki örnekte, bir hidrolik sistemde yağın ISO kodu 17/14 iken 11/8 düşürülebilirse, bu hidrolik sistemin ömrünün 6 kat artacağı gösterilmektedir.

Yağların kirlenmesi hiç istenmez. Çünkü herhangi bir sebeple yağ filminin yırtılmasıyla metal yüzeylerin birbirine işlemesi ve yüzeylerde aşınma meydana gelir. Bu da makine arızalarına neden olur. Peki yağ filmi niye yırtılır?

Yağın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değişmesi sonucu yağ, yüzeylerin birbirine uyguladığı yükü kaldıramamakta ve yırtılmaktadır. Yağın özelliklerinin değişmesinin nedeni yağın kirlenmesidir. Yağ kirliliği ilgili genel kural koymak zordur. Ancak yağların standartlardaki limit değerleri kullanılır.

Hidrolik Ekipmanlarda Kirlilik Limitleri

Hidrolik-komponentler	Temizlik sınıfları		Önerilen mutlak filtrasyon oranı [µm]
	NAS 1638	ISO DIS 4406	
Dişli pompa	9	21/18/15	10
Silindir	9	21/18/15	10
Yön valfler	9	21/18/15	10
Emniyet valfleri	9	21/18/15	10
Kısma valfleri	9	21/18/15	10
Pistonlu pompa	9	21/18/15	10
Paletli pompa	9	21/18/15	10
Basınç valfleri	6-8	19/16/13	5
Oransal valfler	6-8	19/16/13	5
Servo valfler	4	16/13/10	3
Servo silindirler	4	16/13/10	3

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Yağın kirliliğinin, yağın viskozitesini düşürmesi ve yağlanmakta olan bir rulmanın ömrü üzerindeki etkileri aşağıdaki gibidir.

Bağıl Rulman Ömrü

Rulman Tipi	Viskozite, olması gerekenin %50'si (Rulman birim ömür)	Viskozite, olması gereken (Rulman birim ömür)
Bilyalı rulman		
Yağ çok temiz	6	80
Yağ normal	2.5	50
Yağ kirli	0.6	2.5
Masuralı rulman		
Yağ çok temiz	0.6	5
Yağ normal	0.3	1.8
Yağ kirli	0.2	0.4

Görüldüğü gibi, viskozitesi düşük yağ kullanmak, rulmanı “ölüme mahkum etmek” demektir. Genel kural olarak, şu prensibi kullanabiliriz.

Kirli yağ kullanmak, viskozitesi %75 düşük yağ kullanmak demektir. Yağ viskozitesinin %50 azalması, rulman ömrünü 20'de 1'e düşürmekte, diğer bir deyişle, rulman ömrünü %95 azaltmaktadır.

5.6. TAN ve TBN Değerleri:

TAN (toplam asit sayısı) değeri, yağın 1 ml'sindeki asidi nötralize edecek alkali madde KOH miktarının gr olarak ifadesidir. TAN değerlendirilmede genel kural, TAN değeri 0,6 -1 artmışsa, yağın kullanılmayacak kadar oksitlenmiş olduğu kabul edilir. TBN değeri, rezerv alkaliyi gösterdiği için kullanımda sürekli düşer. Eğer bir yağın TBN değeri orijinal değer yarısına düşmüşse, o yağ artık asitleşmeye yeterince önleyemeyecek derede alkalensiz kalmış demektir ve asitleşme riski altındadır.

Su miktarı: Yağda su, en tehlikeli dış etkilerin başında gelir. Korozyona ve asitleşmeye neden olur.

Katkı maddelerinin durumu: Ca, Mg, Zn, P yağda asitleşmeyi önleyen maddelerdir.

Kullanılmamış bir yağda;

-Ca : % 0,321 ila 0,392 arası

-Mg : maksimum % 0,005

-Zn : % 0,104 ila 0,127 arası

-P : tipik % 0,105

Kullanılmış yağda bu değerler düşer. Üretici bu değerlere bakarak yağın durumunu analiz ederler.

5.7. Motor Yağlarının Sınıflandırılması

- ▶ SAE (Amerikan Otomotiv Müh. Birliği)
- ▶ API (Amerikan Petrol Enstitüsü)
- ▶ ILSAC (Uluslararası Yağ Standartları ve Onay Komitesi)
- ▶ ACEA (Avrupa Otomobil İmalatçıları Birliği)
- ▶ MIL (ABD Ordusu Yağ Spesifikasyonları)
- ▶ JASO (Japon Otomobil Standartları Organizasyonu)

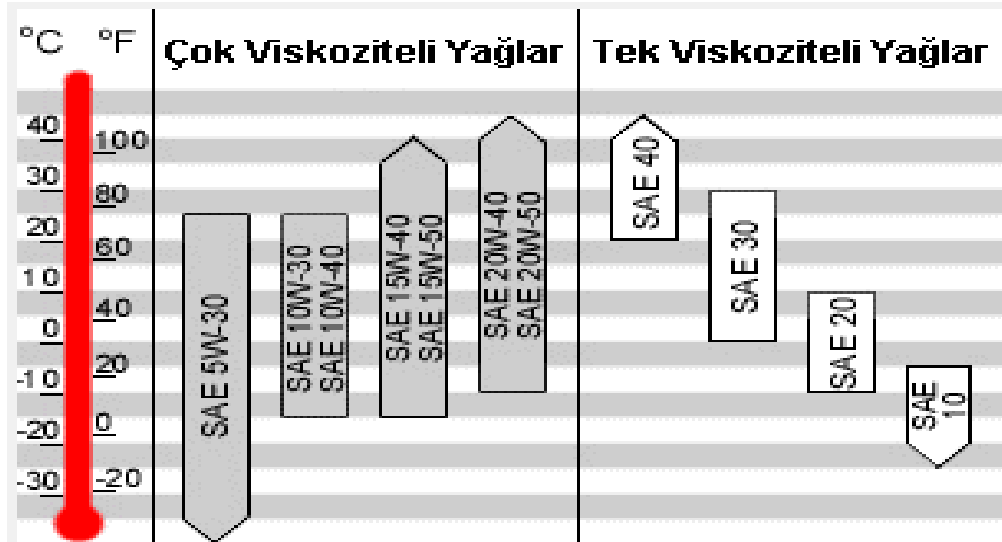
5.7.1. SAE Kalite Sınıflandırması

Viskozite endeksine göre en bilinen sınıflandırma türüdür. Bu sınıflandırmada biz yaşadığımız yerin iklim koşullarına göre aracımızın yağını seçebiliriz. SAE sınıflandırma “W” harfi ile birbirinden ayrılan iki rakamdan oluşur. SAE 10W-40 örnek alacak olursak; 10 değeri kış koşullarındaki viskozite değeri “W” harfi ise winter kelimesinden gelir. 40 ise sıcak iklim koşullarındaki viskoziteyi gösterir.

Yağlar viskozite teknolojisine göre 2’ye ayrılır:

1-)Tek Dereceli Yağlar: Bu tip yağlar hava sıcaklığının fazla değişmediği yerlerde kullanılır. Gelişen teknolojiyle birlikte kullanımı azalmıştır.

2-) Çok Dereceli Yağlar: Hem kış hem de yaz aylarında kullanılabilen yağlardır. Tek dereceli yağlara özel katkı maddesi eklenerek elde edilirler.



Motor Yağları SAE (Society of Automotive Engineers) Viskozite Sınıflandırması

SAE Viskozite Sınıfı		°C Sıcaklıkta Maks. Viskozite		30.000 cP Viskozite için Maks. Pompalama	°C Sıcaklıkta Maks. Viskozite	
Kış	Yaz	cP	°C		Min	Max
0W	-	3250	-30	-35	3,8	-
5W	-	3500	-25	-30	3,8	-
10W	-	3500	-20	-25	4,1	-
15W	-	3500	-15	-20	5,6	-
20W	-	4500	-10	-15	5,6	-
25W	-	6000	-5	-10	9,3	-
-	20	-	-	-	5,6	9,3
-	30	-	-	-	9,3	12,5
-	40	-	-	-	12,5	16,3
-	50	-	-	-	16,3	21,9
-	60	-	-	-	21,9	26,1

Dişli Yağları SAE (Society of Automotive Engineers) Viskozite Sınıflandırması

SAE Viskozite Sınıfı		15.000 cP Viskozite için Maks. Sıcaklıklar °C	Viskozite cSt/100 °C	
Kış	Yaz		Min	Max
75W	-	-35	4,1	-
80W	-	-30	7	-
85W	-	-25	11	-
-	90	-20	13,5	24
-	140	-15	24	41
-	250	-10	41	-

5.7.2. API Kalite Sınıflandırması:

- ▶ Motor yağlarının kalite sınıflandırılmasında en geçerli ölçütlerden biridir.
- ▶ API SH/CF. Burada “S” harfi buji ateşlemeli araçlarda (spark ignition), “C” harfi ise sıkıştırma ateşlemeli araçlarda (compressed ignition) kullanılacağını gösterir.
- ▶ Bu iki harf sabit olmak üzere, arkadan gelen harfler ise performans derecesini belirtir. (SA,SB...SH gibi).”S” ve “C” harfinden sonra gelen harfler, alfabetik sıraya göre ilerledikçe motor yağının kalitesi artar.
 - ▶ ACEA’ ya göre motor yağları;
 - Benzinli araçlarda
 - Dizel ve hafif hizmet yağları
 - Özel filtre donanımlı benzinli ve dizel hafif hizmet yağları
 - Ağır hizmet motor yağları

A
B
C
E ile gösterilmiştir.

Yağın performans seviyesi içinde rakamlar tanımlanmıştır.

- Yakıt ekonomisi için **1**
- Genel amaç için **2**
- Yüksek performans için **3**

	Kükürt (%)	Viskozite İndeksi (VI)
Grup I	> 0,03	80-119
Grup II	≤ 0,03	80-119
Grup III	≤ 0,03	≥ 120

Grup IV	Polialfaolefinler (PAO)
Grup V	Diğer bazyağlar (ör: Esterler)
Grup VI	Poliinternalolefinler (PIO)

- Grup I: Karbon dağılımına göre tanımlanırlar: aromatik – naftenik – parafinik (bazyağ pazarının %90'ını oluştururlar)
- Grup II + III: Hidrocracking, Isodewaxing, Hydrofinishing işlemleri ile elde edilmiş yarı sentetik ürünlerdir.
- Grup IV: tam sentetik ürünlerdir.

Dişli Yağları API (American Petroleum Institute) Kalite Sınıflandırması

GL-1	Hafif şartlarda çalışan spiral, konik, sonsuz dişli tipi diferansiyel ve düz şanzımanlar için katıksız madeni yağ.
GL-2	Normal şartlarda çalışan sonsuz dişli tipi diferansiyeller için özel katıklı yağ.
GL-3	Normal şartlarda çalışan spiral ve konik diferansiyeller ve düz şanzımanlar için özel katıklı yağ.
GL-4	Ağır şartlarda çalışan hipoid dişli tipi diferansiyeller için aşırı basınç ve diğer özel katıklar içeren, MIL-L-2105 şartnamesinden geçen yağ.
GL-5	Ağır şartlarda çalışan hipoid dişli tipi diferansiyeller için aşırı basıncı ve darbeli yükleri karşılayan katıklar içeren MIL-L-2105 D şartnamesinden geçen yağ.

KULLANIMDAKİ YAĞIN ANALİZİ İLE MAKİNELERDEKİ ARIZALARIN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİ

Cemal Meran^{1,*}, Güngör Aydın², Mert Yıkıcı¹, Gülşah Yarımca¹, Cennet Gamze Aydın¹, İsmail Hız²

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

²Denizli Çimento, Bakım ve Mühendislik Müdürlüğü Bakım Planlama Şefliği

* İletişim yazarı; cmeran@pau.edu.tr

Özet

Makinelerde yağ; soğutma, yük iletimi, temizleme, sürtünmeyi azaltma vs. gibi birçok amaç için kullanılabilir. Makine elemanlarının herhangi birinde meydana gelen aşınma sebepli malzeme kayıpları yağla beraber makine içinde yol almakta ve yağ haznesi girişindeki filtrelerce tutulmaktadır. Kullanımdaki yağın içine aşınma veya başka sebepli karışan elementlerin gerek kimyasal gerekse görüntüsel analizi ekipmanlarda oluşan aşınma ve kirlilik durumunu ortaya koyabilmektedir. Hatta analize göre bu aşınmanın hangi makine elemanında olduğunu bile kestirmek mümkündür. Bu çalışmada uygulamadan örnekler vererek kullanımdaki yağın analizinden makinelerdeki arızaların tespitinin nasıl yapılabildiği açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kestirimci bakım, yağ analizi, yağ, bakım, analiz

1. Giriş

Yağ analizleri, makinelerinin ömrünü ve verimliliğini arttırmak, bakım masrafları ve zaman kaybını önlemek için kullanılan bir koruyucu bakım yöntemidir. Yağ analizleri ile tüm kullanılmış yağlar; motor, şanzıman, diferansiyel, hidrolik sistem, redüktör ve açık sistem vb. yağları analiz edilebilmektedir. Bu analizler, sadece yağın durumunu değil, makine ve makine parçalarının durumunu da değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. Kestirimci bir bakım programının başarısı, işletmeye getirdiği maddi kazançla ölçülebilir. Yağ analizlerinin uygulaması ucuz, çabuk ve kolay olduğu gibi, aynı zamanda çok önemli tasarruflar sağlayabilmektedir. Yağ analizi, kullanılan orijinal yağ ve filtrelerinin yüksek performans özellikleri ile birleştğinde makineler için mümkün olabilecek en iyi bakım programının temellerini oluşturur. Yağ analizi, tıpkı bir kan tahlili gibi, makine ve motorların içinde neler olduğunu görmenin en hızlı, en kesin ve en güvenilir yoludur. Böylece büyük arızalar oluşmadan erken uyarı yapılabilmektedir (Url 1).

Modern bakım yönetiminin temel uygulamalarından biri olan yağ analizi: tüm işletmeler tarafından dikkat edilmesi ve ciddiyle uygulanması gerekli olan bir kestirimci bakım yöntemidir. Son yıllarda klasik bakım tekniklerinin yetersiz ve yüksek maliyetli olmasından dolayı kestirimci bakım uygulaması işletmeler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. .

Bu çalışmada çoğunlukla bir çimento firmasından olmak üzere farklı sektörlerdeki uygulamalardan örnek alınarak kullanımdaki yağın analizinden yola çıkılarak makinelerdeki arızaların tespitinin nasıl yapıldığının açıklanmasına çalışılmıştır.

2. Kestirimci Bakım ve Yağ Analizi

Yağ makinelerde verimli çalışmayı sağlar. Mekanik parçalarda sürtünmeyi en aza indirir. Yağ ile çalışan birçok sistemde normal şartlar altında aşınma elementleri meydana gelir. Bu aşınma elementleri yağ analizinde 10 mikron büyüklüğündeki parçacıklar şeklinde tespit edilir. Yağ analizinde genellikle sekiz element değerlendirilir. Bunlar: Cu, Fe, Cr, Pb, Al, Mo, Si, Na'dır. Silisyum (toz girişi) ve sodyum (su girişi) dışındaki tüm elementler makinelerin yapısında bulunmaktadır. Alınan numunelerdeki bazı elementler yağın içerisindeki katkı maddelerinden kaynaklanabilir (Acar, 2014)

Yağ analizi; yağdaki bozulmayı izleyerek, parçalarda oluşabilecek hasarın önüne geçilmesini sağlar. Yeni motor yağına geçildiğinde, temiz bir yağ numunesi yani referans yağ gerekmektedir. Yeni temiz yağ, infrared ışını

kullanılan özel bir cihazla incelenip, temiz yağ bilgileri cihazın hafızasında saklanır. Cihaz matematiksel formüller kullanarak, kullanılmış yağ ile temiz yağ arasındaki farklılık miktarını karşılaştırır. Bu karşılaştırma sonucunda yağın durumunu belirler (Ateş, 2010).

Yağ analizi ile kurum, oksidasyon, nitrasyon ürünleri ve sülfür ürünleri (asitler) tespit edilir. Bununla beraber yakıt, su ve antifriz karışması da belirlenebilmektedir. Yağ analizi sonuçlarına bakılarak; kullanılan yağın ne kadar bozulduğu, kullanım şartlarına uygunluğu belirlenebilir. Bu sayede büyük boyutlardaki arızalar erken teşhis edilip, büyük arızalar haline dönüşmeden onarılabilir, para ve zaman tasarrufu sağlanır (Acar, 2014).

Yağ analizi iş yüküne uygun şekilde bakım programının yapılmasına yardımcı olur. Gereksiz periyodik bakımları ortadan kaldırır. Onarımlar, arıza süresi ve makine ömrünü tahmin ederek bütçenin daha iyi düzenlenmesini sağlar ve her bir makine için eksiksiz bir servis geçmişi kaydını belgeler. Yağ analizinde parçaların durumu gözlemlenmesi için düzenli zaman aralıklarında yağ numunesi almak gerekir. Bütün test sonuçları, yağın kaç saat kullanıldığı göz önüne alınarak değerlendirilir (Ateş, 2010).

Makinelerde kullanılan yağ insan vücudundaki kana benzetilmek istenir ise kesinlikle hata yapılmamış olur. İnsan vücudundaki kan değerleri sağlığını hakkında bilgi verdiği gibi sistemde kullanılan yağlardan alınan örneklerde alınıp test edildiğinde makinelerin ya da makine parçalarının durumu hakkında bilgi verir. Sistemde bir yağlayıcı yoksa sistem çalışmaz; vücutta kan bulunmaz ise yaşamdan söz edilemez. Çünkü eğer sistemde bir yağlayıcı bulunmaz ya da yağlayıcı görevini yerine getiremez durumda ise sistem parçalarında kısa bir süre sonra genellikle adhezif aşınma sonucu kaynaklaşma meydana gelecek, sistem kitlenecek ve bir süre sonra duracaktır.

Genel olarak yağlama yağı, iki katı cisim arasında sürtünmeyi en aza indirerek kolay hareket sağlamak için kullanılan maddedir. Yağlayıcılar bu işi yüzeylere yapışarak, yüzeyleri kayganlaştırarak ve sürtünen yüzeyler arasında saç telinden daha ince bir film tabakası oluşturarak yaparlar. Bu film tabakası mekanik parçalarda genellikle 10 mikronluk bir düzeyde seyrederek ki bu büyüklük insan vücudunda bulunan bir kan hücresinin boyutuna eşittir. Bu yağ filminin temiz ve sağlıklı şekilde görevini yerine getirmesi son derece önemlidir. Yağın görevini yerine getirip getirmediğini anlamamanın birçok yolu vardır. Bu metotlardan bazıları spektrometrik analiz, ferrografik yöntem, renk- koku analizi, viskozite analizi vb'dir.

Yağ analizi sadece kullanımda olan yağa uygulanmamalıdır. Genellikle işletmeye yeni giren yağların zaten temiz, standartlara uygun olduğu düşünülür. Ancak bu düşünce yanlış, sonuçları pahalıya patlatabilir. Tesise yeni gelen yağın uygun özelliklerde ve temiz olduğunu anlamak için parçacık analizi yapılmalı yağ katkı maddelerinin oranları, yağın nemi ve viskozitesi belirlenmelidir. Yine stokta bekleyen yağlar düzenli olarak kontrol edilmeli, dik konumda bulunan yağlar düzenli periyotlar ile yatay konuma çevrilip eksen etrafında döndürülmeli, katkı maddelerinin çökelti oluşturması ve heterojen bir karışıma neden olması engellenmelidir. Yine yapılan yanlışlarda çok büyük yere sahip olan olgu ise kullanımda olan yağı sistemden tamamen uzaklaştırmadan yeni yağı sistem üzerine eklemektir. Ve bu yanlış genellikle daha önce sisteme farklı tür özellikteki yağları eklemek için kullanılan yağdanlıklarda ya da yağ eklemek için gerekli olan malzemelerin temizlenmeden kullanılması ile baş gösterir.

Yağ analizi ile makinelerin kestirimci bakımı üzerine literatürde az sayıda olsa da çalışmalara rastlamak mümkündür. Dalkılıç ve Tanatmış (2003) yaptığı çalışmada pistonlu uçak motorlarında kullanılan yağların özellikleri ve yağ sistemleri incelenmiştir. Yaklaşık 25 saatlik çalışma süresi sonunda emme sisteminin kirliliği veya diğer nedenler yüzünden normalin üzerinde aşınma oluşmadıkça metal içeriği hızla sabit olan bir değere düştüğünü gözlemlemişlerdir. 900 saatte 10 ppm'den 500 ppm'e çıkan bakır içeriği aşınma oranı ellerindeki motorda ciddi yatak aşınması olduğunu gözlemlemişlerdir. Bir sonraki kontrol bu olayın varlığını kanıtlamış ve önemli bir aksaklık önlemişlerdir. Uras (2003) tarafından yapılan bir çal çimento değirmenin redüktör ve boyun yataklarına mineral yağlar yerine sentetik yağlayıcılar koymuşlardır. Sıcaklıkların 4 °C ile 5 °C arasında düşmesi sürtünmelerin dolayısı ile aşınmaların, beraberinde azaldığını göstermişlerdir. Enerji tasarrufunun oranı yaklaşık yüzde üç olarak tahmin etmişlerdir. Gökalp (2007) yaptığı çalışmada, motor aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar, motor yağlarının kullanıldığı sistemlerde motor bünyesinde oluşabilecek aşınmaya bağlı hasarların yapılacak düzenli yağ analizleri ile daha önceden tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Yağın metal seviyesinde anormal bir artış gözlemlendiğinde, oluşan partiküllerin kimyasal yapısı problemin hangi kısım olduğunu göstermişlerdir. Bazı metalik elementlerin varlığı olması muhtemel arızanın habercisi olduğunu açıklamışlardır. Bazı metal elementlerin varlığında oluşabilecek hasarların önceden belirleyicisi olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında, deneylerde bahse konu yağın metal

değerlerinde anormal bir artış gözlenmemiş ancak, performans değerlerinde anormal bir durum var ise, yağın değiştirilmesi gerektiğini açıklamışlardır. Durak (2005) yaptığı deneysel çalışmada, kullanılmış motor yağlarının sürtünme katsayıları yönünden fazla bir kayıpları olmadığı, kullanılmış yağların içerisinde kirlilik oluşturan maddelerin uzaklaştırılıp, ilave katkı maddesi ve işlemlerle yeniden kullanılabilmesi belirtilmiştir. Erol (2015) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, arıza başlangıcı ana sebeplerine etki eden faktörler incelemiş ve durum izleme teknikleri üzerinde durmuşlardır. Titreşim analizi sonuçlarına göre; yağsızlık kusurunun oluşması neticesinde titreşim genliklerinde ve RMS değerlerinde artış tespit etmişlerdir. Yağsızlık kusuru altında hem rulman kaynaklı sinyallerin baskınlığında hem de titreşim genlikleri ve RMS değerlerinde artış meydana geldiğini görmüşlerdir. Özellikle rezonans durumunun meydana gelmesinde yağsızlık durumunun etkili olduğu düşünülmüştür. Elektrik tüketim analizi sonuçlarına göre; yağsızlık testleri esnasında kusur tespiti trend analiziyle yakalanamamıştır. Elektriksel PSD analizi ile kusur başlangıçları tespit edebilmişlerdir. Köksal (2012) yapmış olduğu tezinde, madencilikte kullanılan iş makinelerinin hidrolik sistem ve diferansiyellerindeki yağları belirli periyotlarla incelenerek, yağların ve makine parçalarının performansı belirlemişlerdir. Buna göre, malzeme ve işgücü kaybını azaltarak hidrolik sistem ve yükleyici diferansiyellerinin çalışma süresi ve işletme veriminde artış elde etmişler. Bu ortamlardaki yağın temiz ve uzun süreli kullanımını sağlamışlardır. Yağ analiz sistemi yardımıyla hidrolik sistemlerde iki diferansiyellerde ise beş kat daha uzun süreli yağ tüketimi elde edilerek temiz bir çevre için önemli oranlarda katkı sağlamıştır. Yağ analiz yöntemi uygulanarak sistemde kullanılan hidrolik ve diferansiyel yağlarının kullanım sürelerinde artış elde etmişlerdir. Aydın (2018) yaptıkları çalışmalarında; çimento fabrikalarında uygulanan kestirimci bakım yöntemleri, kullanılan cihazlar ve saha uygulama örneklerini sunmuşlardır. Çimento değirmeni ünitesindeki bulunan separatör redüktöründen alınan düzenli yağ numunelerinin analiz grafikleri ve sonuçları bulunmuştur. Yağ analizleri sonucuna göre silisyum, demir ve kalsiyum değerlerinde ciddi derecede artış, viskozite değerlerinde düşüş olduğu için son analiz sonucuna göre yağ değişimi kararı almışlardır. Yağın içerisindeki silisyum, demir ve kalsiyum elementlerinin kaynağı araştırıldığında çimento katkı maddelerinden kaynaklandığı ve redüktörün sızdırmazlık elemanlarındaki aşınma neticesinde yağa karıştığı, bu kirlenme sonucunda rulmanlarda aşınmaya sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kapsamda redüktör bakıma almış ve sızdırmazlık elemanlarının ve rulmanların gerekli bakımlarını yapmışlardır. Yıldırım (2006) yaptığı çalışmada, TCG Turgutreis Fırkateyni'ne ait ana makinelerin (MTU 20V 1163 TB 93) yağ değişim periyodunu belirlemiştir. Makinelerde 390 çalışma saati boyunca standart yağ analiz metotları ile incelemeler yapılmıştır. Testlerde SAE 30 yağı kullanmıştır. Yağdan alınan numunelere uygulanan testler ve maliyet analizi sonucunda yağdaki demir aşınma elementi konsantrasyonuna göre yağ değişim aralığı 500 ile 1150 saatleri arasında, optimum yağ değişim periyodu ise 775 saat olarak tespit etmiştir. Orhan (2009) çalışmasında, yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakımda motor arızalarının tespitini incelemiştir. Çalışmasında iş makinelerine ait altı adet motor, bir adet şanzıman, üç adet hidrolik sistem ve üç adet diferansiyel incelemiştir. Belirtilen ünitelerden standartlara uygun olarak alınan yağ numuneleri yağ analiz laboratuvarlarında incelemiştir. Yağın kirlilik derecesi ve yağın kirlenmesine neden olan (su, mazot, toz girişi, kurum, aşınmış parçacıklar vb.) sebepler araştırılmıştır. Bakım yönteminin uygulanmasıyla iş makinelerinin tamir bakım masraflarında önemli miktarda azalma, çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır. Sonuçta makinelerdeki arızalar önceden tespit edilerek, gerekli önlemlerin alınması ile makinelerin arıza yapmadan verimli çalışması sağlanmıştır.

Yağ analizinde yapılan parçacık testi sonuçlarına bakarak aşınma, sürtünme ve filtre arızaları gibi problemler tespit edilebilir. Eğer metal parçacık tayini yapılırsa, tespit edilen parçacıkların aşınma sonucu oluşan parçacıklar mı, kir mi ya da keçe parçacıkları mı oldukları belirlenebilir. Bu çalışmada Denizli Çimento fabrikasında farklı makinelerde uygulanan yağ analizi sonuçları ve bu analiz sonuçlarından ne gibi çıkarımlarda bulunulduğu verilmiştir.

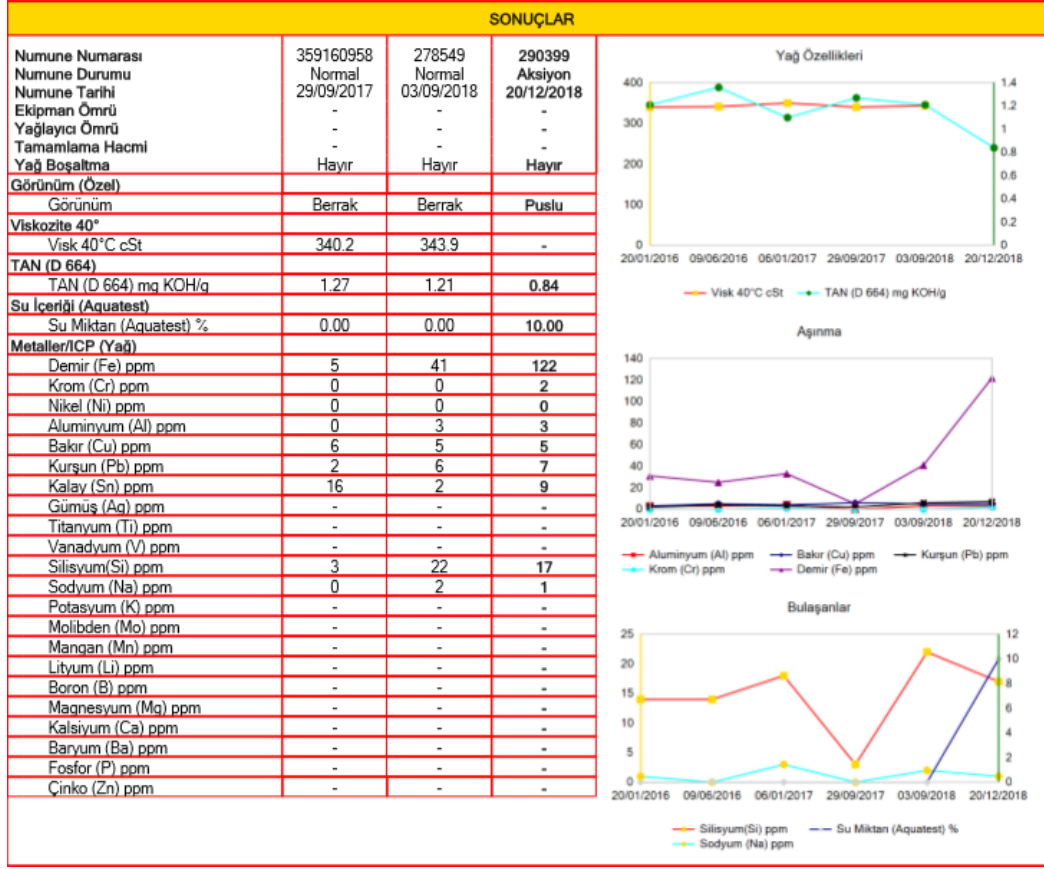
5.8. Kestirimci Bakımda Yağ Analizi Uygulamaları

5.8.1. Symetro Redüktör Dişlisi Yağ Analizi

Denizli Çimento fabrikasında bulunan bir symetro redüktör dişlisi üzerinde pitting aşınmaları gözlemlenmiştir. Sorunu tespit etmek üzere redüktörde halen kullanılmakta olan yağdan bir miktar alınarak analizi yaptırılmıştır. Yağ analiz sonuçları **Çizelge 1'de** verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde **Çizelge 2'de** sınır değerler dikkate alınmıştır.

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Çizelge 1: Symetro redüktör dişlisi yağ analizi sonuçları



Redüktör içerisinde ISO VG 320 standardında olan endüstriyel bir yağ kullanılmıştır. Yağ görünümü su fazlalığından dolayı puslu bulunmuştur. Yağ içerisinde bulunan su dışındaki diğer tüm elementler **Çizelge 2**'de verilen sınırlar içindedir.

Çizelge 2: Yağ analizinde kullanılan aşınma limitleri/sınır değerler

	YAĞ ADI	Viskosite 40 Alt Alarm	Viskosite 40 Alt Uyanı	Viskosite 40	Viskosite 40 Üst Uyanı	Viskosite 40 Üst Alarm	Su Üst Alarm	Su Üst Alarm	TAN Üst Uyanı	TAN Üst Alarm
Hidrolik	Shell Tellus 32	27,20	28,80	32,00	35,20	35,20	0,05	0,20	1,00	1,50
	Shell Tellus 37	31,45	33,30	37,00	40,70	40,70	0,05	0,20	1,00	1,50
	Shell Tellus 46	39,10	41,40	46,00	50,60	50,60	0,05	0,20	1,00	1,50
	Shell Tellus 68	57,80	61,20	68,00	74,80	74,80	0,05	0,20	1,00	1,50
	Shell Tellus 100	85,00	90,00	100,00	110,00	110,00	0,05	0,20	1,00	1,50
Mineral	Shell Omala 220	176,00	198,00	220,00	242,00	264,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala 320	256,00	288,00	320,00	352,00	384,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala 460	368,00	414,00	460,00	506,00	552,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala 680	544,00	612,00	680,00	748,00	816,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala HD 220	176,00	198,00	220,00	242,00	264,00	0,20	2,00	1,40	2,20
PAO	Shell Omala HD 320	256,00	288,00	320,00	352,00	384,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala HD 460	368,00	414,00	460,00	506,00	552,00	0,20	2,00	1,40	2,20
	Shell Omala HD 680	544,00	612,00	680,00	748,00	816,00	0,20	2,00	1,40	2,20
PG	Shell Tivela S 150	120,00	135,00	150,00	165,00	180,00	0,20	5,00	2,00	3,00
	Shell Corena S 68	54,40	61,20	68,00	74,80	81,60	0,05	0,20	1,00	1,50

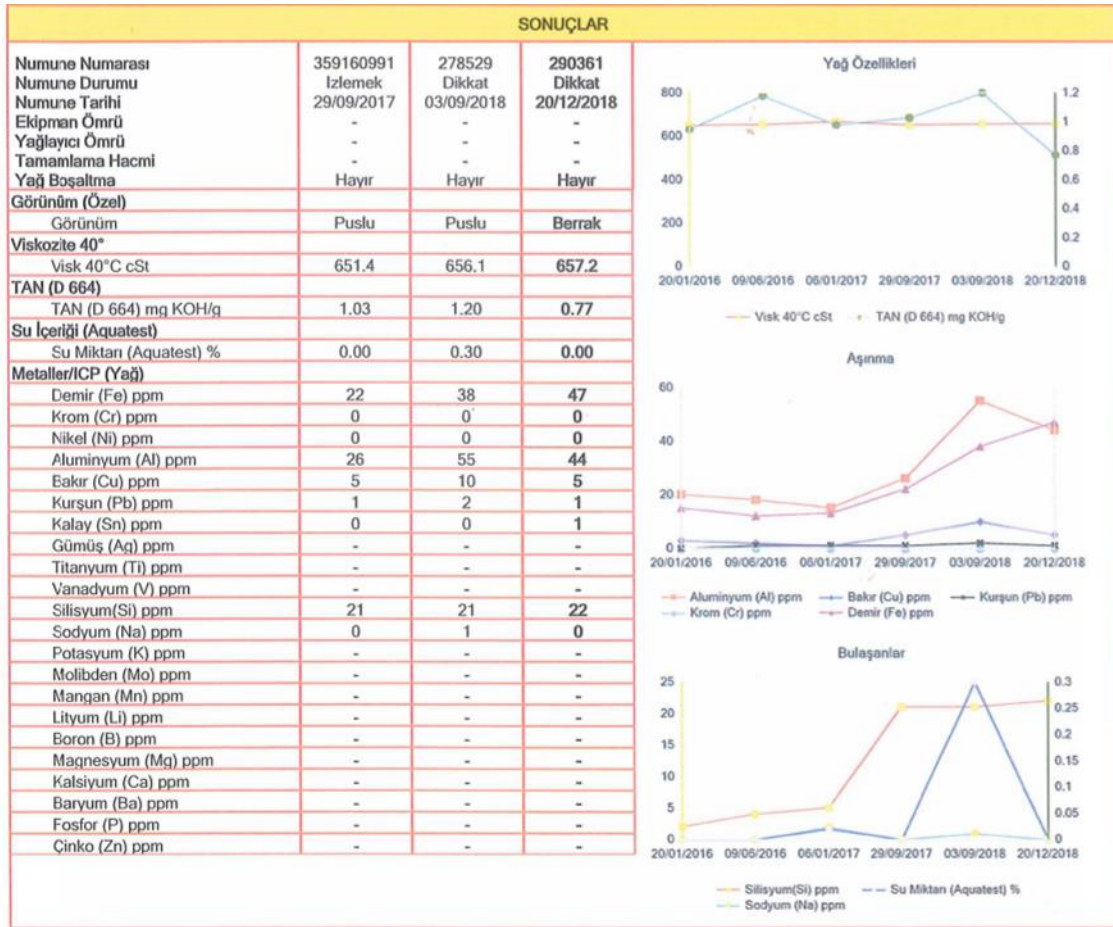
Na Üst Uyanı	Na Üst alarm	Cr Üst Uyanı	Cr Üst Alarm	Pb Üst Uyanı	Pb Üst Alarm	Ni Üst Uyanı	Ni Üst Alarm	Sn Üst Uyanı	Sn Üst Alarm	Fe Üst Uyanı	Fe Üst Alarm	Si Üst Uyanı	Si Üst Alarm	Al Üst Uyanı	Al Üst Alarm	Cu Üst Uyanı	Cu Üst Alarm
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00

Denizli Çimento fabrikasında incelenen, 1. çimento değirmeninde redüktör içerisinde yer alan dişlilerde, kapalı sistem içerisine keçelerden ya da sızdırmazlık elemanlarının görevini yerine getirememesi nedeni ile aşırı miktarda su sızmış ve geri dönülemez bir hasar meydana gelmiştir. Yağ içerisine su karışması ciddi pitting aşınmasına neden olmuştur. Bu sonuç redüktör içindeki tüm dişlilerin değişmesine sebep olmuştur.

5.8.2. Gale Yatağı Yağ Analizi

Döner fırının problemsiz bir şekilde çalışabilmesinin ön koşulu; yükün ringler aracılığı ile galelere düzgün bir şekilde dağıtılabilmesidir. Bunun doğru bir bölünme ile gerçekleşebilmesi ise ring gale temasının tam olmasına ve fırın manto salınımının olabilecek en az düzeyde kalmasına bağlıdır (Url 2). Yaklaşık 64 m uzunluğundaki bir çimento fırınının çalışmasında gale adı verilen destek elemanları çok önemli yer tutulmaktadır. Galelerde bir kırılma meydana gelirse çimento fırını çalışmaz hale gelmekte ve ciddi üretim kayıplarına sebep olabilmektedir. Galeyi oluşturan role ve milleri yüksek alaşımlı çelik malzemeden döküm veya dövme yöntemi ile imal edilmektedir (Url 3).

Çizelge 3: Çimento fırını gale yatağı yağ analizi sonuçları

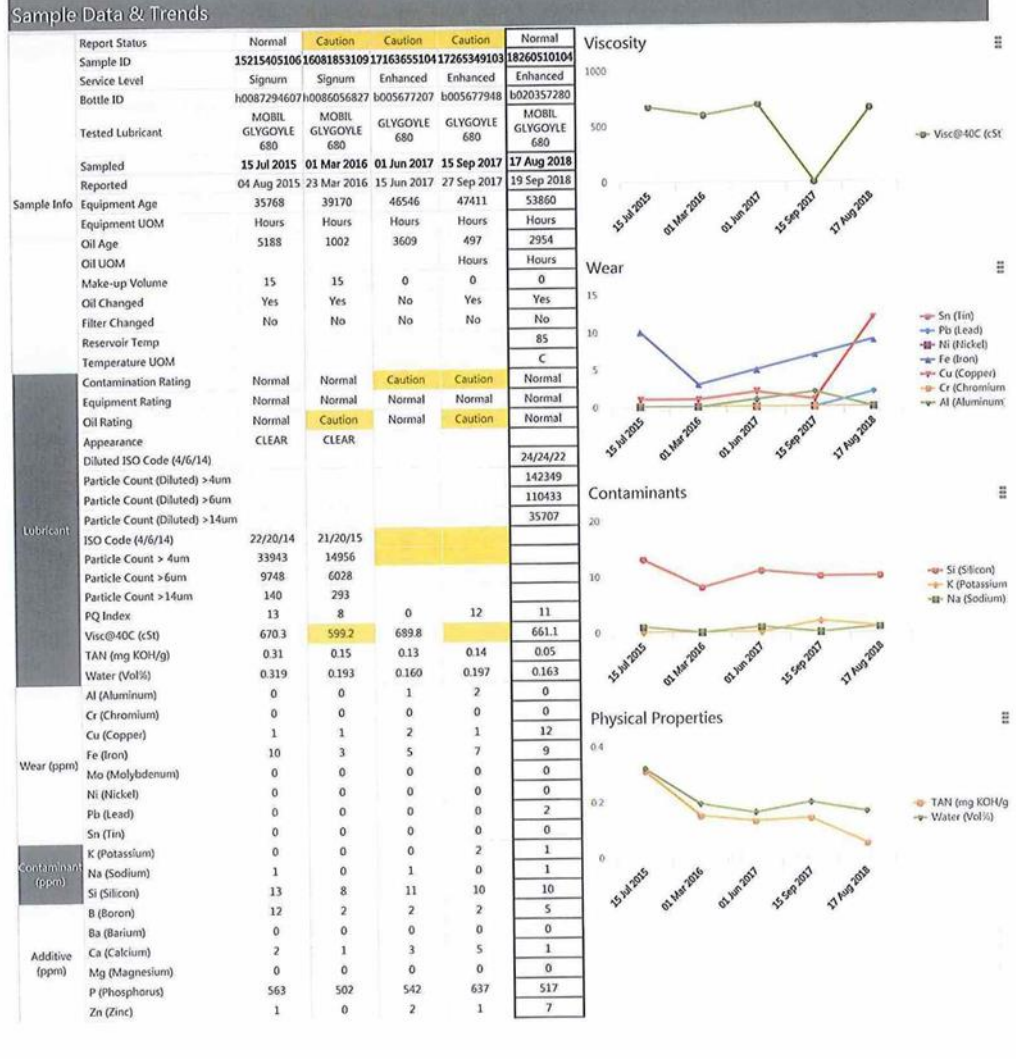


Çizelge 3'te gale yatağının analiz sonuçları gösterilmiştir. Mil-yatak mekanizması içerisinde ISO VG 680 yağı kullanılmıştır. Sistem aksiyon haline gelmeden uyarıda iken hasarlanmıştır. Aşınma elementleri normalin üzerindedir. Demir miktarı normalin üzerindedir ve gittikçe artmaya devam etmektedir. Silisyum değeri analizdeki dış ortamdan gelen parçacıkları ifade etmektedir. Bu değer ihmal edilebilecek seviyededir. Bu demektir ki etraftan gelen toz parçaları ihmal edilebilir değerdedir. Uyarı iki grubu ayrılır. Alt uyarı ve üst uyarı. Alüminyum değeri üst uyarıya çok yakın değer de çıkmıştır. Bunun sebebi; gale yatağı içerisinde bulunan alüminyum malzemeden imal edilmiş parçalardan kaynaklanmaktadır.

5.8.3. Farin Değirmeni Valsi Yağ Analizi

Çimento fabrikalarında öğütme amaçlı kullanılan iş istasyonlarından biri de farin değirmenleridir. Farin; Fransızca'da "un" anlamına gelen "farine" sözcüğünden alınmıştır ve Türkiye'de, çimento üretiminde hammaddelerin döner fırına girmeden önceki öğütülmüş, ince durumunu tanımlamaktadır. **Çizelge 4**'de bir farin değirmenine ait yağ analizi verilmiştir.

Çizelge 4: Farin değirmeni valsı yağ analizi sonuçları

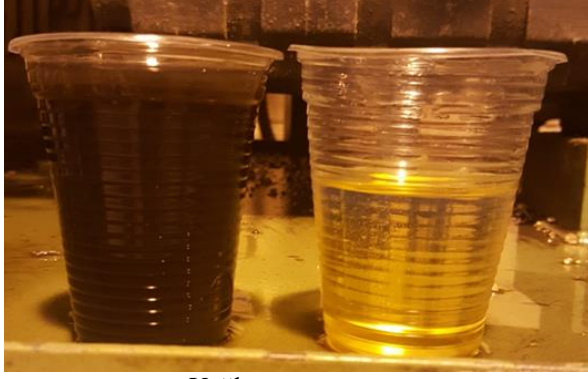


Farin değirmeninin valsinde ISO VG 680 yağı kullanılmıştır. Bu valsın her 3 ayda bir yağ analizi yapılmaktadır. Yağ analizleri Denizli Çimento Fabrikasında her sistem için gereklilik görülmediği takdirde her 3 ayda bir düzenli olarak yağ analizi üzerine hizmet veren firmalara gönderilip incelenmesi yaptırılır. Yapılan inceleme sonuçlarına göre değişim yapıp yapılmayacağına karar verilir.

Çizelge 4'te verilen yağ analizi sonuçları göz önüne alındığında **Çizelge 2**'deki aşınma limitleri sınır değerlerini geçmediği görülmektedir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere farin değirmeni ve diğer parçaların mekanik kondisyonlarında bir sıkıntı olmadığı çalışmalarında herhangi bir sorun olmadığı parçaların durumunun iyi olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında vals yağının değişimine gerek yoktur. Bundan dolayı vals yağı değiştirilmeden kullanılmaya devam edilebilir.

5.8.4. Farin Değirmeni Piston Mil Boğaz Burc Yağ Analizi

Yağ analiz yöntemlerinden bir diğeri de yağın görünümüdür. **Şekil 1**'deki hidrolik piston mil boğaz yataklamasında kullanılan yağlardan soldaki kirli sağdaki temiz yağdır. Farin değirmeni piston mil boğaz burcuna ait yağ analizi sonuçları **Çizelge 5**'te verilmiştir.



Yağların görünümü



Burçta meydana gelmiş diklemesine aşınma izleri

Şekil 1: Hidrolik piston mil boğazında kullanılmış kirli ve temiz yağa ait görüntüler ile burçta meydana gelmiş aşınma izleri

Çizelge 5: Farin değirmeni piston mil boğaz burc yağ analizi sonuçları

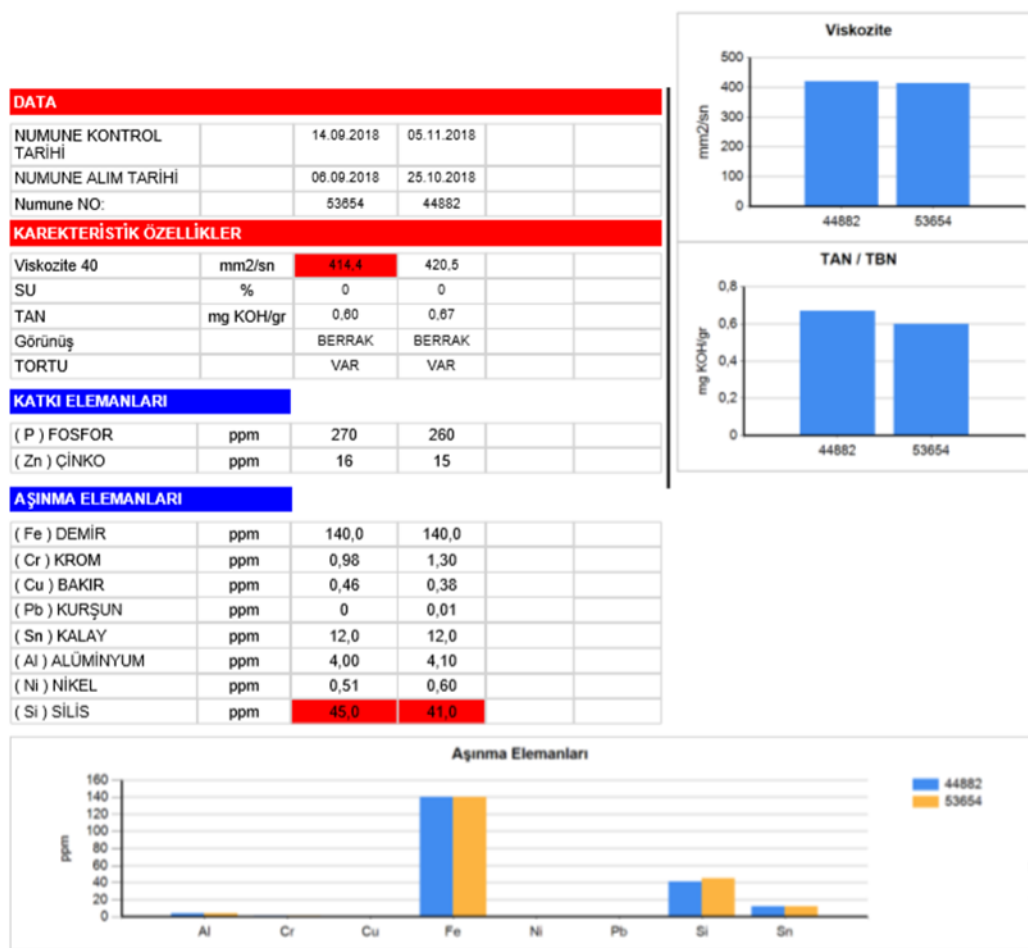
Numune Numarası	359923178	359935888	359713145	359160972	278547	290367
Numune Durumu	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon	Dikkat	Aksiyon	Aksiyon
Numune Tarihi	09/03/2016	09/06/2016	06/01/2017	29/09/2017	03/09/2018	20/12/2018
Ekipman Ömrü	-	-	-	-	-	-
Yağlayıcı Ömrü	-	-	-	-	-	-
Tamamlama Hacı	-	-	-	-	-	-
Yağ Boşaltma	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Görünüm (Özel)						
Görünüm	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak
Görünüm + Renk						
Renk (D 1500)	-	-	-	-	-	-
Viskozite 40°						
Visk 40°C cSt	47.0	46.6	46.8	46.8	46.9	46.8
TAN (D 664)						
TAN (D 664) mg KOH/g	0.51	0.57	0.35	0.41	0.29	0.33
Su İçeriği (KF)						
Su Miktarı (KF) ppm vol	0	0	0	0	0	0
Metaller/İCP (Yağ)						
Demir (Fe) ppm	21	17	39	27	67	109
Krom (Cr) ppm	5	4	11	4	20	33
Nikel (Ni) ppm	0	1	1	0	1	0
Alüminyum (Al) ppm	0	1	4	0	4	3
Bakır (Cu) ppm	11	12	26	29	71	64
Kurşun (Pb) ppm	1	1	2	0	1	1
Kalay (Sn) ppm	2	1	2	1	3	7
Gümüş (Ag) ppm	0	1	1	0	1	0
Titanyum (Ti) ppm	0	0	0	0	1	0
Vanadyum (V) ppm	0	0	0	0	0	0
Silisyum (Si) ppm	1	0	10	0	7	13
Sodyum (Na) ppm	1	0	2	0	1	0
Potasyum (K) ppm	-	-	-	-	-	-
Molibden (Mo) ppm	0	0	0	0	0	0
Mangan (Mn) ppm	0	0	1	0	2	2
Lityum (Li) ppm	0	0	0	0	0	11
Boron (B) ppm	7	2	1	0	0	2
Magnezyum (Mg) ppm	10	7	16	8	14	12
Kalsiyum (Ca) ppm	36	27	81	39	62	96
Baryum (Ba) ppm	0	0	0	0	0	0
Fosfor (P) ppm	230	160	285	217	252	263
Çinko (Zn) ppm	253	179	277	247	345	249
Particle Count (SAE AS4059)						
ISO 4406 (1999)	21/20/15	21/19/11	20/17/12	15/13/9	24/21/12	24/23/13
SAE AS4059 Code	-	-	-	-	-	-
SAE AS4059 > 4µm Code	12	12	10	5	12	12
SAE AS4059 > 6µm Code	11	11	8	4	12	12
SAE AS4059 > 14µm Code	9	6	6	4	6	7
SAE AS4059 > 21µm Code	9	0	0	0	8	6
SAE AS4059 > 38µm Code	0	0	0	0	10	0
SAE AS4059 > 70µm Code	0	0	0	0	0	0
Millipor Tortu (0.8µ)						
Millipor Tortu (0.8µ) mg/100ml	-	-	-	-	-	-

Farin değirmeni piston mil boğaz burc kullanılan yağ ISO VG 46'dır. **Şekil 1**'de kirli yağ 5 mikronluk özel bir filtreden 2-3 gün boyunca devamlı geçirilirse yaklaşık olarak temiz yağ şekline gelebilir. Kirli yağ içerisinde bulunan makine parçaları ve sistemden gelen pislikten dolayı rengi koyudur. Bunun sebepleri incelendiğinde; piston mil boğazına gelen toz parçalarının mil yüzeyi ve keçelerde deformasyona sebep olmasıdır. Keçe deformasyonu sonrasında yağın içerisinde dış ortam kaynaklı toz girişi olmakta ve yağın özelliğini yitirmesine sebep olmaktadır. Yağın kirlenmesi aşınma süreçlerini daha çok hızlandırmaktadır. Keçelerin dudaklarında meydana gelen aşınmalar sonucunda partiküller daha rahat bir şekilde içeri girer ve bundan dolayı aşınma oranı daha fazla artar. Sistemde bulunan bir filtre sisteminden geçen yağ tam olarak temizlenemez. Bu sistemde kullandığımız filtremizin boyutu 10 mikrondur. 10 mikrondan küçük parçalar bu filtreden geçer ve yağın tam olarak temizlenmemesine sebep olur.

5.8.5. Kovalı Bant Redüktörü Yağ Analizi

Çizelge 6'da kovalı bant redüktörünün yağ analiz sonucu gösterilmiştir. ISO VG 460 standartlarında endüstriyel bir yağ kullanılmış olan kovalı bant redüktörünün yağ analiz sonuçlarına bakıldığında; silis seviyesinin limit değerde olduğu görülmektedir. Yağ içerisinde herhangi bir su varlığı tespit edilmemiştir. Yağ viskozitesi silisyum değerinin fazlalığından dolayı yükselmiştir. Diğer tüm element ve katkı değerleri nominal düzeydedir. Redüktör içerisindeki yağ boşaltılmış, redüktör içerisi temizlendikten sonra temiz yağ ile dolmuş yapılmıştır.

Çizelge 6: Kovalı bant redüktörü yağ analiz sonucu



4. Genel Değerlendirmeler

Endüstriyel tesislerde yağ kullanımının amacı; makinelerde ve ekipmanlarda birbiri ile temas eden iki metal yüzey arasında yağ filmi oluşturarak bu yüzeylerin birbiri ile olan temasını kesmektir. Bu, sistemlerin yağ filmi üzerinde güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Böylece makine ekipmanlarında oluşabilecek ısınma ve

sürtünmeden kaynaklanan deformasyonların ve aşınmaların önüne geçilebilecektir. Anlaşıldığı üzere yağ, bir makinenin verimli ve sağlıklı çalışabilmesi için en önemli unsurlardan biridir. Yağ seçimi yapılırken çalışma ve ortamının sıcaklığı, hangi devirlerde, hangi yatak yükü altında, titreşim ve salınım gibi dış etkiler dikkate alınarak uygun bir yağ seçiminin yapılması önemlidir. Bu koşullar göz önüne alınarak belli periyotlarda görsel kontrol ve laboratuvar ortamlarında yağ analizi yapılır. Yapılan bu analizlerdeki ve görsel kontrollerdeki bulgular ile meydana gelen arızaların, deformasyonların, aşınmaların vb. problemlerin tespit edebilmesi mümkündür.

5. KAYNAKLAR

Acar, G. 2014. “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kestirimci Bakım Yöntemleri ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli

Ateş, M. G., Yağ Analizi, İş Makineleri Mühendisleri Birliği Dergisi, 2010, 3,40 – 50

Aydın, G., Meran, C., 2018. “Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi ve Önlenmesi”, Mühendis ve Makina, cilt 59, sayı 692, s. 48-67.

Dalkılıç, S., Tanatmış, A.A. 2003. “Pistonlu Uçak Motorlarında Yağlama Sistemleri, Bakımı ve Yağ Analiz Programlarının Uygulanması”, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 16 – 19 Ekim 2003, Denizli Kongre ve Kültür Merkezi, Denizli

Erol, S. S. 2015” Dinamik Sistemlerin Kestirimci Bakımına Etki Eden Faktörlerin Durum Bazlı İncelenmesi”, Doktora, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Gökalt, B., Saraç, i.B., Çelik, C. 2007. “Yağ Analiz Programı ile Aşınmaya Bağlı Hasar Analizi”, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım, İstanbul

Köksal, N. S., Orhan, A. 2012. “İş Makinelerindeki Yağ Tüketimini Azaltmada Yağ Analizi Yönteminin Etkisi”, I. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi Programı, 3 Mayıs, Uşak Üniversitesi, Uşak.

Müjdecı, S., 2009.”İçten Yanmalı Motorda Ticari Yağ Katkı Maddelerinin Sürtünme, Aşınma ve Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Doktora, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Orhan, A., “Yağ Analiz Yöntemiyle Yapılan Kestirimci Bakımda Motor Arızalarının Tespiti”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa

Tuğaç, M.B. 2006. “Geri Kazanılmış Motor Yağlarının Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Uras, A. 2003. “Sentetik Yağlayıcılarla Bakım Giderlerinin Azaltılması”, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, Temmuz, Denizli.

Yıldırım, E., “TCG Turgutreis Fırkateynine ait Ana Makinelerin (MTU 20V 1163 TB 93) Yağ Değişim Periyodunun Belirlenmesi”, Yüksek Lisans, T.C. Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

Url 1 <http://www.ismakinalari.org.tr/tr/article.asp?id=170>

Url 2 <http://www.ozekmakina.com/doner-firinlarda-ring-gale-problemleri-ve-cozum-yontemleri/>

Url 3 http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/BDM/uygulamasunulari/4-Gale-siki_gecme_-soru.pdf

FANLARDA BALANSSIZLIĞIN TİTREŞİM GENLİĞİNE VE ENERJİ SARFIYATINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Cemal Meran^{1,*}, Güngör Aydın², Hasan Batar¹, Ali Rıza Yılmaz¹, Ali Akpınar¹,
Ramazan Düdükçü²

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

²Denizli Çimento, Bakım ve Mühendislik Müdürlüğü Bakım Planlama Şefliği

* İletişim yazarı; cmeran@pau.edu.tr

Özet

Bu çalışmada çimento fabrikasında ağır sanayi şartlarında çalışan bir fan üzerinde yapay balanssızlık oluşturularak titreşim analizi ile elde edilen spektrum grafikleri ve enerji analizörü verileri yardımı ile titreşimin makineler üzerinde etkisi gözlemlenmiştir. Böylece elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması endüstriyel tesislerde efektif bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: kestirimci bakım, balanssızlık, enerji sarfıyatı, bakım, titreşim, analiz, fan

1. Giriş

Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması, dönme hareketi ile iş yapan makinelerin endüstriyel tesislerde üretiminin aksamadan iş yapılabilmesi için kullanılan bir bakım yöntemidir. Bu bakım yönteminde belirli periyotlarda makinalardan titreşim ölçümleri alınır. Alınan ölçüm değerleri bize makinede arıza olup olmadığı hakkında bilgi verir. Eğer varsa hangi seviyede olduğu üreticinin verdiği değerler ile karşılaştırılarak tespit edilebilir. Makinenin, üreticisi tarafından veya uluslararası standartlarda verilen titreşim değerleri içinde çalışmasında sakınca yoktur. Fakat bu vibrasyon değerlerindeki çalışmalar esnasında, makineler normalden farklı davranışlar gösterebilir. Vibrasyon makinelerin toplam verimini ve kullanım ömrünü olumsuz etkiler. Vibrasyonu azaltmak hem makinelerde beklenmedik arızaların oluşmasını azaltacak hem de doğrudan enerji tasarrufu yapılmasını sağlayacaktır.

Her geçen gün daha da hızlı bir şekilde gelişen teknolojiyle beraber makinelerin geleneksel yöntemlerle bakımı ve onarımı hem üretim kaybına sebep olmakta hem de işletme maliyetlerini artırmaktadır. Kullanıcıların karşılaştığı beklenmedik arızaların onarımı uzun sürmekte, yedek parça bulmak ise her geçen gün zorlaşmaktadır. Bu da üretim kayıpları ve maliyette artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden özellikle seri üretim yapan ve üretim bandındaki küçük bir arızanın bile hattın tamamını durdurma riski bulunan tesislerde, arızaların oluşmasından önce çeşitli test ve analiz yöntemleri kullanarak tespitinin yapılabildiği kestirimci bakım metodlarına yönelmek zorunluluk hale gelmiştir.

2. Kestirimci Bakım ve Balanssızlık

Artan rekabet koşullarında firmalar kaliteden ödün vermeksizin üretim maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadır. Firmaların bir taraftan da makine ve tesisin aksamadan çalışmasına yönelik önlemleri almış olması ve beklenmedik arızaların önüne geçmesi gerekmektedir. Makinelerin belirli zamanlardaki bakımları ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızaların giderilmesi üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır. Firma üretim şekline, ürün özelliğine, makine özelliklerine, makine parkurunun büyüklüğüne, bakım ekibinin nitelik ve nicelik olarak yeterliliğine, stok durumuna, sipariş miktarına, temin vs. gibi çok sayıda faktörü düşünerek bakım politikaları geliştirmeli, firmasını güvenceye alacak önlemler almalıdır. Yüzlerce makinenin veya çalışanın olduğu bir işletme de üretim hattında bir makinenin arızalanması bile zincirleme etkilerle bütün sistemi çalışamaz hale getirebilmektedir. Örneğin bir çimento fabrikasında fırında meydana gelebilecek bir arıza tüm sistemin durmasına yol açabilir. Arıza giderildikten sonra normal üretim düzeyine çıkıncaya kadar da uzun bir süre geçer ki bunlar üretim maliyetini oldukça artırabilir. Demir-çelik, enerji, hastane, vb. üretimlerde de bu durum aynıdır. Otomatik makinelerin arızalarının giderilmesinde son derece iyi yetiştirilmiş, yetenekli bakım personeline ihtiyaç vardır. Özellikle karmaşık mekanizmaların ve elektriksel veya elektronik kontrol cihazlarının yer aldığı makinelerde kalifiye bakım ekiplerinin çalıştırılması zorunludur (Tazegün, 2009).

Yakın geçmişe kadar arıza olduğu zaman yapılan arıza bakım ve periyodik bakım yaygın olarak kullanılırken işletmenin özelliğine göre son zamanlarda toplam üretken bakım, güvenilirlik esaslı bakım veya kestirimci bakım gibi bakım yöntemleri her geçen gün endüstride daha çok yer bulur hale gelmiştir. Çimento fabrikalarında; sürekli malzeme akış prensibi, yüksek enerji ihtiyacı ve müşteri odaklı üretim planlanması ile beklenmedik arızaların büyük maddi kayıplara yol açacağından dolayı ileri düzey bakım teknikleri uygulanmaktadır. Modern bakım tekniklerinden biri olan kestirimci bakım; ekipmanların fiziksel parametrelerinin (titreşim, sıcaklık, amper, basınç vb.) trendlerinin ölçülmesi, belirlenen limitler ile karşılaştırılması, çıkan sonuçların yorumlanması sonucunda tespit edilen sorunların en az maliyet ve bir plan dâhilinde gerçekleştirilmesi şeklindeki çalışmaların tümüdür (Aydın ve Meran, 2018).

Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması, dönme hareketi ile iş yapan makinelerin sanayide üretimi aksatmadan görevlerini yapabilmesi ve oluşan enerji sarfiyatını mümkün olduğunca düşürebilmek için kullanılan bir bakım yöntemidir. Araştırmacılar bu sarfiyatların önüne geçebilmek için makinelerde balanssızlık arızasına yol açabilecek kusurları önceden tespit edip giderebilmeye yönelik farklı koşullar altında incelemelerine devam etmektedirler.

Dönen makinelerde eksen kaçıklığı, rulman arızaları, mekanik gevşeklik, yağ veya balanssızlık arızaya yol açan en başta gelen faktörlerdir. Dönen makine elemanlarında, dönme ekseninin geometrik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmadığı durumlarda ortaya çıkan soruna dengesizlik (balanssızlık) denir. Balanssızlık, dönen makinelerde karşılaşılan en büyük problemlerinden biridir. Balanssızlıklar genellikle; makine ve parçalarının üretimi, montajı, tamiraty veya çalışması esnasındaki koşullardan dolayı çeşitli sebeplerle oluşabilmektedir. Balanssızlık makine ve elemanlarında çok ciddi hasarlara yol açabileceğinden belli sınırları aşmadan kontrol altına alınması makine ve çalışan sağlığı açısından çok önemlidir. Balanssızlık; statik balanssızlık, moment balanssızlığı ve dinamik balanssızlık olarak üç sınıfta ele alınabilir (Uysal, 2015). Statik balanssızlığa ağırlık merkezi ile çakışmayan dengelenmemiş bir kütle neden olur. Yalnızca bir nokta dengesiz olduğu için rotorun her dönüşünde yalnızca bir işaret oluşur. Statik balanssızlık radyal yatay ve düşey doğrultuda devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \times \text{RPM}$) baskın olan titreşim genliği oluşturur. Moment balanssızlığı özellikle uzun rotorlarda birbirine 180° açı yapacak şekilde shaftın çapraz noktalarında bulunan dengelenmemiş kütleler nedeniyle oluşur. Moment balanssızlığında, statik balans alınamaz. Dinamik balanssızlık, statik balanssızlık ve moment balanssızlığının birleşimi olarak tanımlanabilir. Pratikte dinamik balanssızlık en çok rastlanan balanssızlık çeşididir. Dönme esnasında dinamik balanssızlık radyal doğrultuda devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \times \text{RPM}$) baskın olan titreşim genliği oluşturur. (Uysal, 2015). Makinedeki balanssızlık tespit edilebilirse giderme yönünde çeşitli önlemler alınarak sorun ortadan kaldırılabilir. Makinelerde meydana gelen balanssızlıkları tespit etmekte son yıllarda titreşim ölçümü yönteminin kullanıldığı kestirimci bakım öncü rol almaktadır. Kestirimci bakım yaklaşımının temeli, makineleri durdurmadan tahribatsız çalışma koşullarındaki durumları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimlerini izlemektir. Balanssızlık makinelerde titreşime ve arızaya neden olan en önemli faktörlerden biridir. Teorik olarak, mükemmel dengelenmiş bir makinede hiç titreşim oluşmaz. Pratikte mükemmel olarak dengelenmiş makine yoktur. Tüm makineler az seviyede de olsa balanssızdır. Genel olarak balanssızlık nedenleri;

- Elemanlardaki malzemenin homojen olmaması.
- Parçanın geometrik olarak simetrik olmaması.
- Çalışma şartlarında meydana gelen ısıl genleşme, korozyon, aşınma, madde birikimi, vs.
- Montajın balans şartlarına eş değer şartlarda yapılamaması.
- Kaymalı yatakların eksantrik monte edilmesi sonucunda, geometrik merkezin dışında bir merkez etrafında dönüş olarak sıralanabilir.

Makinelerde balanssızlık ve titreşim analizi ile tespiti üzerine literatürde çok sayıda yayın bulunmaktadır. Köse (2003) makinelerde balanssızlık, kaplin ayarsızlığı, mekanik çözülme, dişli, rulman, kaymalı yatak, kayış ve motor arızalarının FFT spektrum grafiklerini örnekler vererek açıklamıştır. Yapmış olduğu çalışmada titreşim verilerinin tek başına anlam ifade edemeyeceğini, verilerin birbiriyle etkileşimi ve neden sonuç ilişkisi ile analiz edilmesi gerektiğini belirtmiş, her arızanın fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstereceğini vurgulamıştır. Gahafari (2004) fanlarda karşılaşılabilecek balans, shaft problemleri, rulman hasarları ve rezonansı ele almış, bunlarla ilgili problemlerde nasıl bir FFT spektrum grafiği oluştuğunu örnekler vererek açıklamıştır. Mechevske (2005) makinelerde çıkabilecek balans, kaçıklık, mekanik gevşeklik, rezonans, yağlama yetersizliği, hidrolik, aerodinamik güç vb. gibi problemleri ve bunların spektrum grafiklerini incelemiştir. Orhan (2003) dönen makinalarda oluşan dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik ve rulman arızalarının genel özelliklerini ve bu arızaların sebep oldukları titreşimleri ele almıştır. Hamzaoui (1988) çalışmasını dönen makinalarda dengesizlik ve eksen kaçıklığının belirlenmesine yönelik yapmıştır. Köse (2004) diğer bir çalışmada işletmeler için son derece önemli, durması kesinlikle istenmeyen makinaların sürekli titreşim izleme sistemleri ile takip edildiğinde üretim kayıplarının önüne geçileceğini böylece işletmenin maliyetlerinin azalarak üretim miktarının artacağını vurgulamıştır. Çağlayan ve Yılmaz (2002) motorlarda titreşim analizi ile eksenel ayarsızlıkların, rulman ve

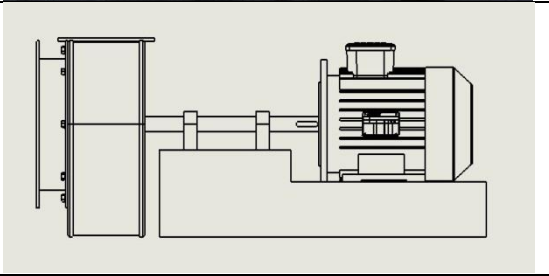
yataklama problemlerinin, balanssızlık gibi mekanik kökenli sorunlar ile sargı ve hava boşluğundaki problemleri içeren bazı elektriksel arızaların tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Karahan (2005) demir-çelik endüstrisinde kullanılan makinelerde titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulamasını gerçekleştirmiştir. Belek (1988) endüstriyel tesislerin bakımında modern yaklaşım olarak titreşim ölçüm aletleri ile titreşim sinyallerinden yararlanarak erken uyarıcı dinamik bakım yöntemlerini ele almıştır. Arslan (2010) çalışmasında sistemde çalışmakta olan bir fanın yedeği ile test standı oluşturulmuştur. Muhtemel arızalar, kasıtlı olarak yapılmış, titreşim ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde her arızanın belirli frekanslarda titreşim ürettiği görülmüş ve FFT analizi ile makinedeki arıza çeşitleri ve boyutları hakkında bilgi sahibi olunabileceği tespit edilmiştir. Baykara (2009) titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım konusunu ele almıştır. Ebersbach ve Peng (2008) titreşim analizi ile makine durumlarının gözlenmesi konusunu ele almıştır. Denli (2007) makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak yaptığı ölçüm ve gözlemler neticesinde makinelerin durumlarını incelemiştir. Önceki durumlarıyla karşılaştırıp alınması gereken önlem ve planlarla ilgili çalışmalar yaparak, kestirimci bakım uygulamalarının iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır.

Çimento üretim fabrikalarında beklenmedik arızalar çok büyük maddi kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeple özellikle fırın ve değirmenler başta olmak üzere kritik elemanlara kestirimci bakım uygulanmaktadır. Kestirimci bakım yöntemlerinden vibrasyon, ultrasonik, termal, yağ analizlerinden bir veya birkaçı ekipmanın özelliğine göre kullanılabilir. Son zamanlarda elektrik motoru akım verilerinin de kestirimci bakımda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Günümüzde modern bir çimento fabrikasında; düşük/yüksek kapasiteli radyal fanlar, düşük-orta-yüksek gerilim ile çalışan elektrik motorları, çok kademeli redüktörler, basınçlı hava kompresörleri, blower kompresörler, pompalar, malzeme transport ekipmanları, öğütme ve pişirme devrelerinde bulunan özel makineler bulunmakta ve bu ekipmanlar yüksek kurulum ve işletme maliyetlerinden dolayı faydalı ömürlerinin sonuna kadar kullanılma zorunluluğu olmaktadır.

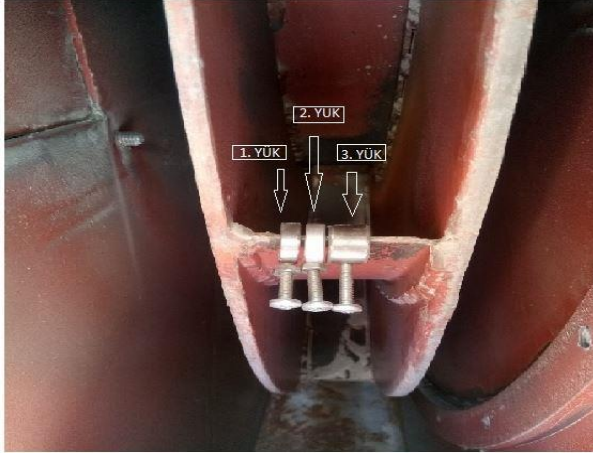
3. Malzeme ve Yöntem

Deneyler 15 °C ortam sıcaklığında, 580 metre rakımda bulunan Denizli Çimento fabrikasında 55 kW motor gücündeki radyal fan üzerinde yapılmıştır, **Çizelge 1**.

Çizelge 1: Balanssızlık çalışmalarında kullanılan radyal fan ve özellikleri

Marka	ED-VAN	
Tip	HD90K – SG360KD	
Motor gücü	75 HP	
Debi	5260 m ³ /h	
Devir	2965 min ⁻¹	
Voltaj	400 V	
Rulmanlar	1313KT (Ön yatak) H31S (Arka yatak)	

Balanssızlık deneylerinde enerji sarfiyatına olan etkisi Fluke 435 Serisi II Güç Kalitesi ve Enerji Analizörü ile ölçülmüştür. Balanssızlığın titreşim genliğine olan etkisi TRIO CX-8 titreşim spektrum analizörü ile ölçülmüştür. Ölçümler alınırken ön ve arka yataklardan, yatay ve düşey yönlerinde titreşim ölçümleri ve faz açıları alınarak kaydedilmiştir. Deney düzeneği üzerinde dengesizlik oluşturmak için fanın kanatlarına sırasıyla; en düşük yük olarak 5,9034 g, orta yük olarak 17,6685 g tek başlarına, son olarak ise ölçülen bu iki yükün yanına 10,433 g yük eklenerek üçü beraber olacak şekilde 34 g yük altında ölçümler yapılmıştır. Yapay olarak balanssızlık oluşturmak üzere yüklerin fan kanadına nasıl monte edildikleri **Şekil 1**'de verilmiştir. Deneyler öncesinde hiç yük asılmamış durumdaki balanssızlık durumuna ait titreşim değerleri alınarak diğer yüklerdeki sonuçlar için referans değeri olarak alınmıştır.



Şekil 1: Yüklerin fan kanadına montajı

4. Titreşim ve Enerji Sarfıyatı Ölçüm Sonuçları

Biri yüksüz ve diğeri 3 farklı yükte oluşturulan yapay balanssızlık deneyleri yapılmış, yatay ve düşeyde ortaya çıkan titreşim genlikleri ile elektrik motorundan çekilen güçler kaydedilmiştir, **Çizelge 2**.

Çizelge 2: Farklı yüklerde ortaya çıkan balanssızlık durumları için titreşim genlikleri ve enerji sarfıyatı

Ağırlık (g)	Yatay Titreşim Genliği (mm/s)	Düşey Titreşim Genliği (mm/s)	Çekilen Güç (kW)	Yıllık Maliyet Artışı *(TL)
Yüksüz	-	-	29,58	-
5,9034	2,4	3,2	29,88	1012
17,66	4,1	3,5	30,54	3240
34	6,8	8,2	31,14	5265

*) Yıllık Maliyet = Enerji Sarfıyatı x Çalışma Saati x Birim kW fiyatı, Birim kW fiyatı 0,45 TL/kWh, yıllık 7500 h çalışıldığı ve Yüksüz haldeki kullanılan güç = $P_{referans} = 29,58$ kW alınmıştır.

Birim enerji bedeli her geçen gün artmak ile birlikte test yapılan zaman aralığı için ortalama 0,45TL/kWh alınması uygun olacaktır. Yıllık çalışma saati ise 7500 saat olarak ortalama alınmaktadır. Diğer zamanlar revizyon bakım ve üretim duruşlarından dolayı sistemlerin çalışmadığı varsayılmaktadır. Birinci deneyde fana herhangi bir yük eklenmeden sabit 2400 min-1 (40 Hz) çalıştırılarak diğer deneyler için referans kabul edilmiştir. Titreşim ölçümleri incelendiğinde fanın kendinden kaynaklı küçük bir miktar balanssızlığı mevcut olmasına rağmen baskın bir titreşim genliği gözlenmemiştir, **Şekil 2a**.

Çizelge 3: ISO 10816-1 standardına göre makinelerde titreşim değerlendirme tablosu

TİTREŞİM ŞİDDETİ DEĞERLENDİRME TABLOSU ISO 10816						
Makina			Sınıf I Küçük	Sınıf II Orta	Sınıf III Büyük	Sınıf IV Büyük
Titreşim Hızı V_{rms}	In/s	mm/s	Makinalar	Makinalar	Makinalar	Makinalar
	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		ÇOK İYİ		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		İYİ		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		DİKKAT		
	0.44	11.2				
0.70	18.0					
0.71	28.0		KABUL EDİLEMEZ			
1.10	45.0					

Sınıf I: 15 kW'a (20 HP) kadar olan küçük ölçekli bireysel makine ve parçaları.

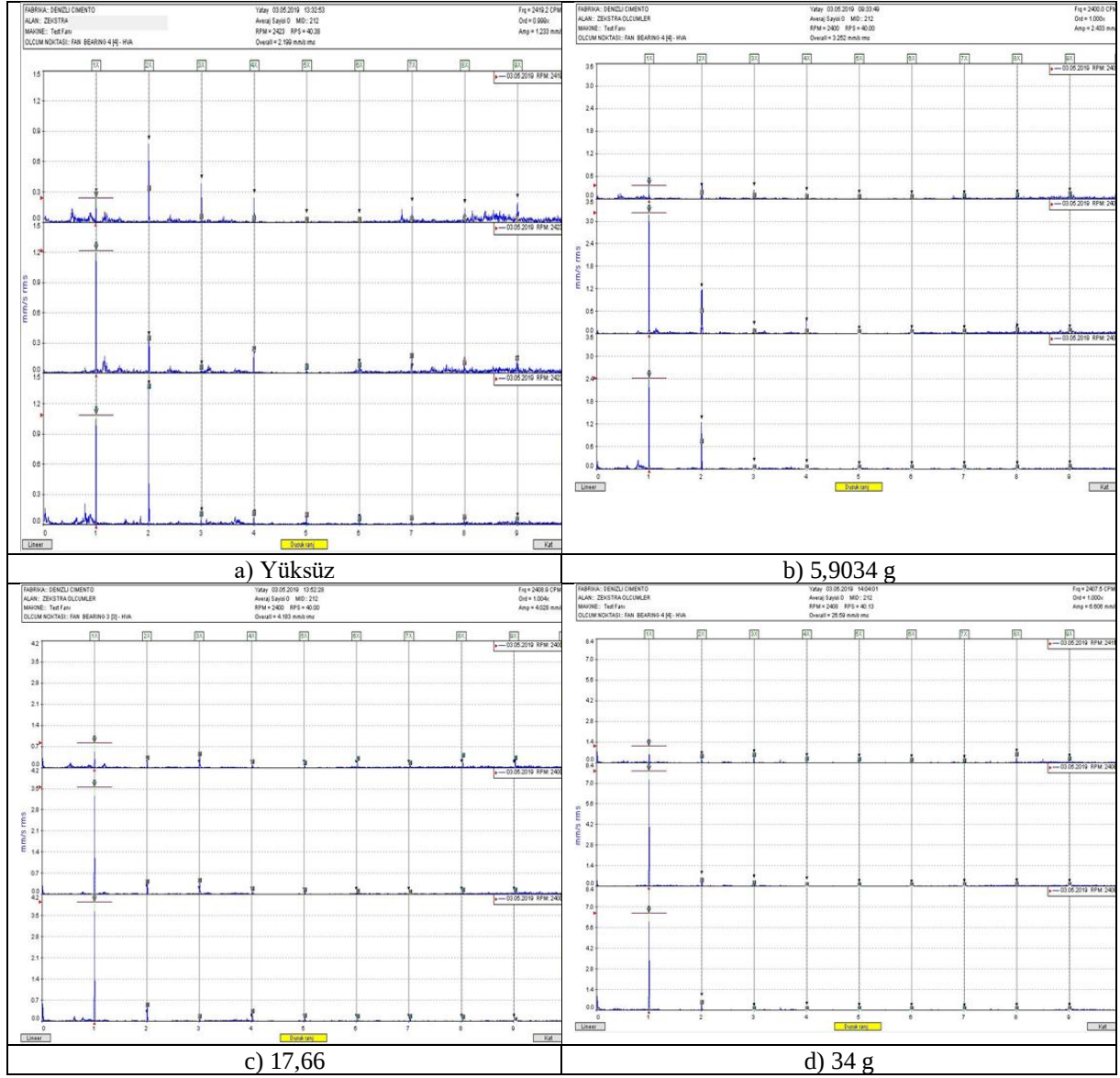
Sınıf II: 15 kW'tan 75 kW'a (20 HP-100 HP) kadar olan orta ölçekli makinalar ile elektrik motorları,300 kW'a (400 HP) kadar rijit olarak monte edilmiş motorlar, özel yatak-plakalı makinalar.

Sınıf III: Ağır tahrik motorları ve rijid ve temel üzerinde ağır döner kütleli makinalar.

Sınıf IV: Çok büyük turbo tahrik motorları ve rijid ve ağır temel üzerinde döner kütleli diğer makinalarla ilişkili olarak civarda da titreşimlere sebep olan 10 MW'dan daha büyük olan turbo jeneratör blokları ve gaz türbinleri.

5,9034 g yük için yapılan ikinci deneyin spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 2,4 mm/s, düşeyde 3,2 mm/s titreşim genliği görülmüştür, **Şekil 2b**. Elde edilen bu veriler ISO 10861 Titreşim şiddet standardına **Çizelge 3** göre kabul edilebilir bölgede olduğu için makine sağlığında bir problem

yoktur. 17,6685 g yük için yapılan üçüncü deneyin spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 4,1 mm/s, düşeyde 3,5 mm/s titreşim genliği görülmüştür, **Şekil 2c**.



Şekil 2: Farklı yapay yüklerde ortaya çıkan spektrum formları

Elde edilen bu veriler ISO 10861 titreşim şiddet standardına göre erken uyarı limiti aşıldığı için kontrollerin sıkılaştırılması gerekir. 34 g yük için yapılan dördüncü spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 6,8 mm/s, düşeyde 8,2 mm/s değerinde titreşim genliği görülmüştür, **Şekil 2d**. Elde edilen değerler ISO 10861 titreşim şiddet standardında belirlenen limit aşıldığı için makine durdurulmalı ve gerekli tamirat işlemi yapılmalıdır.

5. Genel Değerlendirmeler

Çalışmada, titreşim analizörü ve enerji analizör cihazı ile saniyede dört defa alınan veriler ışığında ortalama değerler alınarak farklı yüklerde ortaya çıkan balanssızlık durumları için titreşim genlikleri ve enerji sarfiyatı belirlenmiştir. Balanssızlığa yol açan deney ağırlıkları arttıkça sistemde harcanan enerjinin arttığı ve titreşim genliği artması ile sistemin olağandışı davrandığı gözlemlenmiştir.

Titreşim analizi sonuçlarına göre; sabit devirde (2400 rpm) yapılan teste 1X harmoniğindeki titreşim sinyali genliğinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinde yapay olarak oluşturulan balanstan dolayı,

titreşim genliği değerlerinde sapmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. RMS değerleri; düşey yönde daha kararlı olmak üzere hasar şiddetinin arttığını göstermiştir.

Sonuç olarak bir makinedeki dengesizlik arızası ve enerji sarfıyatı incelenmiş olup titreşim analizi yapılarak ve enerji analizöründen alınan veriler ile makine üzerinde etkisi sunulmuştur. Makinelerdeki dengesizlik arızasını çözmek için bu teşhise göre makineye balans alma işlemi uygulanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Arslan S. (2010), "Titreşim Analizi ile Fanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Aydın G., Meran C. (2018), "Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi Ve Önlenmesi, Mühendis Ve Makine, Cilt 59, Sayı 692, s.48.
- Baykara V.İ. (2009), Titreşim Analizi ile Şanzımanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Belek T. (1988), "Endüstriyel Tesislerin Bakımında Modern Yaklaşım: Dinamik Erken Uyarıcı Bakım Yöntemleri", Mühendis ve Makina, 29, 29-36.
- Çağlayan H. İ. (2002), "Elektrik Motorlarında Arıza Tespit Yöntemleri 2. Bölüm", Otomasyon, 119: 122-127.
- Ebersbach S. And Peng Z. (2008), Eckert System Development for Vibration Analysiss In Machine Condition Monitoring, <http://www.sciencedirect.com> (01.01.2006).
- Gahafari S.H. (2004), Condition Monitoring Of Industrial Fans, 22. Seminar on Machinery Vibration, October 27-29, Ottawa, USA.
- Hamzaoui N., Bisson C. And Lesver C. (1998), "Vibro-Acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part 1: The oretical Model", JSV, 216(4): 553-570.
- Hamzaoui N., Bisson C. And Lesver C. (1998), "Vibro-Acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part 2: Experrimental Study", JSV, 216(4): 571-583.
- Karahan M.F. (2005), " Titreşim Analiziyle Makinalarda Arıza Teşhisi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Köse R.K. (2004), "Makine Titreşimleri Sürekli İzleme Sistemleri (Monitörü)", Makine Tek, 76: 70-76.
- Mechefske C.K. (2005), Machine Condition Monitoring and Fehlt Diagnostic, Quens's University.
- Orhan S. (2003), "Dönen Makinelerde Oluşan Arızalar ve Titreşim İlişkisi", Teknoloji, 6, Sayı 3-4, 41-48.
- Tazegün A. (2009), "Toplam Verimli Bakım ve Çimento Sektöründeki Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, 36-37.
- Uysal V., Morgül Ö.K. (2015), "Dönen Makinelerdeki Dengesizlik (Balanssızlık) Arızasının Titreşim Analizi ve Faz Açısı Yardımıyla Teşhisi", SAÜ Fen Bil Der 19. Cilt, 3. Sayı, s. 245-256.

BAKIM ALANINDA ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN (APG) KULLANIMI

Cemal MERAN¹, Aşkıner GÜNGÖR², Ece GÜLTEKİN³, Salih Seçkin EROL⁴

¹Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, cmeran@pau.edu.tr

²Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, askiner@pau.edu.tr

³Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, eccee86@hotmail.com

⁴Denizli Ticaret Odası, Avrupa İşletmeler Ağı, Denizli, sserol@mynet.com

ÖZET

Bakım, işletmeler için oldukça kritik bir destek sürecidir. Birçok işletmede bakım süreci ile bağlantılı alt süreçler belirli olmadığı gibi bu süreçlerle bağlantılı olarak yürütülen faaliyetlerle ilgili bir veri toplama ve veri izleme sistemi de mevcut değildir. Diğer tarafından bazı işletmelerde ise bakımla ilgili gereğinden fazla bilgi toplanmakta ve gerekli gereksiz birçok performans ölçütü izlenmeye “çalışılmaktadır”. Olması gereken bakım sürecinin hedefleri ile ilişkili bakım sürecinin direkt ve dolaylı maliyetlerini en iyileyecek şekilde Anahtar Performans Göstergeleri (APG) belirlemek ve bu performans ölçütlerini izleyerek bakım sürecinin etkinliğini ölçmektir. Bu çalışmada bakımla ilgili genel APG’ler açıklanarak, Denizli’de faaliyet gösteren işletmelerin bir bölümüne uygulanan anket çalışması ile en çok kullanılan APG’ler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Anket çalışmasının diğer bulguları da çalışmaya dahil edilmiş ve bakımın etkin planlanması ve yürütülmesi için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakım, Performans Göstergeleri, Denizli.

1.GİRİŞ

Bakım, işletmeler için oldukça kritik bir destek sürecidir. Bir işletmenin bakım uygulamalarındaki başarı düzeyi, basit ekipmanlardan başlayarak çok karmaşık üretim makinelerine kadar her şeyi kapsayan işletmenin fiziksel üretim ve hizmet altyapısının, istenilen performans ve güvenilirlikte çalışabilme yeteneğini belirler. **Ünlü yönetim danışmanı Peter Drucker’ın herkes tarafından kabul görmüş bir sözü vardır: “Kontrol edemediğinizi yönetmek mümkün değildir ve ölçemediğinizi kontrol edemezsiniz.”** İşletmeler için önemli olduğu herkes tarafından kabul gören bu sürecin performansının ne ile ve nasıl ölçüleceği cevaplanması gereken önemli sorulardan birisidir. Bu amaçla, işletmeler bakım süreci ile ilgili belli bir periyodu kapsayacak şekilde hedefler koyabildikleri gibi konulan hedeflerle bağlantılı olarak gerçekleştirilen faaliyetlerle ilgili verileri toplayarak sürecin performansını değişik göstergelerle izleyerek bakım süreci ile ilgili gelişim alanlarını tespit etmeye çalışmaktadırlar. Ancak bunu başarı ile yapan firma sayısı oldukça azdır. Bunun temel nedenleri arasında, işin karmaşıklığı ve işe verilen önemin yetersizliği sayılabilir.

Bakım gibi tüm süreçlerin olumlu ya da olumsuz işleyişini tespit edebilmek için ipuçlarına ihtiyacımız vardır. Bu ipuçlarını ise durumun değişmesinde önemli role sahip kriterleri baz alarak elde edebiliriz ki bu kriterleri Anahtar Performans Göstergeleri (APG) olarak adlandırabiliriz. Anahtar performans göstergeleri, bir faaliyetin gidişatını betimlemede kullanılan kritik değerler olarak tanımlanabilir. Bakımdan elde edilen ürün güvenilirliktir ve bunun ölçülebilmesi için bakım yönetiminde de Bakım Anahtar Performans Göstergeleri kullanılmakta ve bakım uygulamalarının etkinliği ölçülebilmektedir (Law, 2003).

Performans ölçümü, yönetimin temel prensiplerinden biridir. Performans ölçümü şu anki performans ile beklenen performans arasındaki boşlukların kapatılması açısından önemlidir. Dikkatlice seçilen Anahtar Performans Göstergeleri (APG), performansı geliştirmek için gerekli olan etkinliklerin yapılması

gerektiği zamanların belirlenmesine yardımcı olur. Mükemmel bakıma ulaşabilmek için kullanılan uygulamalar arasında CBM (Condition-Based Maintenance – Durum Tabanlı Bakım), RCM (Reliability Centered Maintenance – Güvenilirlik Merkezli Bakım), FMEA (Failure Modes and Effects Analysis – Hata Mod ve Etki Analizi), MTBF (Mean Time Between Failures – Arızalar Arası Geçen Ortalama Süre) ve MTTR (Mean Time To Repair - Ortalama Tamir Süresi) araçları yer almaktadır. Dikkat edilirse bu araçlardan CBM ve RCM gibi bazıları felsefik yaklaşımlarken diğerleri ölçüme dayalı performans göstergeleridir. Bu göstergelerin dışında daha birçok APG bulunur. Ancak bunların sürdürülebilir bir biçimde kullanımı işletmelerde bunlarla ilgili izleme ve değerlendirme sisteminin varlığını gerekli kılar (Norat, 2008).

2. BAKIMDA ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİ (APG)

2.1 Bakım Anahtar Performans Göstergelerinde Ölçüm

Bakımda belli ölçütlere dayalı ölçümler, bakım uygulamalarının doğru metotlarla yapılıp yapılmadığını, planlanan şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini, kayıpların azaltılıp azaltılamadığını, yani bakımdan doğacak faydaların sağlanıp sağlanmadığını ortaya çıkarabilmek için gereklidir. Chantatub (2004), APG'lerin seçiminden temelde üç boyutlu düşünülmesi gerektiğini önerir. Bunlar, (1) Ne ölçüleceği, (2) Nasıl ölçüleceği, (3) Nasıl değerlendirileceğidir. Dolayısı ile işletmelerin kullanacağı APG'lerin doğru belirlenmesi, hem bu göstergelerin izlenebilmesi için gereken maliyetlerin minimizasyonu hem de elde edilen faydanın maksimizasyonu için önemlidir. Diğer bir ifade ile sadece ihtiyaç duyulan APG'ler sistemde hayata geçirilmelidir. Aksi halde yeterince ölçülemeyen veya değerlendiremeyen APG'ler israf yaratmak dışında işe yaramazlar.

Uygulamada ve teoride (Nicholas, 1998; Weber ve Thomas, 2005; Norat, 2008) aşağıdaki APG'ler karşımıza çıkmaktadır:

- 1. Bakım Onarım Bölümüne Gelen Arıza Bildirim Fişi Sayısı:** Bu ölçüt bakım onarım bölümüne gelen arıza sayısını ifade etmektedir. Arıza bildirim fiş sayısının minimum değerde olması istenir. Bu sayı ne kadar az ise çıkan arıza sayısı da az demektir. Arıza bildirim fiş sayısı standartlara göre fazla ise ya da bu sayıda gün geçtikçe artış gözlemleniyorsa bakım programları gözden geçirilmeli ve iyileştirilmeye gidilmelidir.
- 2. Arıza Nedeniyle Oluşan Makine Duruş Sürelerinde Kaybedilen Toplam Süre:** Ekipmanın fonksiyonunu kısmen kaybetmesi veya ekipmanın tamamen bozularak üretim yapamaz hale gelmesinden kaynaklanan üretim kayıplarıdır. Makine duruş sürelerinde kaybedilen toplam sürenin olabildiğince düşük olması istenmektedir. Bu sürenin uzaması üretimde aksamalara sebep olmakla birlikte bakım maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır.
- 3. Arıza Nedeniyle Duruşların Toplam Çalışma Süresine Oranı:** Bu oran işletmede bulunan bölümlerin makinelerini ne kadar etkin kullandıklarının bir göstergesi olarak alınabilir. Bu oranın olabildiğince düşük olması istenir. Bu oranın yükselmesi kestirimci bakım uygulamalarının yapılmasını gerekli kılabilir.
- 4. Hatalı Üretim Miktarının Toplam Üretim Miktarına Oranı:** Hatalı üretimler işgücünden kaynaklandığı gibi bakımı yapılmamış makinelerden de kaynaklanmaktadır. Bakım kaynaklı hatalı üretimin ayrıştırılması aynı zamanda insan kaynakları yönetimi açısından da önemlidir.
- 5. Arıza Oranı:** Bu oran makinenin normal çalışma süresi içinde ne kadar arızalı kaldığını gösterir ki makinenin güvenilirliğini yansıtır. Diğer bir ifade ile ekipmanın arıza oranı, tanımlanmış bir dönem için ne kadar iyi performans gösterdiğini verir. Arıza oranının en aza indirgenmesi hedeflenir.

6. **Arızalar Arasında Geçen Ortalama Süre:** Bir ekipmanın iki arızası arasında geçen ortalama süreyi ifade eder. İşletmeler, arızalar arası geçen sürenin maksimize edilmesini hedefler.
7. **Ekipman Kullanılabilirlik Oranı:** Bu ölçüt ekipmanın gerekli olduğu zaman kullanılabilme oranını yansıtır. Bu değerin 1'e yakın olması istenir. Bu ölçüt kestirimci bakım uygulamalarını teşvik eder. Bu oranın yüksek olması hem ara stok düzeylerini düşürür hem de üretim kayıplarını engeller.
8. **Bakım Elemanı Başına Düşen Mekanik veya Elektriksel Arıza Sayısı:** Bakım elemanı başına düşen arıza sayısı ne kadar yükselirse arızalara müdahale süresi o kadar artar ve periyodik bakım için ayrılan süre o kadar azalır. Bu ölçüt bir başarı ölçütünden daha çok bir insan kaynakları tespit ölçütü olarak da algılanabilir ancak bakımın başarısında doğru insan kaynağının rolü oldukça fazladır.
9. **Arızalara Ortalama Müdahale Süresi:** Arızalara müdahale süresi, meydana gelen arızanın bakım onarım bölümüne bildirilişinden ilgili kişinin ilgili makineye ulaşım süresini ifade etmektedir. Arızalara müdahale süresinin minimize olması istenir. Bu süreçte bir artış var ise bakım elemanı başına düşen arıza sayısı ölçütünün değerlendirilmesi gerekir. Müdahale süreleri ile bakım personeli sayısının ekonomik analizi yapılabilir. Arızalar mekanik ve elektriksel olarak gruplandırılıp ayrı ayrı müdahale süreleri de kayıt altına alınabilir.
10. **Arızaların Ortalama Giderilme Süresi:** Bu ölçüt arızaya müdahale edilmesinden, giderilmesine kadar geçen zamanı temsil eder. Bu sürenin minimum olması hedeflenir. Aksi takdirde zaman kayıpları meydana gelecektir. Bu ölçüt bakım ekiplerinin çalışma metotlarının geliştirilmesinde ve karşılaştırılmasında kullanılabilir.
11. **Arıza Bakım Maliyetinin Ekipman Maliyetine Oranı:** Bu ölçüt bir ekipmanda yapılan arıza bakım maliyetlerinin ekipmanın değerine oranını ortaya koyarak ekipmanın değer yaratıp yaratmadığını gösterir. Bu oranın büyümesi ekipman hakkında yenileme de diğer kararların alınmasına yardımcı olur.
12. **Kestirimci Bakım Yapılan Ekipmanlarda Arıza Nedeniyle Oluşan Duruş Oranı:** Bu ölçüt daha çok kestirimci bakım uygulanan ekipmanların etkinliğini ölçmede kullanılır. Kestirimci bakım uygulanan ekipmanlarda arızaların çıkma olasılığının çok düşük olması beklenir.
13. **Satın Alınan Bakım-Onarım Maliyetlerinin, Toplam Bakım-Onarım Maliyetine Oranı:** Çeşitli bakım faaliyetlerinin dışarıdan satın alınma yöntemi ile yaptırılması işletmelerin asıl faaliyet olarak görmediği alanlarda konusunda uzman olan diğer kuruluşlara bu faaliyeti yaptırarak, işletme ve yönetim faaliyetlerinde aktifliğin sağlanmasıyla daha yalın, maliyet etkin ve dinamik organizasyon yapısı kurulmasını sağlamaktadır. Bu sayede işletmelerin uzman olduğu konulara odaklanmaları sağlanır. Bu oranın, işletmelerin belirledikleri standartlarda olması hedeflenir.
14. **Bakım-Onarım Personel Giderinin, Toplam Bakım-Onarım Giderine Oranı:** Bakım maliyetlerinin diğer maliyetlerden ayrılması bakım-onarım faaliyetlerinde önceden fark edilmeyen maliyetleri açığa çıkarmada önemli bir gösterge olmaktadır. Aynı zamanda bakım-onarım personel giderleri de toplam bakım-onarım giderlerinden ayrı olarak hesaplanmalıdır. İşletmeler bu oranı olabildiğince düşük tutmayı hedeflemektedirler.

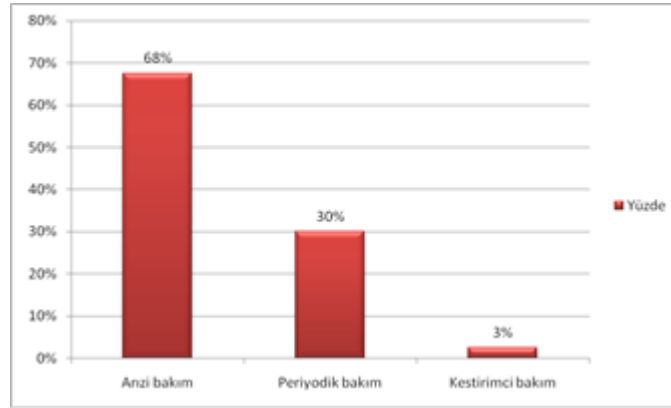
3. DENİZLİ ÖRNEĞİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

Yukarıda belirtilen APG'lerin işletmeler tarafından kullanımlarını incelemek amacı ile Denizli'de yer alan işletmeler anket yöntemi ile incelenmiştir. Bu incelemeyle, APG'lerden hangilerinin daha fazla tercih edildiğini tespit etmenin yanı sıra bakım süreçleri ile genel kavramların irdelemesi de yapılmıştır.

Anket, işletmelerin demografik özellikleri başta olmak üzere bakım-onarım faaliyetlerini açığa çıkaracak çalışmalara yönelik toplam 54 sorudan oluşturulmuştur. Ankette yer alan soruların açık ve anlaşılır olmasına önem gösterilmiştir. Anket çalışması ağırlıklı olarak Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan toplam 40 işletmede uygulanmıştır. Anketler 3 işletme hariç diğer işletmelerde konu ile ilgili kişilerle yüz yüze görüşülerek tamamlanmıştır. Bu işletmelerin 20'si tekstil, 2'si mermer, 6'sı makine imalat, 2'si cam, 2'si metal, 1'i gıda sektöründe faaliyet göstermekte olup, 7 firma kendisini bu sektörlerin dışında tanımlamıştır.

Anket uygulanan işletmelerden 1 işletme 10'dan az çalışana, 10 işletme 10 ile 50 arasında çalışana, 14 işletme 50 ile 150 arasında çalışana, 7 işletme 150-250 arasında çalışana, 5 işletme 250 ile 500 arasında çalışana ve 3 işletme 500'den fazla çalışana sahiptir. Anket uygulanan işletmelerin %61'i KOBİ niteliğindedir.

Bu işletmelerin %68'ı Arızı Bakım'ı tercih ederken Periyodik Bakım uygulaması yapan işletmelerin oranı %30 ve sadece %3'lük bir oranla Kestirimci Bakım uygulaması göze çarpmaktadır (Şekil 1). Bu aslında beklenen bir durumdur. Özellikle KOBİ niteliğinde firmalarda bakım faaliyetleri ekipmanlarda oluşan arızaların giderilmesi olarak algılanmaktadır.



Şekil 1. Anket sonuçlarına göre en çok uygulanan bakım türü

Anket uygulaması yapılan 40 işletmenin 35'inde ayrı bir Bakım-Onarım bölümü bulunmaktadır. Bu da bakım faaliyetlerin ayrı bir süreç kapsamında ele alındığını düşündürmektedir ki bu oldukça sevindirici bir bulgudur.

Bir diğer olumlu bulgu da bakım süreçleri ile ilgili alınan geri bildirimlerdir. Tablo 1 incelendiğinde işletmelerin büyük bir bölümünde bakım ile ilgili süreçlerin tanımlı olduğu ifade edilmiştir. Ancak sorulan bir diğer soruda bu süreçlerden ne kadar yararlandıkları incelenmiş ve maalesef işletmelerin yaklaşık yarısı bu süreçleri tam olarak kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Bu da sıkça karşılaştığımız bir durumu bakım ile ilgili durumda da karşımıza çıkarmaktadır: Yazılı ve kurallara dayalı iş yapış modeli pek uygulanmamaktadır.

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

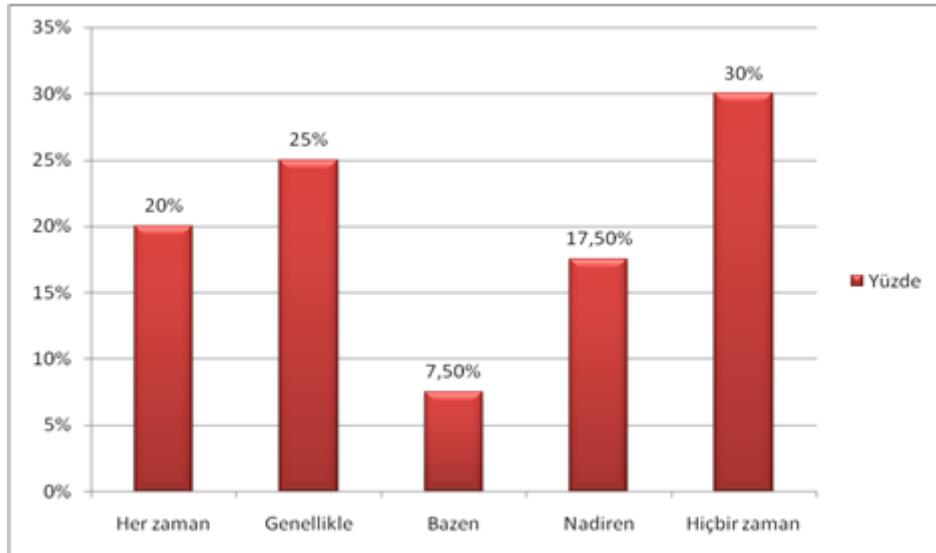
Tablo 1. Ankete göre bakım süreçlerinin tanımlanma durumu

Süreçlerin Tanımlama Durumu	Frekans	Yüzde
Süreçlerin hepsi belirlenmiş ve tanımlanmıştır	16	40,0
Süreçlerin büyük bir kısmı belirlenmiş ve tanımlanmıştır	8	20,0
Süreçlerin yaklaşık yarısı belirlenmiş ve tanımlanmıştır	1	2,5
Süreçlerin az bir bölümü belirlenmiş ve tanımlanmıştır	5	12,5
Süreçler tanımlanmamıştır	10	25,0
Toplam	40	100,0

Anket çalışmasında bakım bölümünün personel ve ekipman bakımından yeterliliği, ankete katılan işletmelerin büyük bir bölümü tarafından yeterli düzeyde olarak belirtilmiştir. Diğer bir ifade ile ankete katılanlar işletmelerinin bakım için yeterli insan ve ekipman kaynağı oluşturduğunu düşünmektedir. Ancak bunun doğruluğu performans ölçütlerinin dünya standartları ile mukayesesi sonucu teyit edilmelidir ki bu ayrı bir araştırma konusu olarak ele alınabilir.

İşletmeler bakım faaliyetleri ile ilgili maliyetleri ağırlıklı olarak aylık (%65) olarak hesaplarken yıllık bütçe çalışmalarında bakım maliyetlere yer veren işletmelerin oranı %55 olarak bulunmuştur.

Bakım faaliyetlerinin izlenebilirliğinde daha önce de belirtildiği gibi kritik öneme sahip veri toplama izleme sisteminin varlığı ile ilgili soruya işletmelerin %70'i "Evet" derken geri kalan işletmelerde böyle bir sistem mevcut değildir. Ancak veri toplama sisteminden toplanan verilerin değerlendirilmesi ile ilgili sorunun cevapları çarpıcıdır. Şekil 2 incelendiğinde, bakımla ilgili veri toplama izleme sisteminden elde edilen verileri sürekli olarak analiz eden işletmelerin oranı %20 olup oldukça düşüktür. Şekle göre "Nadiren" ve "Hiçbir Zaman" cevaplarını işaretleyen işletmelerin oranı %37,5 olup bu işletmelerde mevcut Veri Toplama Sisteminin varlığı aslında bir israf kaynağıdır. Çünkü söz konusu veriler değerlendirilmediklerine göre gereksiz yere kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 2. Ankete göre bakım-onarım ile ilgili toplanan verilerin kullanılması sıklığı

Bakımla ilgili APG'lerin kullanım durumlarına yönelik sorudan elde edilen sonuçlara göre APG'lerin kullanım frekansları Tablo 2'de görülebilir. Tablodan görülebileceği gibi en çok kullanılan üç APG; arızalara ortalama müdahale süresi, arızaların ortalama giderilme süresi ve arıza nedeniyle oluşan toplam duruş süresidir. Ancak bakım süreçleri ile ilintili insan kaynakları veya maliyetlerle ilgili performans göstergeleri pek dikkate alınmamaktadır. Bir diğer bulgu da "Bakım Kaynaklı Hatalı Üretim

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Miktarının Toplam Üretim Miktarına Oranı” performans göstergesinin neredeyse hiç kullanılmadığıdır. Bu da genelde üretim hatalarının insan kaynaklı olduğu önyargısı ile hareket etmeleri sonucunu doğurabilir ki bu çalışanların performansının yanlış değerlendirilmesine yol açabilir. Bir diğer dikkat çekici bulgu da işletmelerin sadece 11’inde bakım için yapılan planların gerçekleşme derecesi incelenmektedir. Oysaki bakım planlarının gerçekleşme derecesi bakım faaliyetlerinin tam zamanlama felsefesi ile gerçekleştirilmesini sağlayacak olan önemli bir göstergedir. Bunun birçok firma tarafından dikkate alınmıyor olması önemli bir eksikliktir.

Tablo 2. Ankete göre anahtar performans göstergelerinin kullanım sıklıkları

Bakım Anahtar Performans Göstergeleri	FREKANS
Arızalara Ortalama Müdahale Süresi	40
Arızaların Ortalama Giderilme Süresi	36
Arıza Nedeniyle Oluşan Toplam Duruş Süresi	34
Bakım Bölümüne Gelen Arıza Bildirim Sayısı	32
Arıza Oranı	19
Arızalar Arası Geçen Ortalama Süre	16
Bakım Planlarının Gerçekleşme Derecesi	11
Arıza Nedeniyle Oluşan Duruşların Toplam Çalışma Süresine Oranı	9
Bakım Personel Giderinin Toplam Bakım Giderine Oranı	7
Dışarıya Yaptırılan Bakım Maliyetlerinin Toplam Bakım Maliyetlerine Oranı	7
İşletme Dışından Alınan Teknik Desteğin Performans Takibi	6
Ekipman Kullanılabilirlik Oranı	5
Arıza Bakım Maliyetinin Ekipman Maliyetine Oranı	4
Bakım Kaynaklı Hatalı Üretim Miktarının Toplam Üretim Miktarına Oranı	3
Bakım Elemanı Başına Düşen Arıza Sayısı	1

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bakım süreçlerimin planlanmasında, yürütülmesine ve iyileştirilmesinde anahtar performans göstergeleri süreçlerle işletme arasında tutkal gibi bir iş görür. Bu göstergeler problemler oluşmadan önce sinyaller vererek gereken önlemlerin alınmalarını sağlarlar. Aynı zamanda bakımda takım çalışmasının faydalarını ortaya çıkarmak gayesiyle hareket edildiğinde ilgili göstergeler kullanılarak sonuçlar görülebilir.

İşletmelerde olması gereken düşünce, Drucker’in önermesi olan “ölçmediğimiz şey kontrolümüz altında değil” olmalıdır. Bakım göstergelerinin doğru seçilmesi ile kritik noktalardaki ölçümler yapılacak ve durum kontrol altına alınabilecektir. Bakım gösterge hedefleri ve sonuçları, girdileri ve çıktıları, ölçümler sonrası karşılaştırılabilir ve olası kopukluklar ya da birbirine girmeler tespit edilip yeni bir bakım yol haritası çizilebilir.

Bakım Anahtar Performans Göstergeleri, TPM (Total Productive Maintenance - Toplam Üretken Bakım) felsefesinin araçlarından bir tanesidir ve koyduğu hedefler, sonuçlar itibari ile de bakım uygulamalarına sahip her işletmede bulunması gereken vazgeçilmez opsiyonlardandır. Ülkemizde her işletmenin, bakım stratejisini oluşturmadığı düşünüldüğünde bakım anahtar performans göstergeleri bilincinin artıyor olmasına rağmen henüz istenen düzeyde olduğunu söylemek zordur. Rekabetçi global pazarda yer almak isteyen işletmelerin, yurt dışında TPM ve Bakım Anahtar Performans göstergeleriyle çalışan sistematik yapıya sahip rakiplerine göre hem maliyet hem de kalite açısından üstünlük

gösterebilmeleri için bakımla ilgili süreçlere gereken önemi vermeleri için geç bile kalınmıştır. Bu amaçla işletmelerin aşağıdaki önerilere önem vermeleri gerekir:

- İşletmede yoksa bakım süreçleri ile ilgili ayrı bir yönetim birimi oluşturulmalıdır.
- İşletmede bakımla ilgili iş analizleri yapılmalı ve tüm süreçler çıkarılmalıdır.
- Bakımla ilgili ana ve alt süreçlerle ilgili Anahtar Performans Göstergeleri (APG) belirlenmelidir. Bu göstergelerin bazıları, işletmenin direkt üretim süreçlerinin bakımla etkileşimini ortaya koyacak nitelikte olmalıdır.
- Her bir ekipman için kullanılması planlanan bakım türü ve bakım planları oluşturulmalıdır.
- Bakım APG'lerin izlenebilirliğini sağlamak amacı ile işletmenin yapısını uygun veri toplama, depolama ve analizine yardımcı olacak bilişim donanımı ve yazılım yatırımı yapılmalıdır.
- APG'lerin izlenmesi sağlanarak gerekli süreç revizyonları ve bakım geliştirme çalışmaları yapılmalı ve bunların yapılmasını garanti altına alacak süreçler tanımlanmalıdır.
- Bakım bölümü çalışanlarının yetkin olması sağlanmalı ve sürekli geliştirilmeleri için eğitim çalışmaları önemsenmelidir.

5. Kaynaklar

1. Chantatub, W. 2004. *Computerized Balance Scorecard and KPI's*, Chulalongkorn University, Thailand
2. Law, G. 2003. "Setting Performance Standards for your Maintenance Contract", *Maintenance Management Conference*, Auckland, New Zealand.
3. Nicholas, J. 1998. *Competitive Manufacturing Management: Continuous Improvement, Lean Production, Customer-Focused Quality*, Richard d Irwin.
4. Norat, G.S. 2008. *Maintenance KPI's*, How to Start ? A PdMtech Inc. White Paper , Vega Baja, Puerto Rico.
5. Weber, A., Thomas, R. 2005. *Key Performance Indicators, Measuring and Managing the Maintenance Function*, Ivira Corporation, Ontario, Canada.

Not: Bu bildiri TMMOB Makina Mühendisleri Odası IV. Bakım Teknolojileri Kongre ve Sergisi, 22-25 Ekim 2009 Denizli-Türkiye'de sunulmuştur.

BAĞLANTI ELEMAN SEÇİMİNİN BAKIM UYGULAMALARINA ETKİSİ

Aşkın Güngör^{1*}, Cemal Meran²

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20020 Denizli

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 20020 Denizli

ÖZET

Makinenin kolay bakım yapılabilir biçimde tasarlanmış olması sonucu ilgili bakım süreleri ve maliyetler azalır. Bu nedenle bakım için dizayn (BİD - Design For Maintainability) oldukça önemli bir kavram olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmada, BİD’de tercih edilen bağlantı elemanlarının bakım uygulamalarına etkileri incelenmiştir. Bağlantı elemanlarının doğru seçimi bakım sürelerinin kısalmasına etki eden en önemli olgulardan birisi olup bu çalışma ile özellikle makine dizayn çalışmaları yapanlara katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bakım, Bağlantı elemanları, Bakım Etkinliği, Bakım İçin Dizayn

1. Giriş

Bakım uygulamaları çok geniş yelpazede ele alınabilir. Basit ekipmanlardan çok karmaşık üretim makinelerine kadar her şeyi kapsayan işletmenin fiziksel üretim altyapısının istenilen performansta ve güvenilirlikte çalışabilmesi işletmenin bakım uygulamalarındaki başarısına bağlıdır. Bakım, oldukça kritik bir destek sürecidir. Ancak işletmelerin çoğu bu destek sürecine yeterince önem vermemektedir. Eğitimsizliği bir yana koyarsak işletmelerin kendilerince haklı sebepleri bulunmaktadır. Bunların başında bakımın getirdiği zaman kayıplarından kaynaklanan direkt veya dolaylı maliyetlerdir. Bu da işletmelerin birçoğunda ekipmanlarda arıza meydana geldiğinde yapılan “arızı bakım” uygulamalarının tercih edilmesine neden olmakta, periyodik ve kestirimci bakım uygulamalarının göz ardı edilmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. İşletmelerde bakım uygulamalarının geliştirilmesi verimlilik problemlerinin çözümüne katkı sağlar. Bunu yapabilmek için probleme, işletmede bakım bilincinin oluşturulmasından bakım planlarının geliştirilmesine kadar birçok açıdan yaklaşmak gerekir. Ancak, aslında bir makinenin bakım yapılabilirliği ve ilişkili maliyetler makinenin dizayn safhasında belirlenir.

Gerçekte makinenin bakım yapılabilirliğinin satın alınma aşamasında en önemli faktörlerden birisi olarak ele alınması gerekir. Makineler satın alınırken bakım açısından aşağıdaki soruların cevapları araştırılmalıdır:

1. Makineye bakımı zorlaştıran unsurlar nelerdir?
2. Makinenin bakım sırasında risk içeren bölgeleri nereleridir?
3. Makinenin hangi bölgeleri ne sıklıkta bakıma alınmalıdır?
4. Bakım için gerekli malzemelerin temini kolay mıdır? Bu malzemelerin maliyeti kabul edilebilir sınırlar içinde midir?
5. Makinenin bakımı için bakım personel düzeyi nedir ve bakım konusunda ne kadar makine üreticisine bağımlı olunmaktadır?

Makinenin satın alınma aşamasında, yukarıdaki sorularla makine tasarımı incelense de makinenin tasarımı konusunda bu aşamada değişiklik yapmak mümkün değildir. Aslında makinenin bakım yapılabilirliği makinenin dizayn aşamasında ele alınması gereken bir konudur. Bu durumda karşımıza bakım için dizayn (BİD) çıkmaktadır. BİD’in ulaşmak istediği hedefler temelde şu şekilde özetlenebilir [1]:

- Ürün ve sistemlerin kullanılabilir ömürlerinin uzatılması,
- Ürünlerin kullanım etkinliklerini artırarak işletim maliyetlerinin düşürülmesi,
- Bozulmaları engelleyerek plansız duruş sürelerinin minimize edilmesi,
- Bakım sürelerini azaltarak planlı duruş sürelerinin minimize edilmesi.

BİD bakım yapılabilirliği kolaylaştıran en önemli dizayn olgusu olarak karşımıza çıkmaktadır. BİD merkezli dizaynlar şu ilkeler çerçevesinde geliştirilir [1-3]:

1. Makinenin veya ürünün fonksiyonel ve fiziksel özellikleri mümkün olduğunca basitleştirilmelidir. Karmaşık dizaynlar üretim ve bakım maliyetlerine direkt etki ederler. Karmaşık parçaların azaltılması hem bu parçaların sökümü için gerekli olan söküm ekipmanlarının basitleşmesi hem de bakım personelinin teknik bilgi düzey gereksiniminin azaltılması sonucunu doğurur.
2. Bakım sırasında yerine getirilmesi gereken faaliyetlerin yapılabilmesine olanak tanıyacak kadar erişim olanağı sağlanmalıdır.
3. Tasarımda mümkün olduğunca standart parçaların kullanımına özen gösterilmelidir. Özellikle bozulma olasılığı yüksek olan parçalar için bu hayati öneme sahip bir olgudur. Aksi halde makinenin planlı ve plansız duruşları artar.
4. Modüler dizayn prensipleri kullanılarak makinenin bölgesel testlerinin yapılabilir hale getirilmesi gerekir.
5. Parça sayısını azaltarak montaj ve demontaj işlemleri basitleştirilmelidir. Kolayca sökülüp montaj edilebilen bir makineye bakım yapmak her zaman daha kolaydır.
6. Makinenin probleminin kolayca tespit edilebilmesine yönelik aparatlar ve sistemler tasarımın bir parçası olarak ele alınmalıdır. Makine üzerine konacak ve fonksiyonel parametrelerine dayalı sensorlerle makinede oluşan arızanın ve bölgenin tayini böylece de tamir bakım sürelerinin kısaltılması sağlanmış olur.
7. Makine üzerindeki tehlikeli bölgeler açıklıkla işaretlenerek bakım sırasında hem hayati hem de ergonomik kayıpların önüne geçilmelidir.
8. Ergonomik parametreler dikkate alınarak parçaların ağırlıkları minimize edilmelidir.
9. Bakım için gerekli yöntem ve prosedürler ürünle birlikte temin edilmelidir. Böylece bakım sırasında oluşacak zaman kayıpları ve hatalı bakım uygulamaları minimize edilmiş olur.

Özetle BİD ilkeleri, makinenin çok kısa sürede ve özel bir çaba harcamadan ergonomik faktörleri de göz önüne alarak montajını ve demontajını kolaylaştırmaktadır. Bazı durumlarda demontaj zorluğundan dolayı bakım güçleşmekte ve hatta makinenin günlerce demontajı yapılmaya çalışılmaktadır. Makinenin demontajını zorlaştıran en önemli olgulardan birisi de kullanılan bağlantı elemanlarıdır. Makinede kullanılan bağlantı eleman veya yöntemleri makinenin demontajı üzerindeki en önemli olgu olarak ele alınabilir. Yukarıda özetlenen BİD ilkelerinde de görüldüğü üzere, maalesef, bağlantı eleman seçimi tasarım aşamasında genelde ihmal edilen olgudur.

Bu çalışmada sökülebilirlik ve/veya bakım yapılabilirlik üzerinde bağlantı elemanlarının etkisi incelenmiştir. Sanayiden örnekler toplanarak konunun önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

2. Bağlantı Elemanları ve Demontaj

Bağlantı elemanları, parçaları birbirine, gövdeye veya makinaları temele bağlayan elemanlardır [4, 5]. Bağlantılar temelde sökülebilir ve sökilemeyen bağlantılar olmak üzere ikiye ayrılır.

Sökülebilir bağlantılarda cıvata, pim, vb. gibi bağlantı elemanları kullanılabilirken, sökilemeyen bağlantılarda kaynak, perçin, vb. bağlama elemanları kullanılmaktadır. Yani sökilemeyen bağlantılarda, bağlantı elemanı deforme edilerek bağlantı çözülebilmekte, oysa sökülebilir bağlantılarda bağlantı elemanı bir araç gereç kullanımı ile bağlantı yerinden hasarsız olarak uzaklaştırılabilmektedir. Çıkarılan bağlantı elemanı normal şartlarda defalarca kullanılabilir.

Makinaların sökülmesi esnasında genellikle üç durumla karşılaşılır: (1) Makine parçaları hiçbir hasara uğramadan tamamen sökülebilir; (2) makinanın bazı parçaları kısmen hasara uğrayarak sökülebilir (bağlantı elemanları gibi); ve (3) makinanın ana parçaları tamamen hasara uğrayarak sökülebilir.

Teknikte pek çok bağlantı elemanı kullanılmaktadır. Bu bağlantı elemanlarının seçimi yapılırken; yükleme, titreşim, darbe, korozyon gibi faktörlere özellikle dikkat edilmelidir. Bununla birlikte bağlama ve sökme sıklığına göre de bağlantı türü ve elemanı seçimi yapılmalıdır. Aynı şekilde bağlantıyı sökmek için gerekli olacak araç ve gereçlere de dikkat etmek gerekir. Mümkün olduğu kadar basit aletlerle sökilebilen bağlantı elemanı kullanmak tercih edilmelidir. Bağlantı elemanının malzemesi çalışma şartlarına uygun seçilmelidir. Korozyif bir ortamda kullanılacak bir bağlantı elemanının malzemesi korozyif olmayan ortamlarda kullanılacak olandan elbetteki farklı olmalıdır.

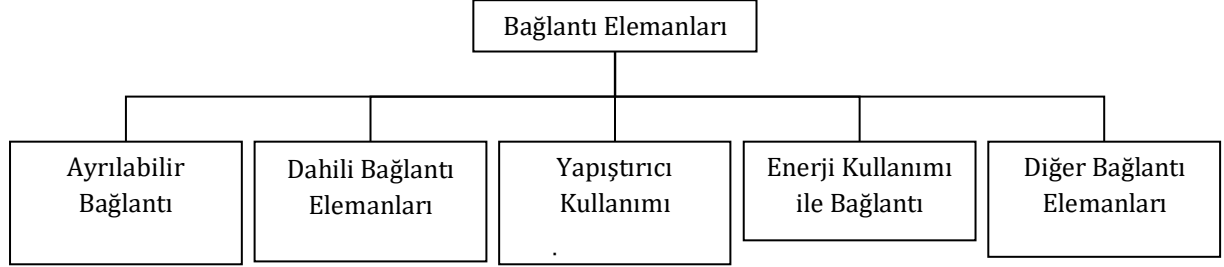
Parçaların sökülebilirliğine bağlantı tipi, bağlantı yöntemi, bağlantı elemanına ulaşılabilirlik, bağlantı elemanını sökmek için gerekli aletler, bağlantı elemanının malzemesi, bağlantı elemanını sökmek için gerekli kuvvet ve bağlantı elemanının ömrü gibi birçok faktör etki etmektedir. Sökülebilirlik birçok faktör tarafından etkilendiği için daha tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereklidir. Özellikle makinanın bakım gerektirecek bölgelerinin tasarımında parçalar sökülebilirlik açısından daha dikkatli tasarlanmalıdır.

Sonnenberg [5], makine imalatında kullanılan bağlama yöntemlerini Şekil 3'deki gibi sınıflandırmıştır. Bunlardan, *ayrılabilir bağlantı elemanları*, vida dişli olanlar ve olmayanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bir veya birkaç parçayı birbirine bağlarlar. Makinanın genelinden bağımsız parçalar olup istenildiğinde sökülebilirler. Çok pratik şekillerde basitçe makine parçalarına zarar vermeden sökülebilirler. Ayrılabilir bağlantı elemanlar bağlanmış oldukları elemanların kimyasal yapısında bir değişikliğe sebep olmazlar. Farklı türden iki malzemeyi çok rahatlıkla bu tür elemanlarla birleştirmek mümkündür. Bununla birlikte bu yöntemlerle birleştirilmiş bağlantılarda bağlantı elemanının titreşim veya ısısal nedenlerle gevşeyebilmesi yöntemin dezavantajı olarak görülebilir. Aynı zamanda bağlantı elemanının takılacağı bölgeler birer çentik kaynağı olarak da dezavantaj oluşturmaktadır.

Dahili bağlantı elemanları, parçaların bir parçası olan ve makine elemanının üzerinden ayrılmayan bağlantı elemanlarıdır. Bu bağlantı elemanlarının sunduğu avantajlar şunlardır: Parça sayısını azaltarak makine dizaynını basitleştirmesi, montaj ve demontaj sürelerini azaltması ve montaj için gerekli olan montaj araç gereçlerinin tür ve sayılarının azaltılması.

Bağlantı yöntemi olarak *yapıştırma* son zamanlarda birçok imalat alanında oldukça yaygınlaşmıştır. Çok fazla mukavemet gerekmeyen yerlerde tutkal, zambak gibi yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bununla birlikte daha son yıllarda yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip birçok yapıştırıcı uygulamada geniş yer bulmuştur. Aynı zamanda parçalar *enerji kullanımı* ile de birbirlerine bağlanabilir. Bunlardan en bilineni kaynaktır. Enerji kullanımı ile bağlamada bağlaması yapılan parçaların malzemeleri minimum değişkenlik göstermesi istenir.

Son zamanlarda Velcro®, fermuar gibi farklı bağlantı elemanları da bazı parçaların bağlanmasında kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar, Sonnenberg [5] tarafından *diğer bağlantı elemanları* olarak gruplandırılmıştır.



Şekil 3. Bağlantı elemanlarının gruplandırılması

3. Bakım Yapılabilirlik Açısından Bağlantı Eleman Seçimi

İkinci bölümde genel sınıflandırılması yapılan bağlantı elemanlarını arasından seçim yaparken genelde şu noktalara dikkat edilmelidir [4].

- Bağlantı elemanının maruz kalacağı yükleme, titreşim, darbe, korozyon gibi çalışma koşulları,
- Bağlantının montaj ve demontaj sıklığı,
- Mukavemet, korozyon riski vb. dikkate alındığında bağlantı elemanının malzemesi,
- Bağlantının yük iletme yeteneği,
- Bağlantının elemanın sızdırmazlığa olan etkisi,
- Hem yük iletme hem de sızdırmazlığı sağlama yeteneği,
- Bağlantıyı sökmek için gerekli aletlerin karmaşıklık düzeyi ve personel yeterlilik düzeyi,
- Bağlantı elemanının erişilebilirlik esnekliği, söküm hareket yön esnekliği, söküm hareket karmaşıklığı gibi demontajla ilgili özellikleri.

Bağlantı elemanlarının türlerine göre bağlantı elemanlarının taşıdığı özellikler demontajı olumlu ya da olumsuz etkiler. Sonnenberg [5] çalışmasında farklı bağlantı elemanlarının montaj ve demontajını etkileyen özelliklerini incelemiş ve Tablo 3'deki gibi özetlemiştir.

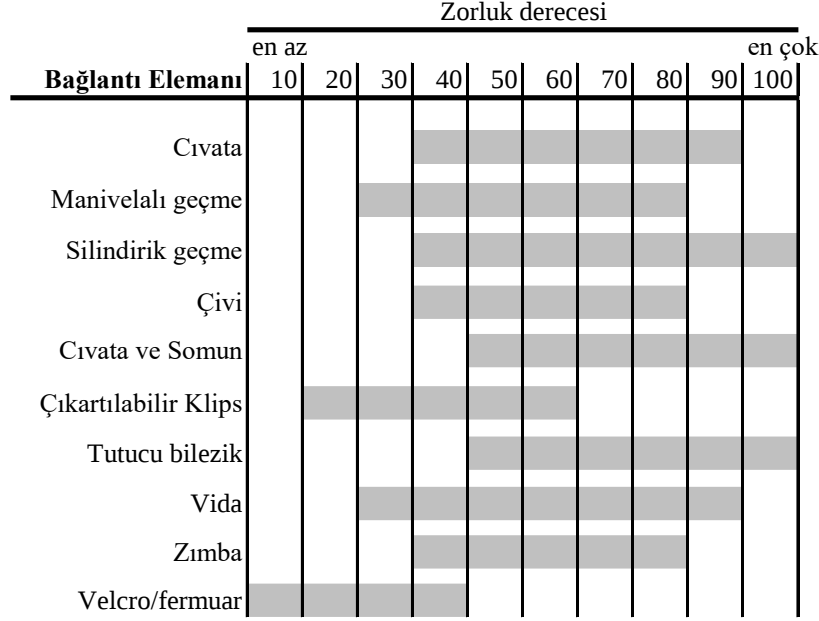
Tablo 3'de gösterildiği gibi sadece bağlantı elemanının seçimi değil bu bağlantı elemanının özellikleri de montaj ve demontajı etkiler. Bu nedenle bağlantı elemanının boyu, baş şekli, çapı, sayısı vb. montaj ve demontaj işlemini güçleştirmekte ve bakım etkinliğini ve bakım isteğini azaltmaktadır. Bununla ilgili örnekler ileriki sayfalarda sunulmuştur.

Tablo 3. Bağlantı elemanlarının montaj ve demontajına etki eden faktörler

Bağlantı Elemanı	Etkileyen Faktörler
Cıvata	Cıvatanın baş şekli, cıvata uzunluğu, cıvatanın çapı, pul kullanımı
Manivelalı geçme	Hüzme uzunluğu, sabitleyici açısı, çoklu birleştirme
Silindirik geçme	Bağlantı çapı, sabitleyici açısı, çeper kalınlığı
Çivi	Uzunluk, çap, baş şekli
Cıvata ve Somun	Cıvata şekli, cıvata büyüklüğü, söküm torku
Çıkarılabilir Klips	Erişim, boyut
Tutucu bilezik	Erişim, çap, gerekli araçlar
Vida	Vida başı şekli, uzunluğu, çapı, pulu
Zimba	Erişim, uzunluğu, neyi tuttuğu
Velcro®/fermuarlar	Erişim, gerekli araçlar, boyut

Bakım Tekniği ve Uygulamaları

Şekil 4’de ise Tablo 3’de verilen bağlantı elemanlarının söküm zorluk dereceleri gösterilmiştir [5]. Zorluk dereceleri 0 ile 100 değer aralığında gösterilmiştir. Bir bağlantı elemanın söküm zorluk derecesi belli değer aralığını kapsamaktadır. Çünkü Tablo 3’de gösterildiği üzere bağlantı elemanının değişik özellikleri zorluk derecesi üzerinde etkilidir.



Şekil 4. Farklı bağlama elemanlarının sökülebilirlik zorluk dereceleri [5]

Bağlantı elemanını seçerken, özellikle bağlantı elemanının maruz kalacağı çalışma koşullarının hesaba katılması gerekir. Çünkü, eğer bağlantı elemanı, çevre şartlarından dolayı hasara uğrarsa makinenin sökülmesi oldukça güçleşecektir veya imkansız hale gelir. Çevresel etkiler sonucu olarak ortaya çıkan hasarlar korozyon, aşınma, döküntü, çöküntü, sıcaklık kaynaklı deformasyon sayılabilir. Bunların içerisinde en yaygın olarak görülen korozyon kaynaklı hasarlardır. Korozyona uğramış bağlantı elemanı bir taraftan bağlantının sökülmesini zorlaştırırken diğer taraftan kesitte meydana gelen azalmadan dolayı bağlantının güvenilirliği azalır. Hasara uğramış bağlantı elemanlarının standart demontaj araç-gereçleriyle sökülmesi oldukça güçtür. Her ne kadar pas sökücü kimyasallar kullanılsa da gerek bağlantı elemanında gerekse makine üzerinde geri dönüşü zor hasarlar ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4. Bağlantı elemanlarının sökümünde kullanılan aletler ve zorlaştırıcı unsurlar [5]

Bağlantı Elemanı	Sökümde Kullanılan Aletler	Sökümde Karşılaşılabilen Problemler
Cıvata	İngiliz anahtarı, pense, somun anahtarı	Erişilebilirlik, korozyon, başın hasarlı olması, standart söküm aletinin kullanılamayışı
Manivelalı geçme	Tornavida, zimba, pense	Erişilebilirlik, zor çünkü birden çok turnak (mandal) bağlamayı sağlıyor
Silindirik geçme	Pense, tornavida, zimba	Erişilebilirlik, korozyon
Çivi	Pense, çekiç, demir testeresi	Erişilebilirlik, korozyon
Cıvata ve Somun	Tornavida, somun anahtarı, İngiliz anahtarı, Allen anahtarı, pense	Erişilebilirlik, korozyon, cıvata hasar, cıvata başının zarar görmesi, standart söküm aletinin kullanılamayışı
Çıkartılabilir Klips	El aleti, pense	Erişilebilirlik
Tutucu bilezik	Bilezik pensesi	Erişilebilirlik
Vida	Tornavida	Korozyon, hasar, erişilebilirlik, standart söküm aletinin kullanılamayışı
Zimba	Zimba pensesi, düz başlı tornavida	Erişilebilirlik, korozyon
Velcro®/fermuarlar	El aleti, pense	Erişilebilirlik

Bağlantı elemanlarının demontaj sırasında sökümü için gerekli olan aletler ve söküm işlemlerini zorlaştıran temel unsurlar Tablo 4’de sunulmuştur. Görüldüğü üzere söküm işlemini zorlaştıran unsurlar bağlantı elemanının doğru seçimi ve bu bağlantı elemanının makine içinde konumlandırılmasıyla direkt olarak ilintilidir.

4. Uygulamadan Örnek Tasarımlar

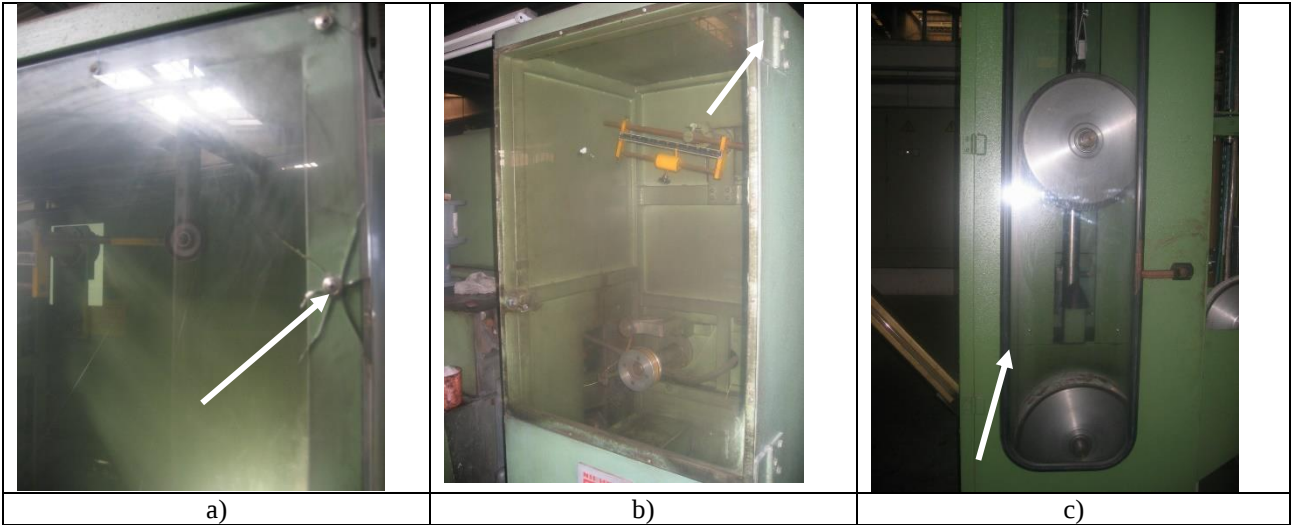
Şekil 3’teki makine de hem gereksiz yere çok sayıda cıvata kullanılmış hem de cıvataların yerleştirildiği bölgeye ulaşım güç olduğu için sökölüp takılması çok uzun zaman almaktadır.



Detay görünüm

Şekil 3. Sökülebilirlik açısından yanlış tasarım

Şekil 4’teki makine de tel çekme ünitesinin bir bölümü görülmektedir. Telin çekilmesi esnasında şeffaf bölgedeki işleme zaman zaman müdahale edilmesi gerekmektedir. Şekil 4a’daki şeffaf kapak cıvatalar ile bağlantı yapılmıştır. Gerek cıvatanın sıkılması esnasındaki aşırı yük kullanımından gerekse makinenin çalışması esnasındaki titreşimlerden dolayı kapak bazı bölgelerden çatlamış, hatta bazı yerlerde bu çatlaklar ilerlemiş ve şeffaf kapak kopmuştur. Şekil 4b’de ise kapağın açılması menteşe ve sürgü kullanılarak daha kolaylaştırılmıştır. Şekil 4c’de ise kapak yine menteşe ve sürgülü yapılarak açılıp kapanması kolaylaştırılırken, şeffaf olup iç kısmın görülmesi istenen bölgedeki şeffaf kısım cıvatalar yerine lastik conta ile kapak üzerine yerleştirilmiştir. Böylece a şıkkındaki tüm olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 4. Bakım yapılabilirlikte kapak bağlantı şekilleri

Şekil 5’te matrisler içerisinde geçen bir tel yönlendirme diskleri üzerinden geçirilerek ilgili kısma verilmektedir. Şekil 5a’da aynı amaç için sekiz adet cıvata ile ve Şekil 5b’de ise cıvata

kullanılmadan montajı yapılmış iki disk görülmektedir. Bu disklerde meydana gelecek herhangi bir problemde birinci diskin sökülmesi çok daha uzun zaman alacaktır.



a) Yanlış tasarım



b) Daha iyi bir tasarım

Şekil 5. Gereksiz bağlantı elemanı kullanımı

Büyük bir makine üzerinde ne kadar çok ve gereksiz yere cıvatalı bağlantı yapıldığı Şekil 6a’da görülmektedir. Bu makinanın belli periyotlarda bakımının yapıldığı bilinmektedir. Bu makinanın bakım yapılması için devreden çıkarılıp tekrar devreye alınmasının büyük bir üretim kaybına yol açacağı kesindir. Sadece makinanın iç kısımlarını dış ortamdan korumak amacıyla yapılmış bu kapak yerine örneğin Şekil 6b’deki gibi çok kısa sürede açılıp kapanabilen panjurlu bir kapak düşünülebilirdi.



a) Yanlış tasarım



b) Daha iyi bir tasarım

Şekil 6. Gereksiz bağlantı elemanı kullanımı

Şekil 7’de bir makinanın yağ haznesinin bulunduğu kısma yapılmış bir kapak görülmektedir. Bu yağ haznesinin bulunduğu kısım yine belli periyotlarla açılmakta ve bakımı yapılmaktadır. 24 adet cıvata ile tespit edilmiş yan yana iki kapak bulunmaktadır. Sadece bu kapakların sökülüp takılmasının yaklaşık 1 saat süreceği tahmin edilebilir. Eğer menteşeli ve sürgülü bir kapak düşünülmüş olsaydı açılıp kapanması sadece 5-10 saniye sürecekti.



Şekil 7. Gereksiz sayıda bağlantı elemanı kullanımı

Bakımda karşılaşılan önemli problemlerden biri de demontaj için özel takım gerekliliğidir. Şekil 8a’da makine gövdesinde çok büyük başlı bir cıvata kullanılmıştır. Bu cıvatayı ancak özel bir tornavida ile açmak mümkündür. Aynı şekilde Şekil 8b’de ise yine özel ağızlı bir sökme aparatı gereklidir.



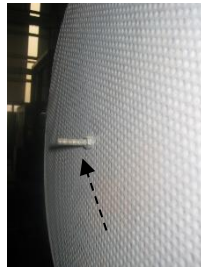
a)



b)

Şekil 8. Sökülmesi için özel takım gerektiren bağlantı elemanı seçimi

Şekil 9a’da soğutma fanı üzerindeki filtre lüzumdan fazla uzunluktaki bir cıvata ile bağlanmıştır. Bu filtrenin temizlemesi için çıkarılması gerektiğinde somun lüzumsuz yere daha fazla tur attırılarak ancak çıkarılabilmektedir. Oysa aynı fonksiyonu görmesi için tasarlanmış Şekil 9b’deki geçmeli olarak gövdeye monte edilmiş filtre çekildiği anda boşa çıkmaktadır.



a) Gereğinden fazla cıvata boyu

b) Geçmeli bir filtre sistemi

Şekil 9. Cıvatalı ve cıvatasız bağlanmış filtreler

Mühendislikte makinenin mümkün olduğu kadar basit tasarlanmış olması prensiptir. Şekil 10'da bir başka kapak örneği görülmektedir. Kapaklar yine makinenin iç kısmını dış ortamdaki korumak fonksiyonunu yerine getirmekte ve belli periyotlarda açılarak pota içindeki ergiyiğin geçtiği filtreler temizlenmektedir. Kapak gövdeye herhangi bir cıvata, vs. ile tutturulmamıştır. Sadece gövde üzerinde daha önceden hazırlanmış tırnaklar üzerine kapak geçirilmektedir.

5. Sonuçlar

Bir makinenin bakım yapılabilirliği ve ilişkili maliyetler makinenin dizayn safhasında belirlenir. Bu sebeple bakım yapılabilirliğinin satın alınma aşamasında en önemli faktörlerden birisi olarak ele alınması gerekir. Bakım için dizayn (BİD) bakım yapılabilirliği kolaylaştıran en önemli dizayn olgudur. BİD ilkeleri, makinenin çok kısa sürede ve özel bir çaba harcamadan ergonomik faktörleri de göz önüne alarak montajını ve demontajını kolaylaştırmaktadır. Makinede kullanılan bağlantı eleman veya yöntemleri makinenin demontajı üzerindeki en önemli olgu olarak ele alınabilir. Sökülebilirlik birçok faktör tarafından etkilendiği için daha tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereklidir. Özellikle makinenin bakım gerektirecek bölgelerinin tasarımında parçalar sökülebilirlik açısından daha dikkatli tasarlanmalıdır.

Sadece bağlantı elemanının seçimi değil bu bağlantı elemanının özellikleri de montaj ve demontajı etkiler. Bu nedenle bağlantı elemanının boyu, baş şekli, çapı, sayısı vb. montaj ve demontaj işlemini güçleştirmekte, bakım etkinliğini ve bakım isteğini azaltmaktadır. Bağlantı elemanını seçerken, özellikle bağlantı elemanının maruz kalacağı çalışma koşullarının da ayrıca hesaba katılması gerekir.



Şekil 10. Pratik olarak sökülüp takılabilen kapak

Teşekkür

Bu çalışmada sunulan fotoğraflar Erbakır A.Ş.'den alınmıştır. Bilgi paylaşımına açık olan Erbakır A.Ş. yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Chen, L., & Cai, J., (2003). Using Vector Projection Method to evaluate maintainability of mechanical system in design review. *Reliability Engineering and System Safety*. **81**: 147-154.
 2. Billatos, S.B., & Basaly, N.A., (1997). *Green technology and design for the environment*. Washington, DC: Taylor & Francis.
 3. Wani, M.F., & Gandhi, O.P., (1999). Development of maintainability index for mechanical systems. *Reliability Engineering and System Safety*. **65**: 159 -270.
 4. Akkurt, M., & Kent, M., (1986). *Makina Elemanları*. İstanbul.5. Sonnenberg, M. (2001). *Force and Effort Analysis of Unfastening Actions in Disassembly Processes*. Ph.D. Thesis: New Jersey Institute of Technology.
- Ertuğ Er, Bakım Yönetimi ve Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerini Türkiye’de Uygulanma Düzeyi, İstanbul teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004
- 1- Kemal Üçüncü, Güvenirlilik Merkezli Bakım, 2013, <http://www.istegüvenlik.tc/GüvenirlilikMerkezliBakımMAKALE.pdf>
 - 2- Sipo 5S Eğitim Notları, <http://www.sistempatent.com/portals/0/5s-prensibi.pdf>
 - 3- Vedat Temiz, Triboloji Ders Notları, İTÜ, <http://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Triboloji.pdf>
 - 4- Opet Fuchs, Yağlama Teknolojileri, Pamukkale Üniversitesi Sunumu, 2013
 - 5- Erol, S:S, Dinamik Sistemlerin Kestirimci Bakımına Etki Eden Faktörlerin Durum Bazlı İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2015, Danışman; Prof.Dr. Cemal Meran
 - 6- Planlı Bakım Eğitimi, El Kitapları Serisi 5, Operatörün El Kitabı, Zorlu-Vestel Yayınları